شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IDAJ.2024.364326.421

ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم در بخشی از دیم‌زارهای هشترود

تیمور دولت پناه[۱]، شهریار دشتی[۱*]، امین عباسی[۱]، ناصر احمدی ثانی[۲]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۲- گروه زراعت، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: استفاده درست و بهینه از اراضی نیازمند ارزیابی دقیق منابع بوم‌شناختی کشاورزی می‌باشد. در عصر حاضر محدودیت منابع و افزایش روز افزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، ایجاب می‌کند که از منابع محدود به نحو بهینه استفاده شود. یکی از مهم‌ترین توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی توانایی هم-پوشانی نقشه‌های مختلف یک منطقه برای رسیدن به یک نقشه کامل قابل استفاده برای کاربردهای مورد نظر است. با توجه به اهمیت گندم به عنوان یک محصول راهبردی در تأمین غذای انسان‌ها و همچنین استفاده بهینه از منابع موجود و ارزیابی مزارع کشت گندم در راستای تولید پایدار، این تحقیق به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گندم دیم در بخشی از دیم‌زارهای شهرستان هشترود، واقع در استان آذربایجان‌شرقی انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش: این مطالعه در بخشی از شهرستان هشترود (شامل مناطق ذوالبین، فتح، نظرکهریزی و آتش بیگ) انجام گرفت. ابتدا نیازهای بوم‌شناختی گندم دیم با استفاده از منابع علمی موجود تعیین و درجه‌بندی شد. سپس نقشه‌های موضوعی مورد نیاز تهیه و طبقه‌بندی گردید. متغیرهای محیطی مورد مطالعه شامل داده‌های بلند مدت هواشناسی و داده‌های خاک از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان هشترود اخذ گردید. از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها استفاده شد. پس از تحلیل و حصول وزن‌ها، لایه‌ها وزن‌دهی و با روی هم‌گذاری، در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با هم تلفیق شدند. طبقه‌بندی هر لایه بر اساس نیازهای بوم-شناختی گندم، در چهار طبقه انجام پذیرفت.

یافته‌های پژوهش: نتایج مشخص کرد که بین عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاک مؤثر بر کشت گندم در منطقه مورد مطالعه، نقش عوامل اقلیمی تأثیر بیشتری داشت، بطوری‌که وزن عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت گندم معادل ۰/۶۹۳، وزن عوامل خاک معادل ۰/۲۲ و وزن عوامل توپوگرافی معادل ۰/۰۸۷تعیین گردید. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که منطقه برای کشت گندم در چهار پهنه (بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد و غیرمستعد) از نظر تناسب اراضی تقسیم‌بندی می‌شود. از مجموع ۱۳۰۸۱۹ هکتار از مساحت کل اراضی، ۲۲ درصد در پهنه بسیار مستعد، ۲۶ درصد در پهنه مستعد، ۲۷ درصد در پهنه نیمه‌مستعد و ۲۵ درصد در پهنه غیرمستعد جهت کشت گندم دیم تشخیص داده شد. از عوامل محدودکننده رشد و تولید گندم دیم در منطقه می‌توان به پایین‌بودن میزان فسفر (کم‌تر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پایین‌بودن دمای کمینه (حدود ۵ درجه‌سانتی‌گراد)، پایین‌بودن متوسط دما (کم‌تر از ۱۲ درجه سانتی‌گراد)، ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر و شیب بالای ۱۲ درصد اشاره نمود.

* نگارنده مسئول: dashti_sh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

واژه‌های کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پهنه‌بندی، کشت بوم

مقدمه

امنیت لازم برای تأمین مواد غذایی همواره یکی از مهم‌ترین مسائل کشورهای در حال توسعه بوده است (Molden *et al.*, 2007). بنابراین خودکفائی در تأمین مواد غذایی برای ملت‌ها در راستای قطع وابستگی‌ها می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. در این راستا افزایش سطح زیر کشت و دست‌یابی به بیشترین بازده در واحد سطح همواره مورد توجه کارشناسان کشاورزی بوده است. عدم توجه به توانمندی‌های اقلیمی و محیطی اراضی و کشت سنتی محصولات کشاورزی، سبب بازدهی اندک و پرنوسان محصولات می‌گردد (Dashti *et al.*, 2010). اما این سؤال که در کجا چه چیزی قابل رشد بوده؟ و چه مقدار بازده خواهد داشت؟ به‌عنوان نخستین بخش از اقدامات توسعه کشاورزی مطرح بوده است Dixon (*et al.*, 2001).

استفاده‌ی صحیح از زمین‌های کشاورزی نیازمند شناخت مناطق مستعد کشت محصولات و منابع بوم‌شناختی است. گندم از مهم‌ترین و سازگارترین گیاهان روی زمین به شمار می‌آید. گندم از غذاهای اصلی انسان است که به طور مستقیم مورد مصرف قرار می‌گیرد و به همین دلیل سطح کشت و تولید جهانی آن از سایر محصولات بیشتر است (Zand & Laninia, 2010). در کشور ما نیز گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است و سطح زیر کشت آن متجاوز از ۶/۷۴ میلیون هکتار می‌باشد، که ۲/۳۷ میلیون هکتار از آن گندم آبی و ۳/۳۷ میلیون هکتار گندم دیم می‌باشد و میزان کل تولید گندم آبی حدود ۸/۵ میلیون تن و گندم دیم حدود ۳/۸ میلیون تن، میانگین تولید گندم آبی ۳۴۵۰ کیلوگرم (۱۴۰۰-۱۳۹۹) در هکتار، در حالی‌که میانگین تولید گندم دیم در همین سال زراعی ۸۵۹ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Ministry of Agriculture, 2022). استان آذربایجان‌شرقی بویژه شهرستان هشترود و حومه یکی از قطب‌های تولید گندم دیم در کشور است که بر اساس آمار سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ سطح زیر کشت گندم دیم در این استان حدود ۵۵۰ هزار هکتار و تولید ۳۹۵ هزار تن با متوسط عملکرد ۷۲۴ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ministry of Agriculture, 2022).

شناسایی مناطق مناسب برای کشت محصولات مختلف زراعی با توجه به نیازهای مختلف اقلیمی، نوع خاک و شرایط توپوگرافی مناسب از جمله عواملی است که باعث افزایش میزان تولید محصولات زراعی می‌گردد (Zeinodini, 1998). ارزیابی تناسب اراضی در مدیریت درست منابع زمین، برای تعیین بهترین نوع استفاده از زمین در یک مکان خاص انجام می‌گردد. پهنه‌بندی اراضی یکی از روش‌های ارزیابی زمین است که عامل‌های محدودکننده‌ی اصلی تولید یک محصول خاصی را شناسائی می‌کند. در عین حال تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد تا یک نظام مدیریت افزایش عملکرد را برای بالا بردن بهره‌وری زمین اجرا کنند (Vafa *et al.*, 2018). بررسی تناسب اراضی یک پیش نیاز برای تولید پایدار محصول بشمار می‌رود. گیاهان زراعی بهترین رشد و تولید را در مکان‌هایی دارند که شرایط آب و هوایی و عامل‌های خاکی نیازهای رشدی آن‌ها را به بهترین نحو تأمین کنند. عامل‌هایی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، نوع خاک، پوشش زمین و بسیاری از عامل‌های آب و هوایی که بر رشد گیاه زراعی تأثیر دارند، در مشخص کردن مناسب‌ترین مناطق برای کاشت یک گیاه تعیین‌کننده می‌باشند (Vafa *et al.*, 2018). خان و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی اراضی قابل کشت محصولاتی همچون گندم، جو و آفتابگردان در اسپانیا پرداختند. آنان عوامل و عناصر اقلیمی مانند ارتفاع، شیب، نوع خاک، دما، بارندگی، طول روز و تأثیر هر کدام از آنها را بر روی این گیاهان زراعی بررسی و

سپس با وزن‌دهی هر کدام از لایه‌ها در محیط GIS داده‌های فوق را تلفیق نموده و در نهایت نقشه مناطق مستعد کشت را ارائه کردند (Khan *et al.*, 2010). بادسار و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی‌های خود در منطقه قره‌سوی گرگان به این نتیجه رسیدند که این مناطق از نظر شرایط توپوگرافی و دمایی، بارش، بافت و اسیدیته خاک در شرایط بهتری بوده و تنها عاملی که باعث پائین آمدن شرایط برای کشت گندم این مناطق گردیده شوری خاک است. لازم به ذکر است که این مزارع در مناطق شمالی حوزه قرار داشته و دارای شوری بین ۸/۸۹-۸ دسی زیمنس بر متر هستند. نتایج نشان داد که ۹۹/۴۱ درصد از مزارع گندم، در طبقه بسیار مناسب و حدود ۰/۵۸ درصد در طبقه مناسب قرار گرفت (Badsar *et al*, 2018). پژوهشگران برای ارزیابی تناسب اراضی محصول سیب‌زمینی در منطقه هوگلی هندوستان بررسی‌هایی انجام دادند که در طی آن تکنیک AHP-GIS بر اساس معیارهای مواد مغذی خاک، بافت خاک، pH، کربن آلی، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی برای کشت سیب‌زمینی به کار برده شد. منطقه مورد مطالعه بر اساس نتایج سطوح مواد مغذی خاک و دیگر معیارها نشان داد که ۲۱ درصد از اراضی بعنوان اراضی بسیار مستعد، ۶۷ ٪ از اراضی بعنوان اراضی مستعد و ۱۲٪ از اراضی بعنوان اراضی نیمه مستعد و غیر مستعد تشخیص داده شد (Singha and Swaim, 2019). محققان برای ارزیابی مناسب‌بودن اراضی برای محصولات غلات در ایالت ماریانای هند با استفاده از تکنیک AHP و GIS برای مطالعه عواملی مانند بارندگی، دما، بافت خاک، تراکم، pH، کربن آلی، هدایت الکتریکی و شیب بررسی‌هایی انجام دادندکه برای محصول گندم حدود ۶ درصد از اراضی بعنوان اراضی بسیار مناسب (S_1)،٪۷۱ از اراضی بعنوان اراضی مناسب (S_2) و ۲۳٪ بعنوان اراضی نسبتاً مناسب تشخیص داده شد. برای محصول برنج ۲۸٪ از اراضی مناسب و ۷۲٪ از اراضی بعنوان اراضی نسبتاً مناسب تشخیص داده شد. برای محصول سورگوم ۲۸٪ از اراضی بسیار مناسب (S_1)، ٪۷۱ از اراضی مناسب (S_2)، و ۱٪ از اراضی بعنوان اراضی نسبتاً مناسب تشخیص داده شد (Shaloo *et al.*, 2022). در تحقیقی در حوزه‌ی قره‌سوی استان گلستان، برای شناسائی نواحی مستعد برای کشت گندم دیم، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پهنه‌بندی انجام شد. نتایج مشخص کرد که مناطق موجود از نظر تناسب اراضی برای کشت گندم در چهار پهنه خیلی مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب قرار گرفتند که از عوامل مؤثر قرار گرفتن مناطق در پهنه خیلی مناسب، بارش مناسب، شیب‌های کمتر و رو به جنوب و همچنین هدایت الکتریکی در حد مطلوب بوده است (Bidadi *et al.*, 2015). پهنه‌بندی زراعی– بوم-شناختی استان گلستان جهت کشت سویا توسط کاظمی و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. ایشان در این تحقیق از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] و AHP[2] استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که میزان بارش، پتانسیل منابع آبی پایین، شوری و کمبود برخی عناصر غذایی از عوامل محدودکننده کشت این گیاه در استان گلستان است. نتایج نشان داد که به ترتیب ۵۹/۲۷ و ۳۵/۲۹ درصد زمین‌های زراعی استان گلستان جهت تولید سویا در پهنه‌های بسیار مستعد و مستعد هستند، و ۳۴/۷ درصد نیز به عنوان پهنه غیر مستعد که کم‌ترین مساحت را در اراضی کشاورزی استان گلستان به خود اختصاص دادند، شامل می‌شود (Kazemi *et al.*, 2013). فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) پهنه‌بندی اقلیم-شناختی – زراعی گندم دیم را در سطح استان آذربایجان‌شرقی با استفاده از داده‌های اقلیمی مورد بررسی قرار دادند و به شناسایی مناطق مستعد از نظر کشت دیم این محصول پرداختند. همچنین در انجام تحلیل‌های مکانی از GIS و تحلیل سلسله مراتبی

