

## پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد منطق فازی (مطالعه موردی: دیهوک طبس)

حمیدرضا کوه‌بنانی: گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

جمال دشتی امیرآباد: گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

شیمیا نیکو\*: گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

علی تایه: گروه بیابان‌زدایی، دانشکده‌ی کویرشناسی، دانشگاه سمنان

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۶)

### چکیده

بیابان‌زایی یکی از مهمترین مخاطرات محیطی در زمان ماست. غالباً راهبردهای ارزیابی شدت تخریب و بیابان‌زایی در ایران، به صورت بخشی‌نگری و بر مبنای نظر کارشناسی‌ها بود و معمولاً روش‌های ارزیابی بر مبنای مدل تصمیم‌گیری چند معیاره چندان قابل توجه نبوده‌است. در پژوهش حاضر، رویکرد فازی یکی از روش‌های کارآمد در ارزیابی برخی معیارهای مهم در زمینه‌ی تخریب و بیابان‌زایی است. بدین منظور پس از تهیه‌ی واحدهای کاری، نمونه‌های میدانی در محیط‌های همگن برداشت و با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و کریجینگ به تهیه‌ی نقشه‌های رستری پیوسته اولیه در محیط GIS پرداخته شد. در گام بعدی با استفاده از توابع خطی عضویت فازی، لایه‌ها به صورت فازی تبدیل گردید. در نهایت با استفاده از عملگرهای فازی و اپراتور گاما، نقشه‌ی نهایی شدت بیابان‌زایی در مقیاس صفر تا یک ارائه شد. به منظور تسهیل و تفهیم بهتر نتایج، نقشه‌ی نهایی در ۴ کلاس شدت کم تا شدت خیلی زیاد مجدداً طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که تقریباً ۱۴/۵ درصد از عرصه‌ی مورد مطالعه در شدت بالای تخریب و ۳/۵ درصد هم در شدت خیلی‌زیاد قرار دارد. ذکر این امر لازم است که طبقه‌بندی فوق در سناریوهای مختلف مدیریتی می‌تواند مورد بازبینی مجدد قرار گیرد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، بیابان‌زایی، منطق فازی، تابع عضویت خطی، دیهوک.

### ۱- مقدمه

بیابان‌زایی واژه‌ای است که به تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب اشاره دارد (United Nations Convention to Combat Desertification, 1994). بیابان‌زایی پدیده‌ای است که سازمان ملل متحد آن را به عنوان یک مشکل مهم جهانی در اجلاس بیابان‌زایی ملل متحد در سال ۱۹۷۷ در نایروبی کنیا به صورت رسمی مورد شناسایی قرار داد و امروزه آثار زیانبار این پدیده برای بیش از یک میلیارد نفر ساکن در ۱۰۰ کشور، به منزله‌ی یک معضل بزرگ اقتصادی، اجتماعی و محیطی به اثبات رسیده‌است (Silakhori, 2015). تاکنون براساس فرآیندهای بیابان‌زایی، روش‌های مشخص و واحدی برای طبقه‌بندی بیابان‌ها و برآورد شدت بیابان‌زایی ارائه نشده‌است. در این راستا

شناسایی و ارزیابی فرآیندها، عوامل و وضعیت فعلی شدت بیابان‌زایی از نیازهای اساسی مناطق بیابانی است (Nikoo et al, 2015). برای ارزیابی بیابان‌زایی، تحقیقات مختلفی در داخل و خارج کشور اجرا شده که به ارائه مدل‌های مختلفی انجامیده است. از این مدل‌های رایج می‌توان به مدل جهانی فائو-یونپ، GLASSOD، LADA، MEDALUS، TAXONOMY، ICD، MICD و IMDPA اشاره کرد (Nateghi et al, 2009).

در کشور ایران که ۸۵٪ اراضی آن اقلیم‌های خشک، نیمه خشک 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 پیش‌بینی روند آن بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری صورت گرفته است (Bakhshandehmehr et al, 2013).

محققان داخلی در سال ۱۹۹۵ روش ICD را به منظور ارزیابی بیابان‌زایی در ایران ارائه کردند. در این روش با تکیه بر مطالعات پایه و چشم‌اندازهای طبیعی، روش پیشنهادی را در مساحتی بالغ بر ۱۰ میلیون هکتار از اراضی جنوب اصفهان تا سیرجان و بخش‌هایی از استان هرمزگان بررسی و آزمایش کردند. براساس نتایج این تحقیق منشأ ۲۵٪ از بیابان‌های این مناطق، محیطی و ۷۵٪ آن انسانی است (Zakerinejad et al, 2012). کمیسیون اروپا در سال ۱۹۸۷ با هدف مطالعات بیابان‌زایی و تخریب اراضی تأسیس شد و پروژه‌های مختلفی را در این زمینه انجام داد. مدالوس<sup>۱</sup> یکی از مهمترین پروژه‌هایی است که به مدت ۹ سال و در ۳ مرحله از سال ۱۹۹۱ - ۱۹۹۹ اجرا شد. این روش که از جدیدترین روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی است، در اکثر کشورهای حاشیه‌ی مدیترانه و خاورمیانه اجرا شد و نتایج مثبتی در پی داشت (Bakhshandehmehr et al, 2013). در سال ۱۳۸۳ طرح ملی تعیین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی کشور به منظور نیل به اهداف برنامه‌ی اقدام ملی و مقابله با بیابان‌زایی با تکیه بر شرایط خاص اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی کشور صورت گرفت و توسط دفتر تثبیت شن و بیابان‌زدایی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نهایی شد. این طرح با مشارکت استادان و محققان برجسته‌ی کشور و با استفاده از منابع معتبر داخلی و خارجی و بین‌المللی تدوین شد (Ahmadi, 2006). براساس این طرح ۹ معیار و ۳۶ شاخص بیابان‌زایی در ایران، همراه با روش‌شناسی ارزیابی کمی و کیفی آنها در قالب مدلی با عنوان مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) ارائه شد. در این روش برای تلفیق داده‌ها همانند روش مدالوس، از میانگین هندسی استفاده و در پایان وضعیت بالفعل بیابان‌زایی و کلاس شدت آن در ۴ کلاس تعیین شد.

