

مدل سازی ارزیابی تخریب زمین و ارائه سیستم هشدار اولیه بیابانزایی

غلامرضا راهداری^۱، اکبر فخره^۲، علی رضا شهریاری^۲، حسن خسروی^۳، *محمدرضا راهداری^۴

^۱ کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری سیستان و بلوچستان، سازمان جنگل ها- مراتع و آبخیزداری

^۲ استادیار، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

^۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک نویسنده مسئول:

hakhosravi@ut.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری بیابانزدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۰

چکیده

تخریب زمین در مناطق خشک به عنوان پدیده ای فیزیکی-زیستی و اقتصادی-اجتماعی شناخته شده است و در نهایت، منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می شود. فرایندهای متعددی باعث ایجاد این پدیده می شود که یکی از آنها بیابانزایی است. در این تحقیق، نخست روند بیابانزایی با استفاده از مدل IMDPA در یک دوره ده ساله در بیابانهای ساحلی جنوب شرق ایران مورد مطالعه قرار گرفت و سپس با تعیین حدود آستانه ای برای هر یک از شاخص های مورد مطالعه، سیستم هشدار اولیه بیابانزایی (D-EWSS) ارائه شد. از نتایج به دست آمده از نقشه های محدوده هشدار در معیار اقلیم، می توان چنین بیان کرد که منطقه مورد مطالعه در یک روند غیرخطی برای عبور از آستانه ها قرار داشته است، به طوری که بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۴ منطقه از حدود آستانه ای عبور کرده و در محدوده هشدار قرار گرفته و بعد از آن روندی صعودی را طی کرده است. باید اشاره کرد که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل معیار آب نیز نشان دهنده این موضوع بود که در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۳ از نظر شاخص سطح نوسانات سفره روندی صعودی را در ابتدا داشته و در طول سال های ۱۳۸۴-۱۳۸۵ روند سطح سفره به طور شگفت انگیزی افزایش یافته، اما در نهایت با توجه به بهبودی بارش در سال ۱۳۸۶، این موضوع از شدت خود کاسته است.

واژه های کلیدی: ارزیابی، تخریب زمین، بیابانزایی، سیستم هشدار اولیه، IMDPA.

مقدمه

تخریب زمین یک فرایند جهانی است که در نهایت منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود (صلواتی^۱، ۲۰۱۱). در مناطق خشک تخریب زمین همراه با پدیده‌های شدید فیزیکی-زیستی و اقتصادی-اجتماعی می‌باشد که ممکن است به پدیده‌های غیر قابل برگشت از جمله تخریب محیط زیست تبدیل شوند (مونتانا^۲، ۲۰۰۷).

هر جامعه دارای خطراتی است که باید با آن به مقابله پرداخت. خطرات می‌توانند در مقیاس‌های زمانی کوتاه، متوسط و بلند طبقه‌بندی شوند و همچنین از پدیده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، انسانی، تکنولوژی، بیولوژیکی و... ناشی شوند. اگر خطرات آهسته مورد توجه قرار نگیرند، سرانجام باعث مشکلات جدی برای محیط زیست و جامعه می‌شوند. مشکلات زیست‌محیطی که مردم در آن‌ها نقش دارند، عبارت‌اند از: فرسایش خاک، تخریب مرتع، جنگل‌زدایی، بیابان‌زایی، آلودگی هوا، تخریب لایه اوزون و گرم‌شدن کره زمین (جوسف^۳ و همکاران، ۲۰۱۰).

باید دانست که حساسیت زمین ایستا نیست و به نظارت دائم نیاز دارد (صلواتی و زیتی^۴، ۲۰۰۹) و برخی از این تغییرات زیست‌محیطی به سیستم هشدار اولیه نیاز دارند. به دلیل اینکه تأثیرات تجمعی تغییرات روی جامعه و محیط زیست در طولانی‌مدت، بیشتر و مخرب‌تر خواهد بود، در نهایت هزینه بیشتری را تحمیل می‌کند. همچنین با توجه به مخاطرات طبیعی و انسانی از قبیل خشکسالی، سیل، جنگل‌زدایی، فرسایش، بیابان‌زایی و... نظارت و پیش‌بینی این اثرات برای کمک به کاهش اثرات مربوط بسیار مهم است و اغلب این سیستم‌ها بر تخریب زمین از طریق تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری و هشدارهای اولیه تأکید دارد.

