سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

۱۵-۳۴

مقاله پژوهشی

تعیین اراضی مستعد کشت دیم محصول گندم با ارائهٔ مدل تصمیم‌گیری VIKOR بر بستر GIS، مطالعهٔ موردی: استان فارس

مهرداد گبل[1*]، میر سامان پیشوایی[2]، برات مجردی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی پیشرفت، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۲. دانشیار دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
۳. استادیار دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

چکیده

از ابتدای پیدایش کرهٔ زمین تا کنون، انسان بیش از سایر موجودات در محیط‌زیست خود تأثیر گذاشته و آن را، مطابق با میل خود، تغییر داده است. با افزایش جمعیت، محدودیت‌های آب و خاک و تغییرات اقلیمی تأمین مواد غذایی را با مشکلات و مسائل جدی مواجه کرده است. در میان محصولات غذایی کشاورزی، گندم یکی از محصولات استراتژیک پرمصرف در ایران و بسیاری از کشورهای جهان است که در شرایط اقلیمی گرم‌وخشک، با بازدهی مناسب، کشت می‌شود. در ایران، حدود ۱۰٪ تقاضای بخش کشاورزی کشور از استان فارس تأمین می‌شود. با توجه به اینکه استان فارس رتبهٔ دوم تولید گندم را در بین استان‌های کشور دارد؛ این پژوهش قصد دارد تناسب اراضی این استان را، برای کشت گندم به‌روش دیم، ارزیابی کند. در گام نخست، داده‌های اقلیمی و خاک‌شناسی و توپوگرافی در محدودهٔ جغرافیایی این استان بررسی و تحلیل می‌شود. سپس لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌شود و نقشهٔ اراضی مستعد کشت گندم، با استفاده از روش تحلیلی تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ ویکور (VIKOR) تعیین می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داده است حدود ۳۲٪ از مساحت استان فارس در رتبهٔ اول و دوم تناسب اراضی برای کشت گندم قرار دارد. همچنین، مشخص شد که بیشتر مناطق مناسب در غرب و شمال‌غرب استان فارس پراکنده شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: سیستم اطلاعات جغرافیایی، آمایش سرزمین، گندم، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ویکور.

* نویسندهٔ مکاتبه‌کننده: ایران، تهران، رسالت، خیابان هنگام، خیابان دانشگاه، دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده مهندسی صنایع، کد پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶.
Email: mehrdadgobal@yahoo.com

۱- مقدمه

استفادهٔ منطقی و پایدار از منابع طبیعی تجدیدناپذیر، مانند زمین، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد اقتصادی شناخته شده است. از سوی دیگر امنیت غذایی، مترادف با خودکفایی در تأمین محصولات کشاورزی و غذایی، شاخصی مهم در راستای استقلال سیاسی و اقتصادی جمهوری اسلامی ایران شمرده می‌شود. در حقیقت، کمیسیون جهانی محیط‌زیست توسعهٔ پایدار را برطرف‌کردن نیازهای فعلی جامعه، بدون به‌خطرانداختن قابلیت‌های زمین برای نسل‌های آینده، تعریف کرده است (Feizizadeh & Blaschke, 2013). در همین زمینه، جین[1] و همکاران (۲۰۱۷) ضرورت بررسی تأثیر کاربری اراضی در خدمات اکوسیستم[2] را مرور کرده‌اند. خدمات اکوسیستم اشاره به تمامی مزایایی دارد که انسان‌ها از محیط پیرامون خود دریافت می‌کنند؛ ازجملهٔ این خدمات می‌توان به خدمات تولیدکننده مانند مواد غذایی و آب، خدمات تنظیم‌کننده مانند سیل و کنترل بیماری، خدمات حمایتی مانند بازسازی و نگهداری مواد مغذی و چرخهٔ محیط‌زیست زمین، و خدمات فرهنگی مانند مزایای معنوی و روحی، تفریحی و فرهنگی اشاره کرد. ازآن‌جاکه کاربری کشاورزی در تغییرات اکوسیستم تأثیرمستقیم دارد؛ اهمیت بررسی تناسب اراضی برای تعیین کاربری‌های گوناگون زمین‌ها، با توجه به آثار زیست‌محیطی آن، انکارناپذیر است. چه بسا منطقه‌ای برای گردشگری مناسب باشد اما با کشاورزی مطالعه‌نشده رو به نابودی بگذارد.

بررسی تناسب اراضی برای یک کاربری خاص به اطلاعات جغرافیایی و پارامترهای زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه نیاز دارد. این اطلاعات بر بستر نقشه‌ها ارائه، ارزیابی و نتیجه‌گیری می‌شوند. سیستم اطلاعات جغرافیایی[3] یکی از ابزارهای مناسب برای عرضهٔ اطلاعات است و تحلیل تناسب زمین را به‌صورت مؤثری فراهم کرده است (Patten, 2010). این ابزار تجزیه‌وتحلیل تناسب اراضی نام دارد؛ هر منطقه به واحدهایی از مشاهدات چندضلعی یا شطرنجی تقسیم می‌شود و هریک از این واحدها اطلاعات زمین‌شناسی منحصربه‌فردی دارد (Malczewski, 2004). تناسب زمین شامل ارزیابی و طبقه‌بندی واحدهای حوزهٔ مورد مطالعه برای فعالیتی خاص می‌شود. برای نمونه، تناسب و پایداری کشاورزی به توانایی زمین در تولید نامحدود مواد غذایی اشاره می‌کند؛ بدون توجه به آسیب‌های جبران ناپذیری که ممکن است به سلامت اکوسیستم وارد شود (Asadi et al., 2013). سیستم اطلاعات جغرافیایی اطلاعات پارامترها و معیارهای مؤثر در بررسی تناسب اراضی را در قالب لایه‌های گوناگونی در اختیار قرار می‌دهد. با توجه به اینکه معیارهای مؤثر در کشاورزی بیشتر از یک است و چندین عامل برای سنجش آن استفاده می‌شود؛ بنابراین نمی‌توان، برای رسیدن به نتیجهٔ نهایی، از روش‌های ساده‌ی بهینه‌سازی استفاده کرد. ازاین‌رو، در این‌گونه مسائل باید از مدل‌هایی با تصمیم‌گیری چندمعیاره بهره برد. MCDM[4] یکی از زمینه‌های تحقیقاتی دربارهٔ تصمیم‌گیری در مدیریت علمی است که به‌صورت گسترده‌ای در حال توسعه از سوی محققان است. ارزیابی و انتخاب بهترین گزینه با توجه به دیدگاه تصمیم‌گیرندگان از مهم‌ترین اهداف MCDM است. روش ویکور[5] یکی از شیوه‌های MCDM شناخته می‌شود که برای حل مسائل چندمعیاره با معیارهای گسسته و ناهمسان توسعه داده شده است. این روش را اپروکویک[6] و تزنگ[7] ابداع کرده‌اند و نام آن برگرفته از عبارتی صربستانی[8] است که برگردان فارسی آن بهینه‌سازی چندمعیاره و راه‌حل سازشی[9] می‌شود.

---

1. Jin
2. Ecosystem service
3. Geographic Information System
4. Multi Criteria Decision Making
5. Vikor
6. Opricovic
7. Tzeng
8. VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
9. Multi-criteria optimization & compromise solution

هدف این شیوه دستیابی به راه‌حلی سازشی و رتبه‌بندی و انتخاب از میان گزینه‌هایی با معیارهای متضاد است که نزدیک‌ترین فاصله را با نقطهٔ ایده‌آل دارند (Chu et al., 2007).

در پژوهش حاضر، روش MCDM با سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش شده است. استفاده از GIS به سازمان‌دهی، ذخیره‌سازی، تغییرات، تجزیه‌وتحلیل و مدل‌سازی داده‌های با حجم زیاد دنیای واقعی کمک می‌کند که با شبکهٔ مرجع فضایی مرتبط‌اند. علاوه بر این، زمانی که GIS با روش ویکور ترکیب می‌شود، در زمینهٔ انتخاب زمین‌های مناسب برای کشت گندم ابزار خوبی به‌شمار می‌آید. براساس شرایط گوناگون، روش ویکور طیف وسیعی از تکنیک‌ها و رویه‌ها را در بهینه‌ساختن مزایا، معایب و خطرهای مسئله‌ای در ارتباط با تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد و این کار را با ارزیابی گزینه‌ها در قالب هرگونه ملاحظات خاص براساس نظر تصمیم‌گیرنده انجام می‌دهد (San Cristóbal, 2011).

روش ویکور بر چهار عنصر استوار است (Celik et al., 2012):

۱- انتخاب از میان دو یا چند گزینهٔ ممکن؛

۲- معیارهایی برای ارزیابی گزینه‌ها؛

۳- امتیازهایی که نشان‌دهندهٔ عملکرد مورد انتظار هر معیار است؛

۴- وزن هر معیار که اهمیت نسبی آن را، در مقایسه با سایر معیارها، بیان می‌کند.

در این پژوهش، تصمیم‌گیری چندمعیاره برای بهینه‌سازی و انتخاب بهینهٔ زمین‌های مناسب کشاورزی و به‌ویژه، شرایط مناسب برای کشت گندم طراحی شده است. گیاه گندم، با نام علمی *Triticum*، از گیاهان گل‌دار تک‌لپه‌ای و از خانوادهٔ گرامینه‌ها است (Montgomery et al., 2016). این گیاه از مهم‌ترین غلات با بیشترین سطح زیرکشت در جهان و قوت غالب مردم جهان شناخته شده که تقریباً یک‌ششم از زمین‌های زیرکشت جهان را به خود اختصاص داده است.

به همین علت، با عنوان کالای استراتژیک از آن یاد می‌شود. در ایران نیز، بخش عمدهٔ گندم تولیدی از زمین‌های زراعی با روش دیم حاصل می‌شود. با وجود این، سهم زراعت آبی، برخلاف کمتر بودن سطح زیرکشت، میزان آب بیشتری در مقایسه با دیم مصرف می‌کند. در میان محصولات کشاورزی، طبق هرم تغذیه‌ای که میزان مصرف روزانه از هر گروه غذایی را نشان می‌دهد، گروه نان و غلات بزرگ‌ترین سهم تغذیهٔ روزانه را به خود اختصاص داده است. گندم در این گروه جای گرفته و با توجه به اینکه منبع مهم انرژی، آهن و انواع ویتامین‌هاست، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی بازی می‌کند (Alexandratos et al., 2012).

در شکل ۱، سرانهٔ تولید گندم در نقاط گوناگون جهان برمبنای اطلاعات فائو (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد)[1] در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ نمایش داده شده است.

