

ارزیابی خطر تخریب سرزمین و شدت بیابان‌زایی با استفاده از روش فازی (مطالعه موردی: منطقه میاندهی استان خراسان رضوی)

رضا دهقانی بیدگلی^{۱*}، حمیدرضا کوهبنانی^۲، محمدرضا یزدانی^۳ و جمال دشتی امیرآباد^۲

*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، ایران، پست الکترونیک: dehghanir@kashanu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری گروه بیابان‌زایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

۳- دانشیار، گروه بیابان‌زایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۶

چکیده

پدیده مخرب بیابان‌زایی یکی از بحران‌های جدی اکولوژیکی در این عصر محسوب می‌شود. به‌منظور بهبود کارایی پروژه‌های بیابان‌زایی و خنثی‌سازی تخریب منابع طبیعی، ایجاد روش ارزیابی و پایش جامع و سامانمند که از انواع معیارها و شاخص‌ها برای حصول به نتایج واقعی بهره می‌برد، ضروری به نظر می‌رسد. راهکارها و راهبردهای ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی در ایران عموماً به صورت بخشی‌نگر و بر مبنای نظرات کارشناسی بوده و معمولاً مدل‌های ارزیابی بر مبنای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره چندان موردتوجه نبوده است. در این پژوهش با استفاده از رویکرد منطق فازی به‌عنوان یکی از روش‌های آزموده شده و کارآمد در ارزیابی برخی معیارهای مهم در زمینه تخریب و بیابان‌زایی استفاده شده است. بدین‌منظور پس از تهیه واحدهای کاری، نمونه‌های میدانی در هر واحدکاری برداشت شده و بعد با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و کریجینگ اقدام به تهیه نقشه‌های رستری پیوسته اولیه در محیط GIS گردید؛ در گام بعدی با استفاده از توابع خطی عضویت لایه‌ها به لایه‌های فازی تبدیل مشخص شد. در نهایت با استفاده از عملگرهای فازی و اپراتور گاما نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی در مقیاس صفر تا یک ارائه گردید. به‌منظور تسهیل و تفهیم بهتر نتایج، نقشه نهایی در ۴ کلاس شدت کم تا شدت خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد تقریباً ۴۰ درصد از عرصه مورد مطالعه در شدت بالای تخریب و ۱۷ درصد در شدت خیلی‌زیاد قرار دارد. خاطر نشان می‌سازد طبقه‌بندی فوق در سناریوهای مختلف مدیریتی می‌تواند مورد بازبینی دوباره قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تخریب اکوسیستم، منطق فازی، تابع عضویت خطی، میان‌دهی.

مقدمه

اقتصادی، اجتماعی و محیطی به اثبات رسیده است (Silakhori, 2015). برای ارزیابی بیابان‌زایی تحقیقات مختلفی در داخل و خارج کشور انجام شده است که به ارائه مدل‌های مختلفی منجر شده است. در کشور ایران که ۸۵٪ اراضی آن تحت اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و فراخشک است و با توجه به رشد یک درصدی میزان سالیانه بیابان‌زایی و گسترش روزافزون آن، یافتن روش‌های ارزیابی این پدیده و علل ایجاد آن در قالب مدل‌های ارزیابی وضعیت فعلی و

بیابان‌زایی واژه‌ای است که اشاره به تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب دارد (UNNCD, 1994). این پدیده توسط سازمان ملل متحد به‌عنوان یک مشکل مهم جهانی در اجلاس بیابان‌زایی ملل متحد در سال ۱۹۷۷ در نایروبی کنیا رسماً مورد شناسایی قرار گرفته و امروز آثار زیانبار این پدیده برای بیش از یک میلیارد نفر ساکن در ۱۰۰ کشور به‌منزله یک معضل بزرگ

بود. در چارچوب مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش فازی تاپسیس (FTOPSIS) که نوعی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی سازشی است، اولین بار توسط Chen و Hwang در سال ۱۹۹۲ ارائه شد. در این مدل ارزش‌ها بر مبنای فازی تعریف می‌شوند و همانند تاپسیس کلاسیک، رتبه‌بندی بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی انجام می‌شود (Ertugrul & Karakasoglu, 2007).

Sadeghiravesh و Tahmoores (۲۰۱۳)، به ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد مدل تاپسیس فازی در دشت خضرآباد یزد پرداختند. بر مبنای نتایج حاصل‌شده، راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی با نزدیکی نسبی ۵۶/۵۹ درصد به‌عنوان مهمترین راهبرد بیابان‌زدایی در منطقه تشخیص داده شد. Sepehr و همکاران (۲۰۱۲) نیز به‌منظور اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌های بیابان‌زدایی از روش FTOPSIS استفاده کردند. Wang و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود به ارزیابی خطر بیابان‌زدایی به روش فازی در چین پرداختند. آنان شاخص‌های تحقیق را در چهار دسته خطر، وضعیت، حساسیت و برگشت‌پذیری دسته‌بندی کرده و بعد لایه‌ها با الگوریتم خطی فازی شدند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بین نقشه نهایی خطر بیابان‌زدایی و نقشه شدت تخریب زیست‌توده ضریب همبستگی ۰/۸۵ وجود دارد.

اساس روش‌ها و مدل‌های سنتی و ارزیابی و پایش بیابان‌زدایی بر تعریف آستانه‌ها و حدود می‌باشند، درحالی‌که مرزهای مشخص و قراردادی در ماهیت اکوسیستم‌های طبیعی وجود ندارند. از این رو در مدل‌سازی پدیده‌هایی از قبیل بیابان‌زدایی با سطحی از عدم قطعیت روبرو هستیم (Sarkar et al., 2015). شاخص‌های بیابان‌زدایی از قبیل تخریب خاک و پوشش گیاهی، شوری خاک و آب، نسبت جذب سدیمی و ... همگی ذات غیرقطعی (Non deterministic) داشته و در نتیجه از رفتار سیستم‌های فازی تبعیت می‌کنند. یکی از اهداف استفاده از روش فازی در این تحقیق این است که منطق فازی قادر به مدل‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده از قبیل ارزیابی ریسک و خطر در اکوسیستم‌های طبیعی بوده (Camastra et al., 2015) و (Salaria et al., 2013) و مرزهای مبهم و نامشخص در

پیش‌بینی روند آن بیش‌ازپیش احساس می‌شود؛ بنابراین در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری بدین‌منظور انجام‌شده‌است (Bakhshandehmehr et al., 2013).