تعاریف بسیاری از سیستم‌های هشدار اولیه برای هدایت اقدامات افراد، گروه‌ها و دولت‌ها وجود دارد. تعریف رسمی سازمان ملل به این شرح است: «ارائه اطلاعات به‌موقع و مؤثر از طریق نهادهای شناسایی که به افراد در معرض خطر برای جلوگیری، کاهش خطر و آماده‌شدن برای پاسخ فرصت می‌دهد (ای‌اس‌دی‌آر^۵، ۲۰۰۳). بسیاری این اعتقاد را دارند که «EWSs»

یک فرایند اجتماعی برای تولید حداکثر اطلاعات دقیق در مورد حوادث احتمالی در آینده است». یک سیستم هشدار اولیه یک سیستم یکپارچه برای نظارت، جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل، و تفسیر و انتقال داده‌ها که بعد از آن می‌تواند برای تصمیم‌گیری در جهت حفاظت سلامت جامعه و محیط زیست و به حداقل رساندن نگرانی‌ها و ناراحتی‌های جامعه مورد استفاده قرار بگیرد (یواس‌ای‌پی‌ای^۶، ۲۰۰۵).

ساختار و عملکرد یک سیستم هشدار از یک نوع تا نوع دیگر و همچنین از یک سیستم اجتماعی-اقتصادی-سیاسی تا دیگری بسیار متفاوت است. آن‌ها می‌توانند از یک سیستم ساده تا پیچیده که شامل چندین نوع خطر است، تقسیم‌بندی شوند. نکته قابل توجه در اینجا این است که این سیستم‌های هشدار برای نیازهای جامعه و گروه‌های منطقه‌ای که نسبت به نگرانی‌ها در معرض خطرند، مناسب باشد. ویژگی‌های یک EWSs شامل استمرار در عملکرد، هشدارهای به‌موقع، شفافیت، یکپارچگی، انعطاف‌پذیری و غیرسیاسی بودن هستند. موثرترین سیستم‌های هشدار زیر سیستم‌های حوادث شدید، مدیریت اطلاعات خطرناک، پاسخ‌های عمومی و همچنین برقرارکردن ارتباطات بین آن‌ها از طریق آمادگی را یکپارچه‌سازی می‌کند (میلیت^۷، ۱۹۹۹). یک سیستم هشدار ایدئال در شکل ۱ (فاستر^۸، ۱۹۸۰) به تصویر کشیده شده است.

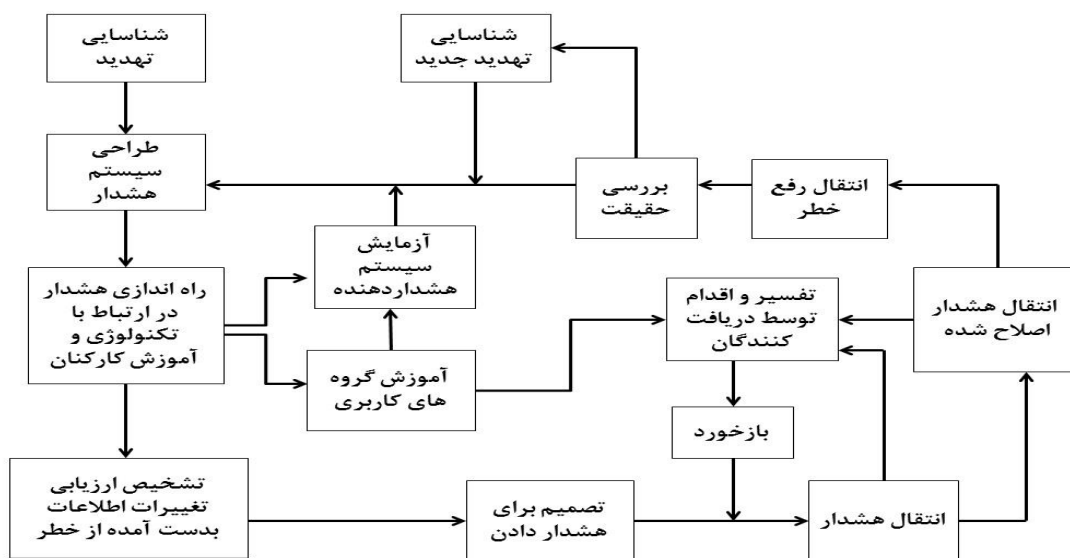
باید اشاره کرد مطالعات اندکی در ارتباط با سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در خارج و داخل کشور انجام شده و اکثر مطالعات در ارتباط با سایر مخاطرات است. تیکسیم^۹ و همکاران (۲۰۱۰) یک سیستم هشدار اولیه را برای کمبود آب بر اساس مدل SD و با استفاده از نرم‌افزار Stella ارائه کردند و در نهایت، از نسبت عرضه و تقاضا برای پیش‌بینی عرضه و تقاضای اجتماعی-اقتصادی آب استفاده شده است و یک شبیه‌سازی برای آن تحت سناریویی از کمبود آب محقق گردید. تیموسی و لتون^{۱۰} (۲۰۱۳) در مطالعه خود یک طبقه‌بندی جدید نسبت به شوک‌های محیطی به‌دست‌آمده از سیستم‌های دینامیکی ارائه کرد و همچنین، سیستم‌های هشدار اولیه را نسبت به شوک‌های زیست محیطی به‌طور خاص در سیستم‌های اقلیمی و اکوسیستمی بررسی کرد. او همچنین سه

