

پهنه‌بندی پتانسیل خطر بیابانزایی با استفاده از رویکرد MADM¹ و مدل آنتروپی

شانون، مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد

محمد حسن صادقی روش²

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

دریافت: 92/5/13 و پذیرش: 93/2/22

چکیده

ارزیابی و تهیه نقشه پتانسیل شدت بیابانزایی همواره به عنوان یکی از ابزارهای برنامه ریزان در عرصه مدیریت مناطق بیابانی مطرح بوده است. با توجه به اهمیت کاربردی این نقشه‌ها علیرغم توسعه فنون و روش‌های کمی در طی سال‌های اخیر، همچنان سعی می‌شود که روش‌هایی با خطای کمتر و ضریب اطمینان بیشتر ارائه گردد. در این رابطه با بررسی مدل‌های پهنه‌بندی خطر بیابانزایی ملاحظه شد که نقیصه‌ای که در تمامی این مدل‌ها همواره مطرح بوده این است که در ارزشگذاری شاخص‌ها، تنها ارزش مطلق هر شاخص در هر واحد کاری در نظر گرفته می‌شود و اولویت آنها در ایجاد شرایط بحرانی مد نظر قرار نمی‌گرفت که این امر منجر به دستیابی به نتایج غیر واقعی می‌شود. از این رو هدف این پژوهش ارائه مدلی به منظور طبقه‌بندی شدت بیابانزایی هم بر مبنای اولویت شاخص‌ها نسبت به هم و هم اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری می‌باشد و در این رابطه از مدل آنتروپی شانون استفاده شده است. این مدل که برگرفته شده از تئوری اطلاعات می‌باشد با ساختار سلسله مراتبی به ارزیابی پتانسیل خطر بیابانزایی در واحدهای کاری می‌پردازد و در انتها نتایج را به صورت نقشه‌های ارزیابی ارائه می‌دهد. مطالعات انجام شده نشان داد که 0/43% درصد از کل منطقه مطالعاتی به صورت شدید و 8/92% درصد به صورت نسبتاً شدیدی تحت فرایند بیابانزایی می‌باشد و بیابانزایی با شدت متوسط (57/18%) و نسبتاً متوسط (33/48%) به ترتیب، بیشترین سهم را در منطقه مطالعاتی به خود اختصاص داده است. در عین حال ارزش کمی شدت بیابانزایی برای کل منطقه از مجموع عوامل 0/065 (کلاس متوسط یا V) بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: شدت بیابانزایی، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

¹ Multiple Attribute Decision Making (MADM)

² نویسنده مسئول، آدرس: تاکستان، سه راهی شامی شاپ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، دانشکده کشاورزی، گروه

مقدمه

فنون ارزیابی شدت بیابانزایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی آن همواره به عنوان یکی از مهمترین ابزارهای برنامه‌ریزی و مدیریت به منظور دستیابی به توسعه پایدار در عرصه منابع طبیعی مطرح بوده (وانگ و همکاران، 2008). در این نقشه‌ها نقاط بحرانی مناطق مورد شناسایی قرار گرفته و با هدایت برنامه‌ریزان به مناطق کم خطر، ضمن حفاظت از جلوه‌های باقی مانده حیات در آن نقاط، ارزش افزوده سرمایه‌گذاری‌های ملی را در پایدارترین و مناسب‌ترین حالت ممکن تضمین می‌سازد و در عین حال با معرفی نقاط آسیب‌پذیر، امکان تمرکز فعالیت‌های کنترل و بهسازی و جلوگیری از هدر رفتن امکانات و سرمایه‌های محدود را فراهم می‌آورد. بنابراین با توجه به اهمیت کاربردی این نقشه‌ها علیرغم توسعه فنون و روش‌های کمی در پهنه‌بندی شدت بیابانزایی در طی سالهای اخیر همچنان سعی در ارائه روش‌های کمی با خطای کمتر و ضریب اطمینان بیشتر است.

در زمینه ارزیابی مناطق نسبت به بیابانی شدن تاکنون تحقیقات زیادی صورت گرفته است، از جمله، روش تحقیقی مقدماتی برای ارزیابی نقشه‌بندی بیابانزایی (فائو-یونپ، 1984)، مدل حساسیت زیست محیطی نواحی¹ (یوروپین کمیسیون، 1999)، مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزایی در ایران² (اختصاصی و مهاجری، 1375)، مدل گروه احیاء مناطق خشک دانشکده منابع طبیعی³ (احمدی و دیگران، 1385) و مدل تاکسونومی عددی توسعه‌یافته⁴ (صادقی روش و همکاران، 2009) می‌باشد.

فائو - یونپ در سال 1984 روشی را تحت عنوان "روش مقدماتی برای ارزیابی نقشه بندی بیابانزایی" منتشر کرد. در این روش وضعیت فعلی، نرخ و خطر بیابانزایی تشریح شده است، فرایندهای بیابانزایی در این طرح عبارت بودند از: تخریب پوشش گیاهی، فرسایش بادی، فرسایش و تخریب ساختمان خاک، کاهش مواد آلی خاک، شور و قلیایی شدن، ماندابی شدن و تجمع مواد سمی. این فرایندها بر اساس مشاهدات زمینی، تفسیر عکس‌های هوایی و اطلاعات موجود و به کمک مدل سازی آماری، در چهار کلاس خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی شدند (فائو - یونپ، 1984).

سپس در سال 1375 اختصاصی و مهاجری، روشی را جهت طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزایی اراضی در ایران معرفی کردند. در این روش عوامل مؤثر در بیابانزایی به روش ترازوی وزنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و معیارهای ارائه شده جهت ارزیابی این عوامل عمدتاً توصیفی و کیفی هستند (اختصاصی و مهاجری، 1375).

در ادامه مدل حساسیت زیست محیطی نواحی (ESA) در سال 1999 از طرف کمیسیون اروپا در چارچوب پروژه مدالوس⁵ (MEDALUS) برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی ارائه گردید. در این مدل چهار شاخص تحت عنوان کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی و مدیریت به عنوان شاخص‌های کلیدی بیابانزایی تعریف شدند و در نهایت نقشه بیابانزایی از میانگین هندسی شاخص‌های مذکور بدست آمد (یوروپین کمیسیون، 1999). در سال 1383 در چارچوب مدل مدالوس، مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان زائی (IMDPA) در دانشگاه منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. در این مدل سعی شد معیارها و شاخص‌های انتخابی، متناسب با شرایط زیست محیطی ایران تعیین و درجه‌بندی شوند. بر این مبنا 9 معیار اقلیم، زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی، کشاورزی، فرسایش (بادی و آبی)، آب و آبیاری، مسائل اقتصادی و اجتماعی و صنعت و شهرسازی در نظر گرفته شد. و 35 شاخص به منظور ارزیابی پتانسیل بیابانزایی توسط کارشناسان در نظر گرفته شد. امتیازدهی شاخص‌ها به منظور حداقل کردن خطای امتیازدهی و سهولت در نمره-دهی به صورت رتبه‌ای بیان شد (احمدی و دیگران، 1385). در سال 1388 صادقی روش مدلی را تحت عنوان تاکسونومی عددی توسعه یافته (MNT) ارائه کرد. این مدل دارای ساختار سلسله مراتبی و بر پایه مقیاسات زوجی بنا نهاده شده است. و همچنین به منظور کاهش خطای کارشناسی در ارزش‌گذاری شاخص‌ها علاوه بر کاربرد روش دلفی بر مبنای پرسشنامه، از شاخص ناسازگاری به منظور خود کنترلی قضاوت‌ها استفاده می‌شود (صادقی روش و همکاران، 2009).