محققان داخلی در سال ۱۹۹۵ روش ICD را به‌منظور ارزیابی بیابان‌زدایی در ایران ارائه کردند. در این روش با تکیه بر مطالعات پایه و چشم‌اندازهای طبیعی، روش پیشنهادی را در مساحتی در حدود ۱۰ میلیون هکتار از اراضی جنوب اصفهان تا سیرجان و بخش‌هایی از استان هرمزگان بررسی و آزمایش کردند. بر اساس نتایج این تحقیق منشأ ۲۵٪ از بیابان‌های این مناطق محیطی و ۷۵٪ آن انسانی است (Zakerinejad et al., 2012). در سال ۲۰۰۴ طرح ملی تعیین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زدایی کشور به‌منظور نیل به اهداف برنامه اقدام ملی و مقابله با بیابان‌زدایی با تکیه بر شرایط خاص اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی کشور توسط دفتر تثبیت‌شن و بیابان‌زدایی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نهایی شد. این طرح با مشارکت استادان و محققان برجسته کشور و با استفاده از منابع معتبر داخلی و خارجی و بین‌المللی تدوین شد (Ahmadi, 2006). بر اساس این طرح ۹ معیار و ۳۶ شاخص بیابان‌زدایی در ایران همراه با روش‌شناسی ارزیابی کمی و کیفی آنها در قالب مدلی با عنوان مدل ایرانی ارزیابی قابلیت بیابان‌زدایی (IMDPA) ارائه شد. در این روش برای تلفیق داده‌های همانند روش مدالوس، از میانگین هندسی استفاده و در پایان وضعیت بالفعل بیابان‌زدایی و کلاس شدت بیابان‌زدایی در ۴ کلاس تعیین شد.

برخی محققان نیز از مدل‌های تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی و ارائه راهبردهای بهینه در چارچوب مدیریت مناطق بیابانی بهره برده‌اند. به‌عنوان مثال Grau و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود به‌منظور رتبه‌بندی و انتخاب راهبردهای بهینه به‌منظور ارائه طرحی یکپارچه برای کنترل فرسایش و بیابان‌زدایی از سه مدل تصمیم‌گیری ELECTR، AHP، ROMETHEE استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان از کارایی بالای این مدل‌ها در رتبه‌بندی و ارائه راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی داشته و با وجود روش‌های پیچیده مورد استفاده در هر مدل، نتایج حاصل تا حدود زیادی یکسان

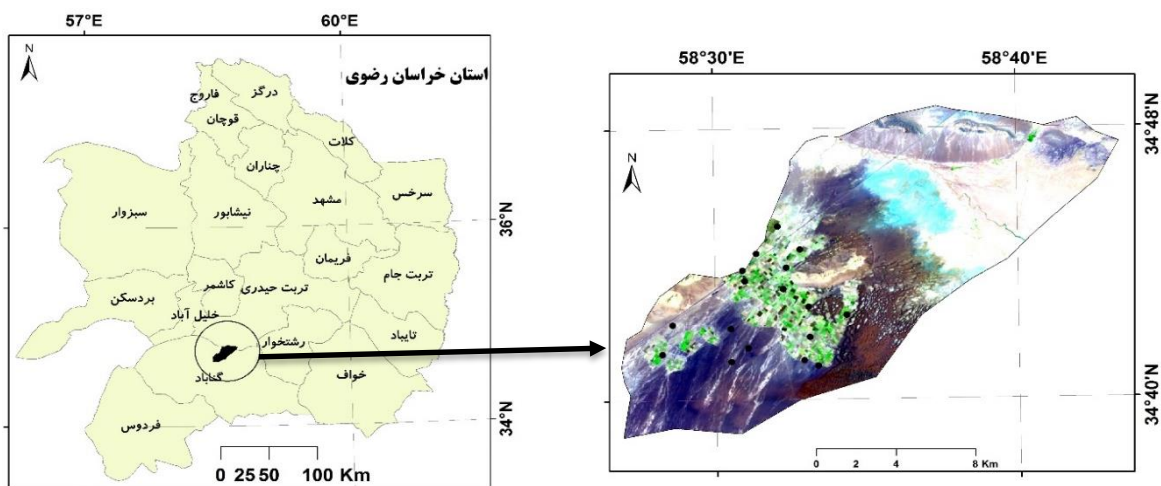
از زیرحوضه‌های کال‌شور می‌باشد به دلیل بالا بودن شوری و وجود دشت هموار و وسیع از یکسو محل برداشت رسوب بوده و از سوی دیگر در انتهای دشت به علت وجود مناطق کوهستان محل تجمع ماسه‌بادی (رسوب‌گذاری) است. رودخانه کال‌شور نیز در داخل منطقه مورد مطالعه قرار دارد. مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۲۲۵۳۳ هکتار است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۶۵ میلی‌متر، متوسط دمای ماهانه منطقه ۱۸/۷، دمای حداکثر مطلق ۴۸ و دمای حداقل مطلق ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش آمبرژه خشک و سرد، بر اساس روش دومارتن اصلاح شده فراخشک معتدل و بر اساس روش ایوانف صحرائی می‌باشد (Asar & Masoudi, 2017).