6. USEPA
7. Mileti
8. Foster
9. Tiexin
10. Timothy and Lenton

1. Salvati
2. Montanarella
3. Joseph
4. Salvati and Zitti
5. USDR

یک مدل سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در دشت کاشان با استفاده از مدل IMDPA و با نرم‌افزار GIS پرداخت. با توجه به شرایط منطقه، ۸ معیار، ۳۲ شاخص و زیر شاخص مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، برای ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی، اطلاعات معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی (خروجی پایش)، طی یک دوره ۳ ساله (۱۳۸۱-۱۳۸۹)، به‌طور سیستماتیک جمع‌آوری و آنالیز شد و در نهایت، با توجه به معیار و شاخص‌های اثرگذار در بیابان‌زایی، برای هر شاخص آستانه قابل تحمل تعریف شد.

دسته از شوک‌های محیط زیستی را حوادث شدید، نوسانات ناگهانی و نقاط اوج ذکر کرد. مسعودی (۱۳۸۹) به‌منظور ارائه سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در دشت کاشان، به مطالعه روی دو معیار آب و اقلیم پرداخت. وی با استفاده از مدل IMDPA و با نرم‌افزار GIS سیستم هشدار را در قالب دو بُعد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تعریف کرد. پس از ارزیابی بیابان‌زایی به این نتیجه رسید که معیار آب با ارزش عددی ۳/۳۶ بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشت و در کلاس شدید قرار گرفت. خسروی (۱۳۹۱) نیز به‌منظور ارائه



شکل (۱): سیستم هشدار ایدئال (فاستر، ۱۹۸۰)

وارد می‌شود که در مصب ورودی آن، رویشگاه گونه حرا قرار گرفته است. تپه‌های ساحلی با ارتفاعی نزدیک به ۵ متر در امتداد ساحل شکل گرفته‌اند که اکثر این تپه‌ها فعال بوده و تحرک دارند. منطقه مورد مطالعه در تابستان تحت تأثیر رژیم بارش مانسون و در زمستان و پاییز تحت تأثیر رژیم سیستماتیک است که منشأ آن دریای سرخ و مدیترانه است. بیشترین بارش منطقه در فصول پاییز و زمستان است و میانگین بارش منطقه در درازمدت برابر ۹۸/۹۴ میلی‌متر است. متوسط دمای منطقه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. میانگین رطوبت نسبی منطقه ۶۵ درصد به‌دست آمد و میانگین سرعت باد در منطقه ۶ نات و جهت باد غالب نیز جنوب‌غربی و درصد بادهای آرام نیز ۴۰ درصد می‌باشد. در نهایت، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه نیز ۲۱۸۰/۳ میلی‌متر در سال در درازمدت برآورد شده است (راه‌داری، ۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ۲۸۴۰۱۰۷ تا ۲۸۲۸۸۸۶ و عرض ۷۳۳۵۵۸ تا ۷۴۷۶۹۳ در سیستم UTM واقع شده است. این حوزه از شمال و شمال غربی به شهرستان نیک‌شهر، از جنوب غربی به محدوده جاسک استان هرمزگان، از جنوب به دریای عمان و از شرق به محدوده چابهار محدود است و ۷۸۶۴/۵ هکتار وسعت دارد. از نظر سیاسی، منطقه بخشی از مناطق ساحلی شهرستان کنارک است که در فاصله ۱۲۰ کیلومتری آن قرار گرفته است. شغل اصلی مردم این منطقه کشاورزی و صیادی است. مهم‌ترین رودخانه موجود در منطقه، رودخانه رایج است که از ارتفاعات نیک‌شهر سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسافتی طولانی، در این منطقه به دریای عمان

تحقیق، سعی بر آن شد که از دو معیار اقلیم و آب استفاده شود و مهم‌ترین و اثرگذارترین شاخص‌ها برای بررسی آن‌ها انتخاب شوند.

با راه‌اندازی و استقرار سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی، معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی به‌طور سیستماتیک، جمع‌آوری و آنالیز می‌شود و نسبت به آستانه‌ها کنترل می‌شوند تا در صورت بروز هر گونه تخریب احتمالی، هشدار لازم به اطلاع بهره‌بردار و دستگاه مرتبط رسانده شود تا تصمیمات لازم را اتخاذ کرده و از تخریب اراضی جلوگیری کنند (مسعودی، ۱۳۸۹؛ خسروی، ۱۳۹۱؛ راهداری، ۱۳۹۱).

