ISSN 2345 - 5012

Available online at: www.waterdevelop.com

IBWRD

International Bulletin of Water Resources & Development

Vol. (III)– No. (03)- S.N. (11)- Winter 2015

4th Article– P. 37-47

TCSN: 40981653

The Study of Desertification Process on the Basis of Annual Groundwater Level Decline: A Case Study of Kashan Aquifer, Iran

Mojtaba Gharaati Jahromi[1], Abbas Ali Vali[2], Seyed Hojjat Mousavi[3], Fatemeh Panahi[4], Hassan Khosravi[5*]

1 M.Sc. Student of Desertification, Department of Engineering Desert Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran (mojtaba_qaraati@yahoo.com)

2 Assistant Professor, Department of Engineering Desert Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran (vali@kashanu.ac.ir)

3 Assistant Professor, Department of Geography and Ecotourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran (hmousavi15@yahoo.com)

4 Assistant Professor, Department of Engineering Desert Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran (alabd_fpanahi@yahoo.com)

5 Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding Author (*hakhosravi@ut.ac.ir*)

Article History	Received: Apr. 05, 2014	Reviewed: Jul. 11, 2014
Revised (1): Jul. 10, 2014 Revised (2): Jul. 25, 2014	Accepted: Aug. 11, 2014	Published: Dec. 16, 2015

Abstract

Desertification is considering as third global challenge after climate change and lack of fresh water. This phenomenon is affected by various factors such as groundwater decline and its salinity. In this study, desertification determined using groundwater decline index and IMDPA model in Kashan aquifer. In this regard, due to the indices of IMPDA was given a score to each work unit and then their desertification intensity was classified on the basis of groundwater decline. Results showed that more than 95% of the study area is ranked in very severe class. Also, the average annual water table decline is 1.75 m in 36 wells in Kashan aquifer during 1990-2010. Furtheremore, the average water table has declined about 35.4 m in Kashan aquifer during 20 years.

Keywords: Groundwater, Desertification, IMDPA, Geometric Average

بررسی روند بیابان‌زایی با تأکید بر افت سالانه سطح ایستابی، مطالعه موردی: آبخوان کاشان

مجتبی قرائتی جهرمی[۱]، عباسعلی ولی[۲]، سید حجت موسوی[۳]، فاطمه پناهی[۴]، حسن خسروی[۵]

[۱] کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان (*mojtaba_qaraati@yahoo.com*)

[۲] استادیار، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان (*vali@kashanu.ac.ir*)

[۳] استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان (*hmousavi15@yahoo.com*)

[۴] استادیار، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان (*alabd_fpanahi@yahoo.com*)

[۵] استادیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، نگارنده رابط (*hakhosravi@yahoo.com*)

تاریخچه انتشار مقاله	تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۶	تاریخ داوری: ۱۳۹۳/۰۴/۰۲
تاریخ اصلاح (۱): ۱۳۹۳/۰۴/۱۹ تاریخ اصلاح (۲): ۱۳۹۳/۰۵/۰۳	تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۰	تاریخ انتشار: ۱۳۹۴/۰۹/۲۵

چکیده

بیابان‌زایی بعد از تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، سومین چالش مهم جهان در قرن ۲۱ محسوب می‌شود. این پدیده متأثر از عوامل زیادی از جمله افت آب زیرزمینی و شور شدن آن است. در این پژوهش با استفاده از شاخص افت آب زیرزمینی و مدل IMDPA، شدت بیابان‌زایی آبخوان کاشان از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ تعیین شد. در این راستا با توجه به شاخص‌های

All rights reserved for IBWRD

مدل IMDPA به هر یک از واحدهای کاری، امتیازی تعلق گرفت و سپس شدت بیابانزایی آن‌ها از نظر افت آب زیرزمینی کلاس‌بندی شد. نتایج نشان داد که بیش از ۹۵٪ از سطح اراضی منطقه در کلاس بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارند. همچنین میانگین افت سالانه آب زیرزمینی در ۳۶ چاه آبخوان کاشان طی دوره مورد مطالعه حدود ۱/۷۵ متر است. علاوه بر این میانگین سطح ایستابی آبخوان کاشان طی ۲۰ سال، ۳۵/۴ متر کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، IMDPA، میانگین هندسی

