تعیین مدل پهنه‌بندی اکولوژیکی مناطق مستعد احیاء بیابان با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: دشت سیستان)

۱- سید سعیدرضا احمدی‌زاده، دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه بیرجند.
۲-عاطفه میر، مربی گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه زابل.
atefehmir@gmail.com
۳-مهدی ضیایی، مربی گروه شهرسازی، دانشگاه بیرجند.

دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۰
پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۸

چکیده

امروزه یافتن مکان یا مکان‌های مناسب برای ایجاد یک فعالیت در حوزه جغرافیائی معین، جزء مراحل مهم طرح‌های اجرایی، به ویژه در سطح کلان و ملی به شمار می‌رود. جهت انتخاب مناطق بیابانی مستعد احیاء، یکی از مناسب‌ترین ابزارها، استفاده از مدل‌های رایانه‌ای است. تاکنون مکان‌یابی با استفاده از منطق فازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیائی در زمینه‌های تخصصی مختلف انجام شده است، با توجه به نیاز این حوزه مطالعاتی در زمینه، به‌کارگیری و ارائه مدل‌های جدید مبتنی بر سیستم‌های اطلاعاتی، استفاده از این مدل جهت تعیین اراضی بیابانی مناسب احیاء، با درجه ریسک کم‌تر و یا درجه موفقیت بیشتر احیاء بیابان برای اجرای طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی، مهم‌ترین هدف این تحقیق است. روش مورد استفاده در این تحقیق بررسی و گروه‌بندی پارامترهای محیطی مؤثر در احیاء بیابان با استفاده از روش اجماع دلفی و ارزش‌گذاری آن‌ها بر اساس منطق فازی بوده است. برای نقشه سازی واحدهای خاک از روش‌های میان‌یابی از جمله معکوس فاصله وزنی و روش‌های زمین آماری همچون کریجینگ استفاده گردید. از روش کریجینگ به علت خطای پیشگویی، کم‌تر استفاده شد و از عملگرهای مختلف فازی از جمله اجتماع و اشتراک و جمع و ضرب جبری و گامای فازی استفاده گردید. در پایان، عملگر تلفیقی گامای ۰/۸ بهترین سازگاری را برای شناسایی اراضی بیابانی و مستعد برای احیاء بیابان به همراه میزان موفقیت یا ریسک کمتر برای احیاء بیابان و با حداکثر احتیاط لازم در این پهنه‌ها را ارائه داد.

واژگان کلیدی: احیاء بیابان، پهنه بندی اکولوژیکی، کریجینگ، منطق فازی، دشت سیستان.

مقدمه

یکی از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی، توان مدل‌سازی آن‌ها است. با بهره‌مندی از طیف وسیعی از توابع مکانی و با در دست داشتن عوامل مؤثر در یک مدل، می‌توان به پیش‌بینی نتایج و شبیه‌سازی واقعیت اقدام نمود [۱۲]. مکان‌یابی با استفاده از منطق فازی و سیستم-های اطلاعات جغرافیائی در زمینه‌های تخصصی مختلف انجام گرفته است. در زمینه ارائه مدلی برای مقابله با بیابان‌زایی، تاکنون تحقیقات متعددی صورت پذیرفته است. هدف این تحقیق استفاده از این مدل، تعیین اراضی بیابانی مناسب احیاء یا مکان‌یابی مناطق قابل اجرای طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی با درجه موفقیت بیشتر، است. مناطق بیابانی یکی از بیوم‌های زیستی و اکولوژیکی در جهان هستند که به طور مستقیم تحت تأثیر توسعه اقتصادی- اجتماعی آن مناطق قرار دارند [۱۰]. با وجود فعّالیّت‌های گسترده‌ای که در چند دهه اخیر در زمینه حفاظت از منابع طبیعی تجدید شونده و نگهداری از بنیان‌های بوم شناختی در سطح جهان صورت گرفته، متأسفانه جهان امروز با مشکلات اساسی در زمینه مسائل محیط زیستی روبرو بوده که پدیده «بیابان‌زایی» یکی از این معضلات مهم است [۸]. تاکنون فعالیت‌های متعددی

در زمینه مقابله با بیابان‌زایی و یا احیاء بیابان، به عنوان نمونه، طرح‌های کاشت تاغ و آتریپلکس، صورت گرفته که برخی از آن‌ها موفق نبوده است. دلایل عدم موفقیت را می‌توان ناشناخته بودن شرایط محیطی مکان‌هایی دانست که برای مقابله با بیابان‌زایی انتخاب می‌شود. بنابراین، برای رفع این مشکل باید مدلی طراحی شود که با ترکیب انواع متغیرها و شاخص‌های زیستی و میزانی از کمیت آن‌ها، پهنه‌های مناسب برای فعالیت‌های احیاء را مشخص نماید. این مدل باید بتواند مقدار کمی و عددی خطرپذیری طرح‌های مقابله با بیابانی شدن و قدرت احیاء را مشخص کند، تا از صرف هزینه‌های زیاد احیاء ناموفق اراضی بیابانی جلوگیری و یا با درجه خطر کمتری نسبت به احیاء اقدام نمود. بنابراین، با استفاده از مدل‌های پایدار اکولوژیک می‌توان گسترش بیابان را محدود نمود. این مدل‌ها بر اساس ترکیب توان بالقوه اکولوژیک مناطق و خصوصیات گونه‌های مقاوم به مناطق بیابانی حاصل می‌شوند. در زمینه تعیین مکان‌های مناسب برای انجام فعالیت تحقیقات کمی انجام شده و بیش‌تر تحقیقات انجام شده در رابطه با مدل‌های بیابان‌زایی است. به عنوان نمونه [۱] در ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با استفاده از فنآوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه خشک شمال اصفهان، نشان دادند که مهم‌ترین عوامل مؤثر بیابان‌زایی طبیعی، خشکسالی، شور شدن منابع آب و خاک هستند. در تحقیقی دیگر [۶] با استفاده از مدل فائو-یونپ و با تکیه بر سه فرآیند فرسایش آبی، بادی و تخریب پوشش گیاهی به ارزیابی بیابان‌زایی اقدام نمود. وی اصلی‌ترین فرآیندهای بیابان‌زایی در منطقه را تخریب پوشش گیاهی و به دنبال آن فرسایش آبی و در نهایت فرسایش بادی می‌داند. نقش دخالت‌های انسانی را مؤثرترین عامل بیابان‌زایی و عوامل طبیعی به‌ویژه زیر عامل ژئومرفولوژی را در درجه بعدی از اهمیت قرار داده است [۸]، طی مطالعه‌ای با عنوان بررسی و ارزیابی اجرای طرح بیابان‌زدائی در دشت لامرد تغییرات خاک و پوشش گیاهی را در اثر اجرای طرح بیابان‌زدائی بررسی نمود. در ارزیابی بیابان‌زایی منطقه باری ایتالیا که با استفاده از روش MEDALUS توسط Ladisa et al. (2002) انجام شد، شش شاخص خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مدیریت کیفیت و شاخص فشار انسانی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت به کمک میانگین هندسی شاخص‌های مورد نظر، نقشه نهایی بیابان‌زایی ترسیم شد [۱۷].