با بررسی که بر روی این روش‌ها صورت گرفت، ملاحظه شد که این روش‌ها نیز به نوبه خود دارای نواقصی بودند. از جمله، غیر بومی و کیفی بودن شاخص-ها، خطای کارشناسی، کوچک مقیاس بودن، عدم امکان تفکیک عوامل انسانی و طبیعی در نتیجه گیری‌ها و غیره، هر چند این نواقص در مدل‌های بعدی و به ویژه مدل تاکسونومی تا حدود زیادی مرتفع شد ولی همچنان این

1. Environment Sensitive Area to Desertification (ESA)

2. Iranian classification of desertification (ICD)

3. Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)

4. Modify Numerical Taxonomy (MNT)

5. Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS)

ارزیابی توسعه یافتگی از لحاظ دستیابی به شاخص‌های بخش کتابخانه‌ای (میر غفوری و همکاران، 1389)، ارزیابی عملکرد سازمان‌های آموزشی (والمحمدی و فیروزه، 1389)، ارزیابی توسعه فرهنگی مناطق شهری (محمدی و ایزدی، 1390)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مقیم، 1391)، رتبه‌بندی توسعه یافتگی استان‌ها از لحاظ دسترسی به شاخص‌های بخش بهداشت و درمان (طحاری مهرجردی و همکاران، 1391) و ارزیابی توسعه کالبدی شهری (مبارکی و همکاران، 2012؛ ثابت سروستانی و همکاران، 2011؛ ملک آبادی و همکاران، 1391؛ حسینی و همکاران، 1391؛ میر کتولی و همکاران، 1390؛ ابراهیم زاده و رفیعی، 1388؛ حکمت نیا و موسوی، 1385)

مهمترین مزیت‌های این روش به طور خلاصه عبارتند از: 1- در نظر گرفتن تعداد زیادی شاخص کمی و کیفی به طور همزمان در ارزیابی شدت بیابانزایی 2- سهولت و سادگی کاربرد 3- امکان تغییر اطلاعات ورودی و ارائه پهنه‌بندی جدید بر اساس این اطلاعات 8- نتایج حاصله به صورت ضریب اولویت بیان می‌شود که این کمیات، وزن نهایی راهبردها در اولویت‌بندی می‌باشد. 6- در نظر گرفتن توان ارزش هر شاخص در هر واحد کاری و اولویت شاخص‌ها نسبت به هم که باعث دستیابی به نتایج با ضریب اطمینان بیشتر می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه خضرآباد با وسعتی معادل 78488 هکتار در 10 کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی 53° ، $55'$ الی 54° ، $20'$ طول شرقی و 31° ، $45'$ الی 32° ، $15'$ عرض شمالی قرار گرفته است. (شکل 1) و از نظر اقلیمی در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. 12930 هکتار (16/5%) از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه-ای شکل داده که ارگ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل 8923 هکتار در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد در عین حال از کل اراضی زراعی منطقه 1995 هکتار (26/5%) را اراضی مخروطه حاصل از عملیات انسانی و فرایندهای طبیعی تشکیل داده است، که نشان دهنده وضعیت کاملاً تپیک از نظرگاه بیابانزائی در منطقه و بیان کننده لزوم شناخت و تهیه نقشه ارزیابی شدت بیابانزائی می‌باشد.

مدل‌ها دارای نقص اساسی بودند و آن این بود که در ارزشگذاری شاخص‌ها، تنها ارزش مطلق هر شاخص در هر واحد کاری در نظر گرفته می‌شد و اولویت آنها نسبت به هم در ایجاد شرایط بحرانی در نظر گرفته نمی‌شد که این امر منجر به دستیابی به نتایج غیر واقعی می‌شد. از این رو بر آن شدیم تا با بکارگیری روش آنتروپی شانون¹ پتانسیل بیابانزایی یا آسیب‌پذیری منطقه را بر مبنای اولویت شاخص‌ها نسبت به هم و اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری برآورد کنیم.

مدل آنتروپی شانون که برگرفته شده از تئوری اطلاعات² می‌باشد اولین بار توسط کلود ال وود شانون (شانون، 1948) ارائه شد. آنتروپی معیار سنجش بی‌نظمی در یک سیستم است (بناریک و همکاران، 2010) و در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (P_i) به طوری که این عدم اطمینان در صورت پخش بودن³ توزیع، بیشتر از مواردی است که توزیع فراوانی تیزتر⁴ باشد. (اصغر پور، 1389؛ سلیمانی و زارع پیشه، 2009)

مدل آنتروپی شانون عمدتاً به منظور رتبه‌بندی توسعه یافتگی در حوزه‌های مختلف علوم مورد استفاده قرار گرفته که از آنجمله می‌توان به ارزیابی اثر داروها بر روی رفتار بی‌نظمی ژن‌ها به منظور بهبود درمان دارویی (فورمان و همکاران، 2000)، ارزیابی توسعه و بهره‌وری سازمان (جانو، 2003)، ارزیابی توسعه بافت سرطانی (پروستات و پستان) با کاربرد تصاویر رادیولوژی و آنتروپی شانون (ارزیابی توسعه بی‌نظمی در بافت سرطانی) (پارواها و همکاران، 2009؛ اوگسان و همکاران، 1996)، رتبه‌بندی توسعه یافتگی و تنوع خاک پوششی (مینانسی و همکاران، 2010؛ پترست و همکاران، 2010؛ ایباز و همکاران، 1998) ارزیابی توسعه رشد شهری (دکا و همکاران، 2012؛ سان و همکاران، 2007؛ جوشی و همکاران، 2006؛ سودهیرا و همکاران، 2004) و ارزیابی تنوع زیستی در مناطق مختلف (مارکون، 2012؛ جوست و همکاران، 2010) اشاره کرد.

همچنین در سال‌های اخیر، تحقیقاتی در این چارچوب در کشور مورد توجه قرار گرفته که از جمله می‌توان به، رتبه‌بندی توسعه یافتگی پژوهشکده‌ها (محامدپور و اصغری زاده، 1387)، ارزیابی عملکرد شرکت‌های فعال در بورس (محمدی و مولایی، 1389)،

1. Shanons Entropy Model

2. Information theory

3. Broad

4. Shannon

1/50000 استفاده شد (فهرودی تالی، 1383، درویش صفت 1384). به منظور ارزیابی جامع، منابع اقتصادی- اجتماعی شامل تراکم جمعیت، وضعیت سواد، اشتغال، و غیره (صادقی روش، 2009) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت

تعیین واحدهای کاری

به منظور تهیه چارچوبی مناسب جهت تهیه نقشه پهنه بندی شدت بیابانزایی اقدام به تفکیک واحدهای کاری از روش ژئومرفولوژی شد. (احمدی، 1384) بدین منظور در ابتدا بعد از تهیه و جمع‌آوری اطلاعات حاصل از تفسیر عکس‌های هوایی، اطلاعات رقومی موجود در قالب نقشه و آمار و گزارش‌های سازمان‌ها و ادارات، اقدام به وارد کردن این اطلاعات به صورت رقومی در محیط c View شد و نقشه‌های موضوعی ژئومرفولوژی، کاربری اراضی و تیپ‌های گیاهی به دست آمد. سپس اقدام به هم پوشانی و تلفیق لایه‌های مذکور شد، و بعد از خلاصه‌سازی، لایه نهایی واحدهای کاری شکل گرفت. (شکل 2) در نقشه واحدهای کاری، 12 واحدکاری بر حسب اهداف مطالعاتی تفکیک شد.