دولت‌شاهی (2008) نیز در راستای تهیه‌ی نقشه‌ی بیابان‌زایی براساس مدل IMDPA در جنوب گرمسار، با به- دست آوردن ارزش عددی ۱/۶، منطقه را در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار داد و مهمترین شاخص‌های مؤثر بر بیابان‌زایی را EC آب و سیستم آبیاری معرفی کرد. طباطبایی‌فر و همکاران (2013) با استفاده از دو معیار اقلیم (شاخص خشکی ترانسوا، بارش سالانه و خشکی) و آب (شاخص افت آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم)، به ارزیابی تغییرات زمانی شرایط اقلیمی و وضعیت آب زیرزمینی بر شدت بیابان‌زایی دشت گرمسار پرداختند. نتایج حاصل شده نشان داد که شاخص خشکی ترانسوا، افت آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی آب و

<sup>1</sup> Medalus

شاخص خشکسالی به ترتیب با ارزش عددی ۳/۸۱، ۳/۱۷، ۳/۱۱ و ۳/۰۹ بیشترین تأثیر و دو شاخص نسبت جذبی سدیم و شاخص خشکسالی به ترتیب با ارزش عددی ۱/۱۷ و ۱/۶۳ کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی دشت گرمسار دارند.

برخی محققین نیز از مدل‌های تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی و ارائه‌ی راهبردهای بهینه در چارچوب مدیریت مناطق بیابانی بهره برده‌اند؛ به عنوان مثال، گرایو و همکاران<sup>۱</sup> (2010) در پژوهش خود با هدف رتبه‌بندی و انتخاب راهبردهای بهینه به منظور ارائه‌ی طرحی یکپارچه برای کنترل فرسایش و بیابان‌زایی، از سه مدل تصمیم‌گیری ROMETHEE، AHP، ELECTR استفاده کردند. نتایج این تحقیق از کارایی بالای این مدل‌ها در رتبه‌بندی و ارائه‌ی راهبردهای بهینه‌ی بیابان‌زدایی نشان داشت و با وجود روش‌های پیچیده‌ی مورد استفاده در هر مدل، نتایج حاصل شده تا حدود زیادی یکسان بود. در چارچوب مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش فازی تاپسیس - که نوعی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی - سازشی است - اولین بار توسط چن و هوانگ<sup>۲</sup> (1992) ارائه شد. در این مدل، ارزش‌ها بر مبنای فازی تعریف می‌شوند و همانند تاپسیس کلاسیک، رتبه‌بندی براساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی صورت می‌گیرد (Ertugrul and Karakasoglu, 2007). صادقی‌روش و طهمورث (2013)، به ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد مدل تاپسیس فازی در دشت خضرآباد یزد پرداختند. بر مبنای نتایج حاصل شده، راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی با نزدیکی نسبی ۵۶/۵۹ درصد، به عنوان مهمترین راهبرد بیابان‌زدایی در منطقه تشخیص داده شد. سپهر و همکاران (2012)، به منظور اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌های بیابان‌زایی از روش FTOPSIS استفاده کردند. وانگ و همکاران<sup>۳</sup> (2015) در مطالعه‌ی خود، خطر بیابان‌زایی را به روش فازی در چین ارزیابی کردند. آنها شاخص‌های تحقیق را در چهار دسته‌ی خطر، وضعیت، حساسیت و برگشت‌پذیری دسته‌بندی کردند، سپس لایه‌ها با الگوریتم خطی، فازی شدند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بین نقشه‌ی نهایی خطر بیابان‌زایی و شدت تخریب زیست توده، ضریب همبستگی ۰/۸۵ وجود دارد.

مدل‌های مرسوم و سنتی ارزیابی بیابان‌زایی بر تعریف آستانه‌ها و حدود مبتنی است؛ در صورتی که در ماهیت اکوسیستم‌های طبیعی، مرزهای مشخص و قراردادی وجود ندارد؛ بنابراین، همیشه در مدل‌سازی پدیده‌هایی از قبیل بیابان‌زایی با سطحی از فقدان قطعیت روبرو هستیم (Sarkar et al, 2016). شاخص‌های بیابان‌زایی از قبیل شوری آب و خاک، تخریب خاک و پوشش گیاهی، نسبت جذب سدیمی و ... همگی ماهیت غیرقطعی دارند؛ بنابراین از رفتار سیستم‌های فازی تبعیت می‌کنند. یکی از اهداف استفاده از روش فازی در این تحقیق، این است که منطبق فازی می‌تواند به مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده از قبیل ارزیابی ریسک و خطر در اکوسیستم‌های طبیعی بپردازد (et al, 2015) و مرزهای مبهم و نامشخص در شاخص‌های بیابان‌زایی و فقدان قطعیت داده‌های ورودی را همانند آنچه در واقعیت هست، در مدل وارد کند.