شکل ۱. نسبت تولید به مصرف گندم در نقاط متفاوت جهان (سرانهٔ تولید گندم)

طی سال‌های مورد بررسی، سرانهٔ تولید گندم ۱.۱ برابر مصرف سرانهٔ کشور است. طبق نمودار شکل ۱،

1. Food and Agriculture Organization

فرانسه و آلمان به‌ترتیب حدود شش و چهاربرابر نیاز مصرف سالیانهٔ خود گندم تولید می‌کنند. ایران نیز در تولید گندم خودکفا شده ولی ضریب خودکفایی آن به‌مراتب کمتر از دیگر قدرت‌های سیاسی جهان است.

از میان تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در سطح کشور، بخش کشاورزی در استان فارس نقشی اساسی در تأمین امنیت غذایی، تولید و اشتغال کشور داشته و نیز سهم عمده‌ای از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص داده است؛ به‌طوری‌که ۹.۲٪ ارزش افزودهٔ بخش کشاورزی کشور در سال ۱۳۹۳ به کشاورزی استان فارس متعلق است که مقام دوم را در بین استان‌های ایران دارد. از کل ارزش افزودهٔ بخش‌های اقتصادی استان، ارزش افزودهٔ بخش‌های کشاورزی با ۲۳٪ مقام دوم را، پس از بخش خدمات، دارد و حدود ۲۰.۶٪ از شاغلان این استان در بخش کشاورزی فعالیت دارند (آمارنامهٔ کشاورزی ایران، ۱۳۹۷). براساس آمارنامهٔ کشاورزی استان فارس (۱۳۹۵) نیز این استان، با تولید ۱۱۷۳۸۴۵ تن محصول گندم در سال، نیاز ۸٪ تقاضای کشور برای مصرف گندم را برآورده می‌کند و بدین‌ترتیب، رتبهٔ دوم تولید گندم را در میان استان‌های کشور از آن خود کرده است.

در این مطالعه، تناسب اراضی استان فارس برای کشت دیم گندم ارزیابی شده است. با توجه به تحقیقات گوناگون در این زمینه و نیز دستاوردهای تجربی کشاورزان بومی برای انتخاب زمین مناسب برای کشت، پژوهش حاضر سعی دارد با تلفیق روش‌های ریاضی و بدون نیاز به نظر تصمیم‌گیرنده[1] به نتیجهٔ مطلوب برسد. تفاوت اصلی این تحقیق با سایر مطالعات استفاده از روش ویکور در تعیین مناطق مستعد کشت گندم است. بدین‌منظور در بخش مواد و روش‌ها، ابتدا با تشریح منطقهٔ مورد مطالعه و شرایط اقلیمی حاکم بر آن، معیارهای مورد نیاز تعیین و استخراج می‌شود. سپس با روش تصمیم‌گیری ویکور در محیط نرم‌افزار Arc-GIS، داده‌های اقلیمی، خاک‌شناسی و توپوگرافی مربوط به استان فارس بررسی و لایه‌ها امتیازدهی می‌شود.

معرفی روش ویکور و چگونگی وزن‌دهی به لایه‌ها در ادامه به‌طور کامل توضیح داده خواهد شد. این روش، در نهایت، منجر به تهیهٔ نقشه‌ای می‌شود که واحدهای مناسب کشاورزی محصول گندم در محدودهٔ جغرافیایی استان فارس است. در بخش انتهایی، با بررسی نتایج مقالات مشابه و تحلیل حساسیت این پژوهش، نتایج حاصل اعتبارسنجی می‌شود.

۱-۱- پیشینهٔ پژوهش

از بین پژوهش‌هایی که با استفاده از تناسب اراضی برای ارزیابی توان اکولوژیکی انجام شده است، می‌توان به مکان‌یابی کشت نیشکر در استان خوزستان به روش منطق فازی اشاره کرد که برای تصمیم‌گیری پارامترهای دما، رطوبت، ساعات آفتابی، بارش، یخبندان، سرعت باد، تبخیر و گردوغبار بررسی شد (اصغری‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). موحد و زاده دباغ (۱۳۸۹) نیز محدودهٔ رودخانهٔ دز حد فاصل سد تنظیمی را برای طبیعت‌گردی ارزیابی کردند. خرم و همکاران (۲۰۰۵) مناطق کشاورزی استان همدان، و نوری و شریف‌پور (۲۰۱۸) مناطق مناسب برای توسعه در روستای آباده را تعیین کرده‌اند. ملکی و همکاران (۲۰۱۷)، در آمایش زمین‌های کشاورزی، به‌صورت تخصصی در پی یافتن زمین‌های مناسب برای کشت زعفران بوده‌اند. آنها نقشهٔ زمین‌های مناسب برای کشاورزی را، با توجه به تحقیقات قبلی، مبنا قرار دادند و از راه تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره، وزن معیارهای مورد نیاز در تجزیه‌وتحلیل تناسب اراضی مانند آب‌وهوا و خاک و توپوگرافی را، درمورد کشت زعفران، تعیین کردند. در این مدل، ۲۱ متغیر اکولوژیکی برای تحلیل مناسب‌بودن زمین زعفران انتخاب شده و نقشه‌های موضوعی برای هریک از پارامترها در سیستم اطلاعات جغرافیایی، یا به‌اختصار GIS، طراحی شده است.

1 Decision Maker (DM)

از میان تحقیقاتی که تناسب زمین را با کمک ابزار تصمیم‌گیری ویکور انجام داده‌اند، می‌توان به پژوهش فرجی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. این تحقیق در چارچوب مدل اکولوژیکی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با هدف تعیین نقاط مناسب برای کاربری کشاورزی در دشت تاکستان، انجام شد. ابتدا توان اکولوژیکی کاربری کشاورزی، به‌روش وزن‌دهی ساده،[1] تعیین شد. سپس گزینه‌های مناسب کشاورزی در این منطقه، ازطریق مدل تلفیقی VIKOR و SAW، رتبه‌بندی شد. نمونهٔ دیگر کاربرد تصمیم‌گیری به‌روش ویکور در تحقیق ونگ[2] و همکاران (۲۰۱۹)، برای اولویت‌بندی انتخاب روش تبدیل پسماندهای کشاورزی به انرژی پایدار، انجام شده است. در این تحقیق، هفت فنّاوری گوناگون تولید بیوانرژی به‌صورت یکپارچه ارزیابی و اولویت‌بندی شده است. سیستمی شامل معیارها، متشکل از چهار جنبه (جنبه‌های زیست‌محیطی، فنی، اقتصادی و اجتماعی که در مجموع پانزده معیارند) ایجاد شده است. براساس نتایج حاصل از AHP و روش VIKOR، در نهایت، مشخص شد تولید انرژی مستقیم از احتراق بهترین مزیت زیست‌محیطی را دارد. حجازی و همکاران (۱۳۹۹) مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی فعالیت‌های کوهنوردی، دامنه‌نوردی و اسکی را شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، وزن معیارها را تعیین کرده‌اند. در ادامه نیز، برای تلفیق لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی، از تکنیک ویکور بهره برده‌اند. این پژوهش و پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد تکنیک ویکور پیوند مناسبی با سیستم اطلاعات جغرافیایی برقرار می‌کند و برای وزن‌دهی به لایه‌ها، از سایر روش‌ها (مانند AHP، TOPSIS، BWM) استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تشریح منطقهٔ مورد مطالعه

استان فارس یکی از ۳۱ استان کشور است که در جنوب ایران و تقریباً بین مدارهای ۲۷ و ۳۱ درجهٔ عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۵۰ و ۵۵ درجهٔ طول شرقی واقع شده است. از شمال به استان اصفهان، از جنوب و جنوب‌شرق به استان هرمزگان، از غرب و جنوب‌غرب به استان بوشهر، از شمال‌غرب به استان کهکیلویه و بویراحمد، از شرق به استان کرمان و از شمال‌شرق به استان یزد محدود شده است. مساحت این استان حدود ۱۲۲۶۰۸ کیلومترمربع است که ۷.۵٪ از مساحت کل کشور را دربر می‌گیرد و از این لحاظ، در بین استان‌های کشور، رتبهٔ چهارم را دارد. براساس تقسیمات کشوری در شهریور ۱۳۹۵، فارس دارای ۲۹ شهرستان، ۱۰۲ شهر، ۸۴ بخش، ۲۰۵ دهستان و ۸۳۵۰ روستا و آبادی است. طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت استان ۴۸۵۱۲۷۴ نفر است که حدود ۶.۰۷٪ جمعیت کشور را شامل می‌شود. شکل ۲ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و شهرستان‌های استان فارس را نشان می‌دهد.

وسعت و دامنهٔ این استان و هم‌جواری آن با کویر در نواحی شمال و شرق و از سوی دیگر، خلیج فارس در ناحیهٔ جنوبی تنوع اقلیمی بسیاری به‌وجود آورده است. اقلیم خشک و نیمه‌خشک و گرم، اقلیم مدیترانه‌ای برّی، اقلیم مدیترانه‌ای بحری (پرباران‌ترین بخش استان) و اقلیم نیمه‌خشک تا خشک سرد ازجمله اقلیم‌های متنوع استان شمرد می‌شود.

۲-۲- فرایند تحقیق

با توجه به بحث‌های نظری و روش‌های به‌کاررفته در این پژوهش، چارچوب کلی فرایند این تحقیق برمبنای مراحل زیر چیده شده است. در شکل ۳، مراحل به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

1. Simple Additive Weighting (SAW)
2. Wang

برای ساده‌سازی و محدودکردن تعریف مسئله و ایجاد چارچوب برای حل آن، با توجه به ابعاد تحقیق، این فرضیه‌ها در نظر گرفته شده است:

- زمان به‌منزلهٔ متغیری در مدل در نظر گرفته نشده و تمامی داده‌ها به‌صورت میانگین سالیانه و بلندمدت استفاده شده است؛ درحالی‌که کشت بهاره یا پاییزهٔ گندم، به‌ویژه در معیارهای اقلیمی، شرایط متفاوتی دارد و به‌عبارت دیگر، مدل ایستا در نظر گرفته شده است.
- با توجه به تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی اخیر کشور، تغییرات اقلیمی در دورهٔ انجام‌شدن تحقیق ثابت و قطعی است.
- گندم، در نقاط متفاوت، گونه‌های متفاوتی دارد و بسیاری از این گونه‌ها بذرهای اصلاح‌شده و مقاوم‌تر است که امکان دارد، از نظر کشت، به شرایط متفاوتی نیاز داشته باشند. فرض پژوهش حاضر این است که گونه‌های متفاوت گندم با یکدیگر تفاوت چشمگیری ندارند.
- اطلاعات جغرافیایی جمع‌آوری‌شده از مناطق و پایگاه‌های گوناگون به‌صورت کامل و صحیح در دسترس است.
- پارامترهای دسترسی به مناطق، مانند راه‌ها و جاده‌ها و خطوط راه‌آهن، در مسئله وارد نشده و فرض بر این است دسترسی به نقاط صعب‌العبور و بایر بدون مشکل امکان‌پذیر است. از نظر تأمین ابزار و ملزومات کشاورزی و نیروی کار ماهر نیز، محدودیتی وجود ندارد.
- مرز داده‌ها در لایه‌های متفاوت کاملاً منطبق بر واقعیت است و انحرافی ندارد.