تعیین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی بیابانزایی

بر پایه اطلاعات به دست آمده از ارزیابی منابع طبیعی و مطالعات میدانی بر طبق ادبیات تحقیق، 30 شاخص مؤثر در رخدادهای بیابانزایی منطقه مطالعاتی به تفکیک طبیعی و انسانی تعیین شد. به منظور انتخاب این شاخص‌ها سه محور اصلی ارتباط با پدیده بیابانزایی، سهولت دسترسی و سهولت به روز آوری در چارچوب دو فاکتور هزینه و زمان مد نظر قرار گرفت. به منظور بی‌مقیاس کردن و هم جهت کردن ارزش شاخص‌ها، برای هر شاخص ارزش-های کمی از صفر تا 1 تعریف شد. ارزش صفر برای نواحی نمایشگر کمترین و ارزش 1 بیشترین میزان پتانسیل بیابانزایی می‌باشد. و ارزش‌های مابین آنها بیانگر بیابانزایی نسبی هستند. (جدول 1 و 2)

شاخص‌های اقلیمی بر مبنای قابلیت تحت تأثیر قرار دادن آب قابل دسترس گیاهان در نظر گرفته شدند از جمله این شاخص‌ها می‌توان به بارش متوسط سالانه، سرعت باد، خشکی و غیره اشاره کرد. با توجه به این موضوع که بارش معادل 300 میلیمتر به عنوان حد آستانه بحرانی در فرایند فرسایش خاک و رشد گیاهان به حساب می‌آید، بر این مبنای شاخص میانگین بارش سالانه به چهار طبقه دسته‌بندی شد.

جدول 1- شاخص‌های طبیعی مؤثر در رخدادهای بیابانزایی در منطقه مطالعاتی و ارزش‌دهی آنها در مقیاس واحد

0/76 - 1	0/51 - 0/75	0/26 - 0/50	0 - 0/25	شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی
< 60	60-150	150-300	< 300	میانگین بارش سالانه (1)(mm)
>7/5	5/5-7/5	3-5/5	<3	میانگین سرعت باد (2)(m/s)
<0/05	0/05-0/2	0/2-0/5	>0/5	شاخص خشکی (3)(P/ET _p)
S	Si,C,SiC	SC,SiL,SiCL	L,SCL,SL,LS,CL	بافت خاک (4)
>30	10-30	4-10	<4	شوری خاک (5)(EC-mmhos/cm)
<0/5	0/5-1/5	1/5-3	>3	زهکشی خاک (6)(in/h)
<20	20-50	50-80	>80	عمق خاک (7)(cm)
>35	18-35	6-18	<6	شیب (%) (8)
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	فرسایش (آب و باد) (9)
>2500	1000-2500	500-1000	<500	شوری آب (10) (EC-μmhos/cm)
<75	75-130	130-300	>300	عمق سطح آب زیرزمینی (11)(cm)
<10	10-25	25-50	>50	تراکم پوشش گیاهی (%) (12)
>50	25-50	10-25	<10	بوته کنی و قطع اشجار (%) (13)
<0/25	0/25-0/75	0/75-1/5	>1/5	ظرفیت برد مراتع (AU/100 day) (14)
>3	2-3	1/5 - 2	<1/5	فشار دام (ظرفیت مراتع/دام موجود) (15)

جدول 2- شاخص های انسانی مؤثر در رخداد بیابانزایی در منطقه مطالعاتی و ارزش دهی آنها در مقیاس واحد

0/76 - 1	0/51 - 0/75	0/26 - 0/50	0 - 0/25	شاخص های مؤثر در بیابانزایی
شخم کاملاً نامناسب و بدون آیش	شخم نامناسب با آیش کمتر از 6 ماه	شخم و آیش نسبتاً مناسب	شخم و آیش مناسب	شخم و آیش (16)
نامناسب و نیاز به کنترل و اصلاح دارد	نسبتاً مناسب ولی نیاز به کنترل و اصلاح دارد	مناسب ولی نیاز به اصلاحات دارد	کاملاً مناسب	روش آبیاری (17)
>80	50- 80	30 - 50	<30	کارایی آبیاری (%) (18)
شیوه آبیاری سنتی بدون طراحی بهینه	سیستم سنتی مدرنیزه شده	سیستم تحت فشار کلاسیک	سیستم تحت فشار مدرن	سیستم آبیاری (19)
> 30	20- 30	10- 20	<10	کاهش سطح آب زیرزمینی (20)
سطح خاک خشک و رطوبت کمتر از نقطه پژمردگی	رطوبت خاک کمتر از نقطه پژمردگی است	رطوبت خاک بیشتر از نقطه پژمردگی است	خاک همیشه مرطوب است	رطوبت خاک (21)
کاملاً نامناسب	نامناسب	نسبتاً مناسب	مناسب	استفاده از ماشین آلات، مواد شیمیایی و کود آلی (22)
بیشتر از 80% منطقه تحت کشت، الگوی زراعی نامناسب.	بیشتر از 50% منطقه تحت کشت، الگوی کشت غیر منطبق با شرایط محیط.	بیشتر از 20% منطقه تحت کشت، الگوی کشت نسبتاً منطبق با شرایط محیط.	باغات و گونه‌های دائمی بدون آیش، الگوی کشت منطبق با شرایط محیط	الگوی کشت و مدیریت تولید (23)
تضاد رابطه بین مردم و کارشناسان	انجام کارهای کارشناسی بدون توجه به مردم	عدم توجه یا کم توجهی مردم نسبت به کارهای کارشناسی	مشارکت کارشناسان و مردم منطقه مناسب بوده	مشارکت مردمی (24)
<25	25-50	50- 75	>75	سواد (%) (25)
<10	10-30	30-60	>60	اشتغال (%) (26)
<600	350-600	100-350	<100	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/km ²) (27)
تغییر کاربری بی رویه، و بدون مدیریت می‌باشد.	تغییر کاربری زیاد، و با مدیریت نامناسب اداره می‌شود	تغییر کاربری متوسط، و با مدیریت نسبتاً صحیح اداره می‌شود	تغییر کاربری کم و با مدیریت صحیح اداره می‌شود	تغییر کاربری اراضی (28)
کاملاً ناآگاه	ناآگاه	نسبتاً آگاه	کاملاً آگاه	آگاهی از نتایج تخریب (29)
تقسیم اراضی بی رویه و عدم فعالیت تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی زیاد با فعالیت کم تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی متوسط با فعالیت متوسط تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی کم با توسعه زیاد تعاونی‌های زراعی	تقسیم اراضی به قطعات کوچک (30)

برآورد مؤثرترین پارامتر یعنی آب موجود در خاک در دسترس گیاه¹ (که عبارتست از بارش منهای تبخیر و تعرق و رواناب) نیازمند اطلاعات نسبتاً زیادی از وضعیت خاک در حفظ رطوبت و رشد پوشش گیاهی می‌باشد. بنابراین در این پژوهش از شاخص خشکی FAO استفاده شد. شاخص خشکی عبارتست از نسبت بارش سالانه به تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (P/ET_p) (گریکو و همکاران، 2005؛ سپهر و همکاران، 2007)

بررسی وضعیت فرسایش بادی با استفاده از روش I.R.I.F.R² (اختصاصی و احمدی، 1376) صورت پذیرفت. در این روش 9 پارامتر مؤثر در فرایند فرسایش بادی همچون سنگ شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، وضعیت خاک و پوشش سطح آن، نوع و درصد تاج پوشش گیاهی، رطوبت خاک، اشکال فرسایش سطح خاک، مدیریت اراضی و کاربری اراضی مورد توجه قرار گرفت.

