تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۱۲-۹۷

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی زراعی- بوم شناختی کشت اسفرزه (*Plantago ovata*) در منطقه سیستان با استفاده از مدل بولین و تحلیل سلسله مراتبی

محمدرضا اصغری‌پور[1*]، زهرا مرزبان[2]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: m_asgharipour@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.311771.1149**

چکیده

منطقه سیستان با محدودیت‌های فراوانی در بخش آب و خاک مناسب برای کشاورزی مواجه است. کشت گیاهان دارویی از جمله کشت گیاه اسفرزه با نیاز رطوبتی اندک و مقاومت بالا به خشکی و ارزش افزوده بالا از راهکارهای مهم مقابله با محدودیت‌های متعدد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در منطقه سیستان است. این مطالعه با هدف پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی گیاه اسفرزه در راستای شناسایی مناطق مستعد کشت این گیاه در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک آنالیز مکانی انجام گرفت. برای انجام این مطالعه از لایه‌های اقلیمی، توپوگرافی و هیدرولوژی منطقه استفاده شد. برای انجام پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت، از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب مدل‌های بولین و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Arc/GIS 10 نقشه‌های هم ارزش تهیه شده، و سپس ماتریس دو به دو هر یک از لایه‌ها به ترتیب اهمیت در نرم‌افزار Idrisi ترسیم و میزان اهمیت هر یک از عناصر مشخص گردید. در نهایت با تلفیق نقشه‌ها در محیط Arc/GIS 10 نقشه نهایی استخراج شد. نتایج مطالعه نشان داد که غالب نواحی منطقه زابل جهت کشت اسفرزه از پتانسیل مناسبی برخوردار است. با این‌حال، بخش‌هایی شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب غربی و شمال شرقی و به طور پراکنده قسمت‌هایی از غرب و جنوب غربی و قسمت محدودی از شمال شرقی فاقد استعداد کشت اسفرزه است. هم‌چنین مدل بولین به دلیل دقت بالا و توجه به محدودیت در این منطقه، نتایج بهتری را نسبت به مدل AHP ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: امکان سنجی، تناسب اراضی، گیاهان دارویی، AHP، GIS

مقدمه

یک‌سوم از اراضی کشاورزی جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. بارندگی کم همراه با توزیع نامناسب زمانی و مکانی، کمبود منابع آب، افزایش تقاضا برای آب، شوری خاک و تخریب آن از مشکلات اساسی در مناطق خشک می‌باشد (Mazahreh *et al.*, 2019). در این مناطق به‌دلیل عدم شناخت ویژگی‌های اگرواکولوژیک و عوامل دخیل در تناسب اراضی امکان تعیین الگوی کشت و برنامه مناسب برای فعالیت-های کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار وجود ندارد. بنابراین هر ساله خسارات جبران‌ناپذیری به بخش کشاورزی وارد گردیده و با گذشت زمان با پدیده‌ی تخریب اراضی و کاهش تولید در واحد سطح مواجه خواهیم شد (Wang *et al.*, 2015). بطور کلی اولین قدم در رفع چالش موجود در رابطه با برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی، پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی است که به مدیریت پایدار منابع کشاورزی می‌انجامد (Shokati and Feizizadeh, 2019). پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی که یک ابزار ضروری در برنامه‌ریزی کشاورزی محسوب می‌شود، این روش در دهه ۷۰ میلادی برای اولین بار توسط FAO برای ارزیابی اراضی و تعیین پتانسیل تولیدات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و ملی پیشنهاد شد (Vilček and Torma, 2016; Falasca *et al.*, 2015; Reddy *et al.*, 2018). این روش بر پایه کمی کردن اطلاعات اقلیمی، خاک و سایر عوامل است که برای پیش‌بینی پتانسیل تولید بسیاری از گیاهان زراعی بر طبق نیازهای محیطی و مدیریتی آن‌ها و تعیین دورنمای پایداری سیستم‌های آینده استفاده می‌شود (Neamatollahi *et al.*, 2012).

پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی، تلفیقی از لایه‌های اطلاعات محیطی است که در آن اقلیم، آب، پستی و بلندی و شرایط

خاک به‌صورت یک مجموعه همگن محیط زیستی در ارتباط با سامانه‌های زراعی مشخص، کاربری اراضی و تنوع زیستی قرار می‌گیرد. با تلفیق اجزاء اصلی و مؤثر بر کشاورزی، امکان بررسی همه‌جانبه شرایط تولید فراهم شده و پتانسیل‌ها و محدودیت‌های محیطی بهتر بررسی و تصمیم‌گیرندگان عرصه کشاورزی با داشتن یک نقشه جامع و کامل به‌جای نقشه‌های واحد و پراکنده، تصمیمات درستی اتخاذ می‌کنند (Mohamed *et al*., 2014; Nguyen *et al*., 2015). شناخت امکانات بالقوه‌ی اقلیمی و نیازهای آب و هوایی گیاهان، عامل افزایش محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. چنانچه امکان شناسایی مناطق مستعد کشت گیاهان با توجه به نیازهای اکولوژیکی و محدودیت‌ها و توانمندی‌هایی را که اقلیم و توپوگرافی ایجاد کرده، فراهم باشد، عملاً می‌توان به عملکرد بیشتری در واحد سطح دست یافت (Liu *et al*., 2009). هم‌چنین توسعه اقتصادی آن دسته از گیاهان مقاوم به خشکی که مواد شیمیایی با ارزشی را برای نیازهای انسان تأمین می‌کنند می‌توانند در برنامه‌های آمایش سرزمین مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود (Shokati and Feizizadeh, 2019). در این مناطق، تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با ارزش افزوده بالا و توانایی حفاظت از منابع پایه از جمله آب، اهمیت بالایی دارد (Mardani Najafabad *et al*., 2019).

گیاهان دارویی از سیستم ریشه‌ای گسترده‌ای برخوردار هستند که نشان‌دهنده سازگاری این گیاهان به کاهش قابلیت دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌باشد. کاشت گیاهان دارویی به‌دلیل نیاز آبی کم در شرایط خشک‌سالی و قابلیت تولید در زمین‌های کم‌بازده می‌تواند در افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک مؤثر واقع گردد (Tomar *et al*., 2010). در این میان گیاه دارویی اسفرزه به‌عنوان یکی از اقتصادی‌ترین گیاهان موسیلاژدار می‌تواند جزء آن گروه از گیاهانی منظور گردد که دارای نیاز رطوبتی کم و مقاوم به خشکی و دارای ارزش افزوده است (Mosavi *et al*., 2012; Kuiper and Bos, 2012). اسفرزه با نام علمی *Plantago ovate* متعلق به تیره بارهنگ گیاه بومی هند و ایران است و در مناطق خشک غرب آسیا، کشورهای مدیترانه و عراق گسترش یافته است (Asgharipour and Rafiei, 2010). محققین با سامانه اطلاعات جغرافیایی، و روش تصمیم‌گیری چند معیاره، و با استفاده از داده‌های خاکشناسی، اقلیم، توپوگرافی، منابع آب و اراضی استان آذربایجان شرقی را جهت کشت زعفران پهنه‌بندی کردند (Shokati *et al*., 2019). نتایج این مطالعه نشان داد که ۴۲ درصد این منطقه دارای تناسب بسیار مناسب و ۵۴ درصد دارای تناسب مناسب برای کشت زعفران می‌باشد. محققین با پهنه‌بندی منطقه وادی العفریت مصر برای تولید *Ebenus armitagei* و *Periploca angustifolia* با استفاده از عوامل اقلیمی (دما و بارندگی) توپوگرافی (ارتفاع)، نوع خاک و پوشش گیاهی مناطق در معرض تهدید و تولید این گیاهان را مشخص کردند (Gamal *et al*., 2020). نتایج این مطالعه نشان داد که بیشتر مناطق در معرض تهدید برای دو گونه در قسمت شرق منطقه وادی العفریت است.