[1] - Geographic Information System

[2] - Analytic Hierarchy Process

استفاده کردند و پس از تعیین وزن لایه‌ها، با هم-پوشانی وزن‌دار، نقشه نهایی مناطق مستعد کشت گندم دیم در سطح استان تهیه کردند. نتایج ایشان مشخص کرد که متغیرهای اقلیمی مانند بارش و دما از شاخص‌های مؤثر در فرآیند کشت گندم دیم محسوب می‌شود (Feizi Zadeh *et al.*, 2012). کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) پهنه‌بندی زراعی – بوم-شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان را جهت کشت برنج با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام دادند. ایشان در این تحقیق علاوه بر این که نیازهای بوم‌شناختی گیاه برنج را شناسایی کردند؛ بلکه درجه-بندی و تهیه‌ی نقشه‌های مورد نظر را نیز انجام دادند. متغیرهای کاربردی در این پژوهش متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و خاک بود که پس از تعیین اوزان AHP در محیط GIS روی هم‌گذاری شده و نتایج پهنه‌بندی اراضی را در چهار طبقه بدست آورده است. ایشان بیان کردند که در حدود ۶/۲۶ درصد اراضی زراعی استان برای تولید برنج بسیار مستعد هستند و طبقات نیمه‌مستعد و غیر مستعد جهت کشت برنج به قسمت‌های شمالی و شرقی اراضی استان اختصاص داشته و عوامل محدودکننده در این مناطق پتانسیل آبی پایین، شوری بالا، بافت‌های سبک‌تر، pH بالا، کلسیم بالا و کمبود عنصر روی شناخته شدند (Kazemi *et al.*, 2012 a , b , c). نتایج تحقیقی که توسط ساری صراف (۲۰۰۹) برای پهنه‌بندی قابلیت‌های (پتانسیل) اقلیمی کشت گندم دیم در آذربایجان‌غربی انجام پذیرفت، مشخص کرد که نقش هر یک از عنصرهای اقلیمی بارش و دما، متناسب با مراحل مختلف رشد، در مناطق مختلف استان متفاوت بوده و همچنین امکان میزان مطلوبیت مناطق برای کشت گندم دیم وجود دارد (Sari Saraf, 2009). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی تناسب اراضی، برای کشت گندم زمستانه را در منطقه پکن چین با استفاده از سنجش دور (RS)[1] و GIS انجام دادند. داده‌های موجود با یکدیگر ادغام شده و وزن‌های بدست آمده، وارد محیط GIS گردید. محاسبات موجود با توجه به نقش متغیرهای مختلف در تعیین تناسب اراضی برای گیاه گندم بر اساس مواد غذایی (عناصر مورد بررسی) موجود در خاک و عوامل آب و هوایی طبقه‌بندی گردید. در نهایت منطقه به سه پهنه دارای طبقات نیمه‌مستعد، مستعد و بسیار مستعد تقسیم‌بندی شدند (Wang *et al.*, 2011). ساتیا پریا (۲۰۰۰) به منظور پهنه‌بندی گیاهان زراعی ذرت خوشه‌ای، برنج، گندم و سیب-زمینی در هند از عوامل توپوگرافی، خاک و عناصر اقلیمی نظیر: ارتفاع از سطح دریا، شیب، نوع خاک، دما، بارندگی، طول روز، میزان تبخیر و سرعت باد استفاده کرد. ایشان با دخالت دادن هر یک از عوامل فیزیکی زمین، تأثیر هر کدام از آن‌ها را بر گیاهان زراعی بررسی کرده و سپس با ارزش‌گذاری هر کدام از لایه‌ها در محیط GIS داده‌های فوق را تحلیل و سرانجام نقشه‌ی نهایی مناطق مستعد برای کشت این گیاهان را تهیه نمود (Satya, 2000). این تحقیق به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گندم دیم در بخشی از دیم‌زارهای شهرستان هشترود، واقع در استان آذربایجان‌شرقی با استفاده از محیط GIS و مدل تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP) انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قسمتی از شهرستان هشترود استان آذربایجان‌شرقی (شامل مناطق ذوالبین، فتح، نظرکهریزی و آتش بیگ) که در عرض جغرافیایی بین ۳۷ الی ۳۷/۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی بین ۴۶/۳۰ الی ۴۷ درجه شرقی واقع شده است، انجام گرفت (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از سمت شمال با شهرستان بستان‌آباد، از جنوب با شهرستان چاراویماق، از سمت شرق با شهرستان میانه و از سمت غرب با شهرستان مراغه، مرز مشترک دارد و

[1] - Remote Sensing

در ۱۲۰ کیلومتری مرکز استان واقع شده است. جهت استعدادسنجی اراضی مناطق مورد مطالعه به منظور کشت گندم دیم ابتدا نیازمندی‌های اکولوژیکی گیاه تعیین گردید (جدول ۱).

داده‌های اقلیمی: داده‌های بلند مدت هواشناسی (۱۳۹۹-۱۳۶۹) از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان هشترود اخذ گردید که شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین، رطوبت نسبی، رطوبت حداکثر، رطوبت حداقل و بارش بود. اطلاعات موجود در نرم افزار اکسل وارد و آزمون‌های مرسوم در بررسی کیفی داده‌ها شامل، تصادفی‌بودن، آزمون داده‌های پرت، نرمال‌بودن و کفایت داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد لایه‌های برداری در محیط GIS، تهیه گردید. به منظور میان‌یابی و تهیه لایه‌های رستری، از روش‌های زمین‌آماری، همانند کریجینگ و روش‌های قطعی؛ همانند روش وزن‌دهی معکوس (IDW)[1] استفاده گردید.

داده‌های توپوگرافی

مدل رقومی ارتفاع (DEM)[2] حاصل از سنجنده TERRA بر روی ماهواره ASTER با دقت مکانی ۳۰ متر دانلود و پس از تهیه نقشه حوضه آبخیز و دیگر نقشه‌های مربوط به پارامترهای توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفت (محدوده اراضی مناطق ذوالبین، نظرکهریزی، فتح و آتش بیگ).

داده های خاک: درصد شن، سیلت و رس (بافت)، pH، ماده آلی، عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کربن آلی، درصد مواد خنثی، درصد اشباع و هدایت الکتریکی مربوط به منطقه مورد مطالعه از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان هشترود اخذ گردید (اطلاعات حاصل نمونه‌برداری خاک از ۲۸ روستا). درون‌یابی لایه‌ها و تهیه لایه‌های رستری به روش‌های مختلف قطعی و زمین‌آماری انجام گردید. جهت ارزیابی روش‌های مختلف و انتخاب بهترین آن‌ها، از میانگین خطای اریب یا انحراف (MAD)، جذر میانگین خطا [3](RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد درصد خطا (MAPE) استفاده شد. معادلات این معیارها به قرار زیر می‌باشند.

$$(1)\quad MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n} |A_t - F_t|}{n}$$

$$(2)\quad MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} (A_t - F_t)2}{n}$$

$$(3)\quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (A_t - F_t)2}$$

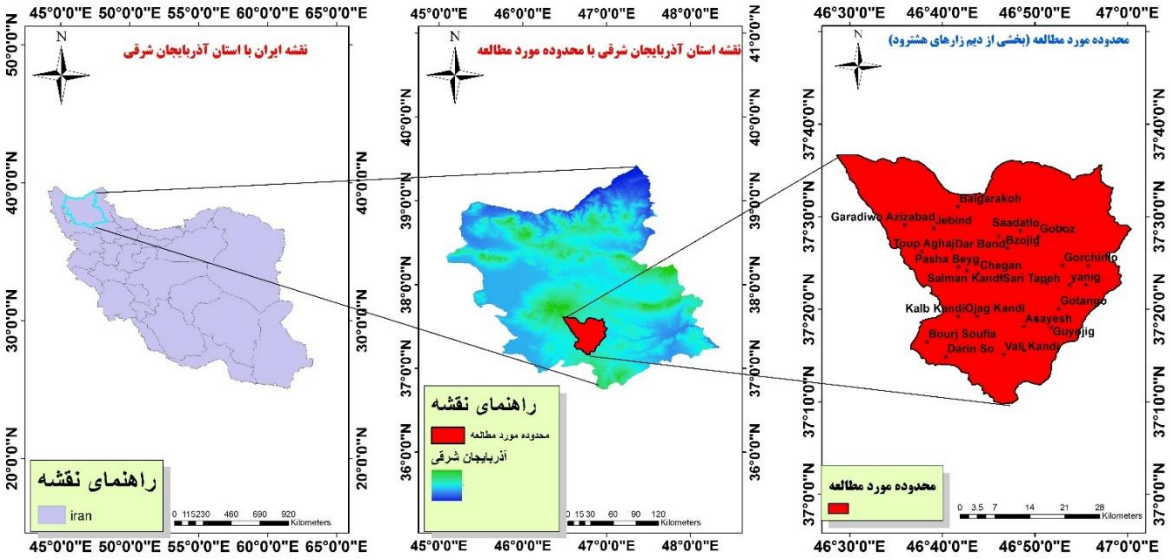
$$(4)\quad MAPE = \frac{100}{n} \times \sum_{n=1}^{n} \left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|$$

A_t: مقدیر تخمینی، F_t: مقادیر مشاهده‌ای، n: تعداد داده‌ها

مقادیر مناسب شاخص‌های RMSE، MAD و MAPE برابر صفر می‌باشد.