شکل ۲. نقشهٔ موقعیت جغرافیایی استان فارس

شکل ۳. چارچوب فرایند تحقیق

۲-۲-۱- داده‌های مورد مطالعه

با مرور پیشینهٔ تحقیق و مقالات مشابه، ۲۳ معیار به‌منزلهٔ پارامترهای تأثیرگذار در کشت گندم شناسایی شد. از این تعداد، دوازده معیار در این مقاله به‌کار رفته و بقیه، به‌علت هم‌پوشانی و دادن اطلاعات مشابه، از فرایند پژوهش حذف شده‌اند.

لایه‌های مورد استفاده، در مجموع، در سه دسته قرار می‌گیرند: ۱. اطلاعات توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)؛ ۲. اطلاعات محیطی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مناطق سیلابی، کاربری زمین و پوشش گیاهی)؛ ۳. اطلاعات اقلیمی (دما، بارش و تبخیر)؛ ۴. اطلاعات خاک‌شناسی (جنس خاک و فرسایش خاک).

سایر لایه‌ها، که از فرایند حل مسئله حذف شده‌اند، عبارت‌اند از: بافت خاک، اسیدیتهٔ خاک، شوری خاک، عمق خاک، زهکشی (Dadhich et al., 2017)، ساعات آفتابی، روزهای یخبندان، رطوبت نسبی (سبحانی و فرامرزی، ۲۰۱۶)، گسل‌ها، فشار هوا و آب‌های زیرزمینی (آشتیانی، ۱۳۹۶).

ارتفاع: به‌طورکلی، با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد و بارندگی بیشتر می‌شود (Thompson et al., 2001). گندم را می‌توان تقریباً از ارتفاع ۳۰۰ متر پایین‌تر از سطح دریا تا ارتفاع ۴۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا کشت کرد. از نظر جغرافیایی نیز، مناطق مناسب کشت گندم بین ۳۰ تا ۶۰ درجهٔ شمالی و ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ عرض جنوبی متمرکز شده که، از این حیث، استان فارس در منطقهٔ مناسب کشت این محصول قرار دارد (راشد محصل و کوچکی، ۱۳۸۸).

شیب: شیب اراضی زیرکشت یکی از مهم‌ترین عوامل رویش و ثمردهی محصولات زراعی به‌شمار می‌رود. شیب زیاد باعث افزایش فرسایش خاک و کاهش جذب آب‌های سطحی در خاک می‌شود. به‌طورکلی شیب بالاتر از ۱۵٪، به‌ویژه برای کشاورزی به سبک دیم که به جذب آب باران نیاز دارد، مناسب نیست (حاتمی‌نژاد و همکاران ۱۳۹۲). لایهٔ شیب از داده‌های ارتفاع در محیط نرم‌افزار ARC-GIS استخراج شده است.

جهت شیب: تابش نور مستقیم خورشید و گرمای آن تأثیر مهمی در رشد و نموّ گیاه دارد. از سوی دیگر، وزش بادهای شدید موجب شکستن ساقهٔ گندم و ازبین‌رفتن محصول می‌شود (Ahansaz, 2011). با توجه به اینکه در ایران بادها اغلب از سمت غرب و شمال‌غرب به شرق می‌وزد و جهت طلوع خورشید و ساعات آفتابی نیز شرق است؛ جهت شیب طبق جدول ۱ امتیازدهی شده است.

جدول ۱. امتیازدهی معیار جهت شیب

جهت شیب	جنوب‌شرق/ جنوبی	شرقی/ شمال‌شرق	جنوب‌غرب/ شمال‌غرب	غربی/ شمالی
امتیاز	۴	۳	۲	۱
	بسیار مناسب	مناسب	کمتر مناسب	نامناسب

لایهٔ جهت شیب از داده‌های ارتفاع در محیط نرم‌افزار ARC-GIS استخراج شده است.

رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مناطق سیلابی: ازآن‌جاکه انسان در تأمین آب مورد نیاز برای کشت دیم دخیل نیست، زمین زراعی هرچه به منابع طبیعی آبی ازجمله رودخانه‌ها، مسیل‌ها و دریاچه‌ها نزدیک‌تر باشد؛ بازدهی بیشتری خواهد داشت. در استان فارس، دریاچه‌های متعددی وجود دارد و بیشترین تعداد دریاچه‌های دائمی کشور در این استان فارس واقع شده است. دریاچه‌های فارس را می‌توان به دریاچه‌های آب شور و دریاچه‌های آب شیرین تقسیم کرد. با توجه به اینکه اطلاعات لایه‌های گوناگون مکمل و تأییدکنندهٔ یکدیگر است؛ در لایهٔ فرسایش خاک بستر و اطراف رودخانه‌ها، مناطق با فرسایش بالا در نظر گرفته شده و در لایهٔ کاربری زمین، امتیاز کمتری به مسیل‌ها نسبت داده شده است. ضمن اینکه حاشیهٔ دریاچه‌های آب شور، در لایهٔ کاربری زمین، شوره‌زار در نظر گرفته شده است. همین نکته امتیاز نزدیکی بیش‌ازحد به رودخانه، مسیل و دریاچه‌ها را با توجه به خطر سیلاب در نقشهٔ نهایی کاهش می‌دهد.

کاربری زمین: کاربرد حال حاضرِ زمین در تصمیم‌گیری تأثیرگذار خواهد بود. برای نمونه، طبق تشخیص، اگر زمینی دارای آب‌وهوا و خاک بسیار مناسبی برای کشاورزی تشخیص داده شود اما آن زمین جزء مناطق شهری باشد؛ به‌علت ناممکن‌بودن

جابه‌جایی شهر، این گزینه عملاً حذف می‌شود. در جدول ۲ کاربری زمین دسته‌بندی و امتیازدهی شده است (آشتیانی، ۱۳۹۶). اطلاعات این لایه از سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور تهیه شده و در مقیاس تقریباً ۱:۵۰۰۰۰۰ است.

بلندمدت بارش سالیانهٔ استان فارس، در مناطق گوناگون، بین ۸۹.۳۱ تا ۸۲۰.۵۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مطابق جدول ۴، در بازهٔ صفر و یک (یک: بهترین، صفر: بدترین) قرار می‌گیرد.

جدول ۲. امتیازدهی لایهٔ کاربری زمین

کاربری زمین	کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، زمین‌های آبی	زمین‌های بایر، باغ‌های بدون ثمر، باغ‌های مثمر، جنگل‌های کم‌تراکم، مسیل‌ها	جنگل‌های با تراکم متوسط، زمین‌های سنگی	سواحل، جنگل‌های متراکم	مناطق شهری، صخره‌ها، شوره‌زارها، فرودگاه
امتیاز	۵	۴	۳	۲	۱

دما: دمای هوا یکی از پارامترهای مهم در رشد گندم است. گندم توانایی مقاومت در دماهای زیر صفر را ندارد و حداکثر دمایی که تحمل می‌کند و در آن امکان رشد دارد نیز حدود ۴۰-۳۵ درجه است. دمای مطلوب رشد و نموّ این گیاه ۳۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد است (Bazgir, 1999). میانگین بلندمدت دمای هوای استان فارس بین ۵.۹۷ تا ۲۴.۸ درجه است که، پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مطابق جدول ۳، در بازهٔ صفر و یک (یک: بهترین، صفر: بدترین) قرار می‌گیرد.

جدول ۳. امتیازدهی لایهٔ دما

دما	۵۴.۸۱	۲۷.۷۹	۵.۹۷
امتیاز	۱	۰.۵	۰

بارش: بارندگی تنها پارامتر اصلی تأمین نیاز آبی دیم‌کاری است. به همین علت، کشت دیم وابستگی شدیدی به نوسانات بارندگی دارد؛ در حدی که تاریخ آغاز کشت بعد از اولین بارندگی پاییزه تعیین می‌شود. گندم، در کشت دیم، دست‌کم به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بارندگی نیاز دارد (Vashisht et al., 2013). میانگین

جدول ۴. امتیازدهی لایهٔ بارش

بارش	۸۲۰.۵۳	۴۵۴.۹۲	۸۹.۳۱
امتیاز	۱	۰.۵	۰

تبخیر: میزان تبخیر یکی از معیارهای اقلیمی مؤثر در رشد گندم است. تبخیر با رطوبت خاک ارتباط معکوس دارد. رطوبت خاک برای گیاه ضروری است زیرا گیاه، برای جذب مواد مغذی از خاک، به آب نیاز دارد. در غیر این‌صورت، گیاه پژمرده می‌شود و بازدهی محصول کمتری دارد. بالارفتن تبخیر موجب کاهش رطوبت خاک می‌شود. میزان تبخیر بالاتر از ۴۰۰۰ میلی‌متر برای کشت گندم بسیار نامناسب تعیین شده است (Jalota et al., 2018). میانگین بلندمدت تبخیر سالیانهٔ استان فارس، در مناطق متفاوت، بین ۳۸۴۶.۰۶ تا ۱۵۷۵.۶۹ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مطابق جدول ۵، در بازهٔ صفر و یک (یک: بهترین، صفر: بدترین) قرار می‌گیرد.