شاخص‌های بیابان‌زایی و عدم قطعیت داده‌های ورودی مدل را می‌توان همانند آنچه در واقعیت وجود دارد، در مدل وارد نمود. در این تحقیق با استفاده از رویکرد فازی اقدام به پهنه‌بندی خطر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در منطقه میاندهی خواهد شد. در این راستا برخی از شاخص‌های مهم مؤثر در این پدیده اندازه‌گیری و بعد با استفاده از منطق فازی استانداردسازی دوباره شده و در نهایت نقشه فازی خطر بیابان‌زایی منطقه تهیه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه میاندهی یکی از کانون‌های مهم فرسایش بادی در استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. این منطقه که یکی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه استان

روش احمدی (توپوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی) تهیه گردید. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه‌ها از نرم‌افزار Arc GIS 10.5 استفاده شد. در این پژوهش برای تهیه نقشه شدت خطر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی از میان ۹ معیار موجود در مدل ایرانی بیابان‌زدایی (IMDPA) و بر پایه مطالعات کارشناسی و اولویت‌بندی سلسله مراتبی (AHP) نظرات ۲۰ تن از کارشناسان محلی، استانی و استادان

روش تحقیق

به دلیل وسعت زیاد منطقه، عملیات نمونه‌برداری در واحدهای همگن امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است؛ از این رو نخستین گام در انجام این تحقیق تهیه نقشه واحدکاری است. بر این اساس مطالعات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و هواشناسی در حوزه مورد نظر انجام شد. در نهایت نقشه واحدکاری بر اساس

دانشگاهی، ۴ معیار از معیارهای مدل ایرانی IMDPA اقلیم، خاک، ژئومرفولوژی و زمین‌شناسی و معیار آب زیرزمینی که بیشترین تأثیر را در پدیده بیابان‌زایی دارند، استفاده گردید. از معیارهای ذکر شده شاخص‌های بارندگی سالانه، هدایت الکتریکی (EC) خاک، نسبت جذب سدیمی (SAR) خاک، درصد تاج پوشش گیاهی، هدایت الکتریکی (EC) آب زیرزمینی و نسبت جذب سدیمی (SAR) آب زیرزمینی بررسی و امتیازدهی شد. روش نمونه‌برداری در این تحقیق، روش تصادفی سیستماتیک بود و نمونه‌برداری و اندازه‌گیری هر یک از شاخص‌های ذکر شده در هر واحد کاری انجام شد. در این مطالعه برای ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی و پهنه‌بندی آن از روش فازی استفاده شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad LAI = 0.57 \exp(2.33NDVI)$$

بر این اساس مقادیر ρ_4 و ρ_5 به ترتیب مقدار بازتابندگی سطحی از باند شماره ۵ (مادون قرمز نزدیک) و باند شماره ۴ (قرمز) است. بازتابندگی سطح به صورت نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی تعریف می‌شود. برای اندازه‌گیری بازتابندگی سطح در هر باند سنجنده LDCM از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه (۲)} \quad NDVI = (\rho_5 - \rho_4) / (\rho_5 + \rho_4)$$

بر این اساس اقدام به حفر سه پروفیل در هر واحد کاری به صورت شبکه تصادفی نامنظم کرده و نمونه‌های خاک قبل از افق C به صورت تصادفی جمع‌آوری و پس از تهیه عصاره اشباع، EC و SAR در آزمایشگاه خاک اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیمی (SAR)، از منابع آب زیرزمینی موجود (قنات و چشمه‌ها) بر اساس واحدکاری تهیه گردید. برای برآورد بارش سالانه از آمار ۳۵ ساله (-1981 تا 2016) ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استفاده گردید (۳۰ ایستگاه شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوتیک) و پس از تعیین همگنی داده‌ها به روش آزمون جرم مضاعف و آزمون توالی دنباله‌ها، ایستگاه‌هایی که آمار ناقص داشتند به روش آزمون استثنایی گروپز- بگ بازسازی و تکمیل گردید؛ آنگاه معادله کریجینگ با کمترین مقدار RMSE برای تهیه نقشه شاخص بارش اعمال گردید. برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی از تکنیک سنجنش‌زدور و اطلاعات ماهواره لندست ۸ بهره گرفته شد. یکی از روش‌های رایج در سنجنش‌زدور برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی، استفاده از شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد. شاخص سطح برگ نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به کل سطح زمین است. رابطه LAI بستگی به نوع محصول و موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه دارد

$$\text{رابطه (۳)} \quad \rho = [\pi \times (L_\lambda - L_p) \times d^2] / (ESUN_\lambda \times \cos \theta_s)$$

بر این اساس اقدام به حفر سه پروفیل در هر واحد کاری به صورت شبکه تصادفی نامنظم کرده و نمونه‌های خاک قبل از افق C به صورت تصادفی جمع‌آوری و پس از تهیه عصاره اشباع، EC و SAR در آزمایشگاه خاک اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیمی (SAR)، از منابع آب زیرزمینی موجود (قنات و چشمه‌ها) بر اساس واحدکاری تهیه گردید. برای برآورد بارش سالانه از آمار ۳۵ ساله (-1981 تا 2016) ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استفاده گردید (۳۰ ایستگاه شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوتیک) و پس از تعیین همگنی داده‌ها به روش آزمون جرم مضاعف و آزمون توالی دنباله‌ها، ایستگاه‌هایی که آمار ناقص داشتند به روش آزمون استثنایی گروپز- بگ بازسازی و تکمیل گردید؛ آنگاه معادله کریجینگ با کمترین مقدار RMSE برای تهیه نقشه شاخص بارش اعمال گردید. برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی از تکنیک سنجنش‌زدور و اطلاعات ماهواره لندست ۸ بهره گرفته شد. یکی از روش‌های رایج در سنجنش‌زدور برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی، استفاده از شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد. شاخص سطح برگ نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به کل سطح زمین است. رابطه LAI بستگی به نوع محصول و موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه دارد

$$\text{رابطه (۴)} \quad L_p = M_L \times DN_{\min} + A_L - 0.01 \times ESUN_\lambda \times \cos \theta_s / (\pi \times d^2)$$