۱. مقدمه

بر اساس تعریف کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد (۱۹۹۲)[1]، بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (Lonergan, 2005). بر اساس تعریف فائو بیابان‌زایی عبارت است از به هم خوردن تعادل خاک، پوشش گیاهی، هوا و آب در مناطق دارای اقلیم خشک که تداوم این شرایط کاهش یا نابودی کامل توان بیولوژیک اراضی، از بین رفتن شرایط مساعد زندگی و افزایش مناظر ناخوشایند بیابانی را در پی خواهد داشت (FAO-UNEP, 1984). همچنین بیابان‌زایی به عنوان تغییر حاصلخیزی سرزمین‌های بیابانی به وسیله فعالیت‌های انسانی توسط آبرویل (۱۹۴۹) مطرح شد (Herrmann and Hutchinson, 2005). همچنین از دیدگاه هورن (۱۹۶۸) به‌عنوان توسعه تپه‌های ماسه‌ای بی‌آب و علف در مناطق شمالی صحرای بزرگ آفریقا بیان شد (Dregne, 1977) و همچنین به‌عنوان تشدید و گسترش بیابان‌ها مطرح شد (Hare et al., 1977). برای تأکید بر ماهیت استمراری بیابان‌زایی مجمع عمومی سازمان ملل، سال ۲۰۰۶ را به نام "سال بین‌المللی بیابان و بیابان‌زایی" به منظور ارتقای آگاهی‌های عمومی درباره بیابان‌زایی برای کمک به حفاظت از تنوع زیستی در مناطق خشک و همچنین دانش سنتی اعلام کرد (Santini, 2008).

مباحث مزبور توجه به این نکته را ضروری می‌سازند که ۸۵ درصد از اراضی ایران تحت اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و فراخشک قرار دارند (بخشنده مهر و همکاران، ۱۳۹۲). ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافیک از آب و هوای متفاوتی در نواحی مختلف برخوردار است. با این وجود متوسط بارش سالیانه کره زمین حدود ۸۶۰ میلی‌متر است، در حالی که این عدد در کشور ما حدود ۲۵۰ میلی‌متر و حدود یک‌سوم متوسط بارندگی‌های خشکی‌ها و کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کره زمین است (نگارش و همکاران، ۱۳۹۰ و رزاقی، ۱۳۸۶). بر این اساس 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 آن در ایران، بیش از پیش، ضروری می‌نماید. محدودیت منابع آبی، افت سفره‌های زیرزمینی، توسعه شوری آب و خاک و بهره‌برداری بی‌رویه سبب شده است که تخریب منابع آب زیرزمینی همراه با دیگر فرآیندها از اصلی‌ترین عوامل بیابان‌زایی باشند. افزایش جمعیت و نیاز به بهره‌برداری از عرصه‌ها موجب شده است تا تخریب منابع آب پیامدهای ناگواری نظیر کاهش حاصلخیزی خاک، فقر پوشش گیاهی، کاهش استعداد زمین، افزایش آلودگی‌ها و کاربری غلط اراضی را در برداشته باشد که این خود موجب فراهم شدن شرایط بیابانی شدن عرصه می‌شود (ذاکری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های بسیاری در راستای بررسی پدیده بیابان‌زایی صورت پذیرفته است. در این میان سپهر و همکاران (۲۰۰۷) به منظور ارزیابی بیابانزایی با استفاده از مدل MEDALUS[2] اصلاح شده و با تأکید بر آب‌های زیرزمینی، شاخص‌های هدایت الکتریکی، میزان کلر، نسبت سدیم جذبی و سطح ایستابی آب را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی در منطقه فیدویه- گرمشت در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که کیفیت حدود ۳۸ درصد از منطقه در وضعیت متوسط، ۹ درصد در وضعیت بالا و ۵۳