ایران به‌دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، شرایط اقلیمی و چهار فصل بودن ظرفیت فوق‌العاده‌ای جهت تولید و صادرات گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن‌ها دارد. از طرفی منطقه سیستان پتانسیل بالایی در زمینه کشت، سرمایه‌گذاری و تجارت این نوع گیاهان دارد. تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص ارزیابی میزان تناسب اراضی منطقه سیستان برای توسعه کشت گیاه اسفرزه انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده تا با ارزیابی برخی منابع اکولوژیک منطقه سیستان و تطابق آن با نیازهای بوم‌شناختی گیاه اسفرزه، امکان توسعه این گیاه دارویی با ارزش ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعت حدود ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع ۱۱/۵ درصد مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (Sistan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 1394, 2016) (جدول ۱).

در مطالعه حاضر منطقه سیستان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. دشت سیستان با وسعت ۱۶۸۵۹ کیلومتر مربع از آبرفت‌های رودخانه هیرمند برآمده است (Lavasani *et al*., 2015) و بزرگترین دریاچه آب شیرین ایران، دریاچه هامون، را در خود جای داده است. کوه خواجه تنها عارضه طبیعی است که در این ناحیه خودنمایی نموده و مابقی دشت بصورت هموار با شیب ۲ در هزار از جنوب شرق و مرز افغانستان در نقطه ورودی هیرمند به سیستان، به

سمت شمال‌غرب به دریاچه‌های سه‌گانه هامون ختم می‌شود. از نظر اقلیمی این دشت در تیپ اقلیم خشک بیابانی قرار دارد و متوسط بارندگی سالیانه آن کمتر از ۶۵ میلی‌متر است (Dinpazhoh, 2010). در عین حال میزان تبخیر و تعرق پتانسیل آن قریب به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است (Hosseinzadeh, 1997). این شرایط در مجموع باعث خشکی طبیعی این سرزمین گردیده و در صورت کاهش آب ورودی هیرمند، خشک‌سالی‌های مخرب در آن به‌وقوع می‌پیوندد (شکل ۱).

جدول ۱- مشخصات عمومی ایستگاه های اقلیم شناسی و سینوپتیک پوشش دهنده منطقه سیستان

Table 1- General specifications of climatological and synoptic stations covering Sistan region

شهرستان County	مساحت Area (Km^2)	تعداد بخش Number of sections	تعداد شهر Number of city	تعداد دهستان Number of villages
زابل Zabol	344	1	2	1
زهک Zahak	802	2	1	4
نیمروز Nimroz	9714	2	1	4
هامون Hamoun	4987	2	2	4
هیرمند Hirmand	1012	2	1	5

ارزیابی توان اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه به روش ارزیابی چند معیاره (MCE)

در این پژوهش جهت تعیین توان اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه از روش ارزیابی چند معیاره[1] (MCE) استفاده شد (El Jazouli *et al*, 2019; Kamdar *et al*., 2019). این روش مراحل زیر را شامل می‌شود:

- شناسایی و توسعه معیارهای مؤثر در توان اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی
- استانداردسازی معیارها به روش فازی
- وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP)
- ادغام لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده از توان منطقه جهت کشت اسفرزه به روش ادغام خطی وزن داده شده[3] (WLC)
- تهیه نقشه‌های تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه

شناسایی و توسعه معیارهای مؤثر در توان اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه

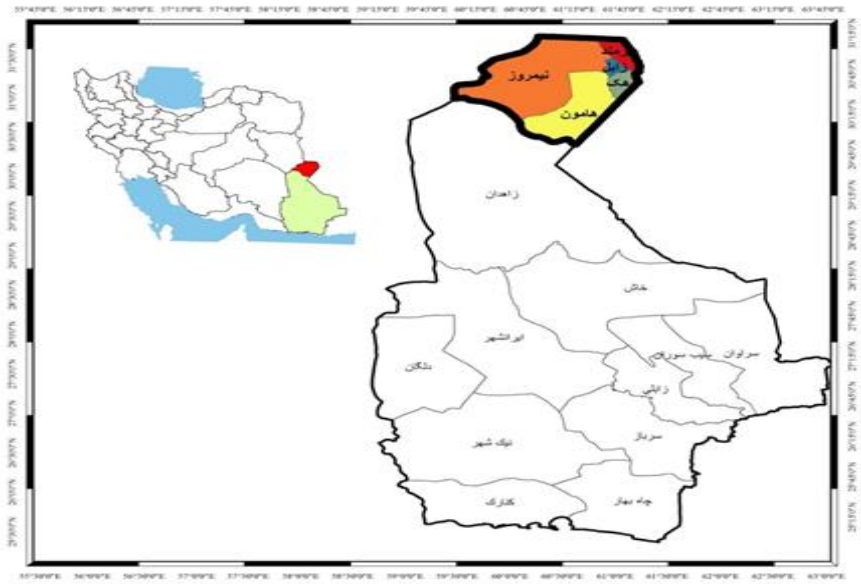
شناسایی و توسعه معیارها، اولین مرحله از فرایند MCE به‌شمار می‌رود (Kihoro *et al*., 2013). به‌منظور شناسایی معیارهای مؤثر یک مدل اکولوژیکی جهت ارزیابی توان اراضی سیستان برای کشت اسفرزه باید تعریف شود. مدل اکولوژیکی تعریف شده ملاک تصمیم‌گیری و پهنه‌بندی به‌شمار می‌رود. این معیارها در دو دسته محدودیت‌ها و عوامل طبقه‌بندی می‌شوند. محدودیت‌ها شامل آن دسته از عوامل می‌شود که تحلیل را برای مناطق خاص جغرافیایی محدود می‌کنند. محدودیت‌ها همیشه بصورت تصاویر بولین نشان داده می‌شوند. لایه‌های بولین دارای ارزش‌های صفر و یک هستند و محدودیت‌های قطعی را نشان می‌دهند که در آن صفر نشان‌دهنده عدم تناسب و یک نشان‌دهنده تناسب است. پس در هر لایه محدودیت فقط دو عدد صفر و یک دیده می‌شود (Machiwal and Singh, 2015).

استانداردسازی معیارها به روش فازی

عوامل معیارهایی هستند که درجات مطلوبیت را برای تمام منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. این معیارها مناطق را به‌صورت اعداد پیوسته مطلوبیت نشان می‌دهند. با توجه به اینکه عوامل دامنه ارزش متفاوت دارند، استانداردسازی مورد نیاز است. براساس وزن‌دهی عوامل و پارامترهای مورد نظر برای هر کاربری، لایه‌های فازی در محدوده‌ای بین صفر تا ۲۵۵ استانداردسازی می‌شوند. این عدد هر چه به ۲۵۵ نزدیک‌تر باشد مطلوبیت بالاتر را نشان می‌دهد. باید برای هر کاربری پارامترهای مورد نظر را به

1. Multi Criteria Evaluation
2. Analytical Hierarchy Process
3. Weighted Linear Combination

صورت لایه‌های فازی اطلاعاتی در پایگاه داده ذخیره و از آن‌ها برای ادغام لایه‌ها استفاده کرد (Murmu *et al*., 2019; Nisar Ahamed *et al*., 2000).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

وزن‌دهی لایه‌ها به روش AHP

در این روش از نوعی وزن‌دهی کمی با ترجیحات استفاده می‌شود. در این روش‌ها عوامل مؤثر، سطح به سطح شکسته و عوامل سطوح مختلف که هیچ وابستگی به هم ندارند بر اساس ماتریس مقایسه زوجی رتبه‌بندی می‌شوند. درجات اهمیت معمولا به‌صورت خیلی ضعیف: ۱، ضعیف: ۳، متوسط: ۵، خوب: ۷ و عالی: ۹ است. بعد از طراحی ساختار سلسله مراتبی در این روش، پرسشنامه‌هایی تنظیم می‌شود که هدف آن مقایسه زوجی معیارها در هر سطح با توجه به معیار موجود (ماتریس مربوط به مدل کاربری) در یک سطح بالاتر است (Nuthammachot and Stratoulias, 2019). در این پژوهش با توجه به ساختار سلسله مراتبی در سطوح مختلف، اهمیت نسبی معیارها با نظر کارشناسی مقایسه شد. برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی از شاخص سازگاری استفاده شد (جدول ۲).

چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد وزن‌دهی صحیح و در غیر این‌صورت وزن‌های نسبی داده شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن‌دهی مجدداً انجام شود (Ostovari *et al*., 2019; Behniafar *et al*., 2010).

ادغام لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده به روش WLC

یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در ترکیب داده‌ها، WLC است. در WLC هر عامل استاندارد شده در وزن مرتبط با آن ضرب می‌گردد، سپس عوامل با هم جمع می‌شوند. زمانی‌که وزن‌ها برای هر سلول محاسبه شد، نقشه حاصل یکبار دیگر در نقشه‌های محدودیت ضرب می‌گردد تا مناطقی که نباید مورد محاسبه قرار گیرند، خارج شوند. نقشه نهایی مربوط به محاسبه ترکیب مطلوبیت در محدوده صفر تا ۲۵۵ برای مناطقی است که محدودیتی برای توسعه ندارند. در این مرحله لایه‌ها با استفاده از روش ادغام خطی وزن داده شده ادغام می‌شوند. فرمول روش WLC بصورت رابطه ۱ است (Barzehkar *et al*., 2019).

$$S= \sum i= WiXi \prod Ci \qquad (۱)$$

S= تناسب برای کاربری مورد نظر، Wi= وزن هریک از لایه‌ها، Xi= لایه فازی، که عامل نامیده می‌شود،

$\prod$= علامت ضرب، Ci= لایه بولین، که محدودیت نامیده می‌شود

ارزیابی به‌روش WLC تا مرحله ادغام لایه‌های اطلاعاتی و بدست آوردن توان بالقوه اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه

پیش می‌رود. لایه‌های پایه و استخراجی برای پهنه‌بندی زراعی– بوم‌شناختی اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه بعد از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و تشکیل پایگاه اطلاعاتی منطقه مورد نظر، منابع موجود مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. عواملی که با هدف پهنه‌بندی زراعی– بوم‌شناختی اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه مورد استفاده قرار گرفته است به شرح جدول ۳ بود. مطابق با منابع، برای تعیین توان اکولوژیک اراضی سیستان از عامل متعددی استفاده شد تا بتواند بازگوکننده توان و استعداد واقعی منطقه باشد. سپس جهت ارزیابی تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه اقدام به تهیه عوامل و محدودیت‌ها گردید. در نهایت وزن AHP به‌منظور تعیین اولویت هر نقشه در مدل اکولوژیکی تعیین شد و نقشه‌ها به‌همراه وزن آن‌ها برای ارزیابی تناسب کاربری به‌روش WLC، مطابق مدل اکولوژیکی به‌کار گرفته شد.

جدول ۲- درجه اهمیت عوامل جهت ارزیابی تناسب اراضی

Table 2- The importance of factors for land suitability assessment

ردیف Row	عامل Factors	وزن (AHP) Weight (AHP)
1	نقشه فازی بافت خاک Map fuzzy texture soil	0.125
2	نقشه فازی شیب Fuzzy slope map	0.044
3	نقشه فازی جهت Fuzzy direction map	0.019
4	نقشه فازی بارش Fuzzy precipitation map	0.163
5	نقشه فازی کاربری و پوشش اراضی Fuzzy cluster of land use and land cover	0.056
6	نقشه فازی فاصله از جاده‌ها Fuzzy road distance map	0.042
7	نقشه فازی فاصله از رودخانه و آبراهه ها Fuzzy of distance from rivers and streams map	0.121
8	نقشه فاصله از سکونتگاه های انسانی Map of distance from human settlements	0.046
9	نقشه فازی تبخیر و تعرق Fuzzy evapotranspiration map	0.076
10	نقشه فازی دما Fuzzy temperature map	0.234
11	نقشه فازی ارتفاع Fuzzy altitude map	0.064

Consistency ratio = 0.04

ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت اسفرزه

جهت تعیین تناسب اراضی جهت کشت اسفرزه مدل اکولوژیکی در نظر گرفته شد که عوامل مورد بررسی در جدول ۴ قابل مشاهده است. فازی‌سازی جهت تعیین تناسب ارزیابی جهت کشت اسفرزه مطابق جدول ۵ انجام شد. نقشه‌ها پس از تعیین وزن و درجه اولویت با روش AHP بررسی شدند. سپس نقشه‌های فازی شده گونه اسفرزه مطابق مطالب ذکر شده محاسبه و در شکل ۲a-j ارائه شده‌اند. در تمام نقشه‌ها با افزایش ارزش‌ها از صفر تا ۲۵۵ تناسب افزایش می‌یابد.

جدول ۳- نقشه‌های مورد استفاده در اجرای روش MCE

Table 3- The used mapes in implementing the MCE method

ردیف Row	نام لایه Name of layer	مقیاس Scale	منبع Source
1	خاک Soil	1:250000	نقشه خاک فائو FAO soil map
2	سنگ Rock	1:250000	سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی Geological survey of minerals
3	ارتفاع Altitude	1:250000	سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency
4	شیب Slope	1:250000	سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency
5	جهت Direction	1:250000	سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency
6	دما Temperature		سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization
7	بارندگی Precipitation		سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization
8	تبخیر و تعرق Evapotranspiration		سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization
9	شبکه جاده Road network		سازمان راه و شهرسازی Road and Urban Development Organization
10	کاربری اراضی Land use		استخراج از تصویر ماهواره لندست (سنجنده OLI ۲۰۱۶) Extracted from landsat satellite image (OLI 2016 Sensor)
11	تراکم پوشش گیاهی Density of vegetation cover		استخراج از تصویر ماهواره لندست (سنجنده OLI ۲۰۱۶) Extracted from landsat satellite image (OLI 2016 Sensor)
12	منابع آب water resources		مستخرج از نقشه کاربری اراضی Extracted from Land Use Map
13	فاصله از رودخانه Distance from the river		سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان Regional Water Organization of Sistan and Baluchestan Province

جدول ۴- نقشه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت اسفرزه

Table 4- Maps used to assess land suitability for isabgol cultivation

نقشه های عوامل مورد استفاده Factor maps used	نقشه های محدودیت مورد استفاده Restriction maps used
نقشه فازی بافت خاک Map fuzzy texture	بافر ۳۰ متری از جاده Buffer 30 meters from the road
نقشه فازی شیب Fuzzy slope map	شیب بالاتر از ۸ درصد Slope above 8%
نقشه فازی جهت Fuzzy direction map	بافر۶۰متری از رودخانه و آبراهه‌ها 60m buffer of rivers and waterways
نقشه فازی بارش Fuzzy precipitation map	بافر ۱۰۰ متری از سکونتگاه های انسانی 100 m buffer from human settlements
نقشه فازی کاربری و پوشش اراضی Fuzzy cluster of land use and land cover	
نقشه فازی فاصله از جاده‌ها Fuzzy road distance map	
نقشه فازی فاصله از رودخانه و آبراهه ها Fuzzy of distance from rivers and streams map	
نقشه فاصله از سکونتگاه های انسانی Map of distance from human settlements	
نقشه فازی تبخیر و تعرق Fuzzy evapotranspiration map	
نقشه فازی دما Fuzzy temperature map	
نقشه فازی ارتفاع Fuzzy altitude map	