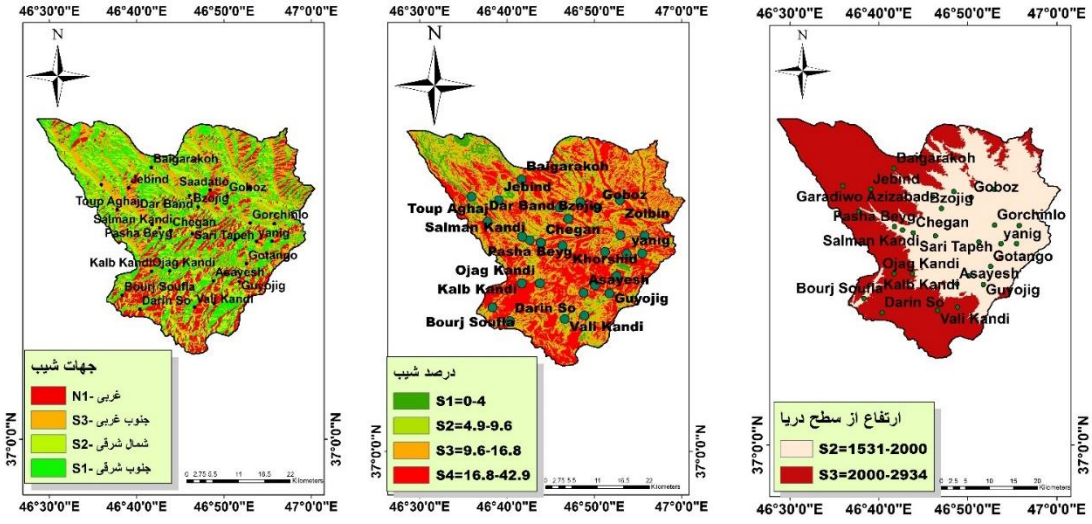
جهت انطباق نیازهای محیطی گیاه زراعی با خصوصیات اراضی، ابتدا نیازهای زراعی و بوم‌شناختی گیاه مورد نظر با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای تعیین و درجه‌بندی گردید (جدول ۱). به منظور وزن‌دهی معیارها از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. گردآوری اطلاعات با روش پرسشنامه‌ای انجام شد که توسط متخصصان علوم زراعی و کشاورزان پیشرو منطقه تکمیل گردید. پس از تحلیل و حصول وزن‌ها، لایه‌ها وزن‌دهی و با روی هم‌گذاری، تلفیق شدند. در پایان، طبقه‌بندی هر لایه بر اساس جدول نیازهای بوم‌شناختی (جدول ۱)، در چهار طبقه بسیار مستعد، مستعد، نیمه مستعد و غیر مستعد انجام پذیرفت (جدول ۲).

[1] - Inverse Distance Weighed
[2] - Digital Elevation Model
[3] - Root Mean Squared Error



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location map of the studied area



شکل ۲ - نقشه شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Slope map, slope direction and height above sea level of the agricultural land of the study area

جدول ۱- درجه‌بندی نیازهای بوم‌شناختی گیاه گندم دیم

Table 1. Ecological and climate requirements for rainfed wheat.

متغیر Factors	(S1)بسیار مستعد High Suitable (S1)	(S2)مستعد Suitable (S2)	(S3) Semi-نیمه مستعد Suitable(S3)	(N)غیر مستعد Non- (N) Suitable
میزان بارش سالانه (میلی‌متر) Annual rain (mm)	400 <	300 - 400	200 - 400	< 200
دمای متوسط سالانه (سانتی‌گراد) Average temperature (^{oC})	16 - 20	20 - 25 , 12 - 16	24 - 30 , 8 - 12	> 30 , < 8
دمای بیشینه سالانه (سانتی‌گراد) Maximum temperature (^{oC})	20 - 25	25 - 30	30 - 37	>37
دمای کمینه سالانه (سانتی‌گراد) Minimum temperature (^{oC})	10 - 15	7 - 10	4 - 7	< 4
اسیدیته (pH)	6.5 – 7.5	5.5 – , 7.5 – 8.5 6.5	5 – 5.5	< 5.5
بافت خاک (Soil Texture)	لومی (Loam)-لومی رسی (Clay Loam)- رسی (Clay)-لومی رسی سیلتی (Silty Clay Loam)	لومی شنی (Sandy Loam)- لومی رسی شنی (Sandy Clay Loam)-رسی شنی (Sandy Clay)- رسی سیلتی (Silty Clay)	شنی لومی (Sandy Loam) - لومی سیلتی (Silty Loam)	شنی (Sandy)
شیب (درصد) (Slope)	0 - 4	4 - 8	8 - 12	>12
جهات شیب (Aspect Slope)	جنوبی (South)- جنوب شرقی (South Eastern)- بدون جهت (Flat)	شرقی (Eastern)- شمال شرقی (North Eastern)	جنوب غربی (South western)-شمال غربی (North Western)	غربی (Western) و شمالی (North)
ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 3000	> 3000
نیتروژن (درصد) N (%)	0.1 ≤	0.07 – 0.1	0.05 – 0.07	< 0.05
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (ppm)	10 - 12	7 - 10 , 12 - 15	5 - 7 , 15 - 18	< 5 , < 18
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (ppm)	200 - 250	150 - , 250 -300 200	100 - 150 , > 300	< 100
هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)(ds/m)	≤ 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16
درصد کربن آلی organic carbon (%)	0.5 - 1	0.1 - 5 , 1 – 1.5	0 – 2.5 , 1.25	0.2 < , >2
درصد مواد خنثی‌شونده Neutralizing materials (%)	10 - 20	5 - 10 , 20 - 30	2 - 5 , 30 - 35	2 < , > 35
درصد اشباع Saturation (%)	40 - 50	30 - 40 , 50 - 60	20 - 30 , 60 - 70	20 < , > 70

نورمحمدی و همکاران (۲۰۰۱)، ایوبی و همکاران (۲۰۰۷)، کمالی و همکاران (۲۰۱۰)، ملکوتی و غیبی (۱۹۹۷)، مخدوم (۲۰۱۱)، فیضی‌اصل (۲۰۰۸)، مارتین و ساها(۲۰۰۹)، گول و همکاران (۲۰۰۵)، چوادهوری و ساها (۲۰۰۳)، کالوگیرو (۲۰۰۲)، سایز و همکاران (۱۹۹۱)، کاظمی (۲۰۱۲)

نتایج و بحث

ارتفاع از سطح دریا: شکل زمین و ارتفاع آن از عوامل موثر بر عملکرد گیاهان زراعی است. ارتفاع نقش مهمی در تنوع اقلیم و کشت محصول دارد. ارتفاع از یک‌سو با تأثیرگذاری در نسبت بارش و از سوی دیگر با تأثیر مستقیم بر دما نقش مهمی در توسعه کشت یا ایجاد محدودیت برای کشت ایفا می‌کند (Feizi Zadeh *et al.*, 2012). عموماً با افزایش ارتفاع تا حد معینی، بر بارندگی افزوده می‌گردد و پس از آن مقدار بارندگی کاهش می‌یابد (and Bani Aghil Arokhi *et al*, 2009 *et al*, 2016). نتیجه مطالعه نشان داد، که از نظر ارتفاع از سطح دریا، از مجموع ۱۳۰۸۱۹ هکتار از اراضی مورد بررسی، ۱۱۷۴۸۳ هکتار در کلاس S_2 (مستعد) (۹۰ درصد) و ۱۳۳۳۶ هکتار در کلاس S_3 (نیمه مستعد) (۱۰ درصد) از نظر نیازمندی‌های گیاهان قرار گرفتند. با بررسی کلی می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۱۰ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه به عنوان مناطق نیمه‌مستعد و حدود ۹۰ درصد از مناطق مورد مطالعه در منطقه مستعد از نظر کشاورزی قرار گرفت (شکل ۲). رسولی و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای به تعیین مناطق مستعد جهت زراعت گندم در اردبیل با استفاده از GIS پرداختند و به این نتیجه رسیده‌اند، که سطوح ارتفاعی ۰ تا ۱۰۰۰ متر برای کشت گندم بسیار مناسب و سطوح ارتفاعی بیشتر از ۲۵۰۰ متر برای زراعت گندم نامناسب می‌باشد (Rasoli *et al.*, 2005). احتمالاً در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر بدلیل تغییرات بیشتر و مداوم اقلیمی نظیر سرما سبب یخزدگی محصول و به تبع آن گیاه نمی‌تواند رشد مورفولوژیکی خود را کامل کند، لذا یا گیاه کاملاً از بین رفته یا دارای عملکرد بسیار پایین خواهد بود. با بررسی نقشه بارش، قابل مشاهده است که روستاهایی مانند ولی کندی، برج سفلی، درین سو و یانیق که در منطقه جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند، بدلیل قرار گرفتن در ارتفاع بالاتر، دارای میزان بارش بیشتر از حد متوسط (۳۵۵ میلی‌متر) هستند (شکل ۳).

شیب: یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی که تأثیر زیادی بر نوع کشت محصولات کشاورزی دارد، شیب زمین است. شیب‌های کمتر برای محصولات دیم مناسب‌تر بوده، زیرا شیب کم سبب می‌گردد آب‌های ناشی از بارندگی در زمین نفوذ کرده و ذخیره‌های رطوبتی خاک افزایش یابد (Arokhi *et al.*, 2009). از سوی دیگر دامنه‌ی تغییرات حرارتی در شیب کم، کمتر از شیب زیاد بوده و این نیز یک عامل مثبت برای رشد گیاه محسوب می‌گردد. شیب زیاد اثر منفی بر رشد و نمو گیاه دارد، چرا که با شروع بارندگی نه تنها آب کمی در زمین نفوذ پیدا می‌کند، بلکه آب‌های جاری مواد غذایی زمین را شسته و از منطقه ریشه خارج می‌کنند. معمولاً سطح زیادی از اراضی دیم در دامنه کوهپایه‌ها با شیب ۲ تا ۸ درصد قرار گرفته است (Arokhi *et al.*, 2009). نتیجه بررسی‌های شالو و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که منطقه مورد مطالعه از نظر درصد شیب بین کمتر از ۳/۴ درصد تا بیشتر از ۴۰ درصد متغیر بوده است، البته در بررسی مذکور، بیشتر مناطق، کمتر یا برابر با ۳/۴ درصد شیب داشتند که از این نظر، اکثر مناطق مذکور در طبقه بسیار مستعد قرار گرفتند (Shaloo *et al.*, 2022). با بررسی و مقایسه نتایج با نیازمندی‌های گیاهان به این نتیجه می‌رسیم که ۴/۵ درصد از منطقه مورد مطالعه در منطقه بسیار مستعد، ۱۷/۵ درصد در منطقه مستعد و بقیه مناطق مورد مطالعه به عنوان مناطق نیمه‌مستعد و غیر مستعد از نظر شیب شناسایی شدند (شکل ۲).