<sup>1</sup> Grau et al

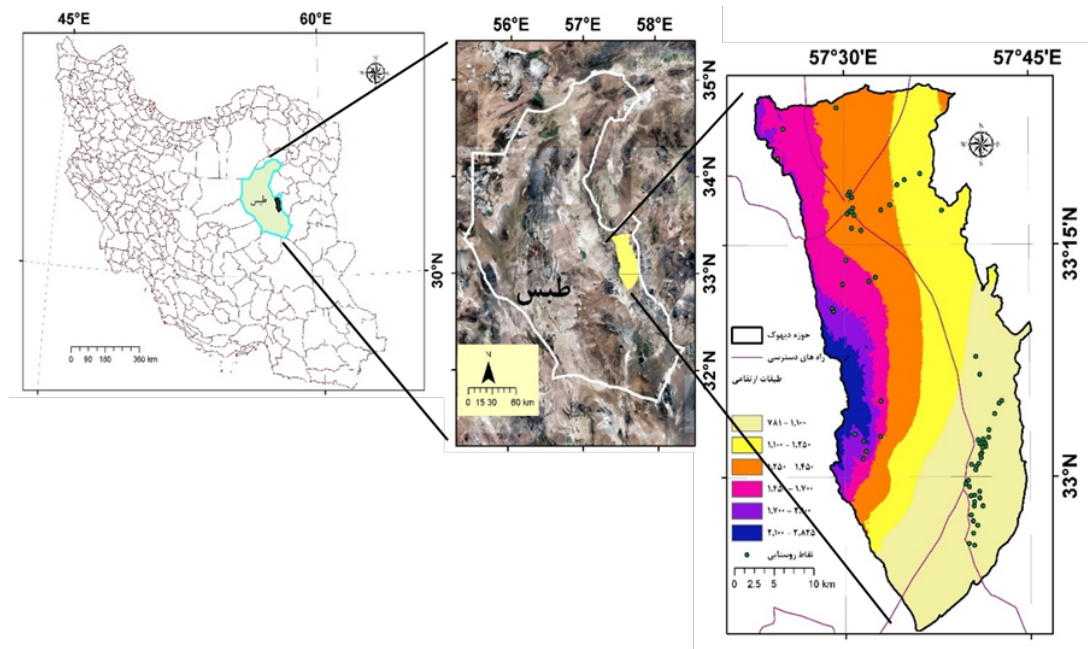
<sup>2</sup> Chen and Hwang

<sup>3</sup> Wang et al

## ۲- مواد و روش

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه دیهوک طیس (شکل ۱) با وسعت ۱۲۶۵ کیلومتر مربع در فاصله ۷۰ کیلومتری شهر طیس قرار گرفته است و از نظر موقعیت جغرافیایی بین  $57^{\circ} 22' 47''$  تا  $57^{\circ} 44' 58''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 25' 42''$  تا  $33^{\circ} 50' 12''$  عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع حوزه ۷۸۱ متر، حداکثر ارتفاع آن ۲۸۲۵ متر و ارتفاع متوسط ۱۲۷۵ متر از سطح دریا است. این منطقه از نظر شاخص اقلیمی دومازن اصلاح شده، فراخشک سرد (۷۰٪/۴) و خشک سرد (۲۹٪/۶) است. براساس مطالعات هواشناسی منطقه، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۱۲۷/۴ میلی متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۳ درجه سانتی گراد، میزان تبخیر از سطح آزاد آب ۲۶۶۲/۹ میلی متر و تبخیر و تعرق پتانسیل به روش پنمن- فائو- مونتیث ۱۵۷۵/۲ میلی متر است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

اولین گام برای اجرای عملیات پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی - که از اهداف اساسی این تحقیق است - تعیین واحدهای کاری در حوزه‌ی مورد مطالعه است. براین اساس، مطالعات فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و هواشناسی حوزه اجرا و در نهایت، نقشه‌ی واحد کاری براساس روش احمدی (توپوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی) تهیه شد. برای تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌ها، از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. در این بررسی برای تهیه‌ی نقشه‌ی شدت بیابان‌زایی از بین نه معیار موجود در مدل IMDPA و بر پایه‌ی مطالعات کارشناسی و اولویت‌بندی سلسله مراتبی نظر ۲۰ تن از کارشناسان محلی، استانی و اساتید دانشگاهی، ۴ معیار از معیارهای مدل ایرانی IMDPA اقلیم، خاک، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و معیار آب زیرزمینی - که بیشترین تأثیر را در پدیده بیابان‌زایی دارند - استفاده شد و از میان معیارهای ذکر شده، شاخص‌های بارندگی سالانه، هدایت

الکتريکی (EC) خاک، درصد تاج پوشش گیاهی، هدایت الکتریکی (EC) آب زیرزمینی و نسبت جذب سدیمی (SAR) آن بررسی و امتیازدهی شد. نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری هر یک از شاخص‌های ذکر شده در هر واحد کاری انجام شد. بر این اساس، به حفر سه پروفیل در هر واحد کاری به صورت شبکه تصادفی نامنظم پرداخته و نمونه‌های خاک به صورت تصادفی قبل از افق C جمع‌آوری و پس از تهیه‌ی عصاره‌ی اشباع، با EC متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیمی (SAR)، از منابع آب زیرزمینی موجود (قنات و چشمه‌ها) براساس واحد کاری تهیه گردید. برای برآورد بارش سالانه، داده‌ها از آمار ۳۰ ساله‌ی (۱۳۶۰-۱۳۹۰) ایستگاه‌های هواشناسی اطراف - در مجموع ۲۲ ایستگاه - جمع‌آوری شد. پس از تعیین همگنی داده‌ها به روش آزمون جرم مضاعف و آزمون توالی دنباله‌ها<sup>۱</sup>، ایستگاه‌هایی که آمار ناقص داشتند به روش آزمون استثنایی گروپز- بگ بازسازی و تکمیل، سپس معادله‌ی کربجینگ با کمترین مقدار RMSE برای تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص بارش اعمال شد. برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی، از تکنیک سنجش از دور و اطلاعات ماهواره لندست ۸ استفاده شد. یکی از روش‌های رایج در سنجش از دور برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش گیاهی، استفاده از شاخص سطح برگ (LAI<sup>۲</sup>) است. شاخص سطح برگ، نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به کل سطح زمین است. رابطه‌ی LAI، به نوع محصول و موقعیت جغرافیایی محل مورد مطالعه بستگی دارد (Allen et al, 2007) و بر اساس میانگین، رابطه‌ی NDVI- LAI در ناحیه‌ی مراویان جنوبی<sup>۳</sup> جمهوری چک به دست آمده‌است (Tewari et al, 2003).

رابطه‌ی تجربی برای محاسبه‌ی LAI به شرح زیر است:

$$LAI = 0.57 \exp(2.33NDVI) \quad (1)$$

برای محاسبه‌ی NDVI<sup>۴</sup> از تصویر لندست ۸ سنجنده‌ی LDCM خرداد سال ۹۴ استفاده شده‌است. NDVI شاخص تفاضل نرمال شده‌ی پوشش گیاهی است و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = (\rho_5 - \rho_4) / (\rho_5 + \rho_4) \quad (2)$$

مقادیر  $\rho_5$  و  $\rho_4$  به ترتیب مقدار بازتابندگی سطحی از باند شماره‌ی ۵ (NIR) و باند شماره‌ی ۴ (RED) است. بازتابندگی سطح به صورت نسبت شار طیفی بازتاب یافته به شار طیفی فرودی تعریف می‌شود. برای اندازه‌گیری بازتابندگی سطح در هر باند سنجنده‌ی لندست ۸، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$\rho = [\pi \times (L_\lambda - L_p) \times d^2] / (ESUN_\lambda \times \cos \theta_s) \quad (3)$$

$L_\lambda$  از رابطه‌ی شماره‌ی پنج به دست می‌آید.  $L_p$  رادیانس مسیر<sup>۵</sup> یا رادیانس اتمسفری است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (Sobrino et al, 2004):

$$L_p = ML \times DN_{\min} + AL - 0.01 \times ESUN_\lambda \times \cos \theta_s / (\pi \times d^2) \quad (4)$$