برای ارزیابی فرسایش آبی روش P.S.I.A.C³ (احمدی، 1377) مورد استفاده قرار گرفت که چندین پارامتر از جمله سنگ‌شناسی، خاک، اقلیم، رواناب، مرفولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی مورد توجه قرار گرفت.

نتیجه آشکار چرای بیش از حد، افزایش فرسایش خاک است، به منظور برآورد این شاخص از واحد دامی (AU) استفاده شد. در این پژوهش واحد دامی بر مبنای نواحی اشغال شده به وسیله دامها محاسبه شد. (مقدم، 1379)

تعیین اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری در چارچوب مدل MADM

در ادامه با تشکیل ماتریس داده‌ها، اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری، از جهت اثر بر فرایند بیابانزایی با توجه به جدول امتیازدهی شاخص‌ها (جدول 1 و 2) در مقیاس صفر الی یک، مورد ارزیابی قرار گرفت. (جدول 3)

تعیین اهمیت شاخص‌ها نسبت به هم با استفاده از روش آنتروپی شانون⁴

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری در چارچوب مدل که یک ماتریس نرمالیزه است، آنتروپی واحدهای کاری نسبت به شاخص‌ها از رابطه 1 محاسبه شده و ماتریس دو بعدی آن شکل می‌گیرد (جدول 4).

$$E_{ij} = f_{ij} \times \ln r_{ij} \quad ; \forall j \quad (1)$$

در این رابطه:

$$E_{ij} = \text{آنتروپی هر واحد کاری نسبت به هر شاخص}$$

$$f_{ij} = \text{مقدار وزنی نرمال هر واحد کاری نسبت به هر شاخص}$$

$$\ln r_{ij} = \text{لگاریتم نپرین مقدار وزنی نرمال هر واحد کاری نسبت به هر شاخص}$$

در ادامه آنتروپی معیارها (E_j) از رابطه 2 محاسبه می‌شود

$$(2)$$

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m \left(r_{ij} \times \ln r_{ij} \right)$$

در این رابطه:

$$E_j = \text{آنتروپی هر معیار}$$

$$K = \text{ضریب ثابت}$$

و K به عنوان مقدار ثابت از رابطه 3 محاسبه می‌گردد

$$(3)$$

$$K = \frac{1}{\ln M}$$

در این رابطه:

$$K = \text{ضریب ثابت}$$

$$\ln M = \text{لگاریتم نپرین تعداد واحد های کاری (M)}$$

در ادامه، مقدار d_j (درجه انحراف)⁵ از رابطه 4 محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (j) چه میزان کارایی در فرایند بیابانزدایی دارد. هرچه مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی شاخصی به صفر نزدیک باشد، نشان دهنده‌ی آن است که واحدهای کاری رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شاخص در فرایند بیابانزایی باید به همان اندازه کاهش یابد.

$$(4)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad ; \forall j$$

سپس مقدار اوزان شاخص‌ها از رابطه 5 محاسبه می‌گردد.

$$(5)$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad ; \forall j$$

1. Water availability to the plants

2. Iran Research Institute of Forest and Rangelands

3. Pacific South-West Inter-Agency Committee

4. Shannon Entropy

5. Degree of Diversification

لازم به ذکر است که مجموع اوزان به دست آمده برای شاخص‌های مورد نظر تصمیم گیرنده باید برابر با یک باشد. (6)

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \rightarrow (\forall j = 1, 2, \dots, n)$$

به

عبارت ساده‌تر بر مبنای این روش، شاخصی که بیشترین وزن را دارد بیشترین نقش در فرایند بیابانزدایی را نیز دارد. (آذر و رجب‌زاده، 1381؛ شانون، 1948؛ آذر، 1380) (جدول 5، 6 و 7)

تهیه نقشه پهنه‌بندی شدت بیابانزایی پس از تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها، شدت بیابانزایی از مجموع سطری ارزش هر شاخص در هر واحد کاری از لحاظ بیابانزایی (r_{ij}) (جدول 3) در ضریب اهمیت نسبی شاخص‌ها از لحاظ بیابانزایی در مقایسه با هم (W_j) (جدول 5، 6 و 7) و بر مبنای رابطه خطی ذیل (رابطه 7) به تفکیک هر واحد کاری و در قالب شدت بیابانزایی ناشی از شاخص‌های طبیعی، انسانی و مجموع شاخص‌ها محاسبه شد. (جدول 8) (استمان و همکاران، 1995؛ وانگ و همکاران، 2008)

$$D.I = \sum_{i=1}^n W_j r_{ij} \quad (7)$$

جدول 3- ارزشگذاری واحدهای کاری به تفکیک شاخص‌ها (F_i)

TMU _i	Indicator				
	I ₁	I ₂	I ₃	.....	I _N
TMU ₁	r ₁₁	r ₁₂	r ₁₃	.....	r _{1N}
TMU ₂	r ₂₁	r ₂₂	r ₂₃	.....	r _{2N}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
TMU _M	r _{M1}	r _{M2}	r _{M3}	.....	r _{MN}

جدول 4- ماتریس آنتروپی واحدهای کاری نسبت به شاخص‌ها

TMU _i	Indicator				
	I ₁	I ₂	I ₃	.....	I _N
TMU ₁	E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	.....	E _{1N}
TMU ₂	E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	.....	E _{2N}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
TMU _M	E _{M1}	E _{M2}	E _{M3}	.....	E _{MN}

در این جدول: TMU: واحد کاری، I: شاخص و E: آنتروپی هر شاخص در هر واحد کاری می‌باشد.

ارزش‌های شدت بیابانزایی برآورد شده از رابطه 7 یکسری از ارزش‌های پیوسته هستند که به منظور سهولت در خواندن و فهمیدن نتایج برآورد شده و نشان دادن تفاوت‌های ناحیه‌ای بیابانزایی می‌بایستی در سطوح مناسبی طبقه‌بندی شوند. بر مبنای جدول 9، شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی در منطقه مطالعاتی در هشت سطح طبقه‌بندی شدند. مطابق جدول 9، هر واحد کاری با توجه به شاخص شدت بیابانزایی محاسبه شده در یکی از طبقات هشت گانه ناچیز، نسبتاً آرام، آرام، نسبتاً متوسط، متوسط، متوسط، شدید، شدید و خیلی شدید

بر طبق مدل (رابطه 7)، واحدهای کاری که بیشترین ضریب اولویت را دارا باشند. از شدت بیابانزایی بیشتری برخوردارند (آذر و رجب‌زاده، 1381) (8)

$$DI^* = \left\{ DI_i \left| \max_i \frac{\sum_{j=1}^n W_j r_{ij}}{W_j} \right. \right\} ; \sum W_j \neq 1$$

$$DI^* = \left\{ DI_i \left| \max_i \sum_{j=1}^n W_j r_{ij} \right. \right\} ; \sum W_j = 1$$