بر این اساس مقادیر ρ_4 و ρ_5 به ترتیب مقدار بازتابندگی سطحی از باند شماره ۵ (مادون قرمز نزدیک) و باند شماره ۴ (قرمز) است. بازتابندگی سطح به صورت نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی تعریف می‌شود. برای اندازه‌گیری بازتابندگی سطح در هر باند سنجنده LDCM از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه (۵)} \quad \theta_{ze} = 90^\circ - \theta_{se}$$

بر این اساس اقدام به حفر سه پروفیل در هر واحد کاری به صورت شبکه تصادفی نامنظم کرده و نمونه‌های خاک قبل از افق C به صورت تصادفی جمع‌آوری و پس از تهیه عصاره اشباع، EC و SAR در آزمایشگاه خاک اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیمی (SAR)، از منابع آب زیرزمینی موجود (قنات و چشمه‌ها) بر اساس واحدکاری تهیه گردید. برای برآورد بارش سالانه از آمار ۳۵ ساله (-1981 تا 2016) ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استفاده گردید (۳۰ ایستگاه شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوتیک) و پس از تعیین همگنی داده‌ها به روش آزمون جرم مضاعف و آزمون توالی دنباله‌ها، ایستگاه‌هایی که آمار ناقص داشتند به روش آزمون استثنایی گروپز- بگ بازسازی و تکمیل گردید؛ آنگاه معادله کریجینگ با کمترین مقدار RMSE برای تهیه نقشه شاخص بارش اعمال گردید. برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی از تکنیک سنجنش‌زدور و اطلاعات ماهواره لندست ۸ بهره گرفته شد. یکی از روش‌های رایج در سنجنش‌زدور برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی، استفاده از شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد. شاخص سطح برگ نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به کل سطح زمین است. رابطه LAI بستگی به نوع محصول و موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه دارد

عضویت فازی مقادیر موجود را بین صفر و یک مرتب می‌کنند. مقدار صفر مربوط به مقادیری است که کمترین تأثیر را بر روی پدیده بیابان‌زایی دارند و مقدار یک هم مربوط به مقادیری است که بیشترین اثرگذاری را روی این پدیده دارند. در شکل زیر دو نمونه تابع عضویت خطی مشاهده می‌شود و با توجه به نحوه اثرگذاری بر روی بیابان‌زایی می‌تواند کاهش یا افزایشی باشد (رابطه ۸ و ۹).

رابطه (۸) تابع عضویت افزایشی

$$\mu_{z_i}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } z_i(x) \leq z_i^{\min} \\ \frac{z_i(x) - z_i^{\min}}{z_i^{\max} - z_i^{\min}} & \text{if } z_i^{\min} \leq z_i(x) \leq z_i^{\max} \\ 1 & \text{if } z_i(x) \geq z_i^{\max} \end{cases}$$

رابطه (۹) تابع عضویت افزایشی

$$\mu_{z_k}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } z_k(x) \leq z_k^{\min} \\ \frac{z_k(x) - z_k^{\min}}{z_k^{\max} - z_k^{\min}} & \text{if } z_k^{\min} \leq z_k(x) \leq z_k^{\max} \\ 0 & \text{if } z_k(x) \geq z_k^{\max} \end{cases}$$

برای دو فاکتور پوشش گیاهی و بارش از توابع کاهش و برای فاکتورهای EC آب زیرزمینی، SAR آب زیرزمینی و EC خاک و SAR خاک از توابع افزایشی فازی استفاده شد. علت این امر در ماهیت اثرگذاری آنها بر روی پدیده بیابان‌زایی است. به‌عنوان مثال با افزایش بارندگی از شدت بیابان‌زایی کاسته می‌شود اما با افزایش EC آب بر شدت بیابان‌زایی افزوده می‌گردد. سپس به کمک نرم‌افزار الحاقی فازی به Arc GIS 10.3 و با استفاده از توابع یادشده، امتیازات اکتسابی هر شاخص بر اساس کلیه نتایج حاصل از هر یک از نمونه‌های مربوط به هر شاخص وارد نرم‌افزار شده و به فازی تبدیل شد و نقشه‌های حاصل از آن کلاس‌بندی شدند.

نتایج

در فرایند ارزیابی قابلیت بیابان‌زایی در منطقه میاندهی،

با واحد $W / m^2 / \mu m$ رابطه زیر برای محاسبه $ESUN_{\lambda}$ در لندست ۸ ارائه شده است.

رابطه (۶)

$$ESUN_{\lambda} = (\pi \times d^2) \times RADIANCE_{MAX} / REFLECTANCE_{MAX}$$

مقدار عددی $RADIANCE_{MAX}$ و $REFLECTANCE_{MAX}$ برای هر باند در متادیتا موجود است. منطق فازی در واقع توصیف ریاضیاتی از مفهوم عدم قطعیت است. بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی، عضویت اعضا در مجموعه ممکن است به‌طور کامل نبوده و هر عضوی دارای درجه و عضویت از صفر تا یک باشد. در این مجموعه هیچ واحدی مناسب مطلق و نامناسب مطلق در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل وزن‌های داده‌شده نه صفر است و نه یک، بلکه بین صفر و یک متغیر است (Alesheikh et al, 2002). با توجه به نزدیک بودن مفهوم منطق فازی به پدیده‌های طبیعی پیرامون ما، امروزه بسیاری از رشته‌های علمی از این روش ریاضی برای حل مسائل پیچیده استفاده می‌کنند. یک مجموعه فازی A در فضای جهانی M به وسیله تابع $\mu_A(x)$ که مقادیری در بازه $\{0, 1\}$ اختیار می‌کند، مشخص می‌شود. اگر X یک مجموعه مرجع باشد آنگاه مجموعه فازی A در X یک مجموعه از زوج‌ها مرتب است (رابطه ۷).

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ تابع عضویت یا درجه عضویت X به \tilde{A} که تابعی از X به $[0, 1]$ است. نزدیکی مقدار $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به عدد یک نشان‌دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه \tilde{A} می‌باشد. در حالتی که x کاملاً در مجموعه \tilde{A} وجود داشته باشد، تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه را مشخص می‌کند (Wang et al, 2015).