با استفاده از معیارهایی به تعیین ارزیابی ریسک بیابانی شدن مناطق پس از آتش‌سوزی پرداختند[۱۴].

شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی با استفاده از روش TOPSIS مورد بررسی چندین محقق قرار گرفته است [۵] و[۱۵]. در همه این مطالعات بر هدف معیارهای بیابان‌زایی تأکید شده و معیارهای مناطق مستعد احیاء بیابان کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص می‌شود که عوامل زیادی در فرآیند بیابان‌زایی مؤثر هستند. در این تحقیق با توجه به اطلاعات موجود در منطقه و نظر کارشناسان، معیارهای فرسایش، ژئومرفولوژی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین شناسی، رسوب، بافت خاک، هدایت الکتریکی خاک، درصد آهک خاک و قلیائیت برای تهیه مدل مناطق مستعد برای احیاء بیابان مورد بررسی قرار گرفت.

در رابطه با شرایط بهینه استقرار گیاه تحقیقات زیادی انجام شده است:

با بررسی رابطه حضور گونه سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، با خصوصیات خاک در حاشیه کویر چاه‌بیکی (استان یزد)، و مقایسه خصوصیت خاک سه تیپ گیاهی مورد بررسی، به این نتیجه رسید که عامل اسیدیته بیشترین رابطه را با حضور این گونه در عرصه دارد[۲].

نتایج بررسی ارتباط متقابل خصوصیات ادافیکی خاک با میزان رشد گیاه سیاه‌تاغ در دشت سگزی اصفهان، نشان داد که خصوصیات فیزیکی خاک مانند عمق شروع سخت لایه از سطح، درصد رطوبت اشباع، خصوصیات شیمیایی نظیر شوری و قلیائیت و درصد ازت کل، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر متغیرهای گیاهی سیاه تاغ دارند[۱۸].

رابطه متغیرهای درصد گچ، درصد آهک، اسیدیته خاک، درصد اشباع، سنگریزه سطحی خاک، سنگریزه داخلی خاک با گونه سیاه‌تاغ درحاشیه پلایای طبس را بررسی نمود [۹]. نتایج نشان داد که از بین این متغیرها درصد آهک، درصد اشباع، درصد گچ و اسیدیته خاک به ترتیب از بیشترین اثر تا کم‌ترین اثر را بر پراکنش سیاه‌تاغ دارند.

عواملی چون سطح سفره آب زیرزمینی، میزان سنگریزه خاک، وجود سخت لایه یا لایه محدود کننده رشد ریشه را از عوامل مؤثر بر موفقیت یا عدم موفقیت رشد تاغ عنوان می‌نماید [۳].

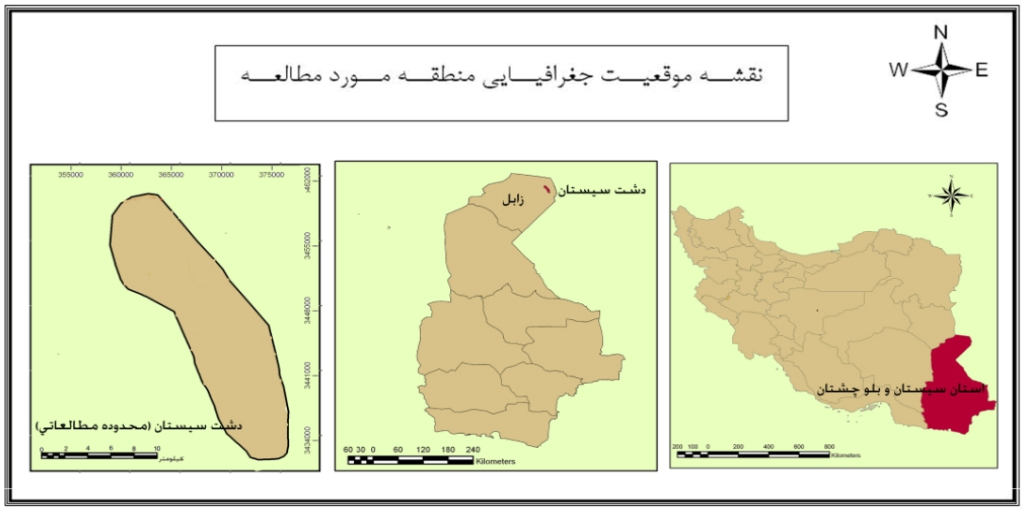
با توجه به منابع بررسی شده، می‌توان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و استقرار سیاه تاغ که بیش‌ترین تأکید و تکرار بر روی آن‌ها بوده است را به ترتیب زیر پیشنهاد کرد:

عمق مؤثر خاک (وجود سخت‌لایه یا لایه محدود کننده رشد ریشه)، بافت (درصد رس، درصد شن)، میزان سنگریزه، هدایت الکتریکی، قلیائیت (اسیدیته)، درصدآهک، درصد گچ و درصد رطوبت اشباع‌خاک. از بین این عوامل، متغیرهای بافت (درصد رس، درصد شن)، هدایت الکتریکی، قلیائیت (اسیدیته) و درصد آهک در این تحقیق بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت سیستان است که در منطقه نیاتک و شرق شهرستان زابل قرار دارد. این عرصه با وسعت ۱۱۱/۱۱کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۴۷۰ متر از سطح دریا در موقعیت جغرافیایی ″۵۶ ′۳۳ °۶۱ تا ″۰۵ ′۴۲ °۶۱ طول شرقی و ″۰۳ ′۰۱ °۳۱ تا ″۰۲ ′۱۲ °۳۱ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). دامنهٔ شیب محدوده مطالعه ۲-۰٪ و متوسط دمای سالیانه آن ۲۲ °C و میانگین بارندگی سالانه این محدوده ۶۰/۸ میلیمتر است. بر اساس روش طبقه بندی دومارتن، این منطقه در سیطره اقلیم فرا خشک قرار دارد.