جهت شیب: کاربرد جهات شیب در کشاورزی در تعیین دامنه‌های جنوبی و شمالی به منظور کشت محصولات خاص می‌باشد. در عرض‌های میانی نیم کره شمالی، دامنه‌های جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی، گرم‌ترین دامنه‌ها از نظر دریافت انرژی بیشتر خورشیدی هستند. از آنجایی که شیب‌های جنوبی و شرقی بهترین شیب برای رویش گیاه هستند،

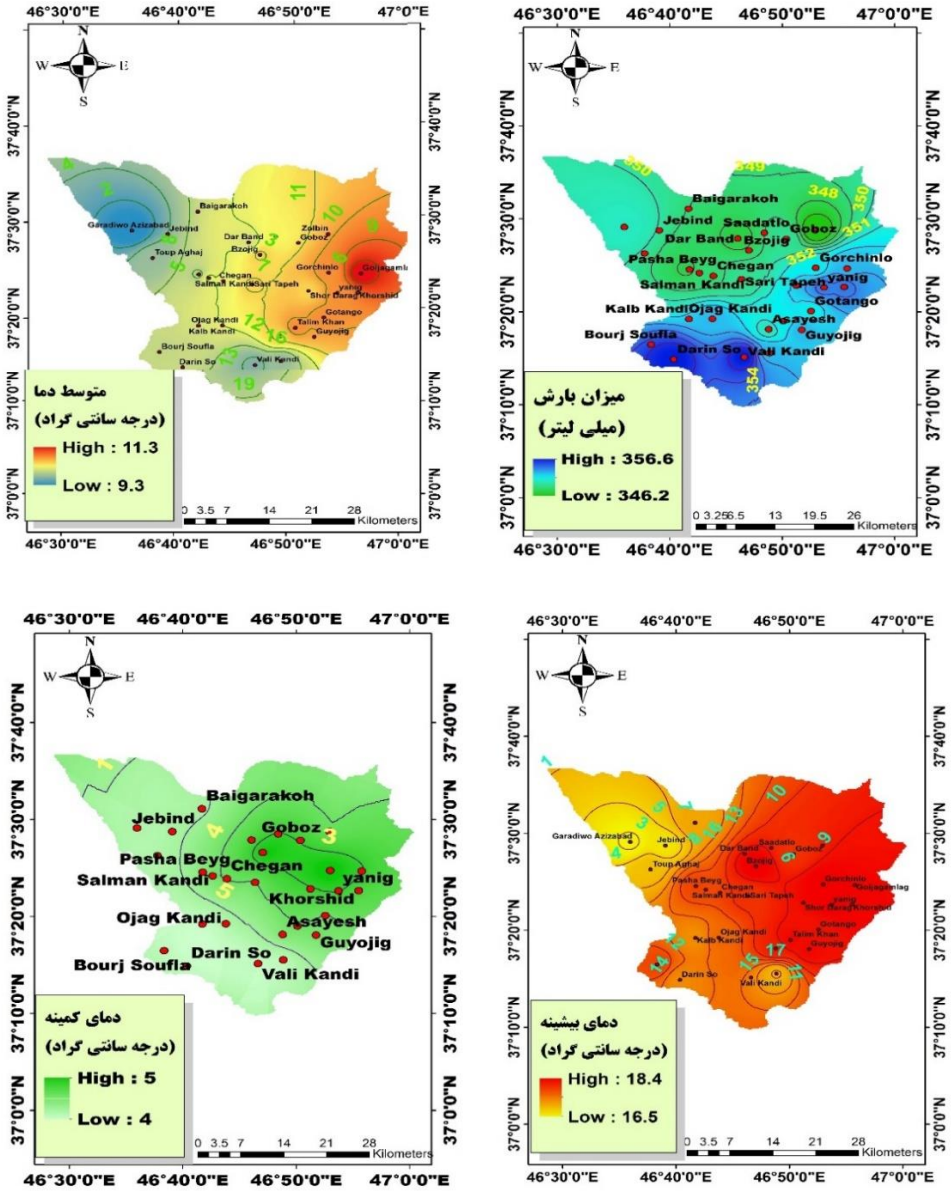
بنابراین در فرآیند پهنه‌بندی رتبه برتر به این دو جهت اختصاص می‌یابد (Bidadi, 2012). بطوری‌که از روستاهای واقع شده در شیب‌های جنوبی و شرقی می‌توان به روستاهای خورشید، یانیق و سعادت‌لو اشاره کرد که دارای عملکرد بلند مدت بالاتری از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار داشته و تفاوت قابل توجهی نسبت به متوسط عملکرد کل منطقه دارند (جدول ۶). بررسی فوق نشان داد که ۲۴ درصد از اراضی در منطقه بسیار مستعد (S_1) از نظر جهات شیب، ۲۱ درصد از اراضی در منطقه مستعد (S_2) از لحاظ جهات شیب و ۵۵ درصد از اراضی در منطقه نیمه‌مستعد از لحاظ جهات شیب برای عملیات کشاورزی قرار گرفتند (شکل ۲). نورخورشید و همچنین جهات جغرافیایی سبب جلوگیری از سرما و افزایش کیفیت محصولات دیم و نیز سایر محصولات زراعی می‌گردد.

میزان بارش در جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بیشتر بوده که شامل روستاهای سعادت‌لو و یانیق و غیره می‌باشد که متوسط بارش آن‌ها در حدود ۳۵۵ میلی‌متر بوده که این میزان بارندگی در مناطق دیم قابل توجه می‌باشد. بطوری‌که اگر از نظر میزان عملکرد دانه، این روستاها را با مناطقی که دارای کمترین میزان بارش می‌باشند، مقایسه کنیم، می‌بینیم که این مناطق حدود ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه بلند مدت داشته ولی روستای پاشابیگ که جزء منطقه‌ای است که دارای کم‌ترین میزان بارندگی (حدود ۳۴۷ میلی‌متر) است، حدود ۵۳۳ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه دارد. لذا تفاوت حدود ۸ میلی‌متر بارندگی بین منطقه پر باران و کم باران سبب شده است که منطقه پر باران حدود ۳۵ درصد عملکرد دانه بالاتر داشته باشد که در مناطق دیم‌خیز کشور این تفاوت از نظر عملکرد دانه دارای اهمیت بیشتر است (شکل ۳ و جدول ۶). از نظر دمای بیشینه، بیشترین دما در قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه تا دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد که شامل روستاهای اجاق‌کندی و آسایش ثبت شد. از نظر متوسط دما، کم‌ترین دما مربوط به منطقه شمال غربی منطقه مورد مطالعه شامل روستاهای عزیزآباد، توپ‌آغاج و جیبیند بود و بیش‌ترین دما مربوط به منطقه جنوب منطقه مورد مطالعه که روستایی مثل ولی‌کندی می‌باشد. از نظر حداقل دما قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه داری بیشترین دما که شامل روستاهای ولی‌کندی، اجاق‌کندی، سلمان‌کندی و غیره بوده که حداکثر دما در این منطقه تا ۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد و کمترین دما از نظر حداقل دما مربوط به شمال غربی منطقه مورد مطالعه بود.

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده جهت تهیه نقشه متغیرهای اقلیمی

Table 2. Results of geostatistic methods for climatic variables mapping.

RMSE	MSE	MAPE	MAD	مدل/توان Power/Model	متغیر Variable
1.600	2.561	0.23	0.80	کریجینگ مدل گوسی (Kriging-Gossi model)	بارندگی rainfall
0.106	0.011	0.56	0.06	وزن‌دهی فاصله معکوس توان ۳ Inverse Distance Weighed-Power 3	دمای متوسط Average temperature
0.194	0.037	2.49	0.10	کریجینگ مدل نمایی (Kriging- Exponential model)	دمای کمینه Minimum temperature
0.161	0.026	0.44	0.08	وزن‌دهی فاصله معکوس توان ۳ Inverse Distance Weighed-Power 3	دمای بیشینه Maximum temperature



شکل ۳ – نقشه برخی از متغیرهای هواشناسی (میزان بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و متوسط دما) در محدوده اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Map of some meteorological variables (Rainfall, minimum temperature, maximum temperature and average temperature) in the study area

بارندگی: با توجه به اینکه عوامل اقلیمی تأثیر زیادی بر رشد محصولات زراعی دارد، لذا بارش مهم‌ترین متغیر آب و هوایی در کاشت محصولات دیم محسوب می‌گردد (Rastegar, 1992). بر اساس نقشه (شکل ۳)، میزان بارش منطقه بین ۳۴۷ الی ۳۵۶ میلی‌متر متغیر است. نتایج نشان داد که روش کریجینگ مدل گوسی، برآورد بهتری از مقدار بارش در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (جدول ۲). با بررسی شکل مذکور مشخص می‌گردد که میزان بارش اراضی منطقه مورد مطالعه بر اساس نیازمندی‌های گیاهان در طبقه مستعد (S_2) قرار می‌گیرند. به‌عبارتی کل مساحت منطقه مورد مطالعه که ۱۳۰۸۱۹ هکتار می‌باشد از نظر استعداد کشاورزی در طبقه نواحی مستعد قرار می‌گیرد. به طور کلی حداقل

مقدار بارندگی برای کشت گندم زمستانه دیم، حدود ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر گزارش کردند، در مناطقی که بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد آبیاری ضروری است (Sys *et al*, 1991). در زراعت اراضی دیم علاوه بر این که مجموع بارندگی سالیانه دارای اهمیت است؛ بلکه متغیر دیگری بنام توزیع بارندگی در دوره رشد مهم بوده، بطوری‌که وجود رطوبت کافی در مرحله سبزینگی برای رشد و استقرار گیاه بسیار ضروری می‌باشد (Mehrban *et al*, 2005).

دمای متوسط ماهیانه: دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی برای رشد گندم است. نتایج بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد، کشت گندم در مناطقی که میانگین دمای سالانه‌ی آن‌ها ۱۵ درجه سانتی-گراد است، مناسب است (Abdollahi *et al*, 2013). کمالی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی جهت پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم به این نتیجه رسیدند که توزیع جغرافیایی وقوع درجه حرارت‌های مناسب مرحله جوانه‌زنی به صورت غیر یکنواخت بوده و شامل چهار کلاس متفاوت می‌باشد (Kamali *et al*, 2008). با توجه به معیار ارزیابی، از بین دو روش کریجینگ و IDW، روش وزن‌دهی فاصله معکوس به توان ۳ بدلیل داشتن خطای کمتر جهت ترسیم نقشه‌ی دمای متوسط ماهانه انتخاب گردید (جدول ۲). نقشه دمای میانگین ماهانه منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ آمده است. بر اساس این نقشه محدوده میانگین دمای ماهانه در دامنه ۹ الی ۱۲ درجه سانتی‌گراد واقع شده است. بطوری‌که بر اساس نقشه-ی مذکور کل مساحت اراضی منطقه مورد نظر که حدوداً ۱۳۰۸۱۹ هکتار می‌باشد بر اساس نیازمندی-های گیاهان در کلاس (S_3) یا نیمه‌مستعد قرار می-گیرد.

دمای بیشینه: در مرحله‌ی گلدهی گندم چنانچه دمای بیشینه روزانه از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر برود، سبب ناباروری اندام‌های نر در گندم می‌شود که در نهایت افت عملکرد محصول را در پی دارد (Kamali, 1996 & Bazgir, 1999). با توجه به معیار ارزیابی، از بین دو روش کریجینگ و IDW، روش وزن‌دهی فاصله معکوس به توان ۳ بدلیل داشتن خطای کمتر جهت ترسیم نقشه‌ی دمای بیشینه انتخاب گردید (جدول ۲). نقشه دمای بیشینه منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ آمده است. بر اساس این نقشه محدوده میانگین دمای ماهانه در دامنه ۱۷ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد واقع شده است. بطوری‌که بر اساس نقشه‌ی مذکور کل مساحت اراضی منطقه مورد نظر که حدوداً ۱۳۰۸۱۹ هکتار می‌باشد بر اساس نیازمندی‌های گیاهان در کلاس (S_1) یا بسیار مستعد قرار می‌گیرد.