<sup>1</sup> Run Test

<sup>2</sup> Leaf Area Index

<sup>3</sup> South Moravian

<sup>4</sup> Normalized Difference Vegetation index

<sup>5</sup> Path Radiance

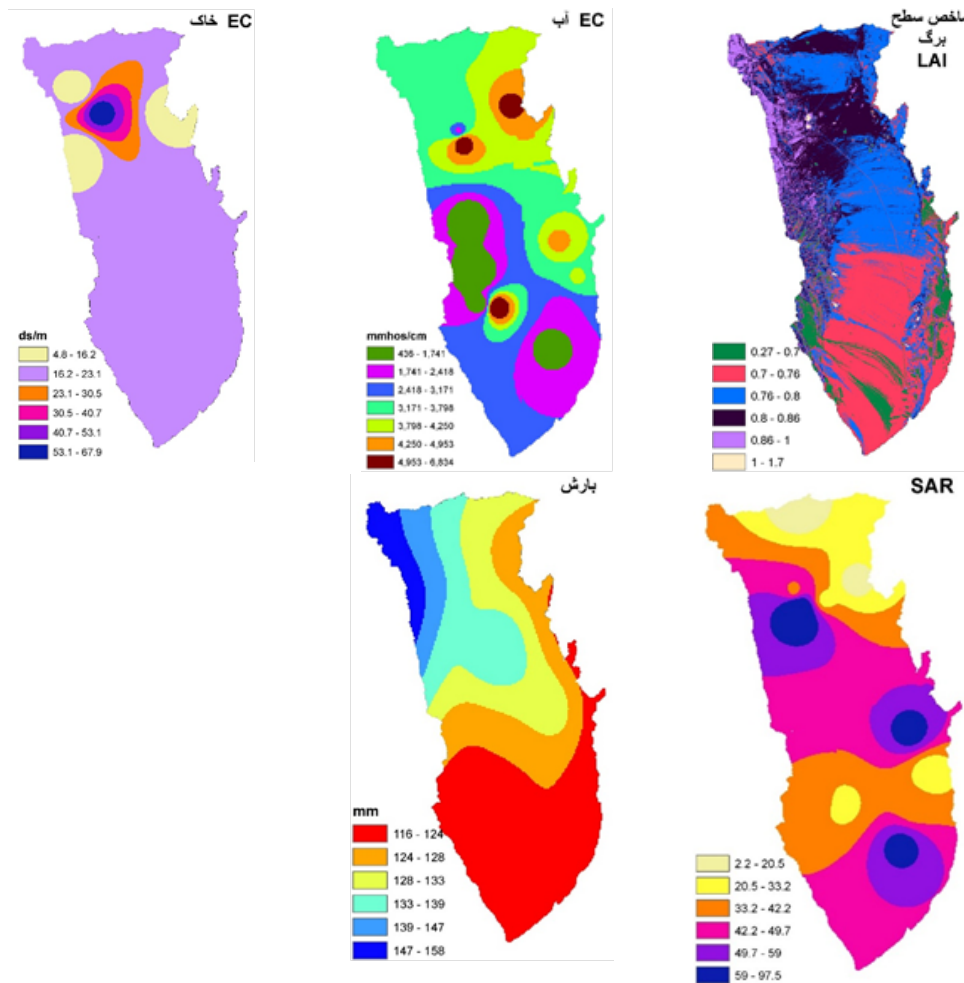
ML و AL ثابت‌های کالیبراسیون سنجنده است که در متادیتا موجودند.  $\theta_s$  زاویه‌ی زنیت خورشیدی است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\theta_{ze} = 90^\circ - \theta_{se} \quad (5)$$

$\theta_{se}$  زاویه‌ی ارتفاع خورشیدی در مرکز تصویر است (۵۵/۱۷).  $d$  فاصله‌ی خورشید تا زمین<sup>۱</sup> در واحد نجومی و در متادیتا موجود است (۰/۹۹).  $ESUN_\lambda$  عبارت است از میانگین تابش فرودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باندها با واحد  $W/m^2/\mu m$ . رابطه‌ی زیر برای محاسبه‌ی  $ESUN_\lambda$  در لندست ۸ ارائه شده است.

$$ESUN_\lambda = (\pi \times d^2) \times RADIANCE_{MAX} / REFLECTANCE_{MAX} \quad (6)$$

مقدار عددی  $RADIANCE_{MAX}$  و  $REFLECTANCE_{MAX}$  برای هر باندها در متادیتا موجود است.



شکل ۲: لایه‌های رستری شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق

<sup>1</sup> Earth Sun Distance

## منطق فازی

منطق فازی در واقع توصیف ریاضیاتی از مفهوم فقدان قطعیت است. براساس نظریه‌ی مجموعه‌های فازی، عضویت اعضا در مجموعه ممکن است به‌طور کامل نباشد و هر عضوی درجه و عضویت از صفر تا یک داشته باشد. در این مجموعه، هیچ واحدی مناسب مطلق و نامناسب مطلق در نظر گرفته نمی‌شود؛ به همین دلیل وزن‌های داده شده نه صفر است و نه یک، بلکه بین صفر و یک متغییر 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 یاری می‌گیرند. یک مجموعه‌ی فازی  $A$  در فضای جهانی  $M$  به وسیله‌ی تابع  $\mu_A(x)$  که مقادیری در بازه‌ی  $\{0, 1\}$  اختیار می‌کند، مشخص می‌شود. اگر  $X$  یک مجموعه مرجع باشد، آنگاه مجموعه فازی  $A$  در  $X$  یک مجموعه از زوج‌های مرتب است (رابطه‌ی ۷):

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad (7)$$

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

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی شاخص‌های مؤثر در پدیده‌ی بیابان‌زایی، لایه‌های آماده شده با استفاده از تابع عضویت خطی فازی استانداردسازی مجدد شدند. معمولاً توابع عضویت فازی مقادیر موجود را بین صفر و یک مرتب می‌کنند. مقدار صفر مربوط به مقادیری است که کمترین تأثیر را بر پدیده‌ی بیابان‌زایی و مقدار یک هم مربوط به مقادیری است که بیشترین اثرگذاری را بر این پدیده دارند. در زیر دو نمونه تابع عضویت خطی ذکر شده‌است و بسته به نحوه‌ی اثرگذاری بر بیابان‌زایی، می‌تواند کاهشی یا افزایشی باشد (رابطه‌ی ۸ و ۹).

$$\mu_{z_i}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } z_i(x) \leq z_i^{\min} \\ \frac{z_i(x) - z_i^{\min}}{z_i^{\max} - z_i^{\min}} & \text{if } z_i^{\min} \leq z_i(x) \leq z_i^{\max} \\ 1 & \text{if } z_i(x) \geq z_i^{\max} \end{cases} \quad (8): \text{تابع عضویت افزایشی}$$

$$\mu_{z_k}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } z_k(x) \leq z_k^{\min} \\ \frac{z_k^{\max} - z_k(x)}{z_k^{\max} - z_k^{\min}} & \text{if } z_k^{\min} < z_k(x) \leq z_k^{\max} \\ 0 & \text{if } z_k(x) \geq z_k^{\max} \end{cases} \quad (9): \text{تابع عضویت کاهشی}$$