در این تحقیق به منظور ارزیابی فاکتورهای مؤثر در پدیده بیابان‌زایی، لایه‌های آماده‌شده با استفاده از تابع عضویت خطی فازی استانداردسازی دوباره شدند. معمولاً توابع

بر این اساس داده‌های موردنیاز در تشکیل توابع عضویت افزایشی و کاهش‌ی تهیه و برای هر یک از شاخص‌های ذکرشده به روش فازی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار GIS ایجاد و نقشه‌های آن تهیه گردید که در زیر آورده شده است (Kosravi et al., 2014; Vali et al., 2015).

بر اساس مدل IMDPA، پنج شاخص مؤثر در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه شامل EC خاک، EC آب، شاخص سطح برگ (LAI) و میانگین بارندگی سالیانه نسبت جذب سدیمی (SAR) مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱). به منظور فازی سازی لایه‌ها و انتخاب نقاط کنترل توابع عضویت فازی از دامنه امتیازی IMDPA بهره گرفته شد و

جدول ۱- کلاس‌های بیابان‌زایی شاخص‌های مورد مطالعه به روش IMDPA

| کلاس I | کلاس II | کلاس III | کلاس IV | شاخص بیابان‌زایی |
|------------|------------|-------------|---------------|-------------------------------|
| شدت کم | شدت متوسط | شدت زیاد | شدت خیلی زیاد | درصد پوشش تاجی گیاهان |
| ($30 <$) | ۱۵ - ۳۰ | ۵ - ۱۵ | < 5 | EC خاک (ds/m) |
| < 5 | ۵ - ۸ | ۹ - ۱۶ | > 16 | EC آب ($\mu\text{mhos/cm}$) |
| < 750 | ۷۵۰ - ۲۲۵۰ | ۲۲۵۰ - ۵۰۰۰ | > 5000 | SAR آب |
| < 18 | ۱۸ - ۲۶ | ۲۶ - ۳۲ | ≥ 32 | بارندگی (mm) |
| > 280 | ۱۵۰ - ۲۸۰ | ۷۵ - ۱۵۰ | < 75 | SAR خاک |
| < 13 | ۱۳ - ۳۰ | ۳۰ - ۷۰ | ≥ 70 | |

شاخص هدایت الکتریکی (EC) خاک

هدایت الکتریکی در حال حاضر به عنوان یک نمایه استاندارد در توصیف غلظت نمک‌های موجود آب یا خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌های برداشت شده در سطح واحدهای کاری به محیط GIS وارد شده و آنگاه با استفاده از افزونه Geostatistic نرم‌افزار Arc GIS 10.5 به روش کریجینگ میان‌یابی شده و به سطح برازش داده شد. بررسی‌های انجام شده بر روی شاخص EC خاک نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه میزان EC خاک در بازه ۴/۸-۶۷/۹ دسی‌زیمنس بر متر (ds/m) متغیر است. طبق مدل IMDPA (جدول ۱) ۳۹ درصد از اراضی منطقه مطالعاتی در کلاس شدت خیلی زیاد و ۶ درصد نیز در کلاس شدت زیاد واقع شده‌اند. این مسئله بیانگر شدت بالای تخریب ناشی از شور شدن خاک در اراضی حوضه است.

شاخص هدایت الکتریکی (EC) آب

برای تهیه لایه رستری هدایت الکتریکی هم از روش اشاره شده در EC خاک استفاده گردید. بر مبنای امتیازدهی مدل IMDPA ۷ درصد از اراضی حوضه در کلاس شدت بالا و ۶۹ درصد هم در کلاس شدت خیلی بالا واقع شده‌است.

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به سطح کل زمین است. یکی از جلوه‌های بیابان‌زایی کاهش زیست‌توده گیاهی است، بنابراین هرچه شاخص برگ بیشتر باشد، درصد پوشش گیاهی بیشتر است و بر این اساس شدت بیابان‌زایی کمتر است. این شاخص در مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی مرسوم مانند IMDPA به روش بازدید میدانی و اندازه‌گیری به روش پلات برداری انجام

شاخص می‌تواند به‌عنوان نمایه‌ای برای تعیین خطرات ناشی از سدیمی شدن خاک مورد استفاده قرار گیرد. بررسی‌های انجام‌شده بر روی شاخص نسبت جذب سدیمی آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه ۴۴ درصد منطقه در کلاس چهار و ۸ درصد در کلاس سه مطابق با مدل IMDPA (جدول ۱) واقع شده است. این مسئله نشان از نقش بالای این شاخص در تخریب خاک و بیابان‌زایی در منطقه دارد.

نسبت جذب سدیم (SAR) خاک
SAR بالا در خاک باعث کاهش نفوذ آب در خاک و باعث سفت شدن زمین می‌شود. البته هرچه نسبت یون سدیم به کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک بیشتر باشد، SAR خاک بیشتر خواهد شد.

پس‌ازاینکه نقشه‌های اولیه (شکل ۱) بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه خاک، آب و تصاویر ماهواره‌ای (شاخص سطح برگ) (LAI) تهیه شد و به‌صورت دامنه عددی کلاس‌بندی گردید، با استفاده از تابع عضویت خطی فازی (رابطه ۸) درجه مشارکت هر شاخص در تابع فازی و در مقیاس صفر و یک محاسبه گردید. برای نقاط کنترل تابع در هر لایه از اطلاعات مدل IMDPA استفاده شد. سپس نقشه‌های ثانویه فازی تهیه گردید (شکل ۳).

می‌شود. معمولاً در عرصه‌های وسیع این روش چندان کارایی مؤثری ندارد و این به دلیل ماهیت تغییرپذیر جوامع گیاهیست. از این رو با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور شاخص سطح برگ که بیانگر درصد تاج پوشش گیاهی در منطقه است، مورد استفاده قرار گرفت.

بارندگی (P)

به‌روشنی مشخص است که هرچه میزان بارندگی کم باشد، بر قابلیت شدت بیابان‌زایی افزوده می‌شود. برای برآورد بارش از ۲۲ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی موجود برای تهیه نقشه شدت بارش استفاده شده است. طبق امتیازدهی روش IMDPA کل منطقه مورد مطالعه در کلاس سه یا شدت زیاد قرار می‌گیرد.