دمای کمینه: دما در مراحل آغازین رشد گیاه، به ویژه در دوره‌ی کاشت تا سبز شدن، تأثیر قابل توجهی بر گیاهان سبز دارد (Ahmadi *et al*, 2016). دلی و همکاران (۱۹۹۶) دمای مناسب برای سبز شدن گندم را ۴ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند (Delli *et al*, 1996). با توجه به معیار ارزیابی، از بین دو روش کریجینگ و IDW، روش کریجینگ مدل نمایی بدلیل داشتن خطای کمتر جهت ترسیم نقشه‌ی دمای کمینه انتخاب گردید (جدول ۲). نقشه دمای کمینه منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ آمده است. بر اساس این نقشه محدوده میانگین دمای کمینه در دامنه ۴ الی ۵ درجه سانتی‌گراد واقع شده است. بطوری‌که بر اساس نقشه‌ی مذکور کل مساحت اراضی منطقه مورد نظر که حدوداً ۱۳۰۸۱۹ هکتار می‌باشد بر اساس نیازمندی‌های گیاهان در کلاس (S_3) یا نیمه‌مستعد قرار می‌گیرد.

درصد نیتروژن خاک: روش وزن‌دهی فاصله‌ی معکوس با توان یک، مناسب‌ترین مدل با کم‌ترین خطا جهت ترسم نقشه‌ای این عنصر به کار گرفته شد.

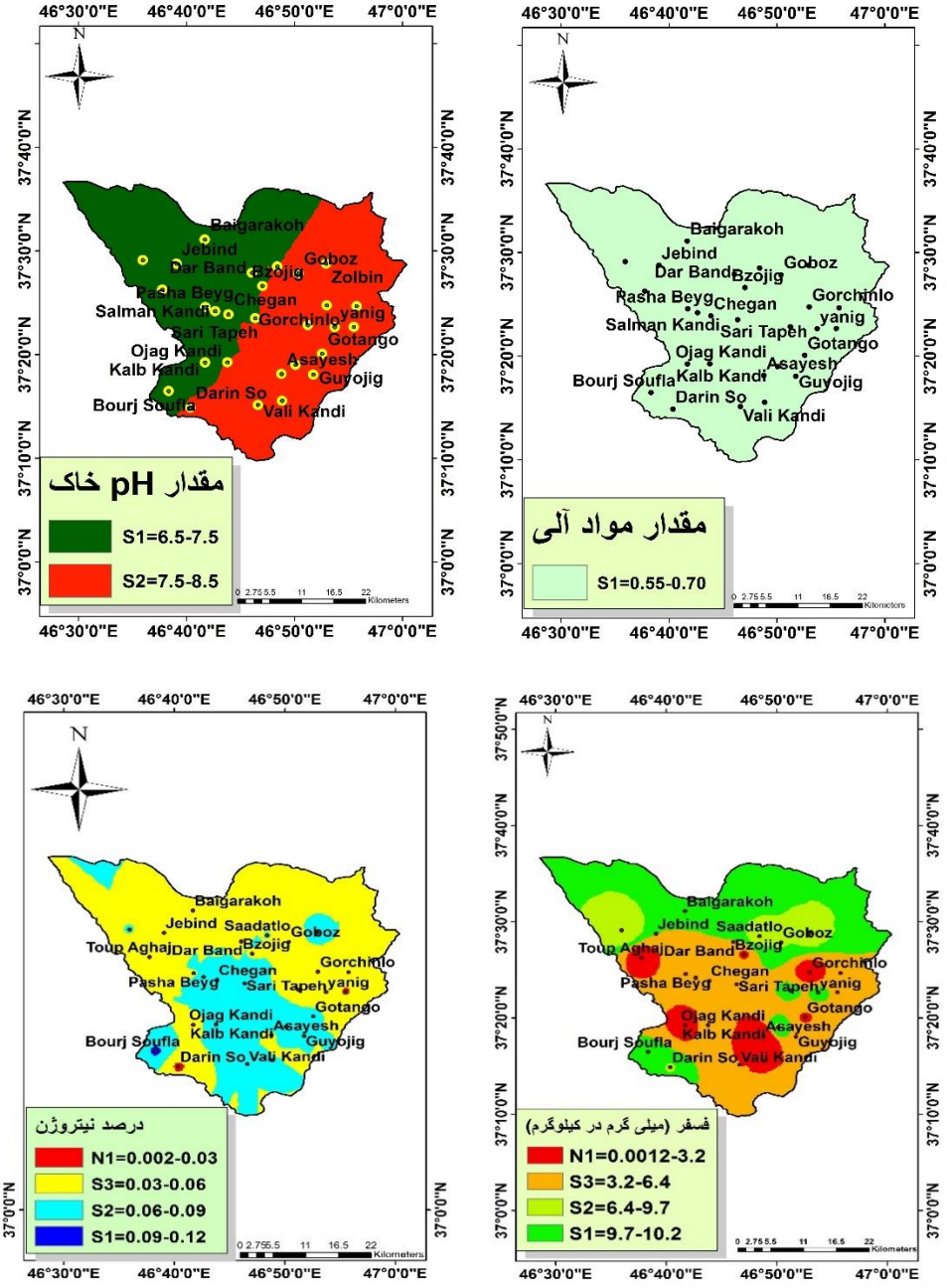
با مراجعه به نقشه (شکل ۴) میزان درصد نیتروژن در اراضی مورد مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ۱۳۰۸۱۹ هکتار از اراضی مورد مطالعه، ۰/۱۷ درصد از اراضی در منطقه بسیار مستعد (S_1)، ۳۲ درصد از اراضی در منطقه مستعد (S_2)، ۶۸ درصد از اراضی در منطقه نیمه‌مستعد (S_3) و ۰/۲۱ درصد از اراضی در منطقه غیر مستعد (N) از لحاظ درصد نیتروژن قرار گرفتند. استفاده از نیتروژن سبب می‌گردد تا گیاه مرحله رشد رویشی را با سرعت و قدرت بیشتری سپری کند به طوری‌که در گیاه پتانسیل بیشتری برای مقابله با تنش خشکی ایجاد می‌گردد (Moradi *et al.*, 2020).

میزان فسفر خاک: فسفر حساسیت زیادی نسبت به pH خاک داشته بطوری‌که در pH بالاتر از ۷، ترکیبات نامحلول فسفات‌های کلسیم و منیزیم ایجاد می‌شود. در pH کمتر از ۵/۵ یون‌های آهن و آلومینیوم با فسفات ترکیب شده و به صورت رسوبات نامحلول در می‌آیند. به علت عدم پویایی فسفر در خاک، پیش‌بینی نیاز گیاهان به کود فسفاتی، جهت عملکردی معین، بسیار دشوار خواهد بود (Malakoti & Gheibi, 1997). از مجموع ۱۳۰۸۱۹ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه ۳۷ درصد از ارضی مورد مطالعه در منطقه بسیار مستعد (S_1)، ۱۱ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه در منطقه مستعد (S_2)، ۴۳ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه در منطقه نیمه‌مستعد (S_3) و ۹ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه در منطقه غیر مستعد (N) از نظر میزان فسفر قابل استفاده واقع شده‌اند (شکل ۴).

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده جهت تهیه نقشه متغیرهای خاک

Table 3. Results of geostatistic methods for Soil variables mapping.

متغیر	مدل/توان	MAD	MAPE	MSE	RMSE
نیتروژن (درصد) N (%)	وزن‌دهی فاصله معکوس توان ۱ Inverse Distance Weighed-Power 1	0.01	9.39	0.000	0.015
میزان فسفر P (ppm)	وزن‌دهی فاصله معکوس توان ۲ Inverse Distance Weighed-Power 2	1.90	146.55	12.565	3.545
pH اسیدیته	کریجینگ مدل کروی Kriging-Spherical model	0.18	2.32	0.118	0.344
کربن آلی (درصد) organic carbon (%)	کریجینگ مدل گوسی Kriging-Gossi model	0.15	14.30	0.072	0.268



شکل ۴ – نقشه پهنه‌بندی برخی از متغیرهای خاک در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Map of some meteorological variables in the Soil of agricultural lands under study

کربن آلی: بر اساس مقادیر محاسبه شده RMSE روش کریجینگ با مدل گوسی مناسب‌ترین روش میان‌یابی شناخته شد (جدول ۳). مقدار کربن آلی، اراضی مورد مطالعه در محدوده ۰/۷ – ۰/۵۵ درصد قرار گرفت که از نظر نیازمندی‌های گیاهان، این محدوده از کربن آلی، اراضی مورد مطالعه را در منطقه بسیار مستعد (S_1) قرار می‌دهد (شکل۴). یکی از مهم‌ترین عوامل خاکدانه‌سازی، پایداری خاک‌دانه و در نتیجه بهبود ساختمان خاک از نظر ماده آلی یا کربن آلی می‌باشد، این در حالی است که در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، خاک‌ها معمولاً از نظر ماده آلی فقیر بوده و دارای ویژگی‌های نامطلوب و به نسبت ضعیفی هستند. بنابراین افزایش سطح ماده

آلی در چنین مناطقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Khazaei *et al.*, 2003).

میزان pH خاک: با توجه به اهمیت آگاهی از نحوه‌ی پراکنش مکانی شوری و اسیدیته در اعماق مختلف خاک، بر اساس همبستگی میان آن‌ها با استفاده از مطالعات موجود در یک عمق می‌توان اطلاعات موجود در دیگر اعماق را به دست آورد (Ahmadeli *et al.*, 2008). با توجه به شکل، اراضی مورد مطالعه از نظر pH، محدوده ۸/۵ – ۶/۵ قرار گرفته است. بطوری‌که قسمت جنوب غربی تا شمال غربی منطقه مورد مطالعه در محدوده pH ۷/۵ – ۶/۵ و قسمت شمال شرقی تا جنوب غربی منطقه مورد مطالعه در محدوده pH ۸/۵ – ۷/۵ قرار گرفت. لذا pH خاک منطقه مورد مطالعه از شمال شرقی تا قسمتی از جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بالا است. بررسی میزان pH خاک که توسط شالو و همکاران (۲۰۲۲) در منطقه شمالی هند جهت تناسب اراضی غلات انجام شد، نتایج نشان داد که pH خاک در منطقه مورد مطالعه بین ۷ و ۸/۳ متغیر بود که حدود ۵۵/۸ درصد از آن قلیایی و حدود ۴۳/۸ از نظر pH خاک نسبتاً قلیایی تشخیص داده شد (Shaloo *et al.*, 2022). با بررسی شکل نقشه میزان pH خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ۱۳۰۸۱۹ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه، ۴۸ درصد در منطقه بسیار مستعد (S_1) و ۵۲ درصد از اراضی مورد مطالعه در منطقه مستعد (S_2) از نظر pH خاک واقع شده است (شکل ۴). با توجه به محصولات غالب کشت شده در این منطقه که اکثراً غلات، بویژه گندم می‌باشد و با مراجعه به نتایج بررسی‌های بدست آمده میزان pH خاک این مناطق از نظر اسیدیته خاک ۱۰۰٪ برای غلات مناسب بوده و هیچ مشکلی از این نظر برای افزایش تولید گندم نخواهیم داشت. شهبازی و همکاران (۲۰۱۳) عنوان کردند که بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور pH بین ۶/۵-۸/۵ دارند که سهم آن دسته از خاک‌هایی که اسیدیته آن‌ها بین ۷/۵-۸/۵ می‌باشد بسیار بیشتر بوده و حدود ۸۳ درصد می‌باشد. مطالعه روی تغییرات مکانی و زمانی متغیرهای خاک نظیر اسیدیته در تعیین الگوی کشت مناسب منطقه، پیش‌بینی عملکرد محصولات و مدیریت درست مزرعه بسیار مؤثر می‌باشد (Shahbazi *et al.*, 2013).