قرار گرفت، که در نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه‌های نهایی پتانسیل شدت بیابانزایی به مقیاس 1/50000 و به تفکیک شاخص‌های انسانی، طبیعی و مجموع شاخص‌ها به دست آمد. (اشکال 3، 4 و 5)

جدول 5- وزن نسبی یا اهمیت شاخص‌های طبیعی مؤثر در رخداد بیابانزایی منطقه خضرآباد

اولویت	W_j	d_j	E_j	شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی
8	-0/62644	-0/13005	1/130049	میانگین بارش سالانه (mm) (1)
15	-3/3783	-0/70134	1/701338	میانگین سرعت با (m/s) (2)
5	2/170853	0/450667	0/549333	شاخص خشکی (P/ET _p) (3)
13	-2/14227	-0/44474	0/444737	بافت خاک (4)
12	-1/95003	-0/40483	1/404827	شوری خاک (EC-mmhos/cm) (5)
14	-3/06207	-0/63569	1/635689	زهکشی خاک (in/h) (6)
2	3/058516	0/634951	0/365049	عمق خاک (cm) (7)
10	-0/89496	-0/18579	1/185794	شیب (%) (8)
7	-0/06242	-0/01296	1/012958	فرسایش (آب و باد) (9)
11	-0/93641	-0/1944	1/194399	شوری آب (EC-μmhos/cm) (10)
1	3/74569	0/777609	0/222391	عمق سطح آب زیرزمینی (cm) (11)
6	0/838785	0/174133	0/825867	تراکم پوشش گیاهی (%) (12)
9	-0/66272	-0/13758	1/137582	بوته کنی و قطع اشجار (%) (13)
3	2/570892	0/53372	0/46628	ظرفیت برد مراتع (AU/100 day) (14)
4	2/330885	0/483895	0/516105	فشار دام (ظرفیت مراتع/دام) (15)

جدول 6- وزن نسبی یا اهمیت شاخص‌های انسانی مؤثر در رخداد بیابانزایی منطقه خضرآباد

اولویت	W_j	d_j	E_j	شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی
5	0/096934	0/573048	0/426952	شخم و آیش (16)
2	0/108588	0/641942	0/358058	روش آبیاری (17)
3	0/101308	0/598904	0/401096	کارایی آبیاری (%) (18)
1	0/112563	0/665441	0/334559	سیستم آبیاری (19)
15	-0/06856	-0/4053	1/405301	کاهش سطح آب زیرزمینی (20)
14	-0/05555	-0/32838	1/328385	رطوبت خاک (21)
4	0/09857	0/582717	0/417283	استفاده از ماشین آلات، مواد شیمیایی و کود آلی (22)
7	0/093052	0/550101	0/449899	الگوی کشت ومدیریت تولید (23)
9	0/080634	0/476685	0/523315	مشارکت مردمی (24)
10	0/06902	0/40803	0/59197	سواد (%) (25)
12	0/067456	0/398781	0/601219	اشتغال (%) (26)
8	0/091973	0/543722	0/456278	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/km ²) (27)
13	0/040057	0/236804	0/763196	تغییر کاربری اراضی (28)
11	0/067591	0/399583	0/600417	آگاهی از نتایج تخریب (29)
6	0/096362	0/569665	0/430335	تقسیم اراضی به قطعات کوچک (30)

جدول 7- وزن نسبی یا اهمیت شاخص‌های مؤثر در رخداد بیابانزایی منطقه خضراآباد

اولویت	W_j	d_j	E_j	شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی
21	-0/02125	-0/130049	1/130049	میانگین بارش سالانه (mm) (1)
30	-0/11461	-0/70134	1/7013338	میانگین سرعت باد (m/s) (2)
14	0/073646	0/450667	0/549333	شاخص خشکی (P/ET _p) (3)
28	-0/07268	-0/44474	1/444737	بافت خاک (4)
26	-0/06616	-0/40483	1/404827	شوری خاک (EC-mmhos/cm) (5)
29	-0/10388	0/634951-0/63569	1/635689	زهکشی خاک (in/h) (6)
4	0/103761	0/634951	0/365049	عمق خاک (cm) (7)
23	-0/03036	-0/18579	1/185794	شیب (%) (8)
20	-0/00212	-0/01296	1/012958	فرسایش (آب و باد) (9)
24	-0/03177	-0/1944	1/194399	شوری آب (EC- μ mhos/cm) (10)
1	0/127074	0/777609	0/222391	عمق سطح آب زیرزمینی (cm) (11)
19	0/028456	0/174133	0/825867	تراکم پوشش گیاهی (%) (12)
22	-0/02248	-0/13758	1/137582	بوته کنی و قطع اشجار (%) (13)
11	0/087219	0/53372	0/46628	ظرفیت برد مراتع (AU/100 day) (14)
12	0/079076	0/483895	0/516105	فشار دام (ظرفیت مراتع/دام) (15)
7	0/093645	0/573048	0/426952	شخم و آیش (16)
3	0/104904	0/641942	0/358058	روش آبیاری (17)
5	0/097871	0/598904	0/401096	کارایی آبیاری (%) (18)
2	0/108744	0/665441	0/334559	سیستم آبیاری (19)
27	-0/06623	-0/4053	1/405301	کاهش سطح آب زیرزمینی (20)
25	-0/05366	-0/32838	1/328385	رطوبت خاک (21)
6	0/095226	0/582717	0/417283	استفاده از ماشین آلات، مواد شیمیایی و کود آلی (22)
9	0/089896	0/550101	0/449899	الگوی کشت و مدیریت تولید (23)
13	0/077898	0/476685	0/523315	مشارکت مردمی (24)
15	0/066679	0/40803	0/59197	سواد (%) (25)
17	0/065167	0/398781	0/601219	اشتغال (%) (26)
10	0/088853	0/543722	0/456278	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/km ²) (27)
18	0/038698	0/236804	0/763196	تغییر کاربری اراضی (28)
16	0/065298	0/399583	0/600417	آگاهی از نتایج تخریب (29)
8	0/093093	0/569665	0/430335	تقسیم اراضی به قطعات کوچک (30)

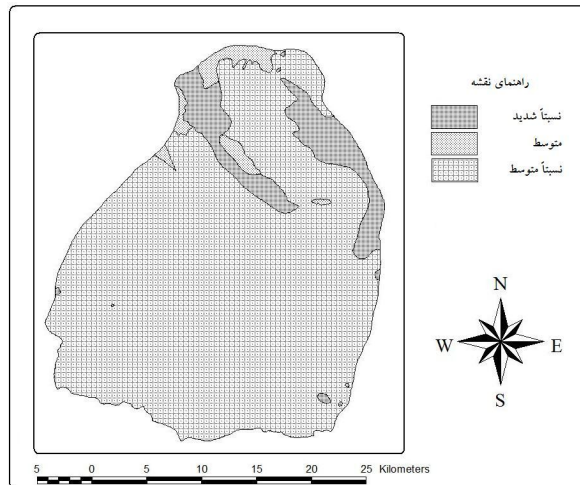
جدول 8- شدت بیابانزایی (D.I) به تفکیک واحدهای کاری در منطقه خضراآباد