شکل۱. موقعیت جغرافیایی دشت سیستان در استان و کشور.

روش کار

با بررسی منابع و مطالعات پیشین با استفاده از اطلاعات موجود، وضعیت منطقه، از نظر عوامل تأثیرگذار محیطی بر احیاء اراضی همچون شرایط ژئومرفولوژی، فرسایش و رسوب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و زمین شناسی بررسی گردید. سپس با جمع‌آوری نظر متخصصان، معیارها و کلاس‌های مناسب برای احیاء اراضی تعیین شد. به‌عنوان نمونه، در جدول ۱ انتخاب معیارها و ارزش‌گذاری وزنی آن‌ها با استفاده از روش فازی ارائه شده است. این معیارها با استفاده از روش اجماع دلفی و استفاده از نظر ۹ نفر متخصص خبره تعیین گردید. ارزش معیارها و طبقه یا کلاسه‌های هر معیار بر اساس طراحی پرسشنامه‌ای و دریافت نظرات خبرگان متخصص در دو دور انجام دلفی و رسیدن به اجماع تعیین گردید. برای تعیین معیارهای مرتبط دیگر از جمله متغیرهای خاک با بررسی‌های متعدد مشخص گردید، گونه گیاهی سیاه تاغ شرایط بسیار سخت محیطی را در مناطق مختلف بیابانی

ایران تحمل می‌کند. این گونه در بسیاری از نقـاط بیابـانی ایران کاشت شده و در برخـی نـواحی بـه صـورت طبیعـی دیده می‌شود. گونه مذکور به راحتی در مناطق بـدون هـر گونه پوشش گیاهی و ماسه‌زار استقرار پیدا می‌نماید.

جدول ۱. ارزش‌گذاری فازی برای عوامل موثر در احیاء بیابان

ردیف		۱	۲	۳	۴	۵	۶
فرسایش	**محدوده کلاس**	III (زیاد)	IV (خیلی زیاد)	V (خیلی شدید)			
	ارزش فازی	۰/۸	۰/۶	۰/۵			
کاربری اراضی	**محدوده کلاس**	مرتع	جنگل دست کاشت	اراضی کشاورزی رها شده	مناطق مسکونی		
	ارزش فازی	۱	۰/۹	۰/۸	۰		
معیار رسوب	**محدوده کلاس**	برداشت با شدت زیاد	برداشت با شدت متوسط	رسوب‌گذاری فعال (فعالیت زیاد)	رسوب‌گذاری نیمه فعال (فعالیت متوسط)	برداشت با شدت زیاد	
	ارزش فازی	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۸	
پوشش گیاهی	**محدوده کلاس**	جنگلی با تراکم ۴۰-۳۰ درصد درختچه های تاغ	جنگلی از درختچه های گز و تاغ و کمی از گیاهان شورپسند	کمی از گیاهان شورپسند سالسولا و خارشتر و بکر	کم تا متوسط از گیاهان شورپسند سالسولا و خارشتر و گز	متوسط ازشورپسند مانند سالسولا و خارشتر	متوسط ازشورپسند سالسولا و خارشتر و تک درختان گز و غالبا زیرکشت جالیزات
	ارزش فازی	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵
زمین شناسی	**محدوده کلاس**	Qal-Qs	Tr_2	$C.s\text{-}Tr_1$	Urban		
	ارزش فازی	۰/۹	۰/۷	۰/۴	۰		
شکل اراضی	**محدوده کلاس**	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای	تپه‌ها و پهنه های ماسه‌ای جنگلکاری	دشت آبرفتی رودخانه‌ای	دشت با پستی و بلندی کم	دشت آب. رودخ. با عرض ۱۰۰۰-۵۰۰	مناطق مسکونی
	ارزش فازی	۰/۹	۰/۸	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰

بنابراین، در این بررسی آستانه‌هایی که سیاه تاغ در آن استقرار پیدا می‌کند بـه‌عنـوان متغیرهـای خـاکی شـرایط انتخاب مناطق مستعد احیـاء بیابـان در نظـر گرفتـه شـد. سپس با توجه به وضعیت این متغیرها در منطقه مطالعه و با توجه به وجود این آستانه‌ها در محـدوده‌هـای محیطـی، مدل ارزش‌گذاری فازی جهت تعیین مناطق مستعد احیاء بیابان تعیین گردید. این مدل شامل معیارها و زیر معیارها و عوامل تأثیرگذار بر احیاء منـاطق بیابـانی اسـت. اجـرای مدل فازی در دو مرحلـه تعیـین توابـع عضـویت و تلفیـق مقادیر عضویت این توابع بـا اسـتفاده از عملگرهـای فـازی صورت می‌گیرد. برای تعیین توابع عضویت فازی لازم است از محدوده‌های مناسب عوامل محیطی برای هر کـاربری و

حالت بهینه پارامترها یا متغیرها برای هر کاربری استفاده گردد. این روش تهیه مدل‌های تعیین توان اکولوژیک برای ارزیابی توان یک واحد همگن محیط زیست است [۱۱]. مدل‌های اکولوژیک را دانشمندان متعددی (چاپ ۱۹۶۷، لیبرمان و ناوه ۱۹۸۴، بازینسکی ۱۹۸۵، بوت ۱۹۸۵، وستمان ۱۹۸۵ به نقل از [۱۱]) ارائه داده‌اند. این دانشمندان بر این قاعده اتفاق نظر دارند که برای نمایش بهترین توان سرزمین داشتن وضعیت بهینه در متغیرهای اکولوژیکی سرزمین شرط لازم است. بنابراین، در این تحقیق فرض بر این است که در تعیین توان یک واحد همگن زیست محیطی که از تلفیق لایه‌های متعدد به‌دست می‌آید، در گام اول معیارها یا عوامل و یا نقشه‌ها توسط خبرگان متخصص در این زمینه تعیین شوند. سپس کلاسه‌های این معیارها تعیین و بر اساس شرایط بهینه برای هدف نهایی که امکان استقرار گیاه و احیاء بیابان است ارزش‌گذاری فازی شوند. بنابراین، با ترکیب این معیارهای ارزش‌گذاری شده و انتخاب بالاترین ارزش‌ها، مکان‌هایی با قابلیت بالا برای استقرار و گسترش گیاهان مکان انتخاب می‌شوند. نوع معیارها، طبقه‌بندی آن‌ها و ارزش‌گذاری هر طبقه از معیارها، مدل تعیین توان اکولوژیکی نامیده می‌شود که معیاری برای سنجش توان مناطق به حساب می‌آید. به‌عنوان مثال، واحدی که فرسایش آن زیاد و نوع کاربری فعلی آن مرتع و نوع پوشش گیاهی آن مرتع آمیخته با گونه‌های جنگلی با تراکم ۴۰-۳۰٪ درختچه‌های تاغ و محدوده درصد رس خاک آن (۱۲/۴-۱۰/۶) و (۳/۶-۱/۸) و درصد شن خاک آن (۸۰/۶-۷۷) و (۷۲/۴-۶۸/۸) و درصد آهک خاک آن (۲۴/۸- ۲۲/۹) و (۱۹/۴– ۱۷/۵) و سایر شرط‌های مربوطه تعیین شده در جداول باشد، دارای ارزش ۰/۹ فازی برای احیاء است. یعنی اگر در آن فعالیت احیاء کاشت تاغ صورت گیرد ۹۰٪ احتمال موفقیت وجود دارد و ۱۰٪ امکان خطر یا شکست این برنامه وجود دارد.