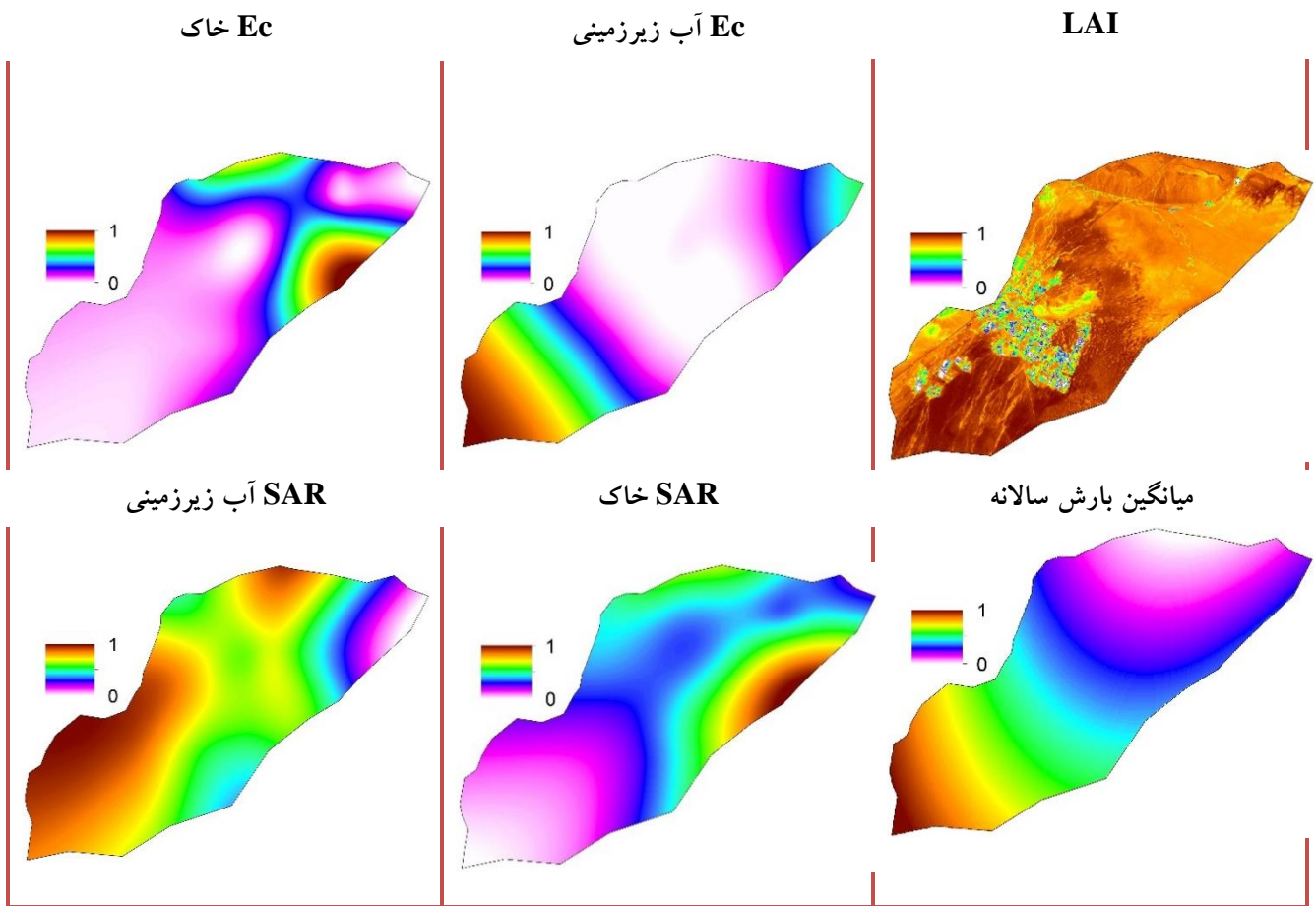
نسبت جذب سدیم (SAR) آب زیرزمینی
منظور از SAR نسبت جذب سطحی سدیم است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (He et al, 2015).

$$\text{رابطه (۱۰)} \quad \text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

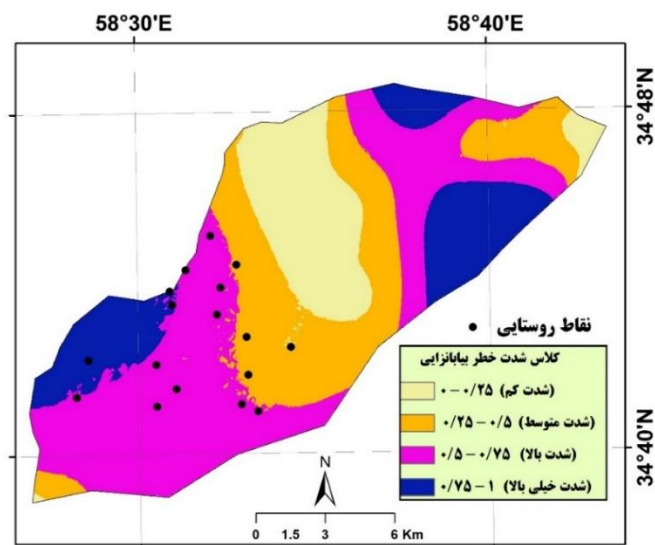
بالا بودن سدیم برخلاف یون‌های کلسیم و منیزیم باعث پراکندگی خاک و غیرقابل نفوذ بودن آن می‌گردد. این

جدول ۲- رده‌های شدت بیابان‌زایی به روش فازی

| درصد | مساحت ha | دامنه فازی | کلاس بیابان‌زایی |
|------|----------|------------|------------------|
| ۱۶ | ۳۷۰۲ | ۰-۰/۲۵ | شدت کم |
| ۲۷ | ۶۰۴۸ | ۰/۲۵-۰/۵ | شدت متوسط |
| ۴۰ | ۸۹۶۷ | ۰/۵-۰/۷۵ | شدت زیاد |
| ۱۷ | ۳۸۱۶ | ۰/۷۵-۱ | شدت خیلی زیاد |