جدول ۵- نحوه فازی سازی و نقاط کنترل عوامل در ارزیابی تناسب اراضی گیاه اسفرزه

Table 5- Method to fuzzify and control points of factors in assessing the suitability of isabgol

عامل Factor		روش فازی و نقاط کنترل عوامل گیاه اسفرزه Fuzzy Approach and control points for isabgol
1	ارتفاع Altitude (m)	J شکل صفر تا ۱۱۰۰ متر یک، ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر کاهشی، بیشتر از ۱۵۰۰ متر صفر J shape to 1100 meters one, 1100 to 1500 meters subtracted, more than 1500 meters zero ۰
2	شیب Slope (%)	خطی صفر تا ۴ درجه ۱، ۴ تا ۸ درجه کاهشی و بیشتر صفر Linear 0 to 4 degrees 1, 4 to 8 degrees is descenting and more is zero
3	جهت aspect	جنوب و جنوب شرق و بدون جهت برابر یک، شرق و شمال شرق ۰/۶، بیشتر ۰/۱ South and southeast without direction is one, east and north east is 0.6 and more is 0.1
4	بافت خاک soil texture	لومی شنی- لومی- شنی برابر یک، شنی لومی-لومی رسی شنی- لومی رسی سیلتی برابر ۰/۵، بقیه صفر Sandy loamy, loam, sandy is onem lomy sand, sand clay loamy, silty caly loam is 0.5 and other is zero
5	کاربری و پوشش اراضی Land use and land cover	مطابق جدول ۶ According to Table 6
6	فاصله رودخانه و آبراهه‌ها Distance of rivers and waterways (m)	خطی کاهشی از ۶۰ Decrease line of 60
7	فاصله از جاده ها Distance from road (m)	صفر تا ۳۰ صفر از ۳۰ تا ۵۰۰ ثابت و بیشتر کاهشی 0 to 30 zeros From 30 to 500 constants and more decreasing
8	فاصله از روستا Distance from village (m)	0 تا 100 صفر و بیشتر کاهشی 0 to 100 zeros and more decreasing
9	میانگین بارش سالانه Average annual precipitation (mm)	0 تا50 صفر 50 تا 135 افزایشی 135 و بیشتر 1 0 to 50 is zero; 50 to 135 increasing; 135 and more is 1
10	میانگین دما سالانه Average annual temperature (°C)	0 تا 12 صفر، 12 تا 20 افزایشی 20 تا 30 و بیشتر کاهشی 0 to 12 is zeros; 12 to 20 increasing; 20 to 30 increasing and more decreasing
11	تبخیر و تعرق سالانه Annual evapotranspiration	خطی کاهشی Decreased linearly

به‌منظور تهیه نقشه‌های تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه در محیط نرم‌افزار IDRISI، در ابتدا فرمول قابل اجرای مربوط به هر گونه مطابق جدول ۶ تهیه شده و در ادامه با استفاده از ماژول محاسبه گر رستری به بررسی و اجرای فرمول MCE پرداخته شد. بر اساس مطالب فوق، هریک از عوامل برای ارزیابی تناسب فازی شدند (جدول ۷). در نهایت نقشه‌های ارزیابی تناسب اراضی برای گونه اسفرزه را بدون در نظر گرفتن محدودیت و نقشه بویلین محدودیت ارائه شد.

جدول ۶- طبقات کاربری اراضی فازی شده و اولویت های آن برای ارزیابی تناسب گیاه اسفرزه

Table 6- Fuzzy land use category and its priorities for evaluation of isabgol land suitability

ردیف Row	طبقات کاربری و پوشش اراضی Land use and land coverage	الویت Priority
1	منابع آب Water resources	0
2	باغ Garden	0.6
3	بایر Arid	0.8
4	بیرون زدگی سنگی Rock outcropping	0
5	تالاب Wetland	0
6	تپه شنی Sandy hill	0
7	جنگلکاری Forestry	0.3
8	درختزار Woodlands	0.2
9	دریاچه شور Saline lake	0
10	اراضی شور Saline lands	0
11	کشاورزی Cropland	1
12	مرتع ضعیف Poor rangeland	0.7
13	مرتع متوسط Medium rangeland	0.7
14	مسیل Stream	0
15	مناطق شهری Urban area	0

جدول ۷- فرمول اجرایی MCE گونه اسفرزه

Table 7- MCE formula for isabgol

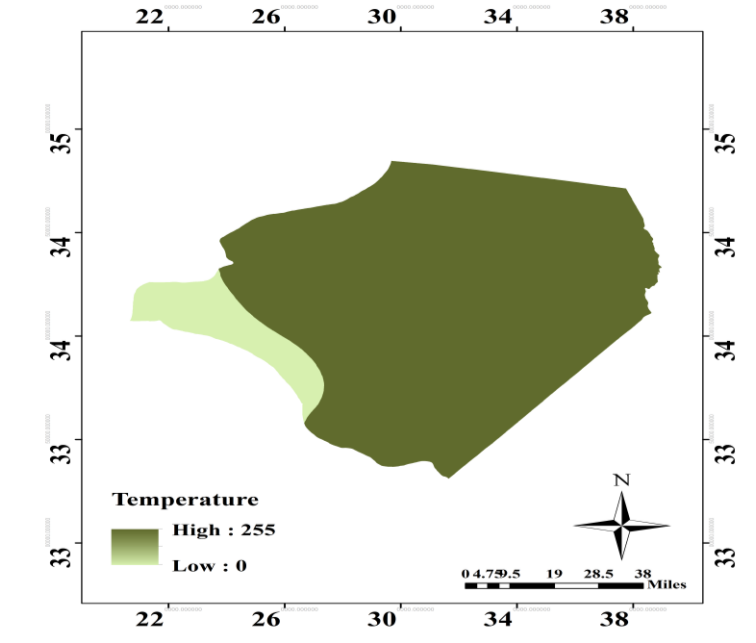
MCE: (نقشه فازی جهت × ۰/۰۱۹) + (نقشه فازی شیب × ۰/۰۴۴۸) + (نقشه فازی ارتفاع × ۰/۰۶۴) + (نقشه فازی کاربری اراضی × ۰/۰۵۶) + (نقشه فازی سکونت گاه های انسانی × ۰/۰۵۶) + (نقشه فازی خاک × ۰/۱۲۵) + (نقشه فازی فاصله از رودخانه × ۰/۱۲) + (نقشه فازی فاصله از جاده × ۰/۰۴) + (نقشه فازی بارش × ۰/۱۶۳) + (نقشه فازی دما × ۰/۲۳) + (نقشه فازی تبخیر و تعرق × ۰/۷۶) × (نقشه بولین شیب × نقشه بولین رودخانه × نقشه بولین ارتفاع × نقشه بولین جاده‌ها × نقشه بولین سکونتگاه های انسانی)

MCE: (Fuzzy map of direction × 0.019) + (Fuzzy map of slope × 0.0448) + (Fuzzy map of height × 0.064) + (Fuzzy map of land use × 0.056) + (Fuzzy map of human settlements × 0.056) + (Fuzzy map of soil × 0.125) + (Fuzzy map of distance from the river × 0.12) + (Fuzzy map of distance from the road × 0.04) + (Fuzzy map of rainfall × 0.163) + (Fuzzy map of temperature × 0.23) + (Fuzzy map of evapotranspiration × 0.76) + (Boolean map of slope × Boolean map of river × Boolean map of elevation × Boolean map of road × Boolean map of human settlements)