برای تهیه نقشه از داده‌های خاک منطقه، با بررسی پروفیل‌های خاک تهیه شده در منطقه، تعداد ۲۰ پروفیل خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری برداشت گردید. دلیل انتخاب این عمق برداشت پروفیل، بررسی پروفیل‌های قبلی در منطقه بود که نشان داد پس از کاشت نهال‌های تاغ و گذشت یک سال تحت تیمارهای رطوبتی متفاوت، در فاصله سطح خاک تا عمق ۱۴۰ سانتیمتری نفوذ ریشه، بیش‌ترین میزان و بیشترین وزن ریشه تاغ مربوط به عمق ۲۰- ۰ سانتیمتری سطح خاک و کم‌ترین آن مربوط به عمق ۱۴۰-۱۲۰سانتیمتری است. بر اساس این نتایج، با تأمین رطوبت کافی و مناسب بودن بافت خاک، نزدیک ۶۵٪ ریشه‌های تاغ در لایه ۰ تا ۶۰ سانتیمتری خاک گسترش یافته‌اند، بنابراین عمق ۶۰ سانتیمتری مبنای تهیه نقشه متغیرهای خاک گردید [۱۳].

برای تهیه نقشه‌های میان‌یابی متغیرهای خاک منطقه مطالعه، روش‌های میان‌یابی متعددی شامل روش‌های قطعی و روش‌های زمین آمار وجود دارد.

روش‌های قطعی براساس متغیرهایی که یکی از گزینه-های زیر را کنترل می‌کند عمل می‌نمایند: درجه شباهت (روش وزنی عکس فاصله IDW) و یا درجه هموارسازی (توابع اساسی شعاعی RBF Function) که در رابطه با سطح، شکل گرفته‌اند. این روش‌ها مدل فرآیندهای مکانی تصادفی را مورد استفاده قرار نمی‌دهند.

در روش‌های زمین‌آماری حداقل بعضی تغییرات مکانی پدیده طبیعی را در نظر گرفته و با استفاده از فرآیندهای تصادفی با همبستگی مکانی به صورت مدل در می‌آورد. همچون تشریح و مدل کردن الگوهای مکانی: واریوگرافی و روش دیگرکه پیش‌بینی مقادیر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده شامل کریجینگ است. محققین زیادی این روش‌ها را برای تعیین و برآورد نقاط مجهول از نقاط معلوم همسایه بکار گرفته‌اند. روش‌های IDW و کریجینگ را در سطوح کم‌تر و تعداد نقاط نمونه کم‌تر دارای دقت بالاتری در برآورد خصوصیات خاک معرفی نموده‌اند [۷]. همچنین [۴] نشان داده‌اند که روش کریجینگ دقت بالاتری در برآورد مقادیر نامعلوم دارد.

[۱۶] با مقایسه دو روش درون یابی IDW وKriging، از روش‌های چند ضلعی‌های تیسن و اسپیلاین و وزن‌دهی بر مبنای عکس فاصله و کریجینگ برای تهیه پهنه‌بندی استفاده کرد و نتیجه گرفت عوامل مهمی مانند تعداد نمونه و توزیع مکانی نقاط نمونه‌برداری نقش مؤثری در دقت تهیه نقشه پهنه‌بندی دارند. در نهایت روش کریجینگ و روش معکوس فاصله را برای تعداد نقاط کمتر

با دقت خطای انحراف کمتری از برآورد توصیه نمود.

بنابراین، در این تحقیق، دو روش IDW و کریجینگ، بررسی و مقایسه گردیدند و به دلیل بالاتر بودن دقت تخمین و کمتر بودن مقادیر خطای میانگین در روش کریجینگ، این تکنیک میان‌یابی برای تهیه نقشه‌های مورد نظر استفاده گردید.

با استفاده از نرم‌افزار الحاقی ArcSDM3 به ArcMap 9.2، نقشه معیارهای مؤثر در ارائه مدل احیاء بیابان به همراه متغیرهای خاک بر اساس طبقات ارزش‌گذاری شده به روش اجماع دلفی به‌صورت فازی ارزش‌گذاری شد. در این روش ارزش وزنی معیارها و کلاس‌های آن‌ها توسط کارشناسان تعیین می‌شود. هر کلاسه از معیار ارزش خود را بین ۰ تا ۱ بسته به کم ارزش‌ترین یعنی صفر (برای عدم قابلیت آن عامل) یا کلاس برای قابلیت احیاء تا یک (یعنی بهترین قابلیت آن معیار برای احیاء بیابان) کسب می‌نماید. به این ترتیب معیارهای وزن دار یا لایه‌های ارزش‌دار فازی تولید می‌شوند (جدول ۲).