جدول ۵: امتیازدهی لایه‌ی تبخیر

تبخیر	۱۵۷۵.۶۹	۲۷۱۰.۸۷	۳۸۴۶.۰۶
امتیاز	۱	۰.۵	۰

پوشش گیاهی: استان فارس براساس تنوع پوشش گیاهی دسته‌بندی و امتیازدهی شده است. در جدول ۶، امتیازهای بالاتر به‌معنی تناسب بیشتر برای کشاورزی است (سند توسعه منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس در افق ۱۴۰۴، ۱۳۸۷). این لایه در هفت دسته به جزئیات گونه‌های گیاهی می‌پردازد که، به‌صورت طبیعی، سطح زمین این استان را پوشانیده است؛ اما لایهٔ کاربری زمین، در کل و در پنج دسته، به تغییراتی اشاره دارد که انسان در پوشش گیاهی ایجاد کرده است تا از منابع آن به‌نفع خود بهره ببرد. برای نمونه، زمینی که از نظر پوشش گیاهی جنگلی بوده است اما اکنون کاربری کشاورزی دارد امتیازی کمتر از زمینی دارد که برای کشاورزی در هر دو لایه مناسب است. مقایسهٔ نقشهٔ این دو لایه نیز ناهم‌پوشانی و مستقل‌بودن اطلاعات را تأیید می‌کند.

- اراضی درجهٔ I: این اراضی بدون محدودیت‌اند و از لحاظ ویژگی‌های خاک، شوری یا زهکشی برای زراعت آبی مناسب‌اند و امکان کشت در آنها بدون محدودیت است؛
- اراضی درجهٔ II: در این اراضی نیز، امکان کشاورزی و آبیاری وجود دارد اما ارزش زراعی و بازدهی آنها از اراضی درجهٔ I کمتر است. خود این نوع اراضی در نُه زیردسته قرار می‌گیرند؛
- اراضی درجهٔ III: شش دسته در این گروه از اراضی قرار می‌گیرد که، برای زراعت، با محدودیت‌های تقریباً بسیار روبه‌رو هستند؛
- اراضی درجهٔ IV: برای زراعت آبی با اشکالات و محدودیت‌های زیادی روبه‌روست. این گروه دو دسته می‌شود؛

جدول ۶. امتیازدهی تنوع پوشش گیاهی

پوشش گیاهی	اراضی کشاورزی آبی	اراضی دیم و دیم‌زارها	مراتع مرغوب و استپی	مراتع متوسط کوهستانی	جنگل بلوط و پسته	مراتع کوهستانی و سنگی	پوشش گیاهی شور و تپه شنی	کویر و دریاچه
امتیاز	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰

شایان ذکر است که امتیاز صفر به‌معنی حذف بخشی از نقشه و نادیده‌گرفتن آن در اولویت‌بندی تناسب زمین است. این در حالی است که احتمال دارد مناطق شهری یا دیگر مناطق، از نظر سایر لایه‌ها، چنان مناسب و باکیفیت باشد که در دستهٔ «بسیار مناسب برای کشت گندم» قرار گیرد؛ حتی اگر عملاً جابه‌جایی شهرها ممکن نباشد. به دریاچه و کویر، فقط در لایهٔ پوشش گیاهی، به‌دلیل ناممکن‌بودن کشاورزی امتیاز صفر تعلق گرفته است.

جنس خاک: اراضی، از نظر جنس خاک و میزان حاصل‌خیزی و امکان کشت، در شش دسته قرار می‌گیرند.

- اراضی درجهٔ V: خاک این اراضی اغلب شور و قلیایی است و نمی‌توان در آن کشت کرد. این گروه در سه دسته قرار می‌گیرد؛
- اراضی درجهٔ VI: با بستری شور و سنگلاخی، به‌هیچ‌وجه نمی‌توان در آنها کشاورزی کرد و شامل اراضی فرسایش‌یافته است. این گروه دو دسته می‌شود.

با توجه به دسته‌بندی یادشده، در مجموع، خاک‌ها ۲۳ گروه می‌شوند که بیشترین تا کمترین امتیاز به آنها اختصاص یافته است. در جدول ۷، بیشترین امتیاز به اراضی دارای بالاترین حاصل‌خیزی داده شده است (Thompson et al., 2001). این لایه از سازمان

جنگل‌ها و مراتع کل کشور استخراج شده و در مقیاس تقریباً ۱:۵۰۰۰۰۰ است. شایان ذکر است، با توجه به اهمیت بالای این لایه، بخش‌های فاقد اطلاعات در محدودهٔ مورد مطالعه با روش درونیابی IDW تخمین زده شده است.

فرسایش خاک: فرسایش فرایندی است که، طی آن، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا و به‌صورت عاملی انتقال‌دهنده، به مکانی دیگر منتقل می‌شوند. طبق بررسی‌های صورت‌گرفته، فرسایش خاک در هشت دسته قرار می‌گیرد. جدول ۸ امتیازبندی فرسایش خاک را، از اراضی کم‌فرسایش تا اراضی با فرسایش فوق‌العاده شدید، به‌علاوهٔ دریاچه‌ها با امتیاز صفر، نشان می‌دهد (Ochoa et al., 2016).

تمامی لایه‌های به‌کاررفته از سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور تهیه شده است.

تصمیم‌گیرنده را نیز، مبنی‌بر میزان تأثیرگذاری معیارها، لحاظ کند. همچنین، در این مدل، برخلاف سایر روش‌ها، مقایسه‌های زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه، به‌صورت مستقل و با یک معیار، سنجیده و ارزیابی می‌شود. فرض بر این است که گزینهٔ جایگزین درمورد نقطهٔ ایده‌آل هر معیار را می‌توان محاسبه کرد. با اندازه‌گیری فاصلهٔ نقاط با نقطهٔ جایگزین ایده‌آل در هر معیار، رتبه‌بندی انجام می‌شود. با فرض اینکه n گزینه به نام‌های $A_1. A_2 . \ldots . A_n$ و m معیار برای اندازه‌گیری هر گزینه وجود داشته باشد؛ امتیاز معیار jاُم برای گزینهٔ iاُم با نماد f_{ij} نمایش داده می‌شود $(i = 1.2. \ldots . n \quad j = 1.2. \ldots . m)$. پاسخ سازگار f^c جوابی امکان‌پذیر است که کمترین فاصله را از نقطهٔ ایده‌آل f^* دارد. طبق شکل ۴، پاسخ سازگار مجموعه‌ای از بهترین نقاط در هر معیار است (Opricovic & Tzeng, 2007).

جدول ۷. امتیازدهی جنس خاک

طبقه‌بندی جنس خاک	I	II	III	IV	V	VI
امتیاز	۲۲	۱۳-۲۱	۷-۱۲	۵-۶	۲-۴	۰-۱

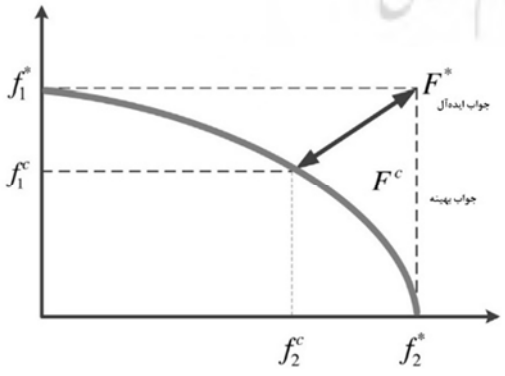
جدول ۸. امتیازدهی فرسایش خاک

فرسایش خاک	اراضی آبرفتی/ فرسایش کم تا متوسط	جابه‌جایی ذرات متوسط خاک/ محدودیت در کشاورزی	هدررفت زیاد خاک/ محدودیت بسیار کشاورزی	خیلی شدید و گسترده/ اراضی مخروبه (badland)	دریاچه
امتیاز	۸-۷	۶-۵	۴-۳	۲-۱	۰

۲-۳- حل مسئله

۲-۳-۱- روش ویکور

روش ویکور از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود که، برای حل مسائل با معیارهای گوناگون و متضاد، گسترش یافته است. این روش راه‌حل سازگاری را، برای نزدیک‌شدن به نقطهٔ ایده‌آل، انتخاب می‌کند. مهم‌ترین برتری تکنیک ویکور با دیگر روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی این است که، علاوه‌بر دارابودن ویژگی‌های سایر روش‌ها، در نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند نظر خوش‌بینانه یا محافظه‌کارانهٔ



شکل ۴. نمودار منطق روش ویکور

الگوریتم امتیازدهی و ارزیابی سازگاری ویکور شامل این مراحل است:

مرحلهٔ ۱: تعیین مقادیر ایده‌آل مثبت f_j^* و ایده‌آل منفی f_j^- برای هر معیار $(j = 1.2. \dots . m)$ طبق رابطه‌های (۱) تا (۴).

- درصورتی‌که حداکثرسازی معیار مطلوب در مسئله باشد:

رابطه (۱) $f_j^* = max_i\, f_{ij}$

رابطه (۲) $f_j^- = min_i\, f_{ij}$

- درصورتی‌که حداقل‌سازی معیار مطلوب در مسئله باشد:

رابطه (۳) $f_j^* = min_i\, f_{ij}$

رابطه (۴) $f_j^- = max_i\, f_{ij}$

مرحلهٔ ۲: محاسبهٔ مقادیر سودمندی (S_i) و تأسف (R_i) طبق رابطه‌های (۵) و (۶):

رابطه (۵) $S_i = \sum_{j=1}^{m} \left[w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right]$

رابطه (۶) $R_i = max_j \left[w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right]$

که f_j^* مقادیر ایده‌آل مثبت f_j^- و ایده‌آل منفی برای هر معیار $(j = 1.2. \dots . m)$ و ضریب w_j میزان تأثیر هریک از معیارهاست. به‌عبارت دیگر، w_j بیان می‌کند هر معیار چه میزان در بازدهی محصول گندم تأثیرگذار است. این ضریب، با استفاده از روش BWM، در بخش بعدی بررسی می‌شود.

مرحلهٔ ۳: محاسبهٔ مقدار Q_i به‌ازای مقادیر $i = 1.2. \dots . n$ با استفاده از رابطه (۷) و مقادیر R_i و S_i حساب‌شده در مرحلهٔ پیشین:

رابطه (۷) $Q_i = v \cdot \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \cdot \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}$

$S^* = min\, S_i$ و $S^- = max\, S_i$ و $R^* = min\, R_i$ و $R^- = max\, R_i$ است. مقدار $v \epsilon (0.1)$ نیز، مطابق وزن خوش‌بینی یا بدبینی بین معیارها، با نظر تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود (Kumar et al., 2020).

مرحلهٔ ۴: مرتب‌کردن گزینه‌ها برمبنای هریک از مقادیر R، S و Q. در این مرحله، مقادیر R و S و Q در سه گروه و از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند. در نهایت، گزینه‌ای با عنوان گزینهٔ برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه بدین‌صورت شناخته شود.

در غیر این‌صورت، در گروه Q گزینه‌ای به‌منزلهٔ برتر انتخاب می‌شود که دو شرط مرحلهٔ ۵ را محقق کند.