در این تحقیق، بعد از تفکیک منطقه روی نقشه‌های توپوگرافی، ژئومرفولوژی، زمین‌شناسی با بازدیدهای صحرایی حوزه مورد مطالعه کنترل شد و سپس از مدل IMDPA برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی و پایش بیابان‌زایی در طول دوره آماری استفاده و همچنین، برای مشخص شدن روند بیابان‌زایی در این بازه زمانی با استفاده از دو معیار آب و اقلیم بررسی شد. در این مدل، به هر شاخص مطابق نظر کارشناس و شدت تأثیر آن در بیابان‌زایی وزنی بین یک تا چهار داده شد و نحوه وزن‌دهی به‌صورت خطی و نسبت برابر بود، به‌طوری‌که ارزش یک بهترین و ارزش چهار بدترین وزن بوده است (جدول ۱). در نهایت، برای هر شاخص و زیرشاخص (جدول ۲ و جدول ۳) با توجه به وزن‌دهی انجام‌شده آنالیزهای مربوطه انجام شد و برای هر سال، نقشه‌های رستری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در این روش، هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود طبق معادله (۱) و در نهایت، شدت بیابان‌زایی در منطقه طبق معادله مربوط به‌دست آمد.



شکل (۲): منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

بر اساس مفاد کنوانسیون بیابان‌زدایی کشورها ملزم به معرفی معیارهای پایش و ارزیابی و ایجاد سیستم هشدار اولیه‌اند. در این تحقیق سعی می‌شود علی‌رغم تازه بودن موضوع، روند استقرار یک سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی ارائه شود. هدف اصلی از راه‌اندازی این سیستم را می‌توان به‌نوعی، ایجاد آمادگی برای خطر و اتخاذ تصمیمات مقتضی برای کاهش اثرات و اجتناب از مواجهه با خطر دانست. هشدار سریع یکی از عوامل اصلی برای کاهش ریسک سوانح است. در شرایطی که هنوز راه‌اندازی سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی در فاز مطالعاتی/مقدماتی قرار دارد، می‌توان از معیارها و شاخص‌های روش IMDPA (احمدی، ۱۳۸۳) استفاده کرد. معیارها، شاخص‌ها، پایش، ارزیابی و سیستم هشدار اولیه به‌عنوان اجزای لاینفک یک سیستم جامع بیابان‌زایی به‌شمار می‌روند. با توجه به محدوده مورد مطالعه و محدودیت زمان و هزینه در این

$$\text{Index} - X = [(Layer - 1) \cdot (layer - 2) \dots (Layer - n)]^{1/n} \quad (\text{معادله ۱})$$

Index-x: معیارموردنظر، Layer: شاخص‌های هر معیار، n: تعداد شاخص‌های هر معیار.

جدول (۱): توزیع فراوانی کلاس‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی

دامنه ارزش عددی	علامت	طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی
۰/۰۱-۱	۱	غیر قابل ملاحظه
۱/۰۱-۱/۵۰	۲	کم
۱/۵۱-۲/۵	۳	متوسط
۲/۵۱-۳/۵	۴	شدید
۳/۵۱-۴	۵	بسیار شدید

جدول (۲): وزن و کلاس شاخص‌های معیار اقلیم						
شاخص ارزیابی	کلاس بیابان‌زایی	غیر قابل ملاحظه	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
	امتیاز	۰/۱-۱	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
بارش سالیانه (میلی‌متر)	≥ 600	۲۸۰-۶۰۰	۱۵۰-۲۸۰	۷۵-۱۵۰	< ۷۵	
شاخص خشکی ترانسو	> 0.65	۰/۴۵-۰/۶۵	۰/۲-۰/۴۵	۰/۰۵-۰/۲	< ۰/۰۵	
شاخص خشکسالی (کد طبقه)	۷	۵/۶	۴	۲/۳	۱	

جدول (۳): وزن و کلاس شاخص‌های معیار آب						
شاخص ارزیابی	کلاس بیابان‌زایی	غیر قابل ملاحظه	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
	امتیاز	۰/۱-۱	۱/۰۰-۱/۵۰	۱/۵۱-۲/۵۰	۲/۵۱-۳/۵	۳/۵۱-۴
افت (cm/year)	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۵۰	> ۵۰	
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	< ۵۰۰	۵۰۰-۷۵۰	۷۵۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۵۰۰۰	> ۵۰۰۰	
SAR ($\mu\text{mhos/cm}$)	< ۱۵	۱۵-۱۸	۱۸-۲۶	۲۶-۳۲	> ۳۲	