نتایج و بحث

پارامتر دمایی

نتایج حاصل از نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که بیشترین میانگین دما در بخش‌های شمال، شرق و مرکزی و کمترین میانگین دما در بخش غربی شهرستان است. مناسب‌ترین منطقه برای کشت و پرورش اسفرزه مناطق معتدل و خنک است و در مناطق گرمسیری کشت آن موکول به ماه‌های خنک‌تر سال یعنی آبان و آذر می‌گردد (Zubair *et al.*, 2011). با توجه به سرمادوست بودن اسفرزه، مناطقی که درجه‌حرارت میانگین ۲۰- ۱۲ درجه سانتی‌گراد دارند، در طبقات کاملاً مناسب و مناسب قرار گرفتند (جدول ۴). نیمه شمالی (شهرستان‌های هیرمند، زابل و زهک) و شرق سیستان (شهرستان هامون) و نیمه شرقی شهرستان نیمروز قابلیت کشت این گیاه را دارند. در این بین نیمه غربی شهرستان نیمروز دارای دمای بالاتر نسبت به سایر ایستگاه‌ها بود که این امر کشت اسفرزه در این منطقه را محدود کرده است (شکل ۲). بنابراین از لحاظ میانگین دما، ۱۵۰۴۸۶/۸ و ۱۴۴۹۵۲/۳ هکتار از اراضی استان به‌ترتیب در گروه مناطق با طبقات بسیار مناسب و مناسب قرار گرفتند.



شکل ۲- دما مورد بررسی برای کشت اسفرزه در منطقه سیستان

Figure 2- Temperature investigated for isabgol cultivation in Sistan region

پارامترهای هیدرولوژی

اسفرزه گیاهی است با نیاز آبی کم که جهت رشد بهینه خود نیازمند دریافت حداقل ۱۳۵ میلی‌متر آب است (Dhar *et al.*, 2005). این نیاز آبی از طریق بارش ماه‌های پاییز، زمستان و بهار و یا از طریق آبیاری‌های تکمیلی قابل تأمین و جبران است. از نظر اقلیمی این دشت در تیپ اقلیم خشک بیابانی قرار دارد و متوسط بارندگی سالیانه آن کمتر از ۶۵ میلی‌متر است؛ در عین حال میزان تبخیر در آن قریب به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. مقادیر زیاد تبخیر از خاک حاکی از کمبود دسترسی به آب برای گیاه در طول دوره رشد است. با توجه به اینکه در تمامی مناطق خشک مانند سیستان نظام‌های کشاورزی از نوع نظام‌های مبتنی بر آبیاری کامل یا تکمیلی می‌باشد و در این تحقیق نیز نظام کشت مبتنی بر آبیاری تکمیلی اسفرزه مورد توجه بوده است لذا لایه ی بارش در ارزیابی با ضریب پایین ارزش گذاری شد.

پارامترهای توپوگرافی

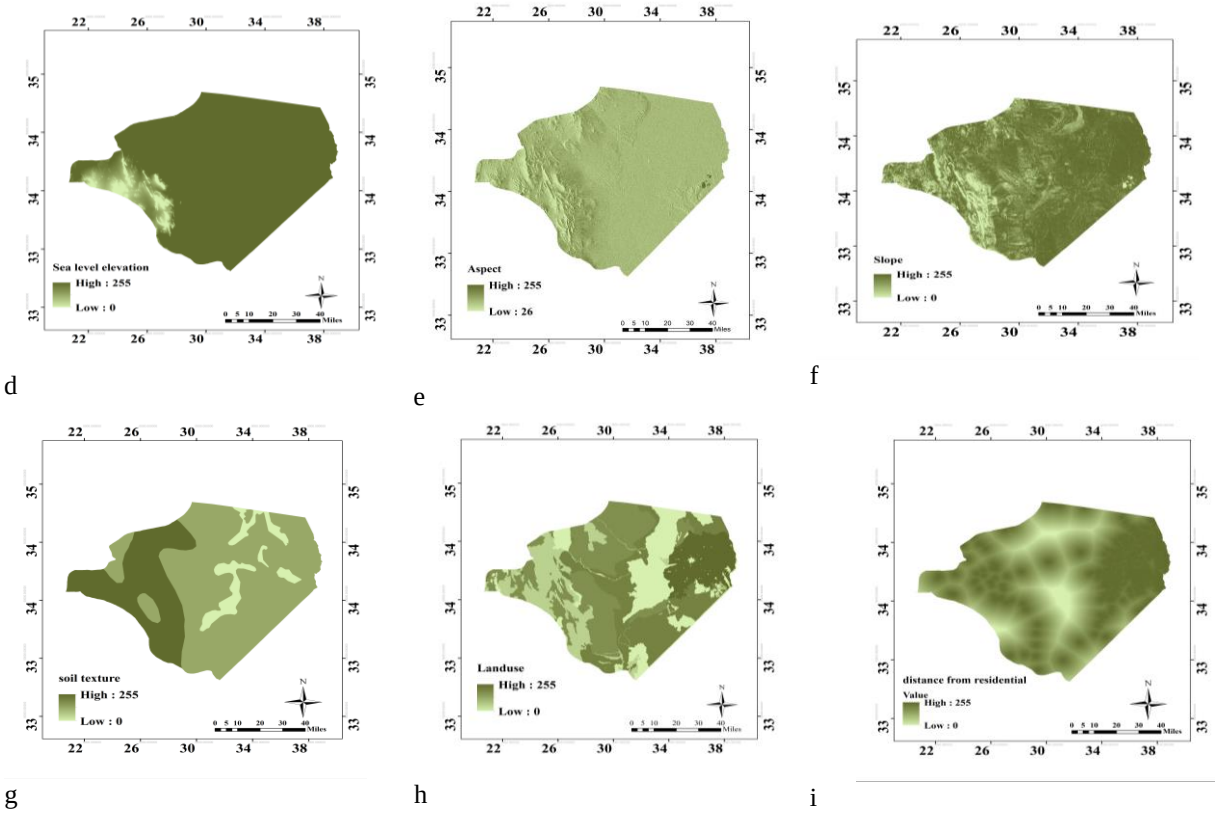
ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین عوامل توپوگرافی در تعیین تنوع، غنا و زیستگاه یک گونه گیاهی به‌حساب می‌آید (Hortal *et al.*, 2013). با افزایش بیش از حد ارتفاع از سطح دریا،

مجموع عوامل اکولوژیکی مانند شرایط اقلیمی، خاکی و غیره که در رشد و نمو گیاهان تأثیر بسزایی دارند، حالت نامساعد پیدا کرده و باعث ایجاد شرایط نامناسب برای رشد مطلوب گیاه می‌شوند (Jones and Maberly, 2003). ارتفاع از سطح دریا می‌تواند اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر رشد گیاه زراعی داشته باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان کیفیت نور دریافتی تغییر کرده و تشعشعات فرابنفش باعث نقصان رشد گیاه می‌شود (Hortal *et al*., 2013). علاوه بر این افزایش ارتفاع از سطح دریا باعث تأخیر در گل‌دهی گیاه نیز می‌شود (Guangcai and Dongbing, 1995). بررسی‌ها نشان داد که گیاه اسفرزه در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۱۱۰۰ متر از سطح دریا بهترین رشد را دارد (Zubair *et al*., 2011). در این خصوص مناطق جنوب، شرق و شمال غربی سیستان (شهرستان‌های هیرمند، زهک، زابل و هامون) دارای ارتفاع مطلوب جهت کشت این گیاه هستند.