مرحلهٔ ۵: بهترین گزینه آن است که، در رتبه‌بندی، کمترین مقدار برای Q را داشته باشد؛ اگر دو شرط زیر برقرار باشد:

- مزیت مورد قبول: اگر گزینه‌های A_1 و A_2، به‌ترتیب، اولین و دومین گزینهٔ برتر در گروه و n بیانگر تعداد گزینه‌ها باشد و رابطه (۸) نیز برقرار باشد:

رابطه (۸) $Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{(n-1)}$

اگر شرط اول برقرار نباشد، مجموعهٔ گزینه‌های $A_1. A_2 . \dots . A_s$ به‌منزلهٔ گزینه‌های برتر انتخاب می‌شوند؛ درصورتی‌که رابطه (۹) برقرار باشد:

رابطه (۹) $Q(A_s) - Q(A_1) < \frac{1}{(n-1)}$

- ثبات مورد قبول در تصمیم‌گیری: گزینهٔ A_1 باید در دست‌کم یکی از گروه‌های R و S کمترین مقدار را داشته باشد.

اگر فقط شرط دوم برقرار نباشد، هر دو گزینهٔ A_1 و A_2 برگزیده‌اند (Opricovic & Tzeng, 2004).

تمامی محاسبات اشاره‌شده با ابزارهای ریاضی موجود در نرم‌افزار ArcGis انجام می‌شود. شکل ۶، در بخش نتایج، از وزن‌دهی به لایه‌ها و محاسبهٔ مقادیر Q_i با استفاده از رابطه (۷) حاصل می‌شود. شایان توضیح است، با توجه به اینکه این پژوهش به‌دنبال انتخاب بهترین نقطهٔ کشت گندم در ناحیهٔ مورد مطالعه نیست، از اجرای مراحل ۴ و ۵ صرف‌نظر و فقط به رتبه‌بندی مقادیر Q_i بسنده می‌کند.

۲-۳-۲- تکنیک BWM

وزن‌دهی یکی از گام‌های مهم در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. وزن هر شاخص اهمیت نسبی آن را در قیاس با شاخص‌های دیگر بیان می‌کند. بنابراین، در

این پژوهش، از روش بهترین- بدترین برای تعیین وزن‌های معیارها استفاده شده است. در این شیوه، بهترین و بدترین شاخص از سوی تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه‌های زوجی، بین هریک از این دو شاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها، صورت می‌گیرد. پس از آن، برای مشخص‌کردن وزن شاخص‌های متفاوت، مسئله‌ای ماکسی- مین فرمول‌بندی و حل می‌شود (Rezaei, 2015).

از ویژگی‌های برجستهٔ روش BWM، در مقایسه با دیگر تکنیک‌های MCDM موجود، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- تعداد مقایسات زوجی کمتر از سایر روش‌ها مزیتی است که موجب کاهش حجم پرسشنامه‌ها و همچنین، دقت و صحت بیشتر پاسخ‌های دریافتی می‌شود. برای نمونه، در پرسشنامهٔ روش AHP نیاز به $\frac{n\times(n-1)}{2}$ تعداد پاسخ‌های زوجی است اما در روش بهترین- بدترین، مسئله را با $2\ n-3$ مقایسهٔ زوجی می‌توان حل کرد.

- دستیابی به مقایسه‌های زوجی سازگارتر از دیگر ویژگی‌های این روش است. در این شیوه، فرمولی برای محاسبهٔ میزان ناسازگاری به‌منظور بررسی اعتبار مقایسه‌ها در نظرگرفته شده است و دستیابی به مقایسه‌های زوجی سازگارتر و نتایج مورد اطمینان‌تر را ممکن می‌کند (Rezaei, 2015).

روش BWM بر پنج گام اصلی استوار است:

گام اول: تعیین مجموعهٔ شاخص‌های تأثیرگذار در مسئله

مجموعهٔ شاخص‌های تصمیم‌گیری به نام مجموعهٔ J تعیین شود. در این گام، مجموعهٔ شاخص‌های مهم مورد مطالعه با استفاده از راه‌های مرسوم (ازجمله مرور پیشینهٔ تحقیق و روش دلفی[1]) تعیین و تعریف می‌شود که برای تصمیم‌گیری ضروری است.

گام دوم: تعیین بهترین و بدترین شاخص

بهترین و بدترین شاخص با استفاده از پرسشنامه مشخص می‌شود. در این پژوهش، مقصود از بهترین و بدترین شاخص همان مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین شاخص در کشت و ثمردهی گندم است. در این مرحله، تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین شاخص کلی را تعریف می‌کند و هیچ مقایسه‌ای صورت نمی‌گیرد.

گام سوم: تعیین ارجحیت بهترین معیار بر دیگر معیارها

ارجحیت بهترین شاخص بر شاخص‌های دیگر با اعداد ۱ تا ۹ مشخص و بردار ارجحیت این به‌صورت $A_B = (a_{B1}. a_{B2}. a_{B3}. \dots)$ نمایش داده می‌شود.

در بردار مورد اشاره، a_{Bj} نشان‌دهندهٔ ارجحیت بهترین شاخص (B) بر شاخص (j) است. واضح است که $a_{BB} = 1$.

گام چهارم: تعیین ارجحیت معیارهای دیگر بر بدترین معیار

ارجحیت همهٔ شاخص‌ها بر بدترین شاخص با اعداد ۱ تا ۹ مشخص می‌شود و بردار ارجحیت دیگر شاخص‌ها بر بدترین شاخص به‌صورت $A_W = (a_{1\,w}\,.\,a_{2\,w}\,.\,a_{3\,w}\,.\dots)$ نمایش می‌یابد.

در بردار مورد اشاره، a_{jW} بیانگر ارجحیت شاخص (j) بر بدترین شاخص (W) است. واضح است که $a_{WW} = 1$.

گام پنجم: تعیین وزن‌های معیارها و محاسبهٔ میزان سازگاری

مقادیر بهینهٔ وزن‌ها تعیین می‌شود $(W_1^*. W_2^*. \dots . W_n^*)$. برای تعیین وزن بهینهٔ هریک از شاخص ها، بایستی زوج های $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ و $\frac{w_j}{w_w} = a_{jw}$ حداکثر شوند. به عبارت دیگر، برای برآورده کردن این شرایط در همه (j)ها، باید راه حلی پیدا شود تا عبارات $\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right|$ را، درمورد همهٔ (j)هایی که حداقل شده است، حداکثر کند.

1. Delphi

با توجه به غیرمنفی‌بودن وزن‌ها و مجموع اوزان، می‌توان مدل را در قالب رابطه (۱۰) درآورد:

$$\min \max\left\{\left|\frac{w_B}{w_j}-a_{Bj}\right| . \left|\frac{w_j}{w_w}-a_{jw}\right|\right\}$$
$$\text{St.}$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$

رابطه (۱۰)

همچنین، می‌توان مدل را طبق رابطه (۱۱) به این صورت نشان داد:

$$\min \ \xi$$
$$\text{St.}$$
$$\left|\frac{w_B}{w_j}-a_{Bj}\right| \leq \xi \qquad w_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$
$$\left|\frac{w_j}{w_w}-a_{jw}\right| \leq \xi \qquad w_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \geq 0 \quad \forall j \in J$$

رابطه (۱۱)

با حل مدل بالا، مقادیر بهینهٔ $(W_1^*.W_2^*.\ldots.W_n^*)$و ξ^* به‌دست می‌آید (Rezaei, 2015).

۳- نتایج

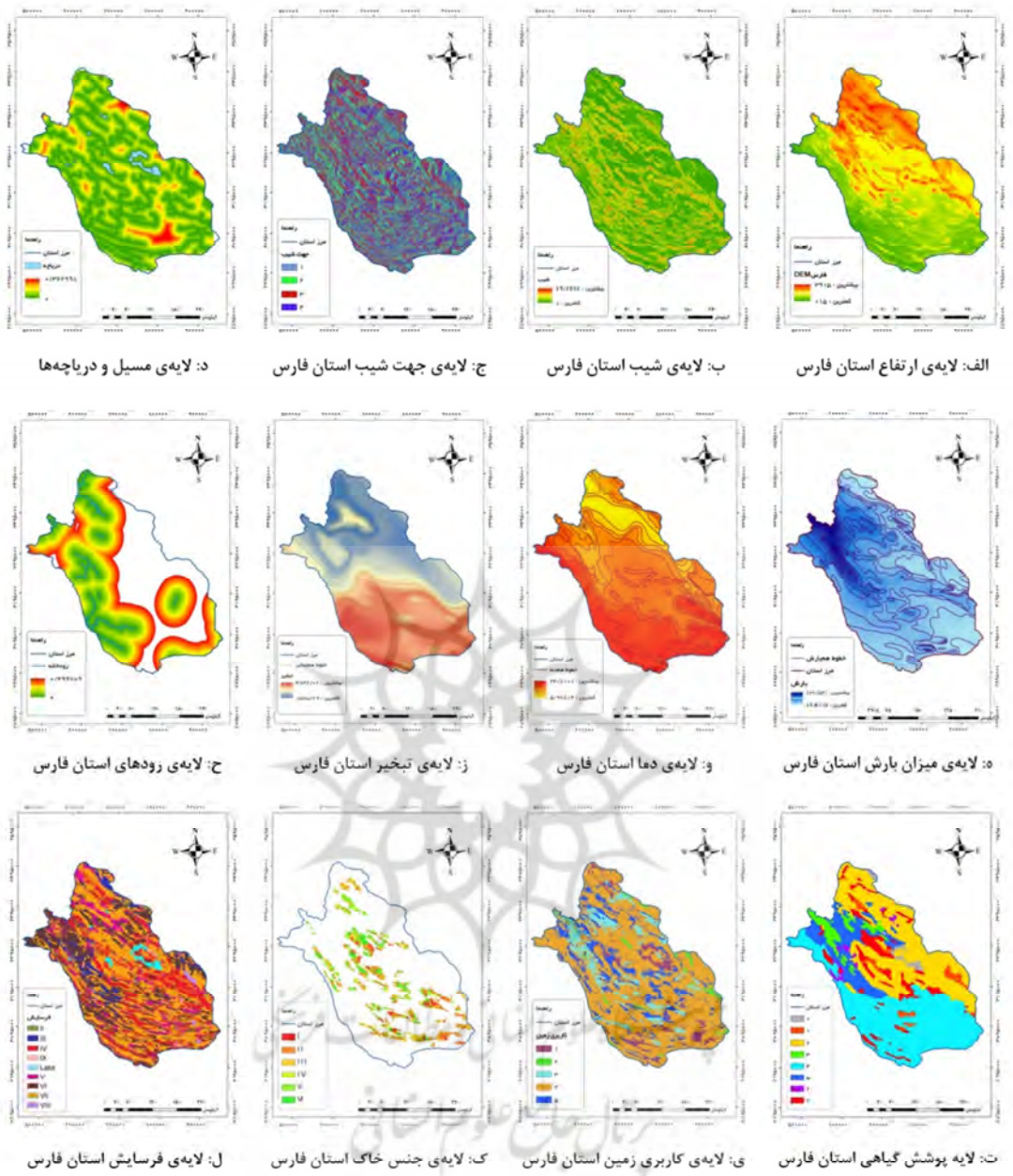
با مشخص‌شدن لایه‌های مورد مطالعه، لازم است تمامی آنها طبقه‌بندی مجدد[1] و براساس شرایط مورد نیاز کشت گندم، امتیازدهی شوند. برای این کار، با استفاده از پرسشنامه از هفت تن از استادان خبره در زمینهٔ کشاورزی و گیاه‌شناسی، درمورد وزن‌های هریک از لایه‌ها و میزان اثرگذاری‌شان، سؤال شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، تمامی پاسخ‌ها با استفاده از میانگین هندسی ادغام شد و تمامی تحلیل‌ها روی این داده‌ها صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که معیار «میزان بارش»، با میانگین امتیاز ۸.۶۸ از ۹، بااهمیت‌ترین و معیار «فاصله از دریاچه‌ها»، با میانگین امتیاز ۲.۸ از ۹، کم‌اهمیت‌ترین معیار انتخاب شده است. دو سطر اول جدول ۹ ارجحیت معیارها را به‌نسبت بهترین و بدترین معیار (گام‌های سوم و چهارم)، براساس داده‌های حاصل از پاسخ‌های متخصصان، نشان می‌دهد. وزن نهایی لایه‌ها با استفاده از تکنیک بهترین- بدترین (BWM) نیز در سطر سوم ارائه شده است. این اوزان، در مرحلهٔ پنجم، با حل مدل مسئلهٔ مینیمم‌سازی از راه کدنویسی در نرم‌افزار اکسل به‌دست آمده است.