کل	انسانی	طبیعی	EVI
			TMUs
0/130935	-0/00889	4/113192	(BMG)
0/082133	-0/02034	3/000808	(MGPC)
0/043972	-0/04602	2/606772	(BPPC)
-0/06281	-0/05637	-0/24607	(BEP)
-0/0154	-0/04505	0/829273	(EPPC)
0/279546	0/453582	-4/67631	(PAG)
-0/04889	0/014595	-1/85648	(CGPC)
-0/17391	-0/07571	-2/97038	(BCG)
-0/10492	-0/07776	-0/87805	(BSD)
0/013945	-0/00922	0/673754	(SDPC)
0/026761	0/017457	0/29178	(IA)
0/616576	0/661855	-0/67218	(MAG)
0/065662	0/067344	0/018008	میانگین

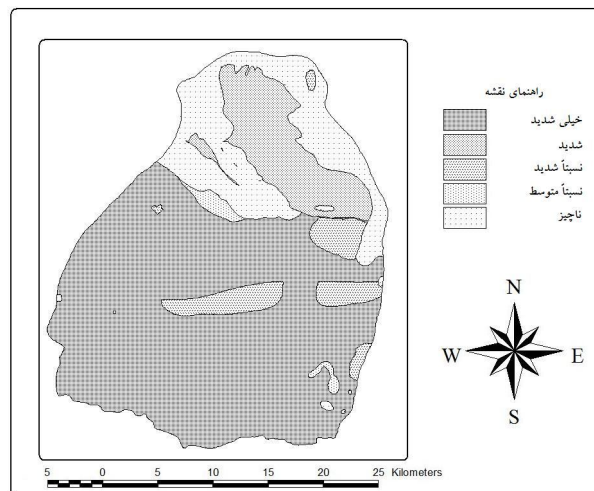
در این جدول: (BMG): واحد کاری اراضی کوهستانی لخت، (MGPC): واحد کاری اراضی کوهستانی با پوشش گیاهی، (MAG): واحد کاری اراضی کشاورزی کوهستانی، (BPPC): واحد کاری دشت سر لخت با پوشش گیاهی، (BEP): واحد کاری دشت سرآپانداژ لخت، (EPPC): واحد کاری دشت سر آپانداژ با پوشش، (IA): واحد کاری نواحی صنعتی، (BSD): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای لخت، (SDPC): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با پوشش، (BCG): واحد کاری اراضی رسی لخت، (CGPC): واحد کاری اراضی رسی با پوشش گیاهی، (PAG): واحد کاری اراضی کشاورزی دشتی، می‌باشند

جدول 9- طبقه بندی شدت بیابانزایی در منطقه خضراآباد و مساحت هر طبقه به تفکیک شدت بیابانزایی ناشی از عوامل انسانی، طبیعی و کل

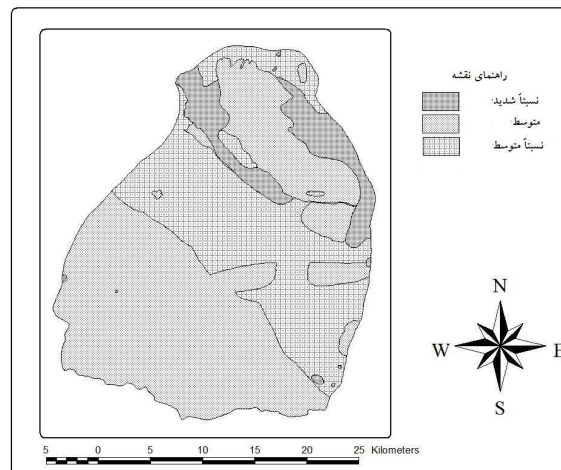
طبقات شدت	شدت بیابانزایی (DI)	کلاس	انسانی		طبیعی		کل	
			مساحت (KM ²)	درصد (%)	مساحت (KM ²)	درصد (%)	مساحت (KM ²)	درصد (%)
ناچیز	$-0/75 \leq D.I$	I	-	-	130/46	16/6	-	-
نسبتاً آرام	$-0/75 < D.I \leq -0/5$	II	-	-	3/38	0/5	-	-
آرام	$-0/5 < D.I \leq -0/25$	III	-	-	-	-	-	-
نسبتاً متوسط	$-0/25 < D.I \leq 0$	IV	689/33	87/83	9/44	1/2	262/76	33/48
متوسط	$0 < D.I \leq 0/25$	V	22/19	2/83	-	-	448/76	57/18
نسبتاً شدید	$0/25 < D.I \leq 0/50$	VI	69/98	8/92	51/2	6/5	69/98	8/92
شدید	$0/5 < D.I \leq 0/75$	VII	3/38	0/43	82/25	11/4	3/38	0/43
خیلی شدید	$D.I > 0/75$	VIII	-	-	501/17	63/8	-	-



شکل 3- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابانزایی منطقه خوزستان بر مبنای شاخص‌های انسانی



شکل 4- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابانزایی منطقه خوزستان بر مبنای شاخص‌های طبیعی



شکل 5- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابانزایی منطقه خوزستان بر مبنای مجموعه شاخص‌ها

نتایج

بر اساس برآوردهای انجام شده از نظر شدت بیابانزایی در واحدهای کاری (جدول 9) به ترتیب نتایج ذیل حاصل شد. از نظر شدت بیابانزایی ناشی از معیارها و شاخص‌های انسانی، واحد اراضی کشاورزی کوهستانی MAG^1 با بیشترین ارزش کمی معادل 0/66 (کلاس شدید یا VII) و اراضی کشاورزی دشتی PAG^2 با ارزش کمی 0/45 (کلاس نسبتاً شدید یا VI) در درجه اول قرار گرفتند و سایر واحدهای کاری در کلاس متوسط (V) و نسبتاً متوسط (IV) از لحاظ شدت بیابانزایی قرار گرفتند.

از شاخص‌های انسانی مهم موثر در آسیب پذیر کردن واحدها در فرایند بیابانزایی می‌توان به، شخم و آیش نامناسب اراضی زراعی (30 تا 50 درصد اراضی به دلایل مختلف به زیر کشت نمی‌رود)، استفاده نامناسب و کم از ماشین‌آلات زراعی، استفاده ناچیز از کودهای آلی حیوانی و کود سبز و مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، روش آبیاری سنتی و نامناسب با راندمان پایین (کمتر از 40 درصد)، افت شدید سفره آب زیر زمینی (45 سانتیمتر در سال) تراکم بالای زیستی جمعیت (مابین 200 الی 550 نفر در کیلومتر مربع)، تغییر نامناسب کاربری اراضی، بیکاری، وسعت ناچیز اراضی کشاورزی (حداکثر 2 الی 3 هکتار) و مشارکت ناچیز مردم بومی در اجرای طرح‌های بیابانزدائی و غیره اشاره کرد.

با ارزیابی معیارها و شاخص‌های طبیعی مؤثر در برآورد شدت بیابانزایی، نتایج حاصله نشان می‌دهد که اراضی کوهستانی بدون پوشش (BMG)، اراضی کوهستانی با پوشش گیاهی (MGPC)، دشت سرلخت با پوشش گیاهی (BPPC) و دشت سرآپانداژ با پوشش گیاهی (EPPC) با حداکثر امتیاز به ترتیب معادل 3/4، 3/11، 2/6 و 0/82 (کلاس خیلی شدید یا VIII) در رتبه اول قرار دارند و در مرحله بعدی واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی (SDPC) با امتیاز 0/67 (کلاس شدید یا VII) و واحد کاری نواحی صنعتی (IA) با امتیاز 0/29 (کلاس نسبتاً شدید یا VI)، قرار گرفتند. و سایر واحدهای کاری در کلاس نسبتاً متوسط (IV)، نسبتاً آرام (II) و ناچیز (I) از لحاظ شدت بیابانزایی قرار دارند.