برای دو شاخص پوشش گیاهی و بارش از توابع کاهشی فازی و برای شاخص‌های EC آب، SAR آب و EC خاک از توابع افزایشی فازی استفاده شد. علت این امر در ماهیت تأثیر آنها بر پدیده‌ی بیابان‌زایی است؛ به عنوان مثال، با افزایش بارندگی از شدت بیابان‌زایی کاسته اما با افزایش EC آب بر شدت بیابان‌زایی افزوده می‌شود. سپس به کمک نرم‌افزار الحاقی فازی به Arc GIS 10.5 و با استفاده از توابع یاد شده، امتیازات اکتسابی هر شاخص براساس کلیدی نتایج حاصل شده از هر یک از نمونه‌های مربوط، به نرم‌افزار وارد و به فازی تبدیل شد و نقشه‌های ناشی از آن کلاس‌بندی گردید.

## ۳- یافته‌ها (نتایج)

در فرایند ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه‌ی دیهوک، براساس مدل IMDPA پنج شاخص مؤثر در بیابان‌زایی منطقه‌ی مورد مطالعه شامل Ec خاک، Ec آب، شاخص سطح برگ (LAI)، میانگین بارندگی سالیانه و نسبت جذب سدیمی (SAR) بررسی شد (جدول ۱). به منظور فازی‌سازی لایه‌ها و انتخاب نقاط کنترل توابع عضویت فازی، از دامنه‌ی امتیازی IMDPA بهره گرفته شد؛ بر این اساس داده‌های موردنیاز در تشکیل توابع عضویت افزایشی و کاهش‌ی تهیه شد و برای هر یک از شاخص‌های ذکر شده به روش فازی، لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار GIS ایجاد و نقشه‌های آن تهیه شد که در زیر ذکر شده‌است.

جدول ۱: کلاس‌های بیابان‌زایی شاخص‌های مورد مطالعه به روش IMDPA (Khosravi et al, 2004 &amp; Vali et al, 2015)

کلاس I -	کلاس II -	کلاس III -	کلاس IV	شاخص بیابان‌زایی
شدت کم	شدت متوسط	شدت زیاد	شدت خیلی زیاد	
(۳۰ <)	۱۵ - ۳۰	۵ - ۱۵	< ۵	درصد پوشش تاجی گیاهان دائمی
< ۵	۵ - ۸	۹ - ۱۶	> ۱۶	Ec خاک (ds/m)
< ۷۵۰	۷۵۰ - ۲۲۵۰	۲۲۵۰ - ۵۰۰۰	> ۵۰۰۰	EC آب (μmhos/cm)
< ۱۸	۱۸ - ۲۶	۲۶ - ۳۲	≥ ۳۲	SAR آب
> ۲۸۰	۱۵۰ - ۲۸۰	۷۵ - ۱۵۰	< ۷۵	بارندگی mm

## شاخص هدایت الکتریکی (Ec) خاک

هدایت الکتریکی اینک به عنوان یک نمایه‌ی استاندارد در توصیف غلظت نمک‌های موجود آب یا خاک استفاده می‌شود. نمونه‌های برداشت شده در سطح واحدهای کاری حوضه‌ی آبخیز دیهوک به محیط GIS وارد، سپس با استفاده از روش کریجینگ موجود در افزونه‌ی Geostatistic نرم‌افزار Arc GIS به سطح برازش داده شد. بررسی‌های انجام شده بر شاخص Ec خاک نشان می‌دهد که در منطقه‌ی مورد مطالعه میزان Ec خاک در بازه‌ی ۶۷/۹ - ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر (ds/m) متغیر است. بر طبق مدل IMDPA (جدول ۱)، ۹۱ درصد از اراضی حوضه‌ی دیهوک در کلاس شدت خیلی زیاد و ۷/۵ درصد نیز در کلاس شدت زیاد واقع شده‌اند. این مسئله شدت بالای تخریب ناشی از شور شدن خاک را در اراضی حوضه نشان می‌دهد.

## شاخص هدایت الکتریکی (Ec) آب

در حوضه‌ی دیهوک، میزان Ec آب در بازه‌ی ۶۸۳۴ - ۴۳۶ میکروموس بر سانتی‌متر (μmhos/cm) متغیر است. برای تهیه‌ی لایه رستری هدایت الکتریکی هم از روش اشاره شده در Ec خاک استفاده شد. بر مبنای امتیازدهی مدل IMDPA، ۷۸ درصد از اراضی حوضه در کلاس شدت بالا و دو درصد هم در کلاس شدت خیلی بالا واقع است. همچنین ۲۰ درصد از اراضی حوضه‌ی دیهوک در کلاس شدت متوسط قرار دارد.



## شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ نسبت مساحت کل تمامی برگ‌های گیاهان منطقه به سطح کل زمین است. یکی از جلوه‌های بیابان‌زایی، کاهش زیست توده‌ی گیاهی است؛ بنابراین هرچه شاخص برگ بیشتر باشد، درصد پوشش گیاهی بیشتر 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 می‌شود. معمولاً در عرصه‌های وسیع، این روش چندان کارایی مؤثری ندارد و این به دلیل ماهیت تغییرپذیر جوامع گیاهی است؛ از این رو با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور شاخص سطح برگ - که بیانگر درصد تاج پوشش گیاهی در منطقه است - استفاده شد.