جدول۲. ارزش‌گذاری فازی برای عوامل موثر خاکی در احیاء بیابان

شماره کلاس	درصد رس		درصد شن		هدایت الکتریکی خاک		درصد آهک		قلیائیت خاک	
	محدوده کلاس	عضویت فازی	محدوده کلاس	عضویت فازی	محدوده کلاس	عضویت فازی	محدوده کلاس	عضویت فازی	محدوده کلاس	عضویت فازی
۱	۵/۴-۸/۸	۱	۷۲/۴-۷۷	۱	۰-۱	۱	۱۹/۴-۲۲/۹	۱	۸/۲-۸/۵	۱
۲	(۸/۸-۱۰/۶) و (۳/۶-۵/۴)	۰/۹	(۷۷-۸۰/۶)و (۶۸/۸-۷۲/۴)	۰/۹	۱-۵	۰/۹	(۲۲/۹-۲۴/۸) و (۱۷/۵–۱۹/۴)	۰/۹	۸/۵-۸/۸	۰/۹
۳	(۱۰/۶-۱۲/۴) و (۱/۸-۳/۶)	۰/۸	(۸۰/۶-۸۴/۲) و(۶۵/۲-۶۸/۸)	۰/۸	۵-۱۵	۰/۸	(۲۴/۸-۲۶/۷) و (۱۵/۶–۱۷/۵)	۰/۸	۸/۸-۹/۱	۰/۸
۴	(۱۲/۴-۱۴/۲) و (۰-۱/۸)	۰/۷	(۸۴/۲-۸۷/۸) و(۶۱/۶-۶۵/۲)	۰/۷	۱۵-۲۰	۰/۷	(۲۶/۷-۲۸/۶) و(۱۳/۷–۱۵/۶)	۰/۷	۷/۹-۸/۲	۰/۷
۵	۱۴/۲-۱۶	۰/۶	(۸۷/۸-۹۱/۴) و(۵۸-۶۱/۶)	۰/۶	-۳۷/۷ ۲۰	۰/۶	(۲۸/۶-۳۰/۵) و(۱۱/۸-۱۳/۷)	۰/۶	۷/۶-۷/۹	۰/۶
۶	۱۶-۱۷/۸	۰/۵	(۹۱/۴-۹۵) و(۵۴/۴-۵۸)	۰/۵	-۵۵/۴ ۳۷/۷	۰/۵	(۳۰/۵-۳۲/۴) و(۹/۹-۱۱/۸)	۰/۵	۹/۷-۱۰	۰/۵
۷	۱۷/۸-۱۹/۶	۰/۴	۵۰/۸-۵۴/۴	۰/۴	-۷۳/۱ ۵۵/۴	۰/۴	(۳۲/۴-۳۴/۳) و(۸-۹/۹)	۰/۴	۹/۴-۹/۷	۰/۴
۸	۱۹/۶-۲۱/۴	۰/۳	۴۷/۲-۵۰/۸	۰/۳	-۹۰/۸ ۷۳/۱	۰/۳	۳۴/۳-۳۶/۲	۰/۳	*۹/۱-۹/۴	۰/۳
۹	۲۱/۴-۲۳/۲	۰/۲	۴۳/۶-۴۷/۲	۰/۲	-۱۰۸/۵ ۹۰/۸	۰/۲	۳۶/۲-۳۸/۱	۰/۲	۷/۳-۷/۶	۰/۲
۱۰	۲۳/۲-۲۵	۰/۱	۴۰-۴۳/۶	۰/۱	-۱۲۶ ۱۰۸/۵	۰/۱	۳۸/۱-۴۰	۰/۱	۷–۷/۳	۰/۱
۱۱	>۲۵	۰	۹۵< و ۴۰<	۰	>۱۲۶	۰	۴۰< و۸<	۰	۱۰< و ۷<	۰

در نهایت، نقشه‌های فازی معیارهای مؤثر در مناطق مستعد احیاء، توسط عملگرهای تلفیق‌گر در منطق فازی تلفیق و نقشه نهائی مکان‌های مناسب احیاء بیابان در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. بهترین نقشه تلفیقی، برای مناطق مستعد احیاء، نقشه ترکیب عواملی است که بالاترین ارزش‌های فازی را برای احیاء مناطق مشخص سازد.

این مکان‌ها کم‌ترین خطرپذیری احیاء را خواهند داشت و در صورت کاشت درخت و یا عملیات احیاء امکان شکست طرح بسیار کم خواهد بود. یعنی با استفاده از عملگرهای ترکیبی فازی بر روی لایه‌های فازی شده، می‌توان به مناسب‌ترین محدوده‌های مستعد احیاء بیابان رسید. برای ترکیب لایه‌ها از عملگرهای زیر در ترکیب لایه‌های فازی شده استفاده گردید:

اشتراک یا AND فازی که کمینه دو مجموعه فازی را در بر می‌گیرد. عملگر اجتماع یا OR فازی که جمع دو مجموعه را در بر می‌گیرد. ضرب جبری[1]، جمع جبری[2] و گامای[3] فازی. عملگر گاما نیز که حالتی بینابین ضرب جبری و جمع جبری فازی دارد.

نتایج

2- Product
3- Sum
4-Gamma

همان‌طورکه گفته شد در این تحقیق از میانگین خطای پیشگوئی (ME) که برآوردی از میزان خطای اریبی یا دقت[1] است برای انتخاب نهایی دو روش معکوس وزنی فاصله و کریجینگ استفاده شد. روش Kriging، میانگین خطای پیشگوئی پائین‌تری نسبت به روشIDW از خود نشان داد. جدول ۳ نتایج مقادیر خطای پیشگویی یا ME مربوط به متغیرهای خاک منطقه مورد مطالعه را برای هر یک از روش‌های میان‌یابی Kriging و IDW نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقایسه دو روش Kriging و IDW بر اساس میانگین خطای پیشگویی

متغیرخاک	میانگین خطای پیشگویی با تخمین‌گر IDW	میانگین خطای پیشگویی با تخمین‌گر Kriging
رس	۰/۲۵۹۴	۰/۲۰۸۱
شن	۰/۱۶۳۶	۰/۰۶۸۶۳
هدایت الکتریکی	۰/۲۸۹۷	۰/۰۳۲۹۸
قلیائیت	۰/۰۰۹۹۱۷	۰/۰۰۸۶۹۹
آهک	۰/۱۰۶۶	۰/۰۰۳۷۷۲

مکان‌یابی اراضی مستعد احیاء بر اساس مدل ارائه شده در این تحقیق، نیازمند تهیه نقشه‌های ارزش‌گذاری فازی بر اساس معیارهای مؤثر در مدل اکولوژیکی مورد استفاده است. در این زمینه یک پایگاه داده مکانی از مجموعه متغیرها و عوامل مؤثر اکولوژیکی شامل ۱۱ نقشه با عناوین کاربری اراضی، پوشش گیاهی، رسوب، زمین شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، فرسایش، درصد شن خاک، درصد رس خاک، درصد آهک خاک، درصد قلیائیت خاک و هدایت الکتریکی خاک از کل محدوده مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰ ایجاد گردید. مجموعه نقشه‌های پایه از مرکز تحقیقات سازمان جهاد کشاورزی سیستان تهیه و در محیط GIS آماده سازی گردید.