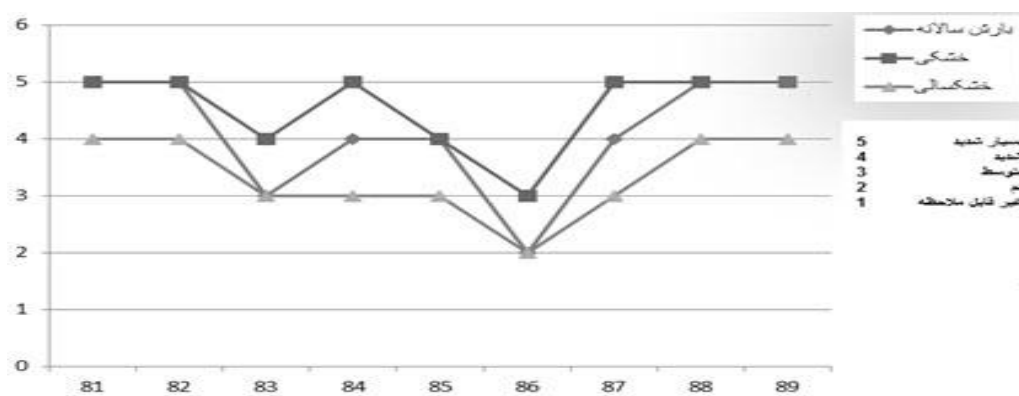
نتایج

طولانی‌مدت بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست آمد و در نهایت، بارش نرمال ($SPI=0$) به‌عنوان حد آستانه شاخص خشکسالی تعیین و مقادیر منفی این شاخص به‌عنوان محدوده هشدار در نظر گرفته شد.

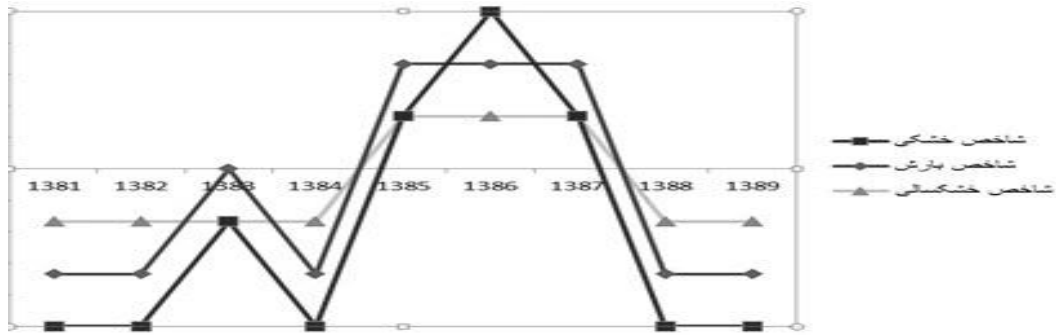
نتایج حاصل از معیار اقلیم که سه شاخص میزان بارش، شاخص خشکی و شاخص خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است، برای مشاهده روند بیابان‌زایی در منطقه در شکل ۳ و برای سال‌های تحت هشدار در شکل ۴ نشان داده شده است که براساس آن، سال‌هایی که در قسمت پایین قرار گرفته‌اند، در محدوده هشدار و سال‌هایی که در قسمت بالا قرار گرفته‌اند، خارج از محدوده هشدارند.

پس از مطالعات انجام‌شده روی اطلاعات به‌دست آمده از منطقه که نخست براساس مدل IMDPA شدت بیابان‌زایی در هر سال، برای هر شاخص و در نهایت برای دو معیار آب و اقلیم به‌دست آمد، در مرحله بعدی برای هر شاخص آستانه‌هایی مشخص شد و براساس آستانه‌ها عبور از مرحله هشدار برای هر شاخص در هر سال تعیین شد.

میانگین طولانی‌مدت میزان بارش منطقه (دوره آماری ۴۵ ساله) به‌عنوان حد آستانه شاخص میزان بارش در نظر گرفته شد و با توجه به اینکه شاخص ترانسو از رابطه کلی $I=P/ETP$ که P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه است، تعیین می‌شود. حد آستانه شاخص خشکی از میانگین