## بارندگی

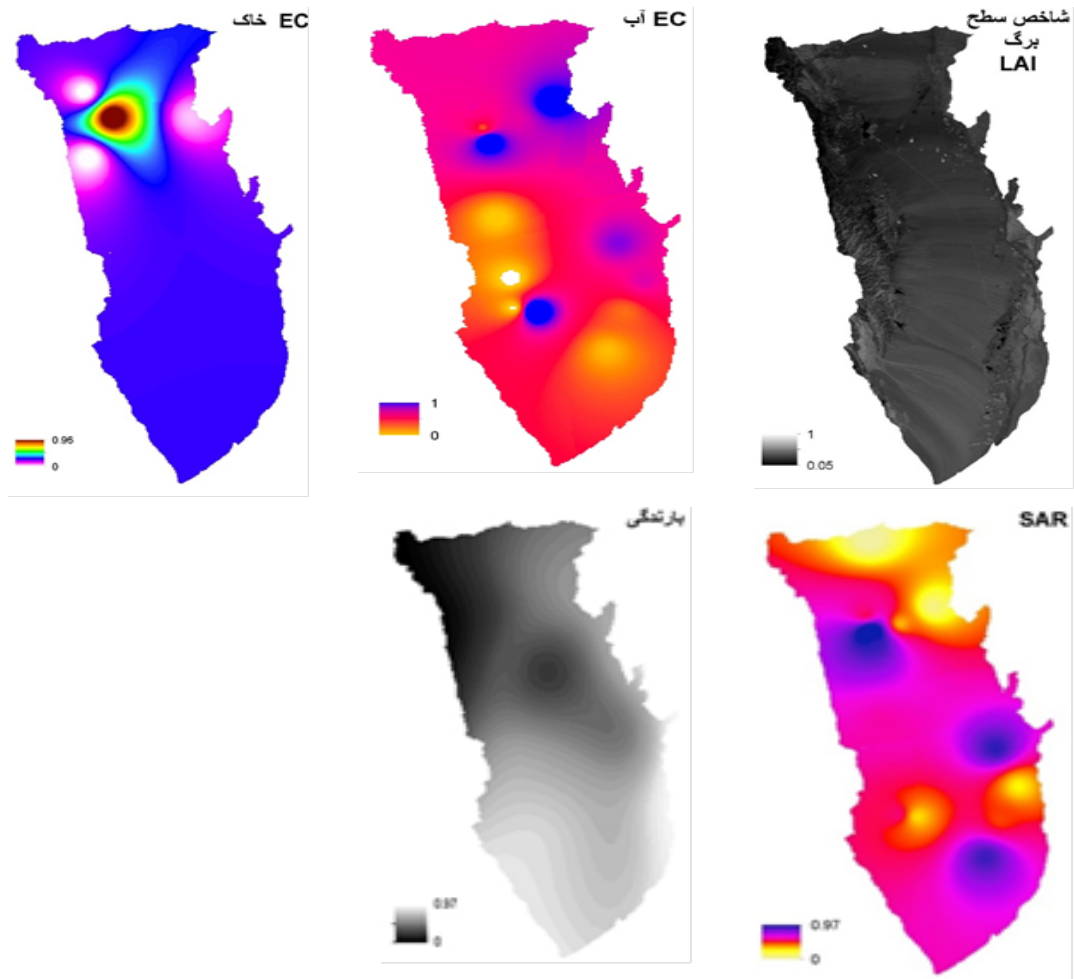
به روشنی مشخص است که هر چه میزان بارندگی کم باشد، بر پتانسیل شدت بیابان‌زایی افزوده می‌شود. برای برآورد بارش، از ۲۲ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی موجود در تهیه‌ی نقشه‌ی شدت بارش استفاده شده‌است. بر طبق امتیازدهی روش IMDPA، تنها ۳/۵ درصد از مساحت حوزه در کلاس دو قرار دارند و مابقی در کلاس سه یا شدت زیاد واقع شده‌اند.

## نسبت جذب سدیم (SAR) آب زیرزمینی

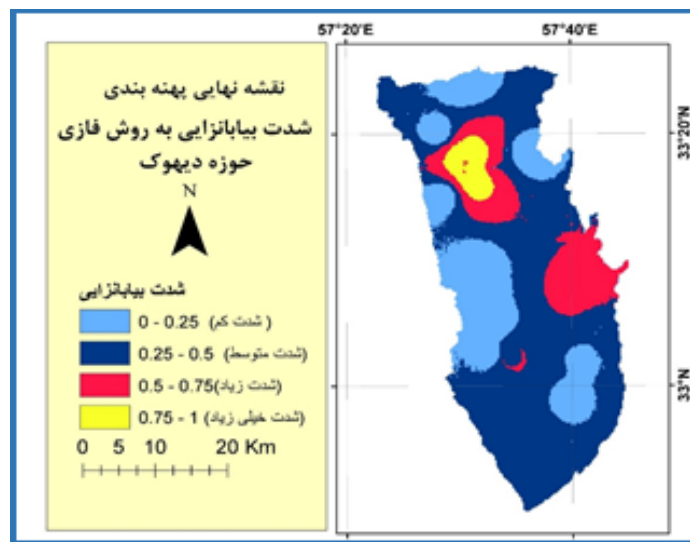
منظور از SAR نسبت جذب سطحی سدیم است و از فرمول  $SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}}$  محاسبه می‌شود (He et al, 2015). بالا بودن سدیم برخلاف یون‌های کلسیم و منیزیم باعث پراکندگی خاک و نفوذناپذیر بودن آن می‌شود. این شاخص می‌تواند به عنوان نمایه‌ای برای تعیین خطرات ناشی از سدیمی شدن خاک مورد استفاده قرار گیرد. بررسی‌های اجرا شده بر شاخص نسبت جذب سدیمی آب زیرزمینی، نشان می‌دهد که در منطقه‌ی مورد مطالعه ۸۵ درصد حوزه در کلاس شدید مدل IMDPA (جدول ۱) واقع شده‌است. این مسأله بیانگر نقش بالای این شاخص در تخریب خاک حوضه‌ی دیهوک است. پس از اینکه نقشه‌های اولیه (شکل ۲) براساس نتایج ناشی از آنالیز نمونه خاک و آب، تصاویر ماهواره‌ای تهیه و به صورت دامنه‌ی عددی کلاس‌بندی شد. با استفاده از تابع عضویت خطی فازی (رابطه‌ی ۸ و ۹)، درجه‌ی مشارکت هر شاخص در این تابع و در مقیاس صفر و یک محاسبه شد. برای نقاط کنترل تابع در هر لایه، از اطلاعات مدل IMDPA استفاده، سپس نقشه‌های ثانویه فازی تهیه شد (شکل ۳) و از همپوشانی لایه فازی به روش گاما نقشه‌ی نهایی حاصل گردید (شکل ۴).