بررسی نقشه‌های فازی تهیه شده، قابلیت‌های مکانی منطقه مورد مطالعه را از نظر متغیرهای اکولوژیکی مورد استفاده، به‌صورت دقیق‌تری بیان می‌نماید. به‌عنوان مثال، منطقه مطالعه از نظر معیار کاربری اراضی برای احیاء دارای ارزش‌های فازی حداقل ۰ تا حداکثر ۱ است. این منطقه از نظر معیار کاربری اراضی، در برخی نقاط، بهترین وضعیت ممکن را برای احیاء و در برخی نقاط بدترین شرایط را برای احیاء دارا است. از نظر معیار فرسایش، دارای ارزش‌های فازی حداقل ۰/۵ تا حداکثر ۰/۸ بوده و ارزش ۱ (بهترین وضعیت برای احیاء) و همچنین ارزش‌های ۰ تا ۰/۵ در منطقه موجود نیست. همچنین از نظر معیار پوشش گیاهی برای احیاء دارای ارزش‌های فازی حداقل ۰ تا حداکثر ۱ است. در این منطقه از نظر معیار پوشش گیاهی، در برخی نقاط، بهترین وضعیت ممکن برای احیاء وجود دارد. در ارتباط با معیارهای مؤثر خاک، مناطقی با خاک‌های با میزان آهک ۲۲/۹-۱۹/۴٪ و میزان اسیدیته ۸/۵-۸/۲، درصد شن ۷۷-۷۲/۴، همچنین درصد رس ۸/۸-۵/۴ بیشترین ارزش‌های فازی را برای احیاء، به کمک کاشت گونهٔ سیاه تاغ به خود اختصاص داده‌اند.

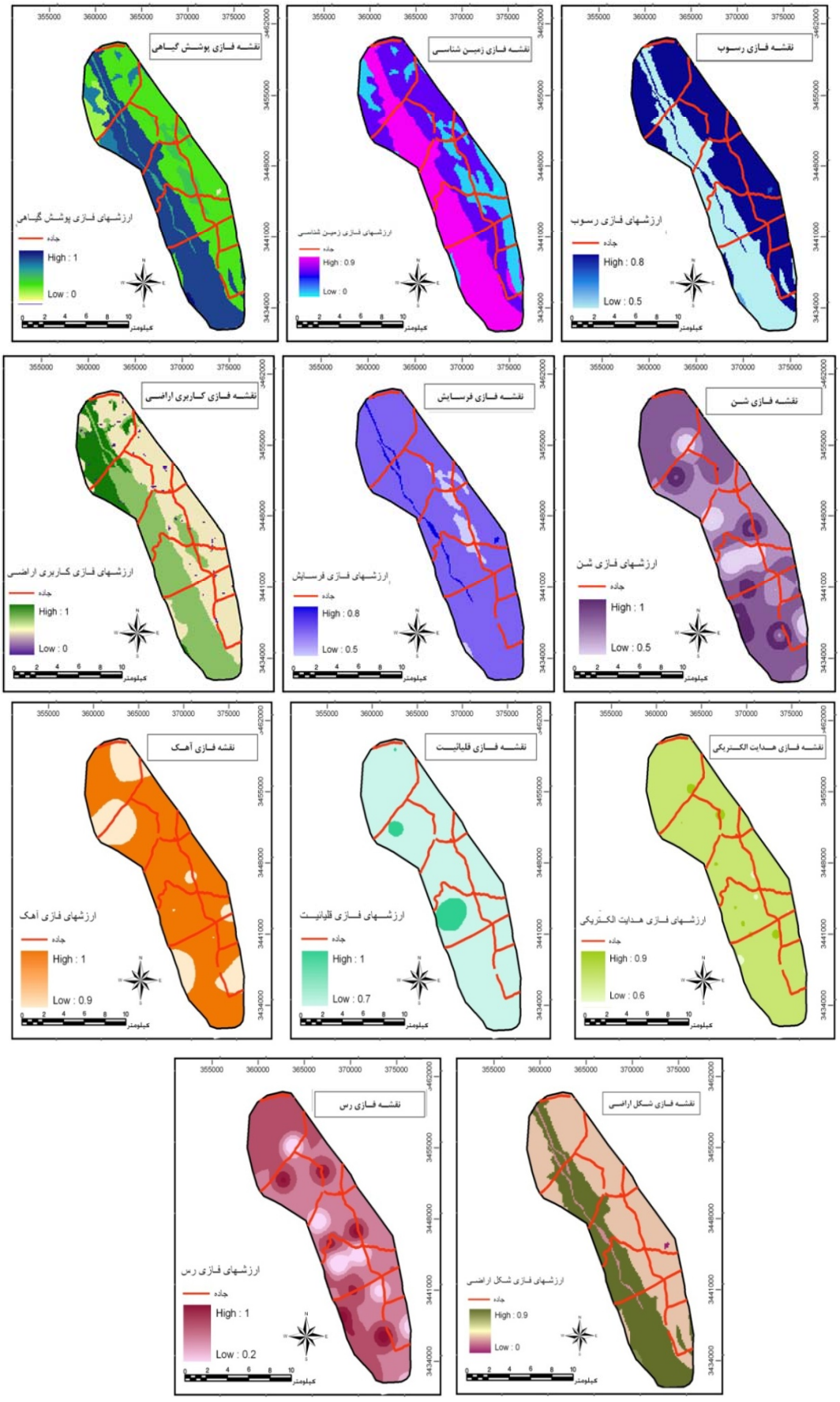
پس از تهیه نقشه‌های ارزش‌گذاری معیارهای مؤثر برای تهیه نقشه مکان‌های مستعد احیاء بیابان، کار تلفیق و تهیه نقشه نهایی مربوطه با استفاده از عملگرهای منطق فازی، انجام گردید. در این تحقیق پس از اجرای عملگرهای مختلف برای ترکیب لایه‌های ارزش‌گذاری شده، نقشه حاصل از عملگر تلفیقی گاما با ضریب ۰/۸، که بهترین انطباق را با وضعیت کاربری فعلی از خود نشان داد، برگزیده شد. تعدادی از این نقشه‌های تهیه شده در این تحقیق به عنوان نمونه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

مکان‌های مستعد احیاء بیابان در منطقه مورد مطالعه، با عملگر تلفیقی گاما به میزان ۰/۸ تعیین گردید که دارای ارزش‌های احیاء ۰/۶۷ تا ۰ از بین ارزش‌های ۱۱ گانه فازی با درصد ریسک حدود ۳۰ تا ۱۰۰٪ است. با توجه به شکل ۳ بهترین مکان‌های مستعد احیاء بیابان در منطقه مطالعه دارای ارزش نزدیک به ۷۰٪ یعنی با میزان خطر پذیری ۳۰٪ است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، تهیه روشی برای مدل سازی تعیین مناطق مستعد احیاء بیابان و تهیه نقشه پهنه‌بندی این مناطق است. به منظور دستیابی به این هدف روش‌های دلفی و فازی و کریجینگ در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت و کارآمدی مدل فازی در برنامه‌ریزی‌های زیست محیطی جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی کاربردی تجربه گردید.