شکل ۲- لایه‌های فازی شده از شاخص‌های مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه نهایی شدت بیابانزایی به روش فازی

بحث

پرداخته و نتیجه گرفتند که ۶۸ درصد از سطح منطقه در خطر خیلی شدید بیابان‌زایی ناشی از فشار دام قرار دارد. با توجه به تمامی موارد ذکر شده، محدودیت عوامل محیطی در منطقه میانه‌ی بسیار شدید است. برخی محققان دیگر نیز بر تأثیر عوامل محیطی بر بیابان‌زایی اشاره نموده‌اند. به‌عنوان مثال Koohbanani و همکاران (۲۰۱۷) محدودیت عوامل محیطی را بر شدت بالای بیابان‌زایی منطقه دیهوک طبرستان مؤثر دانسته‌اند. کاهش دام وابسته به مراتع، کاهش وابستگی انسان به طبیعت، تغییر الگوی کشت کشاورزی، تعادل در بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری از جمله مواردی است که می‌توان برای کاهش سرعت بیابان‌زایی منطقه میانه‌ی پیشنهاد نمود. نکته قابل تأمل در روش‌های مبتنی بر منطق فازی این است که نقشه شاخص‌ها و نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی حالت پویا و پیوسته داشته و در نتیجه حدود و طبقات شدت با در نظر گرفتن نیاز کاربر تغییرپذیر است و در الگوهای مختلف مدیریتی و احیا اراضی می‌توان حدود شدت‌ها را بازبینی نمود.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., 2006. Iranian model of desertification potential assessment in east of Esfahan. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 156p.
- Alesheikh, A., Soltani, M. and Helali, H., 2002. Application of GIS in locating flood spreading areas. *Journal of Geographic Research*, 17(40): 38-42.
- Allen, R. G., Tasumi, M. and Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) –model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 133: 380-394.
- Asar, Z. and Masoudi, M., 2017. Assessment of livestock pressure and its effect on desertification hazard, case study area: Miyandehi Feizabad, Khorasan Razavi. *Journal of Range and watershed management*, 70(2): 411-421.
- Bakhshandehmehr, L., Soltani, S. and Sepehr, A., 2013. Assessment of Present Status of Desertification and Modifying the MEDALUS Model in Segzi plain of Isfahan. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1): 27-41.
- Camastra, F., Ciaramella, A., Giovannelli, V., Lener, M., Rastelli, M., Staiano, A. and Starace, A., 2015. A fuzzy decision system for genetically modified plant

نتایج تحقیق نشان می‌دهد کلاس شدت متوسط ۲۷ درصد و کلاس شدت زیاد ۴۰ درصد (بیشترین سطح حوضه) را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). مناطق یادشده در آستانه ورود به کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارند و در صورت ادامه روند کنونی بیابان‌زایی شاهد افزایش سطح مناطق به نفع رده‌های بیابان‌زایی شدیدتر خواهیم بود. با در نظر گرفتن نتایج حاصل در محدوده مورد مطالعه ۳۹ درصد خاک منطقه SAR بالاتر از ۳۲ یعنی شدت خیلی زیاد را دارد. این مسئله ضرورت برنامه‌های اصلاحی خاک سدیمی از قبیل زهکشی و شستشوی خاک و یا افزودن گچ یا گوگرد به خاک در برنامه‌های ترویجی کشاورزی را دوچندان می‌کند. همچنین با توجه به نتایج تحقیق جاری، ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه، EC خاک بیشتر از ۹ دسی‌زیمنس بر متر است. سطوح شوری بالا باعث کاهش رشد گیاهان و کاهش بیومس گیاهی می‌شود (Kim et al, 2012; Jafari et al., 2013). به همین منظور توصیه می‌شود از گونه‌ها و ارقام شورپسند در کشاورزی و همچنین در طرح‌های مرتع‌داری از گونه‌های مقاوم به شوری از قبیل سالسولا و آتریپلکس استفاده شود. البته شاخص نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نیز در وضعیت نامناسبی قرار دارد. طبق نتایج به‌دست آمده ۴۴ درصد از آب زیرزمینی حوضه نسبت جذب سدیمی بالاتر از ۳۲ دارد. گذشته از اثر سمیت یون سدیم بر گیاهان، با افزایش SAR، آب قابل‌استفاده گیاه کاهش می‌یابد (Khatari et al, 2012; Khalighi Sigaroudi et al., 2009). همچنین با بررسی نقشه پوشش گیاهی منطقه متوجه می‌شویم مناطقی که در کلاس‌های شدید بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند دارای سطح تاج پوشش کم هستند که نشان می‌دهد که کمبود پوشش گیاهی هم عامل تشدیدکننده پدیده بیابان‌زایی در مناطق یادشده است. مناطقی که در کلاس بیابان‌زایی با شدت کم قرار دارند مناطقی هستند که در روی نقشه کاربری جزو مناطق توده سنگی قرار گرفته‌اند. فشار دام موجود در منطقه منجر به کاهش سطح تاج پوشش گیاهی در منطقه شده است. این مورد توسط برخی محققان تأیید شده است. به‌عنوان مثال Asar & Masoudi (۲۰۱۷) در تحقیق خود به ارزیابی فشار دام در منطقه میانه‌ی