جدول ۲: کلاس‌های شدت بیابان‌زایی به روش فازی در حوزه‌ی دیهوک

درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )	دامنه‌ی فازی	کلاس بیابان‌زایی
۲۵/۴۸	۳۲۲/۵	۰-۰/۲۵	شدت کم
۵۷/۲۱	۷۲۳/۵	۰/۰-۲۵/۵	شدت متوسط
۱۳/۹۷	۱۷۶/۷	۰/۰-۵/۷۵	شدت زیاد
۳/۳۴	۴۲/۳	۰/۱-۷۵	شدت خیلی زیاد



شکل ۳: لایه‌های فازی شده از شاخص‌های مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه‌ی نهایی شدت بیابان‌زایی به روش فازی

## ۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد کلاس متوسط بیشترین سطح حوضه (۵۷/۲۱٪) را به خود اختصاص داده‌است (جدول ۲). مناطق یادشده در آستانه‌ی ورود به کلاس بیابان‌زایی شدید قرار دارند و در صورت ادامه‌ی روند کنونی، شاهد افزایش سطح مناطق به نفع کلاس‌های بیابان‌زایی شدیدتر خواهیم بود. نکته‌ی حائز اهمیت در مورد مناطق با شدت خیلی زیاد (۳/۳۴٪) و زیاد (۱۳/۹۷٪) که با رنگ زرد و قرمز در شکل ۴ مشخص شده‌اند، این است که این مناطق بیشترین مراکز جمعیتی را دارند. در حقیقت، مناطق روستایی عمدتاً در این مناطق واقع شده‌اند و به نظر می‌رسد فشار جمعیت به استفاده‌ی بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی منجر شده‌است. با توجه به نتایج تحقیق جاری، ۹۱ درصد از حوضه‌ی دیهوک EC خاک بیش از ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر دارد. سطوح شوری بالا باعث کاهش رشد گیاهان و کاهش بیومس گیاهی می‌شود (Kim et al, 2012). به همین منظور توصیه می‌شود از گونه‌ها و ارقام شورپسند در کشاورزی همچنین در طرح‌های مرتعداری از گونه‌های مقاوم به شوری از قبیل Salsola و آتریپلکس استفاده شود. شاخص نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز در وضعیت نامناسبی قرار دارد. طبق نتایج به دست آمده، ۸۱ درصد از حوضه نسبت جذب سدیمی بالاتر از ۳۲ دارد. گذشته از اثر سمیت یون سدیم بر گیاهان، با افزایش SAR آب قابل استفاده‌ی گیاه نیز کاهش می‌یابد (Khatar et al, 2012). همچنین با بررسی نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه متوجه می‌شویم مناطقی که در کلاس‌های شدید بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند دارای سطح تاج پوشش کم هستند. این امر نشان می‌دهد که کمبود پوشش گیاهی هم عامل تشدیدکننده‌ی پدیده‌ی بیابان‌زایی در مناطق یاد شده است. مناطقی که در کلاس بیابان‌زایی با شدت کم قرار دارند، مناطقی هستند که در روی نقشه‌ی کاربری جزء مناطق توده سنگی قرار گرفته‌اند. با توجه به تمامی موارد ذکر شده، محدودیت عوامل محیطی در حوزه‌ی دیهوک بسیار شدید است. تغییر الگوی کشت کشاورزی، کاهش دام وابسته به مراتع، کاهش وابستگی انسان به طبیعت و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری از جمله مواردی است که می‌توان برای کاهش سرعت بیابان‌زایی این حوزه پیشنهاد کرد.

نکته‌ی قابل توجه در روش فازی این است که نقشه‌ی شاخص‌ها و نقشه‌ی نهایی شدت بیابان‌زایی، حالت پویا و پیوسته دارد؛ بنابراین، محدوده‌ها و کلاس‌های شدت با توجه به نیاز کاربر قابل تغییر است و در سناریوهای مختلف مدیریتی و احیاء اراضی، می‌توان حدود شدت‌ها را بازتعریف کرد. نکته‌ی تأمل برانگیز دیگر اینکه معمولاً روش‌های کلاسیک ارزیابی شدت بیابان‌زایی مانند IMDPA یا ICD، داده‌های ناپیوسته و بسیار کلی از شاخص‌ها در داخل مرزهای مشخص واحدهای کاری باز تعریف می‌کند. اما در مدل فازی، داده‌ها و اطلاعات به صورت پیوسته هستند و به این ترتیب به فرم طبیعی خود نزدیک‌ترند.

## References

- 1- Ahmadi, H., 2006. Iranian model of desertification potential assessment in east of Esfahan, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- 2- Allen, R. G.; Tasumi, M.; & R. Trezza, 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) -model. Journal of irrigation and drainage engineering, ASCE, 133, 380 – 394.

- 3- Alesheikh, A.; Soltani, M.; & H. Helali, 2002. Application of GIS in locating flood spreading areas, *Geographic Research*, 17(40), 38 – 42.
- 4- Bakhshandehmehr, L.; Soltani, S.; & A. Sepehr, 2013. Assessment of Present Status of Desertification and Modifying the MEDALUS Model In Segzi Plain of Isfahan, *Range and Watershed management*, 66(1), 27 – 41.
- 5- Camastra, F.; Ciaramella, A.; Giovannelli, V.; Lener, M.; Rastelli, M.; Staiano, A.; Staiano, G.; & A. Starace, 2015. A fuzzy decision system for genetically modified plant environmental risk assessment using Mamdani inference, *Expert Syst. Appl.* 42 (3), 1710 - 1716.
- 6- Chen, S., & C. Hwang., (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*". Springer Verlag Inc. 536.
- 7- Dolatshahi, R. 2008. Preparing a desertification map based on IMDPA model with emphasis on water, soil, vegetation cover (case study south of Garmsal). M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 133p.
- 8- Ertugrul, I., & N. Karakasoglu., (2007). Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods". *Expert Systems with Applications*. 36: 702 - 715.
- 9- Grau, J. B.; Anton, J. M.; Tarquis, A. M.; Colombo, F.; Rios, L.; & J. M. Cisneros., 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)", *Biogeosciences Discuss*, 7: 2601- 2630.
- 10- He, y.; DeSutter, T.; Casey, F.; Clay, D.; Franzen, D.; & D. Steele., 2015. Field capacity water as influenced by Na and EC: Implications for subsurface drainage, *Geoderma*, 245 –246: 83 – 88.
- 11- Khatar, M.; Mosaddeghi, M. R.; & A. A. Mahboubi, 2012. Water Quality Effect on Plant-Available Water and Pore Size Distribution of Two Texturally-Different Calcareous Soils, *Water and Soil Sci*, 16(60), 159 – 172.
- 12- Khosravi, H.; Zehtabian, GH. R.; Ahmadi, H.; & H. Azarnivand, 2014. Hazard Assessment of Desertification as a Result of Soil and Water Recourse Degradation in Kashan Region, Iran, *DESERT*, 19(1), 45 – 55.
- 13- Kim, S.; Rayburn, A. L.; Voigt, T.; Parrish, A.; D. K. Lee, 2012. Salinity Effects on Germination and Plant Growth of Prairie Cordgrass and Switchgrass, *Journal of Bioenerg, Res*, (5): 225 – 235.
- 14- Nateghi, S.; Zehtabian, G. H.; & H. Ahmadi, 2009. Evaluation of Desertification Intensity in Segzi Plain Using IMDPA Model, *Range & Watershed management*, 62(3), 419 – 430.
- 15- Nikoo, SH.; Azarnivand, H.; Zehtabiyan, GH.; Ahmadi, H.; & M. A. Zare Chahouki, 2015. Assessment of Current Desertification Status using IMDPA and Determination of Effective Factors of Land Degradation (Case Study: Damghan region), *Range and Watershed management*, 64(4), 641- 655.
- 16- Sadeghi, M. H., & M. Tahmoores., (2013). Strategic Assessment of desertification by using fuzzy TOPSIS. *Science and Environmental Engineering*. (1)3, 79 – 94.