شکل ۵ لایه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. علاوه‌براین لایه‌های بارش، دما و تبخیر که به‌صورت پلی‌لاین[2] در دسترس بودند، با تکنیک درون‌یابی[3] معکوس فاصله یا IDW[4]، به‌صورت پلی‌گون[5] تبدیل و با استفاده از نرم‌افزار، تحلیل شدند. با مرور کلی لایه‌های استخراج‌شده از نرم‌افزار، در استان فارس از شمال تا جنوب، بارش کاهش می‌یابد و تبخیر و دما بیشتر می‌شود.

جدول ۹. وزن لایه‌ها

	ارتفاع	شیب	جهت شیب	بارش	دما	تبخیر	پوشش گیاهی	کاربری زمین	فاصله از رودخانه‌ها	فاصله از دریاچه‌ها	جنس خاک	فرسایش
بهترین (بارش)	۵.۱۴	۲.۴۲	۵.۱۲	۱	۱.۹۷	۱.۷۲	۵.۲۲	۳.۴۸	۶.۸۳	۶.۸۹	۱.۷۶	۲.۲۱
بدترین (فاصله از دریاچه)	۲.۷۵	۵.۴۷	۲.۷۷	۶.۸۹	۵.۹۲	۶.۱۷	۲.۶۷	۴.۴۱	۱.۰۶	۱	۶.۱۳	۵.۶۸
وزن لایه	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۱	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۱	۰.۰۹

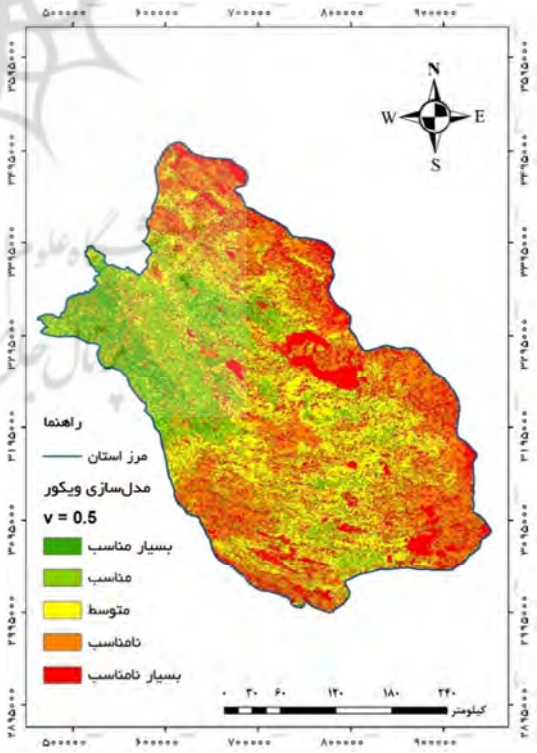
1. Reclassify
2. Polyline
3. Interpolation
4. Inverse Distance Weighting
5. Polygon



شکل ۵. لایه‌های اطلاعاتی استان فارس

پس از استخراج داده‌ها، واردکردنشان به نرم‌افزار ArcGis و فرمول‌بندی روش ویکور روی لایه‌ها با استفاده از ابزارهای ریاضی این نرم‌افزار، این نتایج به‌دست آمد. تبدیل لایه‌ها به‌صورت رستری و انطباق آنها با یکدیگر یعنی تقسیم سطح استان فارس به سلول‌های مساوی؛ به‌گونه‌ای‌که هریک از سلول‌ها حاوی دوازده پارامتر از اطلاعات لایه‌هاست. هریک از لایه‌ها نیز، برحسب اهمیت، با تکنیک بهترین- بدترین اولویت‌بندی و وزن‌دهی شده‌اند. برای حل مسئله، ابتدا برای هر سلول، فاصلهٔ داده‌ها از بهترین و بدترین معیار با استفاده از روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شود که حاصل هریک از روابط یک نقشهٔ مجزاست. سپس این دو نقشه با ضریب v، که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند، طبق رابطه (۷) با یکدیگر جمع می‌شوند. شکل ۶ نقشهٔ نهایی مناطق مناسب برای کشت گندم را نشان می‌دهد.

سه نقطهٔ قرمز در میانهٔ نقشه نشان‌دهندهٔ دریاچه‌های آب شور طشک، بختگان و مهارلو است که قابلیت کشت ندارد. بخش‌های شمال‌شرق و شرق استان هم‌جوار با استان‌های یزد و کرمان است و اقلیم این مناطق به‌سمت خشکی و کویری می‌گراید. بخش شمال‌غرب و غربی استان در کوه‌پایه‌ها و دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته که، با آب‌وهوای کوهستانی و مرطوب، مناسب‌ترین نقاط برای کشاورزی و ازجمله کشت گندم است. واحدهای کوچک قرمز، که در پهنه‌های سبز پراکنده شده و همچنین برعکس، ناشی از معیار جهت شیب است که امکان دارد در برخی نقاط، با تغییر جهت زمین، از مناسب به نامناسب تغییر حالت دهد. در نهایت، این مطالعه نشان داد حدود ۳۲٪ ، معادل ۳۹۶۰۰ کیلومترمربع، از اراضی استان فارس برای کشت گندم بسیار مناسب یا مناسب است. حدود ۲۱٪ اراضی موقعیت متوسطی دارند و حدود ۴۷٪ زمین‌های این استان برای کشت نامناسب است.



شکل ۶. خروجی آمایش سرزمین گندم استان فارس با تکنیک ویکور (v=0.5)

۳-۱- مقایسه با پژوهش‌های مشابه

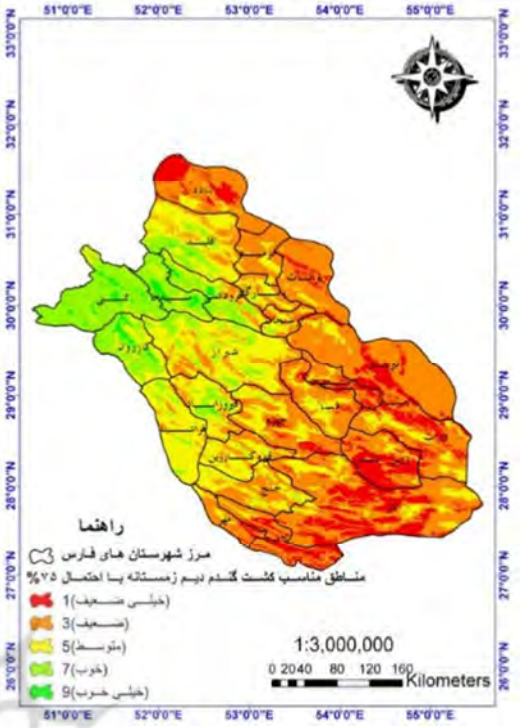
از میان منابع و مقالات مشابه، به دو پژوهش اشاره می‌کنیم که استان فارس را، با روش‌های متفاوت، برای کشت ارزیابی کرده‌اند. مقالهٔ اول را توان‌پور و قائمی (۱۳۹۵) نوشته‌اند و پژوهش آنها با استفاده از اطلاعات ده‌سالهٔ ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس و نیز استفاده از نرم‌افزار SMADA[1] صورت گرفته است. نتایج این تحقیق (شکل ۷) نشان داد نواحی شرقی و جنوب‌شرقی استان برای کشت گندم نامساعد است و این نکته، با خروجی تحقیق حاضر، با روش ویکور مطابقت دارد. مساحت نواحی بسیار مناسب کشت دیم نیز در حدود ۱۷۹۶۰۰۰ هکتار تخمین خورده است.

پژوهش دیگر در این زمینه متعلق به بلیانی و همکاران (۱۳۹۱) است که، با استفاده از تکنیک AHP در سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزن‌دهی شده است. خروجی حاصل (شکل ۸) بیان می‌کند ۴۱.۵۴٪ از مساحت استان فارس در بخش‌های غربی، شمال‌غرب و تا حدودی مرکز استعداد بسیار مناسب کشت گندم دارد. نتایج این تحقیق نیز با خروجی روش ویکور مطابقت دارد.