1- Accuracy



شکل ۲. نقشه های فازی شده معیارها.

در به‌کارگیری مدل فازی، عملگرهای متنوعی برای تلفیق متغیرهای عضویت با یکدیگر که همان عوامل مؤثر در اجرای مدل مورد استفاده هستند، می‌توانند به‌کار گرفته شوند، با این وجود، عملگر فازی گاما جهت مدل تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد انتخاب گردید. نتایج نشان داد که عملگر فازی گامای ۰/۸ از کارآیی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها در تعیین مدل اکولوژیکی برای مناطق مستعد بیابان‌زدائی، برخوردار است.

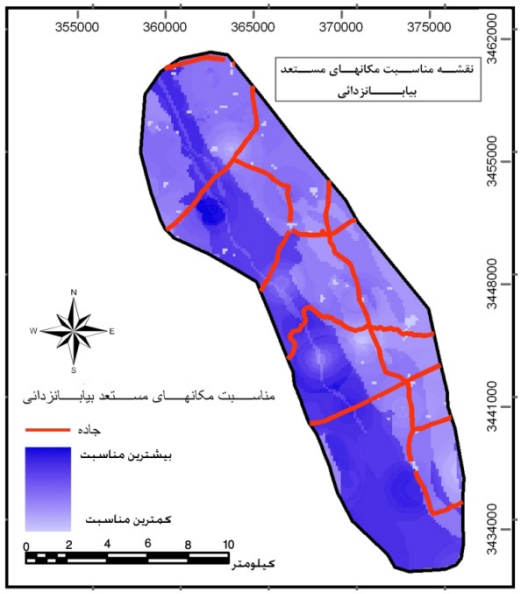
نتایج حاصل از کاربرد این مدل در دشت سیستان، وضعیت پیش‌بینی مناطقی که به صورت واقعی در منطقه مورد مطالعه از نظر قابلیت‌ها و محدودیت‌های محیطی برای احیاء وجود دارد را مشخص نمود. در این منطقه مناسب بودن مکان‌های مستعد احیاء بیابان، حداکثر نزدیک به ۷۰٪ با درجه ریسک نزدیک به ۳۰٪ نسبت به شرایط منطقه، خواهد بود.

پس از تعیین مناطق مناسب احیاء بیابان، جهت ارزیابی نتایج نهایی، مدل اکولوژیکی این مناطق با نقشه کاربری اراضی و شدت بیابان‌زایی منطقه، با استفاده از جدول درصد انطباق مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از جداول توافقی Cross Tabulate Area در محیط تحلیلگر GIS، نقشه نهایی مکان مناسب حاصل از مدل فازی با دو نقشه کاربری اراضی و بیابان‌زائی منطقه تطابق داده شد و فراوانی پیکسل‌های مشابه (درصد تطابق کلی یا دقت کلی طبقه‌بندی[5]) در طبقات مختلف بر اساس جدول حاصل از این عملگر و بر اساس رابطه (۱) تعیین گردید.

رابطه (۱)

$$\text{درصد تطابق OA} = \text{مجموع تعداد پیکسل ها قطر اصلی} \Big/ \text{مجموع کل پیکسل ها}$$

نتایج جدول تطبیقی مدل اکولوژیکی مناطق مستعد احیاء بیابان و عملگر گامای فازی ۰/۸ با نقشه شدت بیابان‌زایی (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیش از ۹۹٪ محدوده‌هایی که در کلاس زیاد بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند (نسبت به کلاس خیلی زیاد و خیلی شدید)، ارزش‌های بین ۱۰۰-۵۰ مدل را به خود اختصاص داده‌اند. به‌عبارتی مدل برآورد خیلی مناسبی برای مکان‌هایی که دچار



شکل ۳. نقشه نهایی مکان‌های مستعد احیاء بیابان با استفاده از عملگر فازی گامای ۰/۸.

بیابان‌زایی زیاد هستند داشته و ارزش‌های بالایی از احیاء برای آن مناطق برآورد نموده است.

حدود ۸۴٪ از محدوده‌هایی که در کلاس خیلی زیاد بیابان‌زایی قرارگرفته‌اند، ارزش‌های بین ۷۵-۵۰ مدل را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان می‌دهد که، در مناطقی که شدت بیابان‌زایی افزایش می‌یابد ارزش‌های احیاء کاهش پیدا می‌کند.

اما مدل در مناطق با بیابان‌زایی خیلی شدید برآورد دیگری دارد. در این حالت ۸۶٪ از محدوده‌هایی که در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند. ارزش‌های بین ۷۵-۵۰ مدل را به خود اختصاص داده اند. دلیل این امر، ارزش‌های بالایی است که برای لایه‌هایی از احیاء در نظر گرفته شده تا حتی کم‌ترین پتانسیل مناطق برای احیاء نیز، در محدوده‌های کم ارزش، نادیده گرفته نشود. همچنین نتایج جدول تطبیقی مدل اکولوژیکی مناطق مستعد احیاء بیابان و عملگر گامای فازی ۰/۸ با نقشه کاربری اراضی (جدول ۵) نشان می‌دهد که ۷۸٪ از ارزش-های بسیار بالای مدل (۱۰۰-۷۵) در اراضی مرتعی وجود دارد. این بدان معنی است که مدل برآورد مناسبی از مراتعی که مستعد احیاء می‌باشند، را دارد. همچنین ۷۶٪ از ارزش‌های ۷۵-۵۰٪ مدل در اراضی کشاورزی رها شده قرارگرفته است. یعنی مدل، اراضی کشاورزی رها شده را با ارزش‌های نسبتاً متوسطی برای احیاء برآورد نموده است. مشخص است که بیش از ۹۰٪ از ارزش‌های بسیار پائین

5- Overall Accuracy

مدل به مناطق مسکونی اختصاص یافته است. دلیل این امر این است که در داخل اراضی مسکونی و یا اطراف آن-ها نیز مناطقی برای احیاء وجود دارد و این موضوع تا حد زیادی صحت مدل را تایید می‌کند. یعنی کم‌ترین ارزش احیاء به مناطق مسکونی تخصیص داده شده است.