- 17- Sarkar, S.; Parihar, S. M.; & A. Dutta., 2016. Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata Wetland Area: A remote sensing and GIS based approach, *Environmental Modelling & Software*, 75 .105 – 118.
- 18- Sepehr, A.; Ekhtesasi, M. R.; & Almodaresi, S. A, 2012. Development of Desertification Indicator System Base on DPSIR (Take advantages of Fuzzy-TOPSIS), *Geography and Environmental Planning Journal*, 45(1), 33 – 50.
- 19- Silakhori, E., 2015. Mapping of desertification hazard intensity based on soil index using ESAs methodology in Mazinan of Sabzevar, *Emergency management*, 3(2), 57 – 63.
- 20- Sobrino, J.; Jiménez-Muñoz, J. C.; & L. Paolini, 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 ,*Remote Sensing of Environment*, 90, 434 – 440.
- 21- Tabatabaeefar, S. M.; Zehtabian, GH. R.; Rahimi, M.; Khosravi, H.; & SH. Nikoo, 2013. an Echo of Scalia in Philosophy and Style, *Desert management*, 2, 39 – 48.
- 22- Tewari. S.; Kulhavy . J.; Rock . B. N.; & P. Hadas, 2003. Remote monitoring of forest response to changed soil moisture regime due to river regulation, *Forest Science*, 49, 429–438.
- 23- 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.
- 24- Vali, A. A.; Barabadi, H.; Heidary, E.; & H. Khosravi, 2015, Assessment of Roudab plain of Sabzevar city desertification intensity emphasizing two climate and water criteria, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(8), 57 – 66.
- 25- Wang, Y.; Zhang, J.; Guo, E.; & Z. Sun, 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.
- 26- Zakerinejad, R.; Masoudi, M.; Afzali, F.; & Falah, R, 2012. Assessment of Desertification using ground water criteria and GIS (case study:Zarin Dasht Fars), *Irrigation and Water Engineering*, 7, 1 - 10.

## Desertification-Intensity Zoning through Fuzzy-Logic Approach: A Case Study of Deyhook-Tabas, Iran

**Hamidreza Koohbanani:** *Combating Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University*

**Jamal Dashti Amirabad:** *Combating Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University*

**Shima Nikoo\*:** *Combating Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University*

**Ali Taya:** *Combating Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University*

Article History (Received: May 12, 2016

Accepted: June 16, 2017)

### Extended abstract

#### 1- INTRODUCTION

Destructive phenomenon of desertification is one of the serious ecological crises at the present time. In order to improve efficiency of combating desertification projects and inhibiting destruction of natural resources and our asset, it sounds considerably meaningful to reach a systematic and comprehensive method that can use different criteria and indicators to provide optimal solutions. Traditional models of desertification assessment are based on defined thresholds and limits and in the real nature of ecosystems, there are no boundaries and contractors. So, there is always a level of uncertainty in the phenomena such as desertification mapping.

#### 2- THEORETICAL FRAMEWORK

Land degradation assessment strategies are based on experts' opinions, and usually the evaluation methods based on multi-criterion decision-making models are not concerned in Iran. Until now, clear and uniform procedures for the classification of desertification have not been provided based on desertification processes. In this regard, the identification and evaluation processes, and the identification of current state of desertification intensity are generally among the basic requirements of desert areas. In the present paper, the fuzzy approach, as one of the effective ways to assess desertification, has been used. For this purpose, it should be noted that in fuzzy methods, the thresholds of each class can be reviewed in different management scenarios.

#### 3- METHODOLOGY

Some indices of climate, soil and water criteria were selected to be considered for each condition of the region. The samples were collected in homogeneous units in Deyhook basin. The next step was converting layers to fuzzy layers by linear functions of fuzzy membership. Final desertification intensity was calculated based on fuzzy overlaying via gamma operators of the selected criteria and their indices on a scale of zero to one. The numerical value was reclassified into 4 levels including low, medium, severe and very severe, and the desertification intensity map was drawn using GIS in the studied period. For the vegetation and precipitation indices, the decreasing fuzzy function, and for the others, the increasing fuzzy function were used.

#### 4- RESULTS

According to the results, among the studied areas, approximately 14.5% of the area was very severely degraded and 3.5 percent was in the intensity of severe class. Most of the basin was allocated to the moderate intensity of desertification class and if the current trends continued increasing desertification, it would be under more severe desertification risk. It is important that severely and very severely degraded areas have the largest population centers. In fact,

---

\* Corresponding Author: [shimaniloo@semnan.ac.ir](mailto:shimaniloo@semnan.ac.ir)

these areas are located mainly in rural areas, and it seems that the population pressure makes an improper use of surface and underground water resources. According to the results, 81 percent of the basin, sodium adsorption ratio is higher than 32. Aside from sodium ion toxicity effects on plants, along with increasing SAR, available water for plants is reduced subsequently. According to the results of the current study, 91 percent of the basin Deyhook, EC soil is more than 17 dS m. High salt levels lead to plant growth reduction and biomass loss.

## 5- CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

The strength of fuzzy method is that the indices map and the final map of desertification have a dynamic and continuous nature, and therefore, the intensity class boundaries can be changed according to the user requirements in various management and land reclamation scenarios. Given that environmental restrictions in the basin Deyhook are very intense, so changes in the cropping pattern, dependent reduction in livestock pastures, reduction of human dependence on nature and the use of varieties resistant to drought and salinity are among the cases that can be offered to slow the desertification Deyhook basin. It is recommended in the mentioned basin that halophytes species and tolerant species such as *Salsola* and *Atriplex* be utilized in agricultural and rangeland management plans.

Keywords: zoning, desertification, fuzzy logic, linear membership function, Deyhook