۳-۲- تحلیل حساسیت

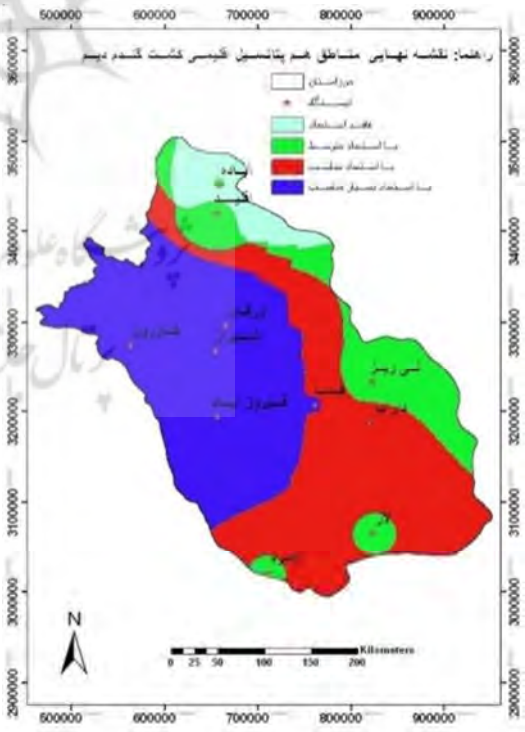
همان‌طورکه درمورد روش ویکور گفته شد، در رابطه (۷)، مقدار متغیر v براساس میزان خوش‌بینی یا بدبینی بین معیارها را تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند. با توجه به تعریف یادشده، مسئله را با $v = 0.9$ و $v = 0.1$ در نظر می‌گیریم و بار دیگر آن را حل می‌کنیم. انتظار می‌رود، با وزن‌دهی بیشتر به متغیر فقدان مطلوبیت، نقاط بیشتری در طبقهٔ نامساعد قرار بگیرند و در مقابل، اگر وزن بیشتری به متغیر مطلوب اختصاص داده شود،

1 .Stormwater Management and Design Aid :
مجموعه‌ای از ابزارهای محاسباتی است که به تجزیه‌وتحلیل و طراحی سیستم‌های روان‌آب‌ها کمک می‌کند.



شکل ۷. مناطق مساعد کشت گندم

منبع: توان‌پور و قائمی، ۱۳۹۵

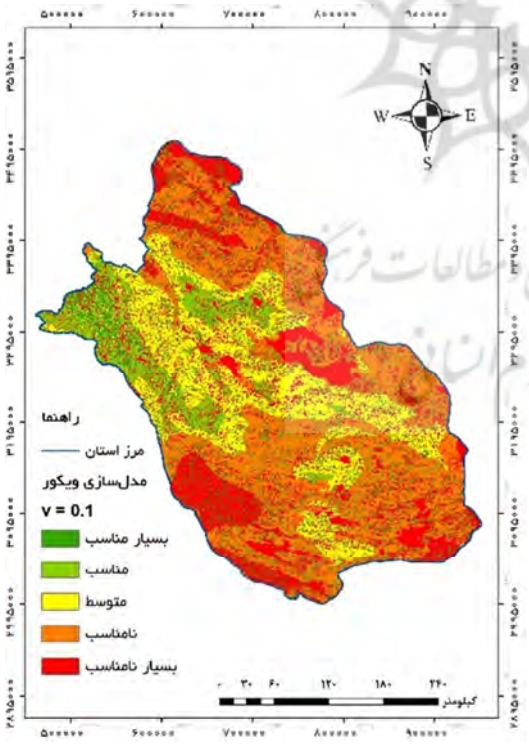


شکل ۸. مناطق مساعد کشت گندم

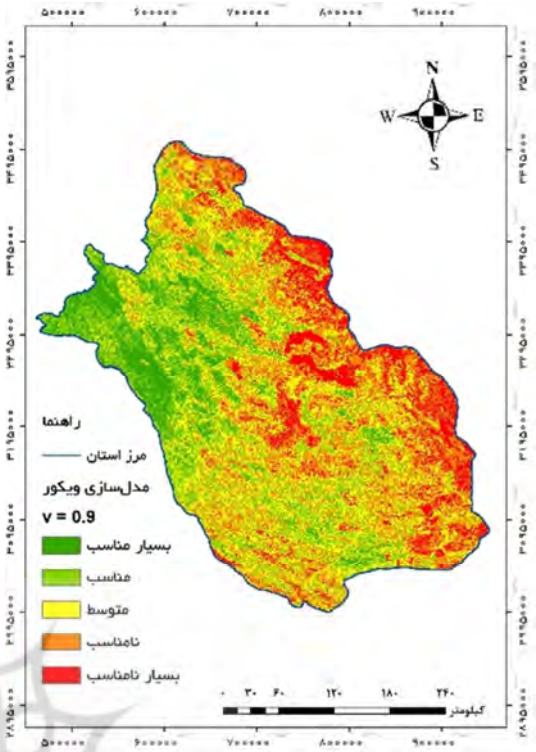
منبع: بلیانی و همکاران، ۱۳۹۱

پهنه‌های بیشتری به رنگ سبز تغییر وضعیت دهد. نتیجهٔ حاصل شکل ۹ است که با بدبینی حل شده است. مشاهده می‌شود مناطق مستعد کمتر از حالت $v = 0.5$ شده و پهنهٔ وسیع‌تری به رنگ نارنجی و قرمز درآمده است. با مقایسهٔ نقشهٔ به‌دست‌آمده و لایه‌های بارش و دما و تبخیر، مشاهده می‌شود تأثیرگذاری این لایه‌ها افزایش می‌یابد و نواحی گسترده‌تری از مناطق جنوبی و شمال‌شرق استان، طبق اطلاعات این سه لایه، به‌منزلهٔ مناطق نامناسب شناسایی شده است. در دوره‌هایی که استان درگیر خشکسالی و شرایط جوّی نامساعد است، این الگو کاربرد خواهد داشت.

همچنین در شکل ۱۰، بار دیگر مسئله با خوش‌بینی نسبت به معیارهای مؤثر در کشت گندم حل شده است و مشاهده می‌شود مناطق غیرمستعد کمتر از حالت $v = 0.5$ شده و پهنهٔ وسیع‌تری به رنگ سبز درآمده است. در دوره‌های ترسالی و شرایط مطلوب‌تر از نرمال، درمورد استان فارس، از این الگو می‌توان بهره‌برداری کرد.



شکل ۹. خروجی آمایش سرزمین گندم استان فارس با تکنیک ویکور (v=0.1)



شکل ۱۰. خروجی آمایش سرزمین گندم استان فارس با تکنیک ویکور (v=0.9)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف از نگارش مطالعهٔ حاضر مکان‌یابی پهنه‌های متناسب کشت محصول زراعی گندم، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، از نگاه سیستمی و کل نگر براساس داده‌های سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی بوده است. این پژوهش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ ویکور انجام شد. به‌دلیل جایگاه مناسب تولید گندم دیم، پهنهٔ استان فارس به‌منزلهٔ منطقهٔ مورد مطالعه در نظر گرفته شد و معیارهای مهم تأثیرگذار در کشت گندم شناسایی شد. در ادامه، با استفاده از نظر کارشناسان خبره در زمینهٔ زراعت و گیاه‌شناسی، هریک از دوازده معیار شناسایی‌شده وزن‌دهی شد. نتایج پرسشنامه نشان داد معیارهای بارش، دما، تبخیر و جنس خاک مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رشد و ثمردهی گندم شمرده می‌شود. مدل نهایی ارائهٔ نقشه‌ای از استان فارس بود که با رنگ‌بندی، از طیف قرمز تا سبز، مناطق نامساعد و مساعد کشت گندم در آن نشانه‌گذاری شده بود. به‌طورکلی، این نقشه نشان داد که نواحی شمالی، غربی و شمال‌غرب این استان مستعد کشت گندم است. از تفاوت‌ها و نوآوری‌های این مقاله در مقایسه با دیگر پژوهش‌های مشابه، می‌توان به استفاده از روش ویکور به‌دلیل امکان اجرای مستقیم در نرم‌افزار Arc-GIS، امکان اعمال‌نظر خبرگان براساس خوش‌بینی یا بدبینی با توجه شرایط، رسیدن به پاسخی سازشی (نزدیک‌ترین پاسخ به ایده‌آل) در حل مسئله‌ای با معیارهای متضاد و نیازنداشتن به نظر کارشناس در امتیازدهی اشاره کرد. بهره‌گرفتن از روش بهترین- بدترین در وزن‌دهی به معیارها نیز، به‌دلیل سهولت گردآوردی داده‌ها ازطریق پرسش‌های کمتر، به‌نسبت سایر روش‌ها مانند AHP، سرعت و دقت نتایج را افزایش داده است.

همان‌طور که در مرور پیشینه بررسی شد، این مدل‌سازی فقط با درنظرگرفتن شرایط مناسب کشت گندم، درمورد سرزمین‌های منتخب برای کشت تصمیم‌گیری می‌کند و به عواقب زیست‌محیطی و به‌خطرافتادن گونه‌های گیاهی و جانوری منطقه توجهی ندارد. توصیه می‌شود، پیش از استفاده از مدل یادشده، نخست و با استفاده از دیگر روش‌ها، نقاط غیرقابل‌کشت شناسایی و از مدل حذف شود. این تحقیق در مقطع زمانی مشخصی و به‌صورت ایستا مدل‌سازی شده است؛ این مسئله را می‌توان، بار دیگر، با استفاده از تکنیک‌های پویا و با داده‌های فصل‌های متفاوت حل کرد. نتایج این پژوهش می‌تواند داده‌های اولیهٔ تحقیق جدیدی محسوب شود که در حوزهٔ مدیریت استراتژیک، به‌منظور بررسی فرصت‌ها و تهدیدها برای رسیدن به راهکارهای توسعهٔ پایدار در بخش کشاورزی، حوزهٔ مهندسی عمران و راه‌سازی امکان‌سنجی و مکان‌یابی ساخت مسیرهای ارتباطی، خطوط ریلی و سیلوها کاربرد داشته باشد. همچنین، یافته‌های این پژوهش را می‌توان داده‌های اولیهٔ مدل‌سازی دومرحله‌ای زنجیرهٔ تأمین، از عرضه و انبار و آسیاب تا مصرف گندم، محسوب و به‌کار گرفت.

در مدل ارائه‌شده، دو خروجی با بدبینی و خوش‌بینی پیشنهاد شده است که، با توجه به شرایط اقلیمی و خشکسالی هر دوره، می‌توان از هریک که مناسب‌تر است، بهره‌برداری کرد. نقاط به رنگ سبز، در هر دو نقشه، نقاطی‌اند که در هر شرایط آب‌وهوایی برای کشت مورد اطمینان‌اند.

۵- منابع

آمارنامهٔ کشاورزی استان فارس، ۱۳۹۵، سازمان جهاد کشاورزی استان فارس.