جدول ۴. درصد انطباق ارزش‌های نقشه تعیین مدل اکولوژیکی مناطق مستعد و عملگر گامای فازی ۰/۸ با شدت بیابان زایی منطقه

طبقات ارزش لایه نهایی	شدت بیابان‌زایی(٪)		
مناطق مستعد احیاء	زیاد	خیلی زیاد	خیلی شدید
۰-۲۵	۰/۵۶	۴/۲۵	۱
۲۵-۵۰	۰/۲۲	۰/۱۶	۱/۰۸
۵۰-۷۵	۴۹/۹۶	۸۴/۰۱	۸۶/۱۷
۷۵-۱۰۰	۴۹/۲۶	۱۱/۵۷	۱۱/۷۴

جدول ۵. درصد انطباق ارزش‌های نقشه تعیین مدل اکولوژیکی مناطق و عملگر گاما ی فازی ۰/۸ با کاربری اراضی منطقه

طبقات ارزش لایه نهایی	کاربری اراضی (٪)			
	اراضی کشاورزی رها شده	مرتع	جنگل دست کاشت	مناطق مسکونی
۰-۲۵	۹/۴۵	۰	۰/۷۹	۸۹/۷۶
۲۵-۵۰	۵۵/۲۶	۴۴/۷۴	۰	۰
۵۰-۷۵	۷۵/۹۸	۱۳/۱۵	۱۰/۸۷	۰
۷۵-۱۰۰	۷/۸۰	۷۸/۲۰	۱۴	۰

References

[1].Akbari, M., Karimzadeh, H., Modares, R., Chakoshi, B. (2007). Desertification assessment and classification using remote sensing technology and GIS (Case Study: Arid region of Isfahan northern). *Iranian Jaournal of Range and Desert Research,* 27, 124-142, (in Farsi).

[2].Azarnivand, H., Jafari, M., Chahouki, M., (2007). Relationship between the species *Haloxylon aphyllum* and soil characteristics (Case Study: Yazd desert Chah beiki). Community seminars on various aspects of Haloxylon, Ardestan, (in Farsi).

[3].Ekhtesasi, M. R. (2003). Minimum density of tree seedlings of *Haloxylon carminative* design and control of wind erosion in central Iran, First National Conference of Haloxylon plantation in Iran, Kerman, (in Farsi).

[4].Faraji Sabokbar, H., Azizi, G. (2006). Assessing the accuracy of spatial interpolation methods (Case study: Modeling precipitation of Mashhad plain), Geographical Research, 58(38), 1-15, (in Farsi).

[5].Grau, J. B. (2010). Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the Chaco Area in Salta province. *Biogeosciences,* 7(3), 2601-2630.

[6].Hemmati, N. (2001). Analysis of factors in the severity of desertification and offer regional model in Abad areas Bijar, MSc Thesis, University of Tehran, (in Farsi).

[7].Hossein Ali Zadeh, M., Ayoubi, Sh. A., Shataee, Joybari, Sh. (2006). Comparison of different interpolation methods for the estimation of soil surface Properties (Case Study: Watershed of Sabzevar), Agricultural Sciences and Natural Resources, 13(5), 152-162, (in Farsi).

[8].Jafari, M., Hayati, J., Zargham, N. A., Azarniuond, H., Sofi, M. (2004). Review and assessment of desertification projects in

Lamard plain. Geographical Research, 50(36), 199-214, (in Farsi).

[9].Karimpoor Reyhan, M. (2005). Effect of soil physico-chemical properties on the number of Bush *Haloxylon Aphyllum* Margin of the Tabas playa. *Journal of Desert,* 10(2), 411-422, (in Farsi).

[10].Li, W., Yu, G., Shouyu, C., Huicheng, Z., (2006). Use of variable Fuzzy sets methods for desertification evaluation. Computational intelligence, theory and applications. Polish Academy of Sciences, 38, 721-731.

[11].Makhdoum. M. (2001). Fundamental of Land use Planning,4 th Edition, Tehran, University of Tehran Publicatins.

[12].Nazari Adli, C., Habibi, K., (2006). Spatial analysis Slaughter house Sanandaj and location of new slaughterhouse with fuzzy logic and model weighted index, Third Conference on Spatial Information Systems, gheshm, (in Farsi).

[13].Rad, M. H., Mirhoseyni, R., Mashkot, M. A., Soltani, M. (2008). The effect of soil moisture On how the development of plant roots Haloxylon spp. *Journal-Research pine and forest Research of Iran*, 16(1), 112-123, (in Farsi).

[14].Sasikala, K. R., Petrou M. (2001). Generalised fuzzy aggregation in estimating the risk of desertification of a burned forest. *Fuzzy Sets and Systems,* 118 (1), 121-137.

[15].Sepehr, A. Zucca, C. (2012). Ranking desertification indicators using TOPSIS algorithm. *Natural Hazards,* 62 (3), 1137-1153.

[16].Safari, H. (2007). Comparison of interpolation methods: IDW and Kriging, Journal of Shahrnegar, 40 (7), 33-39, (in Farsi).

[17].Zehtabiyan, Gh. R., Javadi, M. R., Ahmadi, H., Azarniuond, H. (2006). Review of erosion wind in increasing severity of desertification and offer desertification regional model in Mahan watershed. *Journal of Natural Resources,* 19(3), 65-75, (in Farsi).

[18].Zandi, A. (2005). Edaphic parameters associated with the growth rate of Haloxylon: A case Study of Segsi Plain, MSc Thesis, University of Tehran, (in Farsi).

Ecological mapping models for desert revival prone areas using logic Fuzzy (Case study: Sistan plain)

1- S. S. Ahmadizadeh, Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, University of Birjand.
2- A. Mir, Lecturer, Department of Environmental Sciences, University of Zabol.
atefehmir@gmail.com
3- M. Ziaei, Lecturer, Department of Urban Planning, University of Birjand.

Accepted: 29 Jan 2013
Received: 28 Apr 2013

Abstract

Finding an appropriate land to implement an activity in a particular geographical region became a significant phase of project implementation process especially in regional and national levels. One of the most useful tools in finding the susceptive locations of desert revival is utilization of computerized models. Finding the locations using Fuzzy Logic and Geographical Information Systems has been utilized in various special fields. This research aimed to determine the appropriate locations of desert revival with the risk degree by using of this model. This research adopted a method based on inspecting and grouping of environmental parameters affecti on preventing desertification. The method is accomplished using available parameters in the region and mapping of these resources were done by using Kriging and IDW methods; and ultimately specifying a simple model by valuation of Fuzzy Logic. Results showed that the Fuzzy model Gamma 0.8 had the best compatibility for recognizing the deserts and the susceptive places for combating desertification with high success rate or desert revival risk.

Keywords: Desert Revival; Kriging; Fuzzy logic; Sistan.