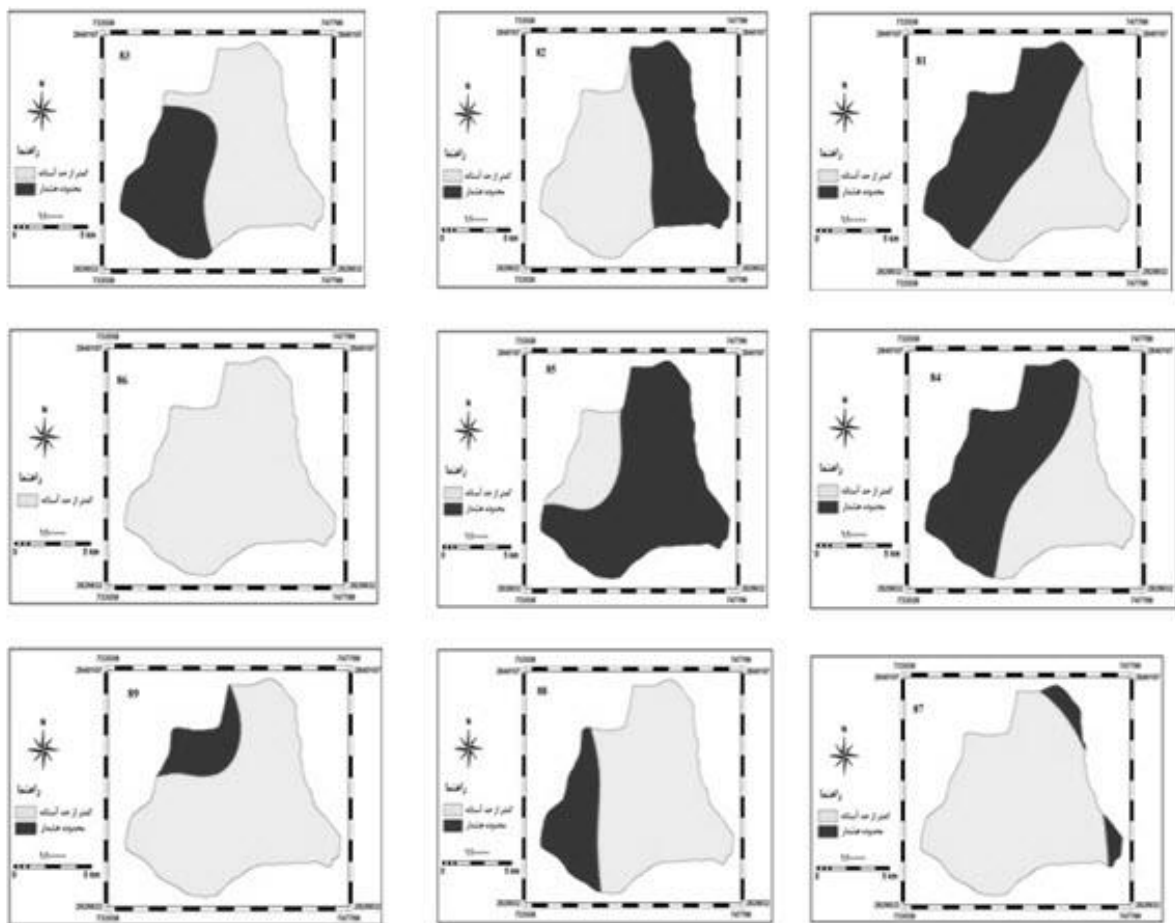
شکل (۳): روند بیابان‌زایی با توجه به معیار اقلیم در دوره مورد مطالعه



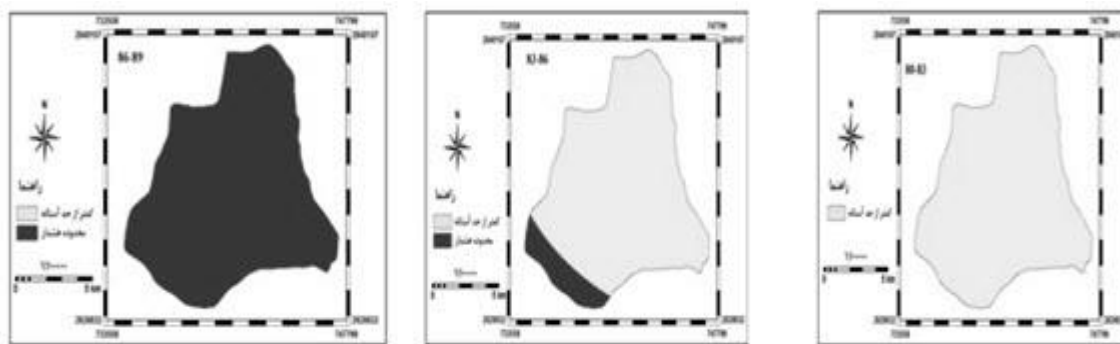
شکل (۴): سال‌های تحت هشدار با توجه با معیار اقلیم در دوره مورد مطالعه

توجه به نظر کارشناسان و تحقیقات قبلی، نسبت جذب سدیم ۱۶ میکروموس بر سانتی‌متر، به‌عنوان حد آستانه شاخص برای SAR تعیین شد. پهنه‌بندی هر یک از این موارد، با توجه به حدود آستانه و ارائه هشدار در شکل ۵ و ۶، به تفکیک سال مربوط و دوره مورد مطالعه آورده شده است.

با توجه به نظر کارشناسان و مطالعات قبلی، میزان افت ۲۰ سانتی‌متر در سال، به‌عنوان حد آستانه شاخص افت سطح سفره زیرزمینی تعیین شد در ضمن با توجه به نمودار شولر (مسعودی، ۱۳۸۹؛ خسروی، ۱۳۹۱؛ راهداری، ۱۳۹۱) هدایت الکتریکی ۲۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر، به‌عنوان حد آستانه شاخص هدایت الکتریکی در نظر گرفته شد و در نهایت، با



شکل (۵): سال‌های تحت هشدار با توجه به شاخص افت سطح آب



شکل (۶): سال‌های تحت هشدار با توجه به شاخص هدایت الکتریکی

هشدار برای دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم محاسبه شده است.