شیب زمین دیگر عامل توپوگرافی مهم است که تأثیر زیادی روی گیاه زراعی دارد. برای تمام گیاهان زراعی هرچه درجه شیب زمین کمتر باشد، شرایط برای رشد مناسب‌تر است. چرا که با افزایش درجه شیب عمق خاک به‌دلیل فرسایشات بادی و خاکی کم شده و شرایط برای کشت گیاه نامطلوب می‌شود (Hongratanaworakit, 1994). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ۲۵۰۲۷۸/۴ هکتار از اراضی سیستان دارای شیب بین صفر تا ۴ درصد می‌باشند (جدول ۸). اکثر مناطق سیستان دارای شیب قابل قبول جهت کشت گیاهان هستند و تنها ۱۰۹۵۵۰/۶ هکتار از اراضی کوهستانی در کلاس نامناسب قرار گرفتند. مناطق شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب شرق سیستان با دارا بودن زمین‌های هموار و صاف مستعد دریافت نور بیشتر و دمای مطلوب رشد هستند. مناطق با شیب‌های کم قدرت بالایی در نفوذ بهتر آب و ذخیره رطوبتی خاک می‌توانند داشته باشند که در مراحل بحرانی رشد گیاه می‌تواند کارا باشد و با تأمین نیاز آبی گیاه می‌تواند تنش کم آبی گیاه را رفع نماید (Alavi-Zadeh *et al*., 2013). همچنین در شیب‌های تند هنگام بارندگی علاوه بر اینکه آب کمی در زمین نفوذ می‌کند، آب‌های جاری مواد غذایی را شسته و از منطقه خارج می‌کنند (Hongratanaworakit, 1994).

در نیمکره شمالی نواحی رو به جنوب میزان بیشتری از انرژی خورشید را نسبت به سایر نقاط دریافت می‌کنند. گیاه اسفرزه مناطق با جهت شیب جنوبی را ترجیح می‌دهد. ۷۷۴۹۰/۲ هکتار از اراضی منطقه دارای جهت شیب مناسب می‌باشد و در گروه مستعد کشت قرار می‌گیرند (جدول ۵). این در حالی است که تنها ۴۵۷۳/۵ هکتار از اراضی دارای جهت شیب نامطلوب شرق و شمال شرق می‌باشند (جدول ۸). هم‌چنین در صورت وجود بافت‌های سبک تا متوسط و عدم احتمال آب ایستادگی و یا تحت شرایط آبیاری بارانی، اسفرزه می‌تواند برای این منطقه ایده‌آل می‌باشند (Rusere *et al*., 2019; Zubair *et al*., 2011). از این‌رو با توجه به جدول ۴، ۳۳۶۸۸/۷۱ هکتار از اراضی استان دارای بافت شنی لومی-لومی رسی شنی- لومی و مناسب جهت کشت اسفرزه می‌باشند. علاوه بر این تنها ۹۱۹۱/۸ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه سیستان دارای قابلیت پایین کشت از لحاظ بافت خاک برای این گیاه هستند (جدول ۸).

هدف از طبقه‌بندی کاربری اراضی، مشخص نمودن ارزش اراضی کشاورزی است. این طبقه‌بندی بر اساس عوامل محدود کننده مانند تپه‌های شنی و عوارض طبیعی شکل می‌گیرد. براساس نقشه کاربری اراضی بخش‌های مناسب از نظر کشاورزی ارزش گذاری شده است و اراضی کشاورزی، بایر و مراتع متوسط و ضعیف به‌عنوان مناسب‌ترین بخش‌ها برای کشت اسفرزه در نظر گرفته شده است (جدول ۷ و شکل ۴). بنابراین نتایج نشان می‌دهد که منطقه سیستان، به‌خصوص اراضی هیرمند و زهک با داشتن مراتع و اراضی مناسب می‌توانند سهم خود را از تولید این گیاه دارویی ارزشمند افزایش دهند. بطور کلی ۱۹۷۸۴/۱۶ هکتار از اراضی منطقه دارای کلاس بسیار مناسب و ۸۹۸۶۹/۱۴ هکتار از اراضی کلاس مناسب، ۲۴۷۵۹ هکتار از اراضی دارای کلاس تناسب بحرانی و ۳۰۲۵۸/۶۳ هکتار دارای کلاس نامناسب طبقه‌بندی شدند (جدول ۸). با توجه به اینکه میزان نزولات جوی در این منطقه پایین است و با توجه به اینکه گیاه اسفرزه در تمامی مراحل رشد و نمو علاوه بر بارش‌های جوی نیاز مبرم به آبیاری دارند و متعاقباً در راستای آن باید در مکان‌هایی کشت شوند که اولاً دسترسی به آب‌های سطحی ممکن باشد و ثانیاً سطح آب‌های زیرزمینی به اندازه کافی باشد. بنابراین نتایج نشان داد که ۶۱۷۱۹/۱۲ هکتار از اراضی منطقه با توجه به فاصله از رودخانه دارای قابلیت تأمین آب آبیاری کافی جهت کشت گیاه اسفرزه را دارا می‌باشند.



شکل ۴- پارامترهای توپوگرافی مورد بررسی برای کشت اسفرزه در منطقه سیستان: d) ارتفاع از سطح دریا، e) جهت شیب، f) شیب، g) بافت خاک، h) کاربری اراضی، i) فاصله از مناطق مسکونی

Figure 4- Topographic parameters investigated for Psylliom cultivation in Sistan area: d) sea level elevation, e)Aspect, f) slope, g) soil texture, h) land use, i) distance from residential

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با روش WLC

بررسی نقشه نهایی حاصل از مدل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی، بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی و بخش محدودی از شمال شرقی دارای کلاس بسیار مناسب برای کشت اسفرزه است. مساحت این نواحی ۲۵۹۵۶/۷۲ هکتار و در حدود ۱۳ درصد از کل اراضی شده است (جدول ۹). بخش‌های شمال، جنوب و شرق منطقه از کلاس تناسب بحرانی برای کشت برخوردار هستند. این نواحی ۵۵۳۵۵/۰۴ هکتار از منطقه را پوشش می‌دهند. قسمت‌هایی از شمال غربی و جنوب غربی و قسمت محدودی از مرکز دشت سیستان که دارای پراکنش بیشتر است قابلیت‌های ضعیفی را برای کشت اسفرزه دارند که این ۶۵۶۸۴/۷ هکتار از اراضی را شامل می‌شوند. نواحی محدودی از غرب، جنوب غربی و مناطق میانی دشت سیستان فاقد استعداد لازم برای کشت می‌باشد این نواحی ۱۹۲۷۰/۳۵ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند.

هم‌چنین بررسی نقشه بولین محدودیت نشان می‌دهد که قسمت‌های از نواحی شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب غربی و شمال شرقی برای کشت اسفرزه دارای کلاس بسیار مناسب می‌باشند (شکل ۵) که ۱۹۲۸۴/۳۹ هکتار از منطقه را شامل می‌شود (جدول ۹).

بخش‌های از سیستان با مساحت ۴۳۳۵/۸۵ هکتار و در حدود ۲۲ درصد از کل اراضی دارای کلاس تناسب بحرانی و بیشترین قسمت از بخش‌های میانی با مساحت ۵۷۹۹۹/۲۴ هکتار و در حدود ۲۹ درصد از کل اراضی از کلاس مناسب برخوردار است. به‌طور پراکنده قسمت‌هایی از غرب و جنوب غربی و قسمت محدودی از شمال شرقی که ۲۵۹۵۶/۷۲ هکتار از منطقه را شامل می‌شود فاقد استعداد کشت اسفرزه می‌باشد. بر اساس نقشه‌های ایجاد شده بر اساس مدل بولین به‌منظور امکان سنجی نواحی مستعد کشت اسفرزه نتایج نشان داد که بیشترین مناطق مستعد برای کشت اسفرزه در قسمت‌های شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب غربی و شمال شرقی می‌باشد.