مهمترین شاخص‌های طبیعی مؤثر در بیابانزایی واحد‌ها عبارتند از: دوره خشکی طولانی به صورتی که بخش عمده‌ای از منطقه فاقد ماه مرطوب می‌باشد، بروز روزهای متعدد توأم با ماسه باد (بیش از 10 روز در سال)، بالا بودن بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش

(39 درصد)، پایین بودن نسبت بارش به تبخیر و تعرق (0/03 الی 0/05)، بارندگی کم (کمتر از 60mm در سال)، بافت خاک متوسط تا ریز و دارای زهکشی نامناسب (0/5 تا 1 اینچ بر ساعت)، وجود لایه‌های محدود کننده گچی و آهکی در عمق خاک، جا به جایی ظاهری تپه‌های ماسه‌ای (بیش از 10 متر در سال)، بالا بودن میزان شوری و کلر آب زیرزمینی (که به ترتیب به 7620 میلی موس بر سانتیمتر و 2350 میلی‌گرم در لیتر می‌رسد)، وضعیت تیپ-های گیاهی مرتعی فقیر با گرایش منفی به دلیل چرای مفرط و فشار دام (3/7 تا 5/1 برابر بیشتر از حد قابل تحمل) و بوته کنی شدید، (40% الی 50% پوشش گیاهی مرتعی بر اثر بوته کنی از بین می‌رود).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی شدت بیابانزایی واحدهای کاری به تفکیک عوامل طبیعی و انسانی، غالب بودن معیارها و شاخص‌های انسانی بر شاخص‌های طبیعی در فرایند بیابانزایی تأیید می‌شود به طوری که متوسط وزنی شاخص‌ها و عوامل انسانی 0/067، و متوسط وزنی عوامل طبیعی 0/018 برآورد گردیده است. در عین حال ارزش کمی شدت بیابانزایی برای کل منطقه از مجموع عوامل 0/065 (کلاس متوسط یا V) بدست آمد.

نتایج حاصل از شدت بیابانزایی بر مبنای مدل آنتروپی شانون با نتایج حاصل از مدل MNT که تنها مدل به انجام رسیده در منطقه در چارچوب مدل‌های MADM می‌باشد (صادقی روش و همکاران 2009)، مورد مقایسه قرار گرفت. به این معنی که در هر دو مدل ارزش کمی پتانسیل شدت بیابانزایی در حد متوسط ارزیابی شد. در عین حال در مدل تاکسونومی شاخص‌های طبیعی مؤثرتر از شاخص‌های انسانی در فرایند بیابانزایی نتیجه شد یا به عبارتی بیابانزایی از نوع طبیعی ارزیابی شد در صورتی که در نتایج حاصل از کاربرد مدل آنتروپی شانون تفاوت معنی‌داری از این جهت به دست نیامد. همچنین به نظر می‌رسد از آنجا که در این روش علاوه بر ارزش هر شاخص در هر یگان مطالعاتی، اولویت شاخص‌ها نسبت به هم در رخدادهای بیابانزایی مورد توجه قرار می‌گیرد. این مدل از نظر دستیابی به نتایج صحیح‌تر، ارجح بر مدل تاکسونومی عددی باشد.

در ادامه تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که از کل منطقه مطالعاتی 338 هکتار (43/0%) در کلاس VII یا شدید، 6998 هکتار (8/92%) در کلاس VI یا نسبتاً شدید، 44876 هکتار (57/18%) در کلاس V یا متوسط و

1. Mountain agricultural grounds

2. Plain agricultural grounds

مناطق را به نحو مطلوب‌تری حفاظت کند. از طرف دیگر به مدیران مناطق بیابانی این امکان را می‌دهد که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص یافته به منظور کنترل روند بیابانزایی را در مناطق دارای حساسیت بیشتر به کار بندند تا ضمن دستیابی به نتایج بهتر، از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند.

26276 هکتار (33/48%) در کلاس IV یا نسبتاً متوسط قرار دارد. (جدول 9 و شکل 5) به طور کلی نتایج حاصل شده می‌تواند در ارزیابی‌های آتی به منظور سرمایه‌گذاری در جهت دستیابی به توسعه پایدار مد نظر قرار گرفته تا علاوه بر تضمین پایدار ارزش افزوده سرمایه گذاری‌ها، اکوسیستم‌های حاشیه‌ای این

فهرست منابع:

1. ابراهیم زاده، ع. و ق. رفیعی. 1388. تحلیلی بر الگوی گسترش کالبدی فضایی شهر مرودشت با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن و ارائه الگوی گسترش مطلوب آتی آن. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره 69، صفحات 123 تا 138.
2. احمدی، ح. 1377. ژنومر فولوژی کاربردی، فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
3. احمدی، ح. 1384. ژنومر فولوژی کاربردی، بیابان و فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
4. احمدی، ح.، زهتابیان، غ. ر.، جعفری، م.، آذرینوند، ح. و فیض نیا، س. 1385. مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی. گروه احیاء مناطق خشک، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
5. اختصاصی، م. ر. و ح. احمدی. 1376. روش تجربی برآورد رسوب فرسایش بادی. مجله منابع طبیعی ایران. شماره 51، صفحات 13 تا 25.
6. اختصاصی، م. ر. و مهاجری، س. 1375. طبقه بندی نوع و شدت بیابانزایی در ایران، دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان زدایی، اول و دوم شهریورماه، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، کرمان.
7. آذر، ع. 1380. بسط و توسعه روش آنتروپی شانون برای پردازش داده‌ها در تحلیل محتوی. فصلنامه علوم انسانی دانشگاه الزهرا (س)، سال یازدهم، شماره 37 و 38. صفحات 1 تا 18
8. آذر، ع. و رجب زاده، ع. 1381. تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM). نشر نگاه، تهران.
9. اصغر پور، م. ج. 1389. تصمیم‌گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
10. حسینی، س. ع.، ویسی، ر. و محمدی، م. 1391. بهینه‌بندی جغرافیایی محدودیت‌های توسعه کالبدی شهر رشت با استفاده از GIS. چهارمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، 21 و 20 اردیبهشت، مشهد مقدس.
11. حکمت‌نیا، ح. و موسوی، م. ن. (1385). کاربرد مدل در جغرافیا با تأکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای، انتشارات علم نوین. یزد.
12. درویش صفت، ع. ا. 1384. سامانه اطلاعات جغرافیایی با کاربرد در منابع طبیعی، [جزوه درسی]، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، کرج.
13. طحاری مهرجردی، م. ح.، بابایی میبیدی، ح. و مروتی شریف آبادی، ع. (1391). رتبه بندی استان‌های کشور جمهوری اسلامی ایران از لحاظ دسترسی به شاخص‌های بخش بهداشت و درمان. مدیریت اطلاعات سلامت. دوره 5، شماره 3، صفحات 356 تا 369.
14. قهرودی تالی، م. (1383). کاربرد Arc Viwe در ژنومر فولوژی. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تربیت معلم، تهران.
15. مقدم، م. ر. (1379). مرتع و مرتعداری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران

16. محامدپور، م. و اصغری زاده، ع. ا. (1387). تلفیق مدل‌های MAUT و MBSC برای ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی پژوهشکده‌های مرکز تحقیقات مخابرات ایران. سومین کنفرانس ملی مدیریت عملکرد، 25 تا 26 اردیبهشت، مرکز همایش‌های علمی جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، تهران.
17. محمدی، ج. و ایزدی، م. (1390). رتبه‌بندی مناطق شهر اصفهان از لحاظ شاخص‌های فرهنگی براساس تصمیم‌گیری چند شاخصه. فصلنامه علمی پژوهشی رفاه اجتماعی، سال دوازدهم، شماره 44، صفحات 175 تا 198.
18. محمدی، ع. و مولایی، ن. (1389). کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری در ارزیابی عملکرد شرکت‌ها. مدیریت صنعتی، دوره 2، شماره 4، صفحات 125 تا 142.
19. مختاری ملک‌آبادی، ر.، اجزاء شکوهی، م. و قاسمی، ی. (1391). تحلیل الگوی گسترش شهر به‌شهر بر اساس مدل‌های کمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای. مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره 8، صفحات 93 تا 112.
20. مقیمی، ا.، باقری سید شکر، س. و صفر راد، طاهر. (1391). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنترپوی (مطالعه موردی: تاق‌دیس نثار زاگرس شمال غربی). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره 79، صفحات 77 تا 90.
21. میرغفوری، س. ح. ا.، طهاری مهرجردی، م. ح. و بابایی، ح. (1389). شناسایی وضعیت توسعه یافتگی و رتبه‌بندی استان‌های کشور از لحاظ دسترسی به شاخص‌های بخش کتابخانه. فصلنامه کتابداری و اطلاع‌رسانی، شماره 3، جلد 13، صفحات 243 تا 271.
22. میرکتولی، ج.، قدمی، م.، مهدیان بهنمیری، م. و محمدی، س. (1390). مطالعه و بررسی روند و گسترش کالبدی - فضایی شهر بابلسر با استفاده از مدل‌های آنترپوی شانون و هلدرن. چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، سال ششم، شماره 16، صفحات 115 تا 133.
23. والمحمدی، چ. و فیروزه، ن. (1389). ارزیابی عملکرد سازمان با استفاده از تکنیک BSC. فصلنامه مدیریت، سال هفتم، شماره 18، صفحات 72 تا 87.
24. Bednarik, M., B. Magulova, M. Matys, and M. Marschalko. 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kral ovany–Liptovsky Mikulas Railway Case Study. *J. Physics and Chemistry of the Earth*, 35(3-5): 162-171.
25. Deka, J., O. P. Tripathi, and M. Latif Khan. 2012. Urban growth trend analysis using Shannon Entropy approach – A case study in North-East India. *J. International journal of geomatics and geosciences*, 2(4): 1062-1068.
26. Eastman, R., W. Jin, P. A. Kyem, and J. Toledano. 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/ Multi-Objective Decisions. *J. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5): 539- 547.
27. European commission, 1999, Mediteranean Desertification and Land use (MEDALUS) MEDALUS office. London.
28. [FAO, UNEP] Food and Agriculture Organization and United Nations Environmental Program. 1984. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification. Rome: FAO. 235 p.
29. Fuhrman, S., M. J. Cunningham, X. Wen, G. Zweiger, J. J. Seilhamer, and R. Somogyi . 2000. The application of Shannon entropy in the identification of putative drug targets, *J. BioSystems*, 55(1-3): 5–14.
30. Greco. M., D. Mirauda, G. Squicciarino, and V. Telesca. 2005. Desertification risk assessment in southern Mediterranean area, *J. Advances in Geosciences*, 2:243-247
31. Hiscock, K. M., A. A. Lovett, J. S. Brainard, and J. P. Parfitt. 1995. Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology, *J. Geological Society*, 28: 179–194.

32. Ibáñez, J.J., S. De-Alba, A. Lobo, and V. Zucarello. 1998. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion), *J. Geoderma*, 83(3-4): 171–192.
33. Janow, R. 2003. Shannon Entropy Applied to Productivity of Organizations, proceeding of the The Engineering Management Conference, November 2-4, New York, USA, pp. 25 – 29
34. Joshi, P. K., N. Lele, and S. P. Agarwal. 2006. Entropy as an indicator of fragmented landscape - Northeast India case study, *J. Current Science*, 91(3): 276-278.
35. Jost, L., P. DeVries, T. Walla, H. Greeney, and A. Chao. 2010. Partitioning diversity for conservation analyses. *J. Diversity and Distributions*, 16(1): 65–76.
36. Marcon, E., B. Héroult, C. Baraloto, and G. Lang. 2012. The decomposition of Shannon's entropy and a confidence interval for beta diversity, *J. Oikos*, 121(4): 516–522.
37. Minasny, B., A. B. McBratney, and A. E. Hartemink. 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base, *J. Geoderma*, 155(3–4): 132–139
38. Mobaraki, O., J. Mohammadi, and A. Zarabi. 2012. Urban Form and Sustainable Development: The Case of Urmia City, *J. Geography and Geology*, 4(2): 1-12.
39. Ogesan, K., T. Jorgensen, F. Albrechtsen, K. J. Tveter, and H. E. Danielsen, 1996. Entropy-based texture analysis of chromatin structure in advanced prostate cancer, *J. Cytometry*, 24(3):268-276.
40. Petersen, A., A. Gröngröft, and G. Miehlich. 2010. Methods to quantify the pedodiversity of 1 km² areas — results from southern African drylands, *J. Geoderma*, 155(3-4): 140–146.
41. Pharwaha, A. P. S, and B. Singh. 2009. Shannon and Non-Shannon measures of entropy for statistical texture feature extraction in digitized mammograms, proceeding of the The World Congress on Computer Science and Engineering, July 13-17, Las Vegas, Nevada, USA, vol. I/II, pp. 1286-1291.
42. Sabet Sarvestani, M., I. Latif, and K. Pavlos. 2011. Three decades of urban growth in the city of Shiraz, Iran: A remote sensing and geographic information systems application, *J. Cities*, 28(4): 320–329
43. Sadeghi Ravesh, M. H., H. Ahmadi, G. R. Zehtabian, and M. Rehayi Khoram. 2009. Development of the Numerical Taxonomy Model to Assess Desertification: An Example of Modeling Intensity in Central Iran, *J. Philipp Agric Scientist*, 92(2): 213- 227.
44. Sepehr, A., A. M. Hassanli, M. R. Ekhtesasi, and J. B. Jamali. 2007. Quantitative assessment of desertification in South of Iran using MEDALUS method, *J. Environmental Monitoring and Assessment*, 134: 243-254.
45. Shannon, C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, 27 (3): 379–423.
46. Soleimani-damaneh, M, and M. Zarepisheh. 2009. Shannons entropy combining the efficiency results of different DEA models: Method and application, *J. Expert System With Applications*, 36(3): 5146-5150.
47. Sudhira, H.S., T.V. Ramachandra, and K. S. Jagadish. 2004. Urban sprawl: metrics, dynamics and modeling using GIS, *J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(1): 29–39.
48. Sun, H., W. Forsythe, and N. Waters. 2007. Modeling Urban Land Use Change and Urban Sprawl: Calgary, Alberta, Canada, *J. Network and Spatial Economics*, 7(4): 353–376.
49. Wang. X. D., X. H. Zhong, S. Z. Liu, Z. Y. Wang, and M. H. Li. 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method, *J. Arid Environment*, 72(10): 1929-1939.