جدول ۵ نتایج حاصل از وسعت محدوده هشدار را در طول دوره مطالعه برای شاخص نوسانات سطح سفره از سال ۱۳۸۱-۱۳۸۹ نشان می‌دهد و در جدول ۶، وسعت محدوده

جدول (۵): وسعت مناطق تحت هشدار از منظر شاخص نوسانات سطح سفره از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹

سال	در حد آستانه یا کمتر		محدوده هشدار	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
۱۳۸۱	۳۵۶۶	۴۵/۳۵	۴۲۹۸/۵	۵۴/۶۵
۱۳۸۲	۴۴۴۴/۵	۵۶/۵۲	۳۴۲۰	۴۳/۴۸
۱۳۸۳	۴۹۱۰	۶۲/۴۳	۲۹۵۴/۵	۳۷/۵۷
۱۳۸۴	۳۴۹۰	۴۴/۳۸	۴۳۷۴/۵	۵۵/۶۲
۱۳۸۵	۱۵۲۸	۱۹/۴۳	۴۳۳۶/۵	۸۰/۵۷
۱۳۸۶	۷۸۶۴/۵	۱۰۰	-	-
۱۳۸۷	۷۴۴۲	۹۴/۶۳	۴۲۲/۵	۵/۳۷
۱۳۸۸	۶۱۲۴/۵	۷۷/۸۷	۱۷۴۰	۲۲/۱۳
۱۳۸۹	۶۸۵۴/۵	۸۷/۱۶	۱۰۱۰	۱۲/۸۴

جدول (۶): وسعت محدوده هشدار برای دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم

دوره آماری (پارامتر)	در حد آستانه یا کمتر		محدوده هشدار	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
۱۳۸۰-۱۳۸۳	۷۸۶۴/۵	۱۰۰	-	-
	SAR			
۱۳۸۳-۱۳۸۶	۷۱۸۹/۵	۹۱/۴۲	۶۷۵	۸/۵۸
	SAR			
۱۳۸۶-۱۳۸۹	-	-	۷۸۶۴/۵	۱۰۰
	EC			
	۷۸۶۴/۵	۱۰۰	-	-
	SAR			

بحث و نتیجه گیری

از نتایج به دست آمده از محدوده هشدار در معیار اقلیم می توان نتیجه گیری کرد که منطقه مورد مطالعه در یک روند غیرخطی برای عبور از آستانه ها قرار داشته است، به طوری که بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۴ منطقه از حدود آستانه ای عبور کرده و در محدوده هشدار قرار گرفته است. بعد از آن یک روند صعودی را طی کرده و این روند صعودی در سال ۱۳۸۶ به حداکثر شرایط ایدئال رسیده است. این موضوع را می توان به بارش بیش از اندازه در منطقه و بهبودی شرایط هیدرولوژیکی حوزه در ارتباط دانست و این روند تا اواسط سال ۱۳۸۷ ادامه داشته و در نهایت، یک روند نزولی دوباره در منطقه مشاهده شده و تا پایان دوره مطالعاتی، این روند برقرار بوده است.

باید اشاره کرد که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل معیار آب نیز نشان دهنده این موضوع بود که در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۸۳ از نظر شاخص سطح نوسانات سفره، نخست روندی صعودی داشته است که این موضوع را می توان به بهبودی شرایط هیدرولوژیکی در این سال ها با توجه به معیار اقلیم نسبت داد، زیرا با افزایش بارش در منطقه سطح آب زیرزمینی نیز افزایش خواهد یافت. در طول سال های ۱۳۸۴-۱۳۸۵ روند افزایش سطح سفره به طور شگفت انگیزی افزایش یافته است. این شرایط را نیز می توان به روند منفی شرایط هیدرولوژیکی نسبت داد، به طوری که در سال ۱۳۸۵ بیشتر از ۸۰٪ منطقه در محدوده هشدار قرار داشته است، اما در نهایت، با توجه به بهبودی بارش در سال ۱۳۸۶ وضعیت آبی منطقه مساعدتر شده و در سال ۱۳۸۷، در حدود ۸٪ در محدوده هشدار بوده ولی در ادامه با توجه به کاهش بارش این برداشت از آب های زیرزمینی محدوده هشدار در سال ۱۳۸۹ به سطح ۱۲٪ در منطقه رسیده است.