جدول ۸- مساحت اراضی (هکتار) مربوط به هر طبقه از تناسب اراضی منطقه سیستان برای کشت اسفرزه

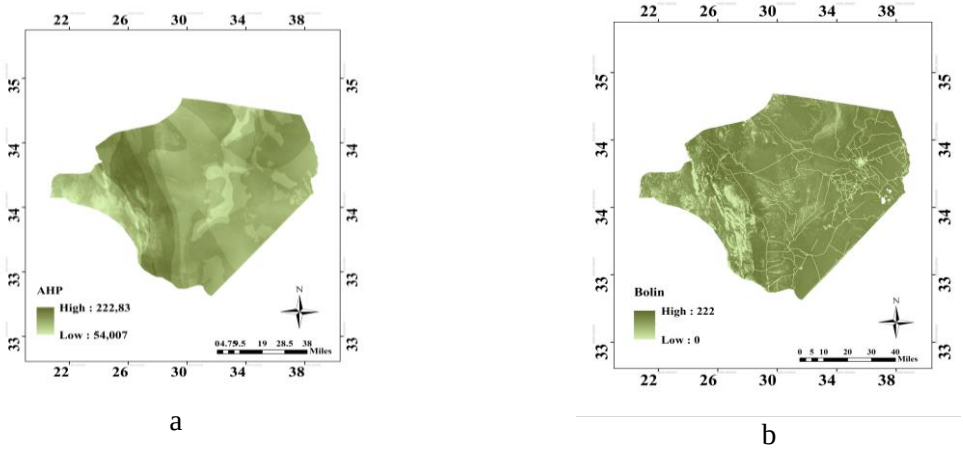
Table 8- Land area (ha) for each category of Sistan land suitability for isabgol cultivation

نا مناسب Not suitable	تناسب بحرانی Marginally suitable	مناسب Suitable	کاملا بسیار مناسب Highly suitable	متغیر Variable
79643.97	33719.31	12231.45	-	بارش Precipitation
-	505.35	144952.3	150486.8	دما Temperature
277935.2	258318.5	108925.9	16950.06	تبخیر و تعرق Evapotranspiration
47614.86	67173.57	73312.56	146172.1	ارتفاع از سطح دریا Altitude
109550.6	122758.2	181278.9	250278.4	شیب Slope
4573.8	41753.07	77940.54	-	جهت شیب Slope direction
9191.88	82695.5	33688.71	-	بافت خاک Soil texture
30528.63	24759	89869.14	19784.16	کاربری اراضی Land use
79643.97	33719.31	12231.45	-	فاصله از جاده Road distance
17789.13	38785.14	47808.27	61719.12	فاصله از رودخانه و آبراهه ها distance from rivers and streams

جدول ۹- مساحت اراضی مربوط به هر طبقه از تناسب اراضی منطقه سیستان بر اساس مدل سلسله مراتبی و بولین جهت کشت اسفرزه

Table 9- Land area for each category of land suitability of Sistan based on AHP and Boolean model for isabgol cultivation

مدل سلسله مراتبی AHP Model		مدل بولین Boolean Model		
درصد	هکتار	درصد	هکتار	
10	19270.35	8	16185.33	بسیار مناسب Highly suitable
32	65684.7	29	57999.24	مناسب Moderately suitable
27	55355.04	22	43835.85	تناسب بحرانی Marginally suitable
13	25956.72	10	19284.39	نامناسب Not suitable



شکل ۵- نقشه ارزیابی تناسب گونه اسفرزه با (a) روش AHP و (b) بولین در منطقه سیستان

Figure 5- Assessment map of Psylliom species with (a) AHP method and (b) Boolean in Sistan area

نتیجه‌گیری کلی

شناسایی ویژگی‌های محلی مرتبط با تولید کشاورزی، نظیر اقلیم و شرایط توپوگرافی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پهنه‌بندی مناسب آن‌ها از اهداف این پژوهش بود. براساس نقشه‌های بدست آمده از روش بولین و روش سلسله مراتبی می‌توان بیان نمود که قسمت‌های شمال غربی و جنوب غربی منطقه از شرایط بهینه برای کشت اسفرزه برخوردار است. در این مطالعه ارزیابی تناسب گونه بر اساس دو روش AHP و بولین انجام شد. نتایج نشان داد که مناطق کشت مستعد برای کشت این گیاه در روش بولین نسبت به روش AHP کمتر است؛ زیرا در روش بولین به علت محدود بودن انتخاب و دامنه مقادیر معیارها در فرایند امکان سنجی، انعطاف‌پذیری وجود ندارد. اراضی انتخاب شده بر اساس این روش به‌طور قطع دارای بهترین شرایط بر اساس معیارهای تعریف شده است.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی PR-UOZ98-5 و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید انجام گردیده است.

References

Alavi Zadeh, S.A.M., Monazzam Esmaeel Pour, A. and Hossein Zadeh Kermani, M. 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomical Technology*, 1: 71-95. (In Persian).

Asgharipour, M. and Rafiei, M. 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago Ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 4(3): 341-348.

Asgharipour, M.R., Mousavinik, S.M. and Enayat, F.F. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, 2: 135-140.

Barzehkar, M., Dinan, N.M., Mazaheri, S., Tayebi, R.M. and Brodie, G.I. 2019. Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, 1(9): 1082-1098.

Behniafar, A. and Mansory Daneshvar, M. 2010. Zoning and land use planningwith multi-agent approach to evaluating the use of AHP model in order todevelop tourism in GIS environment: A case study, Golmakan catchment. *Journal of Ecolology*, 39: 13-25.

Dhar, M.K., Kaul, S., Sareen, S. and Koul, A.K. 2005. *Plantago ovata*: genetic diversity, cultivation, utilization and chemistry. *Plant Genetic Resources*, 3(2): 252-263.

Dinpazhoh, I. 2010. Evaluation of evapotranspiration trend of monthly reference plant potential in Zabol. *Newbar*, 34: 23-34. (In Persian).

El Jazouli, A., Barakat, A. and Khellouk, R. 2019. GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1): 3.

Falasca, S., Pitta-Alvarez, S. and del Fresno, C.M. 2015. Salvadora persica agro-ecological suitability for oil production in Argentine dryland salinity. *Science of the Total Environment*, 538: 844-854.

Gamal, E., Khdery, G., Morsy, A., Ali, M., Hashim, A. and Saleh, H. 2020. Using GIS based modelling to aid conservation of two endangered plant species (Ebenus Armitagei and Periploca Angustifolia) at Wadi Al-Afreet, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100336.

Guangcai, C. and Dongbing, W. 1995. Effect of Altitude Above Sea Level Upon the Number of Growing Days of Maize in Dryland Farming Area of North China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 4: 12-22.

Hongratanaworakit, T. 1994. Relaxing effect of rose oil on humans. *Nat. Prod*.

Hortal, J., Carrascal, L.M., Triantis, K.A., Thébault, E., Meiri, S. and Sfenthourakis, S. 2013. Species richness can decrease with altitude but not with habitat diversity. Proceedings of the National *Academy of Sciences*, 110(24): 2149-2150.

Hosseinzadeh, S.R. 1997. 120-day winds. *Geographical Research Quarterly*. No. 46. Mashhad.

Jones, J.I., Li, W. and Maberly, S.C. 2003. Area, altitude and aquatic plant diversity. *Ecography*, 26(4): 411-420.

Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K. and Jutidamrongphan, W. 2019. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. Resources, *Conservation and Recycling*, 149: 220-235.

Kihoro, J., Bosco, N.J. and Murage, H. 2013. Suitability analysis for rice growing sites using a multicriteria evaluation and GIS approach in great Mwea region, Kenya. *SpringerPlus*, 2(1): 265- 276.

Kuiper, P.J. and Bos, M. 2012. Plantago: a multidisciplinary study (Vol. 89). *Springer Science & Business Media.*

Lavasani, A., Ghanbari, A. and Asgharipour, M.R. 2015. Sustainability evaluation of wheat, onion and garlic agricultural systems by joint use of emergy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3): 31-41 (In Persian).

Liu, J. 2009. A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software*, 24(3): 411-422.

Machiwal, D. and Singh, P.K. 2015. Comparing GIS-based multi-criteria decision-making and Boolean logic modelling approaches for delineating groundwater recharge zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12): 10675-10691.

Mardani Najafabadi, M.M., Ziaee, S., Nikouei, A. and Borazjani, M.A. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.

Mazahreh, S., Bsoul, M. and Hamoor, D.A. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (Al Gadeer Alabyad-Mafraq). *Information Processing in Agriculture*, 6(1): 91-108.

Mohamed, E.S., Saleh, A.M. and Belal, A.A. 2014. Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(1): 1-15.

Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J. and Pooyan, M. 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4): 681-699. (In Persian)

Murmu, P., Kumar, M., Lal, D., Sonker, I. and Singh, S.K. 2019. Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. Groundwater for Sustainable Development, 100239.

Neamatollahi, E., Bannayan, M., Jahansuz, M.R., Struik, P. and Farid, A. 2012. Agro-ecological zoning for wheat (*Triticum aestivum*), sugar beet (*Beta vulgaris*) and corn (*Zea mays*) on the Mashhad plain, Khorasan Razavi province. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(1): 99-112.

Nguyen, T.T., Verdoodt, A., Van Y.T., Delbecque, N., Tran, T.C. and Van Ranst, E. 2015. Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200: 1-11.

Nisar Ahamed, T.R., Gopal Rao, K. and Murthy, J.S.R. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*, 63: 75-95.

Nuthammachot, N. and Stratoulias, D. 2019. A GIS-and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto International*, 12: 1-14.

Ostovari, Y., Honarbakhsh, A., Sangoony, H., Zolfaghari, F., Maleki, K. and Ingram, B. 2019. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 103: 479-487.

Reddy, G.O., Ramamurthy, V. and Singh, S.K. 2018. Integrated Remote Sensing, GIS, and GPS Applications in Agricultural Land Use Planning. In Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management (pp. 489-515). *Springer, Cham.*, 489-515.

Rusere, F., Mkuhlani, S., Crespo, O. and Dicks, L.V. 2019. Developing pathways to improve smallholder agricultural productivity through ecological intensification technologies in semi-arid Limpopo, South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 1: 1-11.

Shokati, B. and Feizizadeh, B. 2019. Sensitivity and uncertainty analysis of agro-ecological modeling for saffron plant cultivation using GIS spatial decision-making methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(3): 517-533.

Sistan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 1394 (Iranian Year) [2015-2016]. 2016. Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 640 (In Persian).

Tomar, O.S., Dagar, J.C. and Minhas, P.S. 2010. Evaluation of sowing methods, irrigation schedules, chemical fertilizer doses and varieties of *Plantago ovata* Forsk. to rehabilitate degraded calcareous lands irrigated with saline water in dry regions of northwestern India. *Arid Land Research and Management*, 24(2): 133-151.

Vilček, J. and Torma, S. 2016. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) growth potential in the Slovak rural landscape. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(2): 235-245.

Wang, C.L., Zhu, Z.L., Bai, L.B., Cheng, S.J. and Cai-Ling, L.U. 2015. Effects of the landscape pattern dynamic changes on ecological service value: A case study in the central Ningxia arid zone. *Arid Zone Research*, 32(2): 329-335.

Zubair, M., Nybom, H., Lindholm, C. and Rumpunen, K. 2011. Major polyphenols in aerial organs of greater plantain (*Plantago major L.*), and effects of drying temperature on polyphenol contents in the leaves. *Scientia Horticulturae*, 128(4): 523-529.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 1, Spring and Summer 2022, P. 97-112

Agro-ecological zoning of isabgol in Sistan region using Boolean models and hierarchical analysis processing approach

Mohammad Reza Asgharipour[1*], Zahra Marzban[2]

[1] Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Ph.D Graduated of Agroecology, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

[*]Corresponding Author: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Received: 24 October 2021 Accepted: 16 January 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.311771.1149**

Abstract

Introduction: Because of the ever-increasing human population and the limited quantity of resources that are currently accessible, it is imperative that these resources be used as effectively as possible. The Sistan region experiences a significant lot of hardship in terms of the availability of water and soil that are suited for agricultural purposes (Wang et al., 2015). The elimination of discrimination between different regions, the guaranteeing of food security, and the lessening of the severity of deprivation among the population of the world are some of the key objectives of sustainable agriculture in the context of environmental protection (Shokati and Feizizadeh, 2019). The cultivation of medicinal plants such as isabgol, which have a low requirement for moisture, a high tolerance to drought, and a high value added, are key solutions for dealing with a multitude of environmental, economic, and social constraints in the Sistan region (Asgharipour and Rafiei, 2010). Using a method known as spatial analysis, the purpose of this study was to determine the agro-ecological zoning of the isbgol plant in the Sistan region in order to identify potential areas for the cultivation of this plant in the Sistan region. This was accomplished in order to fulfill the objective of this research.
Materials and methods: In the course of this research, the climatic, topographic, and hydrological layers of the area were analyzed. The appropriate planting areas were zoned using a Geographic Information System (GIS) technique that consisted of Boolean models and Hierarchical Analysis Processing (AHP). In this study, equivalence maps were created with Arc/GIS 10, and then the two-dimensional matrix of each layer was mapped in order of importance using the Idrisi software. Finally, the degree of importance of each component was calculated. At the very end of the process, final maps were produced by combining existing maps in Arc/GIS 10.
Results and discussion: According to the findings, only 11 percent of the total arable land area is suitable for the cultivation of isabgol, while 42 percent is suitable, 42 percent is moderately suitable, 31 percent is marginally suitable, and 14 percent is not suitable at all. According to the final map, the areas of the Sistan area that have the greatest potential for isabgol cultivation include the northern parts of the area, as well as parts of the west and southwest, and a small portion of the northeast of the region. Isabgol could be grown successfully in the majority of Zabol's landscapes thanks to the region's favorable growing conditions. However, there are areas of the northwest and a portion of the southwest and northeast, as well as scattered parts of the west and southwest and a portion of the northeast, that are not appropriate for the cultivation of isabgol. Due to the high precision of the Boolean model and the inherent limitations of the AHP model in this respect, the Boolean model also provides better results than the AHP model. Therefore, it is possible to draw the conclusion that the final map that was derived from the Boolean model is very accurate and that it can be used for locating suitable land areas for isabgol in arid and semiarid regions of Iran.
Conclusion: It is possible to apply feasibility assessment models for the aim of management awareness in order to plan appropriately and to maintain environmental sustainability. This can be accomplished through the utilization of management awareness. These models are used to identify medicinal plants that are capable of thriving in each region and are suited for cultivation there. In addition, prospective land-based planning is the best alternative for averting the ongoing crises and lessening the impacts on the environment. This is because prospective land-based planning is focused on looking forward.

Keywords: Feasibility study, Boolean model, AHP, Medicinal plants, GIS