نتایج حاصل از مقایسات زوجی عوامل موثر بر کشت گندم در جداول ۴ نشان داده شده است. نتایج مشخص کرد که بین عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاک مؤثر بر کشت گندم در منطقه مورد مطالعه، نقش عوامل اقلیمی تأثیر بیشتری دارد؛ بطوری‌که وزن مجموع عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت گندم معادل ۰/۶۹۳، وزن مجموع عوامل خاک معادل ۰/۲۲ و وزن مجموع عوامل توپوگرافی معادل ۰/۰۸۷تعیین گردید. از میان عوامل اقلیمی مورد بررسی بارش (با ضریب وزنی ۰/۶۲۷) در گندم دارای اهمیت بیشتر نسبت به سایر عوامل شناخته شد و از میان دماهای محاسبه شده، دمای متوسط (با ضریب وزنی ۰/۲۱۲) اهمیت بالاتری داشت. در میان عوامل توپوگرافی نیز شیب (با ضریب وزنی ۰/۲۱۸) بیشترین ضریب را نسبت به جهات شیب و ارتفاع از سطح دریا داشت. همچنین نتایج نشان داد که از بین عوامل خاک، عنصر نیتروژن با ضریب وزنی ۰/۳۷ بیشترین و درصد اشباع خاک با ضریب وزنی ۰/۰۳۴ کمترین ضریب نسبت به سایر عوامل خاک دارد. ضریب ناسازگاری حاصل از انجام فرآیند سلسله مراتبی ۰/۰۶ بود. آهن‌ساز و همکاران (۲۰۱۲) وزن عوامل اقلیمی برای کشت گندم دیم در حوزه گرگان‌رود را معادل ۰/۹۵ و وزن عوامل توپوگرافی (شیب و جهت شیب) را معادل ۰/۰۵ گزارش دادند. در مطالعه تاپا و مورایاما (۲۰۰۸) در تایلند عامل خاک، بیشترین ضریب را نسبت به سایر عوامل مورد بررسی کسب کرد (Ahansaz *et al.*, 2012).

جدول ۴ - ارزش وزنی و اهمیت معیارها و زیر معیارهای مربوط به عوامل مؤثر در کشت گندم دیم منطقه مورد مطالعه

Table 3. The weight value and importance of criteria and sub-criteria for rainfed Wheat cropping in agricultural lands under study

اهمیت Important	وزن Weight	معیار / زیر معیار Criteria/ Sub-criteria	اهمیت Important	وزن Weight	معیار / زیر معیار Criteria/ Sub-criteria
2	0.22	پ – خاک (SOIL)	1	0.693	الف – اقلیم (Climate)
2	0.221	کربن آلی (organic carbon)	1	0.627	بارش (Rain)
1	0.37	نیتروژن (N)	3	0.1	دمای کمینه (Minimum temperature)
3	0.159	فسفر (P)	4	0.061	دمای بیشینه (Maximum temperature)
5	0.059	پتاسیم (K)	2	0.212	دمای متوسط (Average temperature)
8	0.034	اشباع (Saturation)		0.087	ب – توپوگرافی (Topography)
7	0.035	هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)	3	0.218	شیب (Slope)
4	0.066	اسیدیته (pH)	2	0.151	جهات شیب (Aspect slope)
6	0.056	بافت (Texture)	3	0.63	ارتفاع از سطح دریا (Elevation)
			1	0.06	ضریب ناسازگاری (IR)

استعداد سنجی اراضی جهت کشت گندم دیم

نتایج نشان داد که با انطباق لایه محیطی مؤثر در فرآیند کشت گندم دیم در محیط GIS، امکان شناخت مناطق مستعد کشت برای این گیاه زراعی در منطقه مورد مطالعه (بخشی از دیم‌زارهای شهرستان هشترود) وجود دارد. نتایج حاصل از هم-پوشانی وزنی لایه‌ها جهت پهنه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه با بررسی عوامل اقلیمی، خاک و توپوگرافی در چهار طبقه در شکل ۵ و جدول ۶ مشخص گردیده است.

پهنه بسیار مستعد: این مناطق به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی مناسب در طول دوره‌ی رشد گندم دارای عملکرد بالایی بوده و یا پتانسیل چنین عملکردی را در صورت اجرای مدیریت مطلوب زراعی دارند. بطوری‌که میانگین عملکرد دانه پنج ساله (۱۴۰۲-۱۳۹۸) روستاهای واقع در این منطقه بالاتر از ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است که روستای یانیق با عمکرد دانه ۸۰۶ کیلوگرم در هکتار جزء روستای با بیشترین عملکرد نسبت به میانگین کل از نظر عملکرد دانه می‌باشد (جدول ۶). از کل اراضی منطقه مورد مطالعه، مساحتی حدود ۲۸۷۰۰ هکتار (۲۲ درصد) از کل اراضی منطقه مورد مطالعه به این پهنه اختصاص یافته است (جدول ۵). بارش مناسب بالاتر از ۳۵۰ میلی‌متر، مقدار ماده آلی مناسب، حاصل‌خیزی مطلوب و همچنین شیب و جهات شیب مناسب، از جمله عواملی هستند که سبب قرار گرفتن این مناطق در این طبقه گردیده است. در این پهنه به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب اقلیمی، توپوگرافی و متغیرهای خاک در طول دوره رشد گندم، عملکرد بالاتری قابل انتظار می‌باشد. البته این شرایط محیطی علاوه بر منطقه مورد مطالعه، در نقاط دیگر شهرستان هشترود و حومه وجود دارد که همین امر سبب گردیده این شهرستان به عنوان یکی از قطب‌های مهم تولید گندم در در سطح استان

مطرح باشد. روستاهای برج سفلی، تلیم‌خان، آسایش، یانیق، جبیند و توپ‌آغاج در این پهنه واقع شده‌اند (جدول ۶ و شکل ۵). با مراجعه به شکل ۳ متوجه می‌شویم اکثر روستاهای مذکور دارای بارندگی بیشتر از میانگین یعنی دارای حداکثر بارش (بیشتر از ۳۵۴ میلی‌متر) می‌باشند. فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی قابلیت کشت گندم دیم در سطح استان آذربایجان‌شرقی با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS به این نتیجه رسیدند که اراضی بسیار مناسب مناطق مورد مطالعه بدلیل دارا بودن شرایط اقلیمی مناسب در طول دوره‌ی رشد گندم و دارا بودن شرایط خوب زمینی (زهکشی خوب، مواد آلی مناسب، اسیدیته مناسب، بافت مناسب، میزان مناسب عناصر غذایی ضروری شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ...) و ارتفاع (بین ۱۹۰۰-۱۷۰۰ متر از سطح دریا) دارای عملکرد بالایی هستند. این ناحیه تنها یک درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده که شامل منطقه مرکزی هشترود، غرب میانه و شرق بستان آباد می‌باشد و از قابلیت بالایی برای کشت گندم دیم برخوردار می‌باشند (Feizi Zadeh *et al.*, 2012).

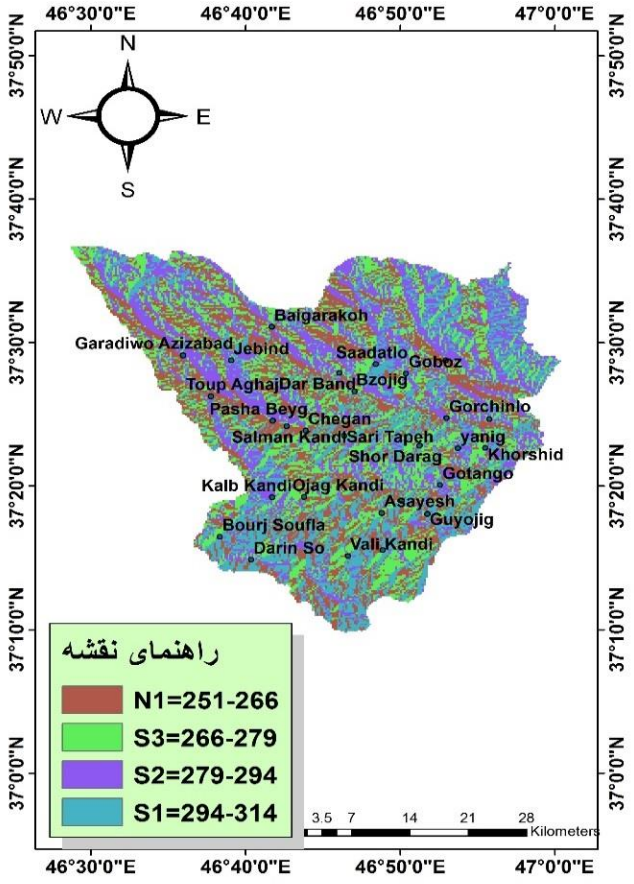
پهنه مستعد: این اراضی شرایط مناسبی را برای کشت گندم دارند و عملکرد محصول در این مناطق هم نسبتاً بالاست. این مناطق هم مانند مناطق بسیار مستعد بدلیل شرایط اقلیمی و ارتفاع و شیب مناسب جزء مناطق مستعد برای کشت گندم دیم می‌باشند. این پهنه ۳۳۳۷۳ هکتار (۲۶ درصد) از مساحت اراضی زراعی منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۵). میزان بارش در این پهنه حدود ۳۵۰-۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. از لحاظ میزان عناصر غذایی همچون درصد نیتروژن و میزان فسفر به ترتیب حدود ۰/۱ و ۱۵-۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده همچنین مقدار عنصر پتاسیم در این پهنه مناسب بوده و حدود ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمده است. روستاهای بایقره‌کوه، قورچینلو، بزوجیق، درین‌سو، کلب‌کندی، قوتانقو، قویجاق‌املاق، دربند، سعادتلو، قوبوز و قره‌دیو عزیز آباد در این پهنه قرار می‌گیرند (جدول ۶ و شکل ۵). وفا و همکاران (۲۰۱۸) با پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم آبی با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل سلسله مراتبی در استان ایلام به این نتیجه رسیدند که در این اراضی با مساحتی حدود ۶۳۱۴۶۲/۸ هکتار، شرایط مناسبی برای کشت گندم برخوردار بوده که شامل بخش گسترده‌ای از شهرستان دهلران، مهران و بخش‌هایی از شهرستان‌های ایلام، شیروان و چرداول می‌باشد. که از خصوصیات این منطقه دمای مناسب گلدهی (بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد) نسبت به مناطق بسیار مناسب دارای ارزش پائین‌تری بوده و همچنین در مناطق شمالی از مطلوبیت ارتفاع، شیب و GDD آن‌ها کاهش یافته است (Vafa *et al.*, 2018). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی تناسب اراضی برای انتخاب گندم زمستانه در مناطق مناسب جهت کشت آن در پکن چین، با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند (Wang *et al.*, 2011).