تجزیه و تحلیل های انجام شده روی مطالعات کیفیت آب نیز این روند کلی مشاهده شده در منطقه را تأیید می کرد، به طوری که از نظر شاخص هدایت الکتریکی منطقه در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۸۳ در محدوده هشدار قرار نداشته، ولی در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۸۶ فقط در حدود ۸٪ از منطقه در این محدوده هشدار قرار داشته و در نهایت، در طول سال های

۱۳۸۶-۱۳۸۹ دوباره شرایط بهبودی حاصل شده است. اما نکته قابل توجه این بود که منطقه از نظر شاخص نسبت جذب سدیم همواره در شرایط کمتر از آستانه قرار داشته و هیچ گونه هشدار نداده است. این موضوع خود، ارتباط مستقیمی با روند افزایشی برداشت از سطح آب های زیرزمینی و افزایش شوری در محدوده مطالعه شده دارد.

با استناد به مطالعات مسعودی (۱۳۸۹) و خسروی (۱۳۹۱) و این مطالعه می توان نتیجه گرفت با توجه به آمار و اطلاعات موجود در کشور، این ۲ معیار و ۶ شاخص برای پایش و ارائه سیستم هشدار بیابان زایی مناسب است، اما به منظور کافی بودن این شاخص ها باید در سایر مناطق با اقلیم مشابه مورد آزمایش قرار گیرد. در پایان پیشنهاد می شود با توجه به اینکه آستانه ها از محلی به محل دیگر و در طول زمان تغییر می کنند، لازم است هرچند سال یک بار شاخص ها پایش و آستانه آن ها مشخص شوند تا سیستم هشدار واقعی تری ارائه شود. برای پایش، کافی است تنها شاخص هایی محدود که در منطقه اثرگذارترند، تعیین شوند تا هم هزینه ها به صورت منطقی برآورد شوند و هم آماربرداری و هماهنگی بین واحدها و دستگاه ها آسان تر شود. یکی از مراحل ارائه سیستم هشدار اولیه، انتخاب و معرفی دستگاه های لازم برای سنجش آستانه ها در سایت های انتخابی است. پیشنهاد می شود با توجه به ارزش عددی به دست آمده برای شاخص ها در این تحقیق، دستگاه هایی جهت اندازه گیری سه شاخص را که بیشترین تأثیر را در شدت بیابان زایی در این منطقه داشتند، نصب گردد.

در این تحقیق تلاش شد تا اصول راه اندازی سیستم هشدار اولیه بیابان زایی گردآوری و ارائه شود. با توجه به اینکه سیستم هشدار اولیه بیابان زایی مفهومی نوین بوده، لازم است در قالب پروژه های بین المللی کنوانسیون بیابان زدایی برای تقلیل اثرات خشکسالی یا تسهیلات محیط زیست جهانی، راه اندازی این سیستم در چند نقطه کشور آزمون و پس از نهایی شدن به عنوان ابتکاری نوین از جمهوری اسلامی ایران به جامعه جهانی عرضه گردد.

منابع

۱. احمدی، حسن، ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۲. خسروی، حسن، ۱۳۹۱. ارائه مدل پایش و سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه کاشان). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۳. راهداری، غلام‌رضا، ۱۳۹۱. پایش بیابان‌زایی و ارائه سیستم هشدار بر اساس دو فاکتور اقلیم و آب زیرزمینی در منطقه کنارک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.
۴. مسعودی، ریحانه، ۱۳۸۹. سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی براساس دو فاکتور آب و اقلیم (مطالعه موردی: دشت کاشان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
5. Foster, H.D., 1980. Disaster Planning: The Preservation of Life and Property, New York. Springer Verlag. p. 67.
6. ISDR (UN International Strategy for Disaster Reduction), 2003, Terminology: Basic terms of disaster risk reduction. On website at www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng
7. Joseph E. Q., Bernard E., Gilbert L., 2010. Early Warning Systems: A Review, Journal of Terrestrial Observation. Volume 2 Number 2. 22-44
8. Mileti, D., 1999. Disasters by Design: A reassessment of Natural Hazards in the United States, Washington, DC: Joseph Henry Press. 351 pp.
9. Montanarella, L., 2007. Trends in land degradation in Europe. In M. V. Sivakumar, & N. N'diangui (Eds.). Climate and land degradation. Berlin: Springer.
10. Salvati, L., Zitti, M., 2009. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis. Ecological Indicators. (9) 357-363.
11. Salvati, L., Bajocco, S., 2011. Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future. Applied Geography. (31) 223-231.
12. Tiexin C., Yiwang W., Yuefeng, S., 2010. Development and application of tender evaluation decision-making and risk early warning system for water projects based on KDD. Advances in Engineering Software. (48) 58-69
13. Timothy M. Lenton, 2013. What early warning systems are there for environmental shocks?. environment I science & policy. 27 . (6) 0-7 5
14. USEPA, 2005. Technologies and techniques for early warning systems to monitor and evaluate drinking water quality: A state-of-the-art review. USEPA Office of Water Early Warning Systems.