- using IMDPA model. *Journal of Rangeland & Watershed Management*, 62(3): 419-430.
- Sadeghi, M. H. and Tahmoores, M., 2013. Strategic assessment of desertification by using fuzzy TOPSIS. *Journal of Science and Environmental Engineering*, (1)3: 79-94.
 - Salarian, F., Ghorbani, J. and Safaeian, N. A., 2013. Vegetation changes under exclosure and livestock grazing in Chahar Bagh rangelands in Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20 (1), 115-129.
 - Sarkar, S., Parihar, S. M. and Dutta, A., 2016. Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata wetland area: a remote sensing and GIS based approach. *Journal of Environmental Modelling & Software*, 75: 105-118.
 - Sepehr, A., Ekhtesasi, M. R. and Almodaresi, S. A., 2012. Development of desertification indicator system base on DPSIR (Take Advantages of Fuzzy-TOPSIS). *Journal of Geography and Environmental Planning Journal*, 45(1), 33-50.
 - Silakhori, E., 2015. Mapping of desertification hazard intensity based on soil index using ESAs methodology in Mazinan of Sabzevar. *Journal of Emergency Management*, 3(2): 57-63.
 - Sobrino, J., Jiménez-Munoz, J. C. and Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 90: 434-440.
 - Tewari, S., Kulhavy, J., Rock, B. N. and Hadas, M., 2003. Remote monitoring of forest response to changed soil moisture regime due to river regulation. *Journal of Forest Science*, 49:429-438.
 - United Nations Convention to Combat Desertification., 1994. United nations convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. A/AC, 241-27, Paris, 234p.
 - Vali, A. A., Barabadi, H., Heidary, E. and Khosravi, H., 2015. Assessment of Roudab plain of Sabzevar city desertification intensity emphasizing two climate and water criteria. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 4(8): 57-66.
 - Wang, Y., Guo, Z. and Sun, Z., 2015. Fuzzy Comprehensive evaluation-based disaster risk assessment of desertification in Horqin Sand Land, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 1703-1725.
 - Zakerinejad, R., Masoudi, M., Afzali, F. and Falah, R., 2012. Assessment of desertification using ground water criteria and GIS (case study:Zarin Dasht Fars). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7: 1-10.
 - environmental risk assessment using Mamdani inference. *Journal of Applied Sciences*, 42 (3): 1710-1716.
 - Chen, S. and Hwang, C., 1992. *Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and Applications*". Springer Verlag, Inc, 536p.
 - Ertugrul, I. and Karakasoglu, N., 2007. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods". *Journal of Expert Systems with Applications*, 36: 702-715.
 - Grau, J., Anton, B. M., Tarquis, A. M., Colombo, F., Rios, L. and Cisneros, J. M., 2010. "Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the Chaco area in Salta Province (Argentina)". *Journal of Biogeosciences Discuss*, 7: 2601-2630.
 - He, y., DeSutter, T., Casey, F., Clay, D., Franzen, D. and Steele, D., 2015. Field capacity water as influenced by Na and EC: Implications for subsurface drainage. *Journal of Geoderma*, 246:83-88.
 - Jafari, M., Zehtabian, G.H. and Ehsani, A. H., 2013. Effect of thermal bonding and supervised classification algorithms of satellite data in making land use maps (Case study: Kashan), *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 20 (1), 73-87.
 - Khalighi Sigaroudi, Sh., Sadeghi Sangdehi, S. A., Awsati, Kh. and Ghavidel Rahimi, Y., 2009. The Study of Drought and Wet Year Assessment models for Stations in Mazandaran province. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 16 (1), 44-54.
 - Khatar, M., M. R. Mosaddeghi, and Mahboubi, A. A., 2012. Water Quality Effect on Plant-Available Water and Pore Size Distribution of Two Texturally-Different Calcareous Soils, *Journal of Water and Soil Science*, 16(60):159-172.
 - Khosravi, H., Zehtabian, Gh., Ahmadi, R. and Azarnivand, H., 2014. Hazard Assessment of Desertification as a Result of Soil and Water Recourse Degradation in Kashan Region, Iran. *Journal of Desert*, 19(1): 45-55.
 - Kim, S., Rayburn, A. L., Voigt, T., Parrish, A. and Lee, D. K., 2012. Salinity effects on germination and plant growth of prairie cordgrass and switchgrass. *Journal of Bioenerg Reserch*, (5): 225-235.
 - Koohbanani, H. R., Dashti Amirabad, J., Nikoo, S. and Taya, A., 2017. Desertification-intensity zoning through Fuzzy-Logic Approach: a case study of Deyhook-Tabas, Iran. *Journal of Environmental Erosion Research*, 25(1): 35-49.
 - Nateghi, S., Zehtabian, Gh. and Ahmadi, H., 2009. Evaluation of desertification intensity in Segzi plain

Risk assessment of land destruction and desertification severity using fuzzy method (Case Study: Miyandehi, Khorasan Razavi province)

R. Deghani Bidgoli^{1*}, H. Koohbanani², M. Yazdani³ and J. Dashti Amirabad²

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, University of Kashan, Kashan, Iran, Email: dehghanir@kashanu.ac.ir

2- Ph.D. Student, Faculty of Desert Studies, Department of Desertification, University of Semnan, Iran

3- Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Department of Desertification, University of Semnan, Iran

Received:12/27/2017

Accepted:7/17/2018

Abstract

The destructive phenomenon of desertification is one of the serious ecological crises in the present day. To improve the efficiency of combating desertification projects and inhibit natural resources destruction, it is necessary to establish a comprehensive and systematic assessment method that uses a variety of criteria and indicators to achieve actual results. Land degradation assessment strategies are generally based on expert opinions and usually evaluation models based on multi-criteria decision-making models are not very noticeable in Iran. In this study, fuzzy logic approach as one of the effective ways to assess some important criteria in the field of destruction and desertification was used. For this purpose, after the preparation of units, field samples were taken in each unit and then, using groundbreaking and kriging methods, the initial continuous lattice maps in the GIS environment were prepared. In the next step, the layers were assigned to the fuzzy layers using the linear functions. Finally, with the use of fuzzy operators and gamma operators, the final map of desertification severity was presented on a scale of zero to one. In order to facilitate better understanding of the results, the final map was classified into four classes of very low to very high severity. The obtained results show that approximately 40% of the studied area is in high severity and 17% is in very high severity. It should be noted that the above classification can be reconsidered in various managerial scenarios.

Keywords: Ecosystem degradation, fuzzy logic, linear membership function, Miyandehi.