پهنه نیمه‌مستعد: این پهنه دارای پتانسیل پایینی برای کشت گندم بوده و قسمت‌های وسیعی از اراضی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌گردد (شکل ۵). بطوری‌که این منطقه حدود ۳۵۴۴۷ هکتار مساحت داشته و ۲۷ درصد از مناطق مورد مطالعه جزء این منطقه به حساب می‌آید. اکثر مطالعات نشان می‌دهد که از خصوصیات اولیه مناطق نیمه‌مستعد برای کشت گندم دیم، بارندگی کمتر می‌باشد گرچه این مناطق دارای بارندگی کمتر در مقایسه با پهنه بسیار مستعد و مستعد می‌باشد ولی نسبت به رشد گیاهی مثل جو دیم که نیاز به بارندگی کمتر نسبت به گندم دیم داشته، مناسب می‌باشد ولی برای رشد گندم دیم که در برابر خشکی مقاومت کمتری دارد این میزان بارندگی کمتر می‌باشد.

جدول ۵ – مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی شده جهت کشت گندم دیم در منطقه مورد مطالعه

Table 5. Area of classified zones for rainfed Wheat production in agricultural lands under study

پهنه (Zone)	مساحت (هکتار) Area (ha)	نسبت مساحت پهنه به مساحت کل اراضی کشاورزی (درصد) Ratio of zone area to total agricultural land area (percentage)
مناطق بسیار مستعد (S1) (High suitable)	28700	22
مناطق مستعد (S2) (Suitable)	33373	26
مناطق نیمه مستعد (S3) (Semi- suitable)	35447	27
مناطق غیر مستعد (NS) (Non- suitable)	33299	25



شکل ۵ - نقشه استعداد سنجی اراضی کشاورزی منطقه‌ی مورد مطالعه جهت کشت گندم دیم

Figure 5. Agricultural lands suitability map for rainfed Wheat cultivation area lands under study

جدول ۶ – طبقه‌بندی استعداد اراضی کشاورزی و میزان عملکرد دانه (متوسط پنج ساله) (۱۴۰۲-۱۳۹۸) روستاهای مورد مطالعه جهت کشت گندم دیم

Table 6. Classification of the potential of agricultural lands and grain yield (average of five years) (1398-1402) of the studied villages for dry wheat cultivation

Village	Classification of areas	Yield (Kg/ha)	Village	Classification of areas	Yield (Kg/ha)
Baigarakoh	S2(Suitable)	816	Khorshid	S3(Semi- suitable)	806
Gorchinlo	S2(Suitable)	773	yanig	S1(High suitable)	806
Bzojig	S2(Suitable)	773	Shor Darag	N1(Non- suitable)	579
Vali Kandi	S3(Semi- suitable)	579	Dar Band	S2(Suitable)	816
Bourj Soufla	S1(High suitable)	577	Chegan	N1(Non- suitable)	679
Darin So	S2(Suitable)	577	Jebind	S1(High suitable)	533
Kalb Kandi	S2(Suitable)	679	Salman Kandi	N1(Non- suitable)	533
Ojag Kandi	N1(Non- suitable)	679	Saadatlo	S2(Suitable)	816
Gotango	S2(Suitable)	579	Zolbin	N1(Non- suitable)	773
Guyojig	S3(Semi- suitable)	579	Goboz	S2(Suitable)	816
Talim Khan	S1(High suitable)	579	Sari Tapeh	S3(Semi- suitable)	679
Asayesh	S1(High suitable)	579	Toup Aghaj	S1(High suitable)	533
Gort Tapasi	N1(Non- suitable)	579	Pasha Beyg	N1(Non- suitable)	533
Goijagamlag	S2(Suitable)	773	Garadiwo Azizabad	S2(Suitable)	533

با اجرای برخی اقدامات زراعی مانند استفاده از کود سبز، مدیریت آبیاری و زهکشی جهت کاهش شوری می‌توان ارتقاء این پهنه کمک کرد. روستاهای ولی-کندی، قویوجیق، خورشید و ساری‌تپه در این پهنه قرار گرفتند (جدول ۶ و شکل ۵).

پهنه غیر مستعد: پهنه‌ی غیر مستعد که شرایط نامساعد از لحاظ کشت گندم بوده، در مناطق دیم برای اکثر محصولات این پهنه دارای مشخصاتی نظیر درصد شیب بالای ۱۲ درصد، قرار گرفتن در ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر، داشتن دمای کمینه کمتر از ۵ درجه ساتی‌گراد، میزان فسفر کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و جهات شیب نامناسب بوده لذا از همه لحاظ برای کشت گندم دیم نامناسب هست. این پهنه در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۳۲۹۹ هکتار مساحت داشته که ۲۵ درصد از اراضی کشاورزی مورد بررسی را شامل می‌گردد (جدول ۵). روستاهای اجاق‌کندی، قورت‌تپه‌سی، شوردرق، چگان، سلمان‌کندی، زولبین و پاشابیگ در این محدوده قرار گرفتند (جدول ۶ و شکل ۵). بطوری‌که روستای پاشابیگ با میانگین عملکرد دانه ۵۳۳ کیلوگرم در هکتار پایین‌ترین میزان عملکرد دانه را در بین روستاهای مورد مطالعه دارد (جدول ۶). حتی میزان عناصر خاک نظیر عنصر پتاسیم در این منطقه بالا بوده (بیشتر از ۴۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم)، که این امر سبب قلیایی‌شدن خاک این منطقه گردیده است. با توجه به اینکه منطقه مورد ارزیابی یک منطقه کوهستانی بوده لذا امکان اصلاح خاک این منطقه از نظر عناصر ضروری خاک، خیلی پایین‌تر بوده و از انظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. اما با بکارگیری روش های مدیریتی اصلاح اراضی شور و افزایش حاصل‌خیزی خاک در این پهنه، گیاهی مانند جو می‌تواند نقش ممتازی در ارتقای این اراضی به پهنه بالاتر و افزایش کیفیت منابع ایفا نماید.

نتیجه گیری کلی

نتایج بررسی‌ها نشان داد، همان‌گونه که عناصر دما و بارش بصورت تلفیقی در تعیین پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم دیم در بخشی از دیم‌زارهای شهرستان هشترود تأثیر زیادی دارد، میزان بارش و پراکنش آن نسبت به عنصر دما در طول مراحل رشد گندم

بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین سایر متغیرهای محیطی نظیر عناصر خاک و متغیرهای توپوگرافی در رشد محصول گندم بی‌تأثیر نبوده است. لذا باید توجه داشت که تولید محصولات زراعی وابسته به یک عامل نیستند و بر همکنش عوامل تولید، باعث تعیین میزان عملکرد خواهد شد. علاوه بر این، تهیه نقشه پهنه‌بندی کشت گندم در این منطقه که قطب کشت غلات در منطقه‌ی استان آذربایجان‌شرقی است. نشانگر توانایی بالای این فناوری در ترکیب و تولید اطلاعات مکانی با لحاظ نمودن داده‌های توصیفی است، که می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در پردازش اطلاعات جهت استخراج نتایج ارزشمند کمک کند. از عوامل محدود کننده، توپوگرافی در این ارزیابی می‌توان به معیارهای جهات شیب، درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا اشاره کرد که حدود ۵۵ درصد از اراضی از نظر جهات شیب در طبقه نیمه‌مستعد، ۷۸ درصد از اراضی از نظر درصد شیب در طبقه نیمه‌مستعد و غیرمستعد و از نظر ارتفاع از سطح دریا همه مناطق در بالای ۱۵۰۰ متر قرار گرفته‌اند که مقدار قابل توجهی از منطقه را در طبقه سوم قرار داده است. از عوامل محدود کننده خاک می‌توان به پایین بودن میزان فسفر تا کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، بالا بودن میزان پتاسیم تا بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اشاره کرد. از عوامل محدود کننده اقلیم می‌توان به دمای کمینه اشاره کرد که بین ۴ الی ۵ درجه سانتی‌گراد بوده با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه سردسیر بوده لذا از این نظر منطقه مورد مطالعه را در طبقه نیمه-مستعد قرار می‌دهد. لذا بکار گیری نقشه‌های پهنه-بندی بدست آمده، می‌تواند با رفع موانع و محدودیت-های تولید، باعث افزایش و پایداری تولید گندم در منطقه مورد مطالعه گردد.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم وقت جهاد کشاورزی شهرستان هشترود جناب آقای مهندس احمدی، همچنین معاونین محترم زراعت آقایان مهندس قاسمی و اصلانی که در جمع‌آوری داده‌های خاک، هواشناسی و عملکرد منطقه مساعدت لازم را داشتند، کمال تشکر را دارم.

منابع

Abdollahi A, Emami J, Hosseini Sabet SM. 2013. Climatic zoning wheat crops in the Hamedan province using geographic information systems and satellite imagery. Publications Research Institute of Planning, Agricultural Economics and Rural Development, 34 pp (In Persian)

Abushnaf FF, Spence KJ, Rotherham ID. 2013. Developing land evaluation model for Benghazi region in northeast Libya using a geographic information system and multi-criteria analysis. APCBEE Procedia 5: 67-75

Ahmadi M, Fallahi Khoshji M, Khaledi Sh. 2016. Agtoclimatic zoning of barley cultivattion in Lorestan province using analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy models. Journal of Agroecology 6 (1): 11-27 (In Persian)

Arokhi C, Hejam C, Lotfi M. 2009. Effectiveness of geostatistical methods in determining favorable areas for wheat cultivation using geographic information system (case study: Tehran province). Proceeding of the 18th Geomatic Conference, 5-6 May, Tehran, Iran, 11 pp (In Persian)

Ahansaz C, Beiabani A, Kamkar B. 2012. A collection of articles evaluating the suitability of land in Gorgan River basin for wheat cultivation using geographic information system. Proceeding of the 12th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. 2-4 Shahrivar, Karaj, Iran, 4 pp (In Persian)

Ahmaeli KH, Nikmehr C, Layagat A. 2008. Evaluation of kriging and co-kriging methods to estimate soil salinity and depth acidity (case study: lands of Bukan region). Iranian Water Research Journal 3: 63-55 (In Persian)

Ansari H, Davari K. 2007. Zoning of dry periods using standardized rainfall index in GIS environment (Khorasan Province), Geographical Research Journal of Geographical Institute of Tehran University 60: 108-97 (In Persian)

Ayobi SHA, Mohamad Zamani C, Khormali F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14: 87-78 (In Persian)

Badsar M, Kamkar B, Soltani A, Abdi A. 2018. Suitability assessment of wheat-grown fields using Geographic Information System, Remote Sensing and Analytical Network Process method in Qaresoo basin, Gorgan county. Crop Production Journal 11(1): 1-22 (In Persian)