آمارنامهٔ کشاورزی ایران، ۱۳۹۷، سازمان جهاد کشاورزی.

اصغری‌پور دشت بزرگ، ا.، احمدی، ه.، آل‌کثیر، ا. حویزاوی، ح.، برنا، ر.، ۱۳۹۵، **کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مکان‌یابی کشت نیشکر (مطالعهٔ موردی: استان خوزستان)**، سومین کنفرانس افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، صص. ۹-۱.

برنگل، ک.ج.، ۱۳۸۸، **اصول و عملیات دیمکاری**، ترجمهٔ محمدحسن راشد محصل و عوض کوچکی، مشهد: جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد).

بلیانی، ی.، حجازی‌زاده، ز.، فرجی، ع.، بیات، ع.، ۱۳۹۱، **پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی کشت گندم دیم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: استان فارس**، جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۱۵، صص. ۵۰-۳۳.

توان‌پور، ن.، قائمی، ع.ا.، ۱۳۹۵، **پهنه‌بندی استان فارس از نظر کشت گندم پاییزه دیم بر اساس پارامتر بارش و عوامل مورفولوژیکی**، آبیاری و زهکشی ایران، دورهٔ دهم، شمارهٔ ۴، صص. ۵۵۵-۵۴۴.

حاتمی‌نژاد، ح.، علیزاده، ک.، وحیدی، ح.، ۱۳۹۲، **مکان‌یابی پهنه‌های کشت محصولات زراعی دیم با استفاده از فرایند AHP مبتنی‌بر GIS (مطالعهٔ موردی: بخش رضویهٔ شهرستان مشهد)**، سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست.

حجازی، س.ا.، رجبی، م.، شعرباف بهتاش، ا.، ۱۳۹۹، **ارزیابی توانمندی‌های اکوتوریسم دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بزقوش**، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال بیست‌وچهام، شمارهٔ ۷۲، صص. ۱۵۰-۱۲۹.

سبحانی، ب.، فرامرزی، م.، ۱۳۹۵، **استفاده از روش ویکور برای سنجش تناسب اراضی برای کشت زعفران در محیط ساج (مطالعهٔ موردی: شهرستان ملایر)**، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دورهٔ بیستم، شمارهٔ ۵۶، صص. ۱۹۱-۱۷۱.

سند توسعه منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس در افق ۱۴۰۴، ۱۳۸۷، ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، سازمان جهاد کشاورزی.

طیاری آشتیانی، م.، ۱۳۹۶، **ارائهٔ مدل تصمیم‌سازی برای ارزیابی پهنه‌های مساعد کشت بهینهٔ گندم در کشور مبتنی‌بر تکنیک کوپراس و سیستم اطلاعات جغرافیایی**، دانشگاه علم و صنعت ایران.

موحد، ع.، زاده دباغ، ن.، ۱۳۸۹، **ارزیابی توان اکولوژیکی محدودهٔ رودخانهٔ دز حد فاصل سد تنظیمی تا بند قیر برای طبیعت‌گردی**، محیط‌شناسی، دورهٔ سی‌وششم، شمارهٔ ۳ (پیاپی ۵۵)، صص. ۲۴-۱۳.

Ahansaz, S., 2011, **Land Suitability Analysis of Wheat Cultivar in Gorganroud Basin by Using Geographical Information System**, Gonbad-e-Kavous University.

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. and others 2012. World agriculture towards 2030/2050: **the 2012 revision (No. 12-03). ESA Working paper**.

Asadi, A., Kalantari, Kh. & Choobchian, Sh., 2013, **Structural Analysis of Factors Affecting Agricultural Sustainability in Qazvin Province, Iran**, JAST., 15(1), PP. 11-22.

Bazgir, S., 1999, **Investigation of Climate Potential in the Dryland Wheat (Case Study: Kordestan Province)**, Tehran University.

Celik, E., Gul, M., Taskin Gumus, A. & Guneri, A.F., 2012, **A Fuzzy TOPSIS Approach Based on Trapezoidal Numbers to Material Selection Problem**, Journal of Information Technology Applications & Management, 19(3), PP. 19-30.

Chu, M.-T., Shyu, J., Tzeng, G.-H. & Khosla, R., 2007, **Comparison among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group-Decision Analysis**, Expert Systems with Applications, 33(4), PP. 1011-24.

Dadhich, G., Patel, P.R. & Kalubarme, M.H., 2017, **Agriculture Land Suitability Evaluation for Wheat Cultivation Using Geomatics for Patan District, India**, International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, 13(1), P. 91.

Faraji Sabokbar, H.A., Pourkhabbaz, H.R. & Javanmardi, S., 2018, **Suitability Analysis for Determining Potential Agricultural Land Use by the Multi-Criteria Decision Making Models SAW and VIKOR-AHP (Case Study: Takestan-Qazvin Plain)**, Journal of Agricultural Science and Technology, 16(5), PP. 1005-1016.

Feizizadeh, B. & Blaschke, T., 2013, **Land Suitability Analysis for Tabriz County, Iran: A Multi-Criteria Evaluation Approach Using GIS**, Journal of Environmental Planning and Management, 56(1), PP. 1-23.

Jalota, S.K., Jain, A.K. & Vashisht, B.B., 2018, **Minimize Water Deficit in Wheat Crop to Ameliorate Groundwater Decline in Rice-Wheat Cropping System**, Agricultural Water Management, 208(September), PP. 261-67.

Jin, Gui, Xiangzheng Deng, Xi Chu, Zhihui Li, and Yuan Wang. 2017. **Optimization of Land-Use Management for Ecosystem Service Improvement: A Review.** Physics and Chemistry of the Earth 101: 70–77. https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.03.003.

Khoram, M . R., M. Shariat, N. Moharamnejad, A. Azar, and H. Mahjub. 2005. **Ecological Capability Evaluation for Aquaculture Activities By GIS.** Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering 2 (3): 183–88.

Kumar, A., Aswin, A. & Himanshu, G., 2020, **Evaluating Green Performance of the Airports Using Hybrid BWM and VIKOR Methodology**, Tourism Management, 76, P. 103941.

Malczewski, J., 2004, **GIS-Based Land-Use Suitability Analysis: A Critical Overview**, Progress in Planning, 62(1), PP. 3-65.

Maleki, Fahimeh, Hossein Kazemi, Asieh Siahmarguee, and Behnam Kamkar. 2017. **Development of a Land Use Suitability Model for Saffron (Crocus Sativus L.) Cultivation by Multi-Criteria Evaluation and Spatial Analysis.** Ecological Engineering 106: 140–53. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.050.

Montgomery, B., Dragićević, S., Dujmović, J. & Schmidt, M., 2016, **A GIS-Based Logic Scoring of Preference Method for Evaluation of Land Capability and Suitability for Agriculture**, Computers and Electronics in Agriculture, 124(June), PP. 340-53.

Nouri, J, and R Sharifipour. n.d. **Ecological Capability Evaluation of Rural Development by Means of GIS.** Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering 1 (2): 81–90. Accessed October 17, 2018. http://www.bioline.org.br/abstract?se04020.

Ochoa, P.A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J.I., Ruíz-Sinoga, J.D. & Cerdà, A., 2016, **Effects of Climate, Land Cover and Topography on Soil Erosion Risk in a Semiarid Basin of the Andes**, Catena, 140, PP. 31-42.

Opricovic, S. & Tzeng, G.-H., 2004, **Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS**, European Journal of Operational Research, 156(2), PP. 445-455.

Opricovic, S., 2007, **Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods**, European Journal of Operational Research,178(2), PP. 514-529.

Patten, B.C., 2010, **Natural Ecosystem Design and Control Imperatives for Sustainable Ecosystem Services**, Ecological Complexity, 7(3), PP. 282-91.

Rezaei, J., 2015, **Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method**, Omega, 53, PP. 49-57.

Rezaei, J., 2016, **Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method: Some Properties and a Linear Model**, Omega, 64, PP. 126-130.

San Cristóbal, J.R., 2011, **Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The Vikor Method**, Renewable Energy, 36(2), PP. 498-502.

Thompson, J.A., Bell, J.C. & Butler, C.A., 2001, **Digital Elevation Model Resolution: Effects on Terrain Attribute Calculation and Quantitative Soil-Landscape Modeling**, Geoderma, 100(1-2), PP. 67-89.

Vashisht, B.B., Mulla, D.J., Jalota, S.K., Kaur, S., Kaur, H. & Singh, S., 2013, P**roductivity of Rainfed Wheat as Affected by Climate Change Scenario in Northeastern Punjab, India**, Regional Environmental Change, 13(5), PP. 989-98.

Wang, B., Song, J., Ren, J., Li, K., Duan, H. & Wang, X., 2019, **Selecting Sustainable Energy Conversion Technologies for Agricultural Residues: A Fuzzy AHP-VIKOR Based Prioritization from Life Cycle Perspective**, Resources, Conservation and Recycling ,142, PP. 78-87.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

15-34

Determining the Land Suitability for Dryland Wheat Cultivation Using GIS Based VIKOR Decision Model: A Case Study of Fars Province

Gobal M.[1*], Pishvaee M.S.[2], Mojaradi B.[3]

1. M.Sc. Student of Engineering, School of Industrial Engineering (SIE), Iran University of Science & Technology
2. Associate Prof., School of Industrial Engineering (SIE), Iran University of Science & Technology
3. Assistant Prof., School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology

Abstract

From the beginning of the Earth until now, humans have affected their environment more than any other creature. With increasing population, water and soil constraints, and climate change, food supply has faced serious challenges. Among agricultural products, wheat is one of the most widely used strategic crops in Iran and many countries in the world, which can be grown in hot and dry climates with good yields. In Iran, about 10% of the demand for agricultural products is supplied from Fars province. Fars province also has the second rank of wheat production among the provinces of Iran. This study intends to evaluate the suitability of lands in this province for dryland wheat cultivation. In the first step, climatic, soil and topographic data in the area of Fars province are reviewed and analyzed. In the next step, the information layers are entered into the GIS software and the suitability map of wheat cultivation lands is determined using the VIKOR multi-criteria decision analysis method. The results of this study have shown that about 32% of the Fars province lands is in the first and second rank of land suitability for wheat cultivation. Also, the distribution of suitable areas for wheat cultivation is higher in the western and northwestern regions of Fars province.

Keywords: GIS, Multicriteria Decision Making, Landuse, VIKOR, Wheat.

* Correspondence Address: School of Industrial Engineering, University of Science and Technology of Iran, University St., Hengam St., Resalat Square, Tehran, Iran. Postal Code: 13114-16846
Email: mehrdadgobal@yahoo.com