Bani Aghil AS, Rahemi Karizaki A, Biabani A, Faramarzi H. 2016. Potential physiographic zoning wheat using a weighted linear combination (WLC) in Golestan province. Journal of Applied Research Plant Ecophysiology 3 (1): 17-30. (In Persian)

Bazgir S. 1999. Evaluate the potential of dryland wheat crop climate (Case study of Kurdistan). MSc. Thesis. Tehran University, Tehran, Iran (In Persian)

Bidadi MT, Kamkar B, Abdi A, Kazemi H. 2015. Land Suitability Analysis on Rainfed Wheat Cropping Using Geospatial Information Systems (GIS) (Case study: Gharasoo field). Journal of Agricultural knowledge and Sustainable Production 25: 132-143 (In Persian)

Choudhury S, Saha SK. 2003. Cropping pattern change analysis and optimal landuse planning by integrated use of Satellite remote sensing and GIS. Indian Cartographer 23: 111-123

Dashti S, Nazari Far MH, Momeni R. 2010. Evaluation and zoning of climatic capacity in crop production by FAO land evaluation method (case study: Hamadan province). Proceeding of the 11th Iranian Congress in Agronomy Science and Plant Breeding, Tehran, Iran, 8pp (In Persian)

Delli G, Martucci A, Sarfatti P. 1996. Land Suitability Evaluation for Winter Wheat in Tiaret Region, Algeria, pp531-542

Dixon J, Gulliver A, Gibbon D. 2001. Farming Systems and Poverty – Improving Farmers Livelihoods, in a changing World. FAO and World Bank, Rome and Washington DC, 412 pp

Feizi Zadeh B, Ebdali H, Razaei Banafsheei M, Mohamadi H. 2012. Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azerbaijan province by Geospatial analysis of GIS Journal of research and development 96: 76-91 (In Persian)

Gool DV, Tille P, Moore G. 2005. Land Evaluation Standards for Land Resource Mapping. Department of Agriculture Government of Western Australia, 21pp

Hosnipak AA. 1998. Geostatistics, Tehran University Press, 314pp (In Persian)

Kalogirou S. 2002. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. The Journal of Computers, Environment and Urban Systems 26: 89-112

Kazemi H. 2012. Zoning of agro-ecological capacity of Golestan province to develop a suitable cultivation pattern. PhD dissertation in agriculture. Tarbiat Modares University, Iran, 110 pp (In Persian)

Kazemi H, Tahmasebi Servestani Z, Kamkar B, Shetaei Sh, Sadegi C. 2012a. Agro-ecological zoning of agricultural land in Golestan province for rice cultivation using Geographical Information System (GIS) and Analysis Hierarchy Process (AHP) Proceedings of the 15th National Rice Conference, March 1-3, Sari, Iran, 5 p. (In Persian)

Kazemi H, Tahmasebi Sarvestani Z, Kamkar B, Shataei SH, Sadeghi S. 2012 b. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). Journal of Crop Production 5(1): 123-139 (In Persian)

Kazemi H, Tahmasebi Servestani Z, Kamkar B, Shetaei Sh, Sadegi C. 2012c. Agro-ecological zoning of lands in Golestan province for soybean cultivation using geographic information system (GIS), Agricultural Science and Sustainable Production Journal 23: 22-40 (In Persian)

Kamali Gh. 1996. Ecological study of the ability of West Country dry land farming in terms of climate and with particular emphasis on wheat. Ph.D. Thesis. Science and Research Islamic Azad University. Tehran, Iran, 98 pp (In Persian)

Kamali Gh, Malaei P, Behiar MB. 2010. Preparation of rainfed wheat atlas of Zanjan province using climatic data and GIS. Water and soil magazine 5(24): 894-907 (In Persian)

Kamali QA, Sadaghianipoor A, Sedaqatkerdar A. 2008. Investigation of climatic potential of rainfed wheat cultivation in East Azarbaijan province. Journal of Agricultural Science and Technology 2 (22): 467-483 (In Persian)

Khazaei MR, Talori A, Jabari E. 2003. Publication: Geography and Development Year: 1382 | Course: 1 umber: 2 in a row. pp 45-56 (In Persian)

Khan MR, Debie CA, Van Keulen H, Smaling E, Real R. 2010. Disaggregating and mapping crop statistic using hyper temporal remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12: 36-46

Makhdom M. 2011. The foundation of Amash Sarzemin (11th edition). Tehran University Publications, 250 pp (In Persian)

Martin D, Saha SK. 2009. Land evaluation by integrating remote sensing for cropping system analysis in a watershed. Current Science 96:569-575

Malakoti MJ, Gheibi MN. 1997. Determining the critical limit of nutritional elements of strategic products and recommending fertilizers in the country. Publication of agricultural education, 154 pp (In Persian)

Mehrban A, Ghafari A, Ganbari Banjar A, Jalili N. 2005. Climatic zoning of dry season wheat in Mughan and Ardabil areas. Journal of Agricultural Sciences 15(2): 1-13 (In Persian)

Ministry of Agriculture. 2022. Report on the level, production and performance of crops. Information and Communication Technology Center. Crop year 1399-1400, Tehran, 139 pp (In Persian)

Molden D, Frenken K, Barker R, Fraiture CD, Mati B, Svendsen M, Sadoff C, Finlayson CM. 2007. Trends in water and agricultural development. In: Molden D. Water for Food, Watre for Life: A Comperhensive Assessment of Water Management in Agricultural. London: Earthscan, pp 57-89

Moradi A, Mubaser HR, Mehrban A, Ganjali HR. 2020. Zoning of Ecological Power of Agriculture in Northern and Central of Sistan and Baluchestan Province for Canola production with GIS system. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 30(1): 279-295 (In Persian)

Pakpour-Rabti A, Jafarzadeh A, Shahbazi F, Emari P. 2013. Assessment of Susceptible Land for Some Agricultural Crops in Some Regions of West Azerbaijan Province using Geographical Information System Jo urnal of Soil and Water Science 23(1): 176-165 (In Persian)

Rastegar M. 1992. Dry farming. Bahramand Publications, 182 pp (In Persian)

Rasoli AA, Gasemi Golozani K, Subhani B. 2005. The role of rainfall and altitude in determining favorable areas for dryland wheat cultivation using geographic information system. Geography and Development Magazine 5: 183-200 (In Persian)

Sari Saraf B, Bazgir C, Mohamadi GH. 2009. Zoning of climatic potentials of dryland wheat cultivation in West Azarbaijan province. Journal of Geography and Development 13: 5-26 (In Persian)

Satya P. 2000. GIS-Based spatial crop yield modeling. Agricultural Meteorology, *30*:12-27.

Shahbazi K, Basharati H. 2013. An overview of the fertility status of agricultural soils in Iran. Land management 1(1): 15. (In Persian)

Shaloo Rishi PS, Himani B, Rajni J, Samarth G, Yashbir SS, Nirupma S, Jatin B, Manisha T, Shweta G. 2022. Crop-Suitability Analysis Using the Analytic Hierarchy Process and Geospatial Techniques for Cereal Production in North India. Journal Sustainability *14*: 1-21.

Seyedi Shahivandi M, Khaledi N, Shakiba SH. Mirbagheri B. 2013. Climatic zoning maize farming in the province using GIS techniques. Journal of Applied Research. In Geographical Science 13 (29): 214-195 (In Persian)

Singha C, Swain KC. 2019. Land Suitability Assessment for Potato Crop using Analytic Hierarchy Process Technique and Geographic. Information System. Journal of Agriculture Enginering 5: 77–87

Sys I, Van Ranst E, Debveye J. 1991. Land evaluation. Part1: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications. Brussels, Belgium, 15 pp

Vafa P, Barari M, Alizadeh Y, Faramarzi M. 2018. Agro-ecological zoning of wheat irrigation using geographic information systems and the analytical hierarchy process in Ilam provinceJournal of ecological agriculture 8 (1): 61-74 (In Persian)

Wang D LiC, Song X, Wang J, Yang X, Huang W, Zhou J. 2011. Assessment of and suitability potentials for selecting winter wheat cultivation areas in Beijing, China, Using RS and GIS. Agricultural Sciences in China, 9: 1419-1330.

Zabihi H, Ahmad A, Nour Said M. 2014. Zoning of the agro-ecological potential in Ramsar basin with geographical databases. Middle- East Journal of Science Research 21 (10): 1751-1756 (In Persian)

Zand B, Lalinia A. 2010. Cereal farming Payam Noor University Publications. 277 pp (In Persian)

Zeinudini A. 1998. Studies of soil science and land suitability in Maymand, Kerman. Master's thesis in the field of soil science, Tarbiat Modares University, Iran, 147 pp (In Persian)

DOI: 10.22092/IDAJ.2024.364326.421

Evaluation of land suitability for wheat cultivation in a part of Hashtroud drylands

Teymor Dolatpanah[1], Shareyar Dashti[1*], Amin Abbasi[1], Naser Ahmadi Sani[2]

1- Department of plant genetics and production engineering, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.
2- Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The correct and optimal use of land requires a detailed assessment of agricultural and ecological resources. In the present era, resource limitations and the increasing population, and consequently the increasing demand for food products, require that limited resources should be used optimally. One of the most important abilities of the geographic information system is the ability to overlap different maps of an area to reach a complete map that can be used for the desired applications. Considering the importance of wheat as a strategic product in providing human food, as well as the optimal use of available resources and the evaluation of wheat cultivation fields in line with sustainable production, this research was aimed at evaluating and zoning the lands prone to wheat cultivation in a part of Hashtrood drylands.

Methodology: This study was carried out in a part of Hashtroud city (including Zulbin, Fatah, Nazarkehrizi and Atash Bey Regions). First, the ecological needs of rainfed wheat were determined and graded using available scientific resources. Then the required thematic maps were prepared and classified. The studied environmental variables, including long-term meteorological data and soil data, were obtained from the management of agricultural jihad in Hashtroud city. Hierarchical analysis process was used to determine the weight of the criteria. After analyzing and obtaining the weights, the layers were weighted and merged together in the Geographical Information System (GIS). The classification of each layer was done in four layers based on the ecological needs of wheat.

Research findings: The results indicated that among climatic factors, topography and soil affecting wheat cultivation in the study area, the role of climatic factors were more influential, so that the weight of climatic factors affecting wheat cultivation was 0.693, the weight of soil factors was 0.22 and the weight of the topography factors were 0.087. Zoning results showed that land suitability for wheat cultivation was placed in four zones (very susceptible, susceptible, semi-susceptible and non-susceptible). Out of 130,819 hectares of the total land area, 22% were recognized as highly susceptible area, 26% as susceptible area, 27% as semi-susceptible area, and 25% as non-susceptible area for wheat cultivation. Low levels of phosphorus (less than 10 mg/kg), low minimum temperatures (around 5 $^{\circ}C$), low average temperature (less than 12 $^{\circ}C$), the altitude (more than 2000 meters above the sea levels) and the slope (above 12%) were main limiting factors for growth and production of wheat in the studied area.

Keywords: Geographic information system, hierarchical analysis process, zoning, Farming

* Corresponding author*: dashti_sh@yahoo.com*
Submit date: 2023/12/06 Accept date: 2024/06/29