1. United Nation Conference on Environment and Development

2. Mediterian Desertification and Land Use

All rights reserved for IBWRD

درصد در وضعیت نامناسب قرار دارند. این شرایط خود یکی از عوامل اصلی بیابان‌زایی به حساب می‌آیند. طرح جامع کمی‌سازی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار بر روند بیابان‌زایی در زیست بوم‌های طبیعی کشور توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در پروژه‌ای تحت عنوان "تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی" با کمک گروهی از اساتید و محققین کشور در سطح ملی تدوین و در سال ۲۰۰۵ ارائه شد (Shakerian et al., 2011). بر پایه نتایج این طرح، ۹ معیار و ۳۵ شاخص بیابان‌زایی در ایران همراه با روش‌شناسی ارزیابی کمی و کیفی آن‌ها در قالب مدل IMDPA[3] (مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی) ارائه شد (احمدی، ۱۳۸۳).

ناطقی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب، زمین و پوشش به بررسی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی پرداختند و نتیجه گرفتند که معیار آب با گرفتن امتیاز ۳/۱۷ در کلاس بیابان‌زایی "خیلی شدید" طبقه‌بندی می‌شود. نتایج حاصل از تحقیقات رئیسی (۱۳۸۷) و رئیسی و همکاران (۱۳۹۱) که عوامل مؤثر بر شدت بیابان‌زایی (بیابان‌های ساحلی) را با استفاده از مدل IMDPA در منطقه کهیر کنارک مورد مطالعه قرار دادند، نشان داد که از بین معیارهای بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، معیار تخریب خاک بالاترین درصد وزنی را به خود اختصاص داده و با متوسط وزنی ۱/۷۰ در کلاس شدید طبقه‌بندی می‌شوند. پس از آن معیار فرسایش بادی، با متوسط وزنی ۱/۶۳ در رتبه بعدی قرار دارد، اقلیم و پوشش گیاهی نیز به ترتیب در رتبه‌های بعد قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از تحقیقات جعفری‌زاده (۱۳۸۹) که به ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه ملاثانی اهواز پرداخت، نشان داد که معیار پوشش گیاهی با ارزش ۳/۵۲ در کلاس بسیار شدید قرار دارد. معیار کشاورزی با ارزش ۲/۴۲، معیار مسائل اقتصادی- اجتماعی با ارزش ۲/۲۱، معیار اقلیم با ارزش ۲/۰۵، معیار فرسایش با ارزش ۱/۵۵ و معیار تکنولوژی توسعه شهری با ارزش ۱/۸۶ در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار داشتند. همچنین معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی با ارزش ۱/۲۴ در کلاس ناچیز و کم قرار گرفته است. در تحقیقی دیگر ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی و ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۵۱/۰۹ درصد از منطقه از نظر درجه بیابان‌زایی در کلاس متوسط و ۴۵/۰۹ درصد آن در کلاس شدید قرار دارند. معیار پوشش گیاهی با ارزش عددی ۱/۵۱ کمترین تأثیر و معیار فرسایش بادی با ارزش عددی۱/۶۷ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارد.

حدود ۲/۴ درصد از مجموع بیابان‌های جهان در کشور ایران قرار دارند که در ۱۷ استان از جمله اصفهان پراکنده‌اند. با علم به این امر، در پژوهش حاضر سعی شده است با وجود جدید بودن موضوع، روند بیابان‌زایی دشت کاشان با تأکید بر نوسانات سطح سفره آب زیرزمینی با توجه به روش IMDPA طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۰) بررسی شود و وضعیت فعلی و گذشته مناطق حساس به بیابان‌زایی در این دشت ارزیابی و نقشه وضعیت فعلی و گذشته این پدیده تهیه شود.

۲. منطقه مورد مطالعه

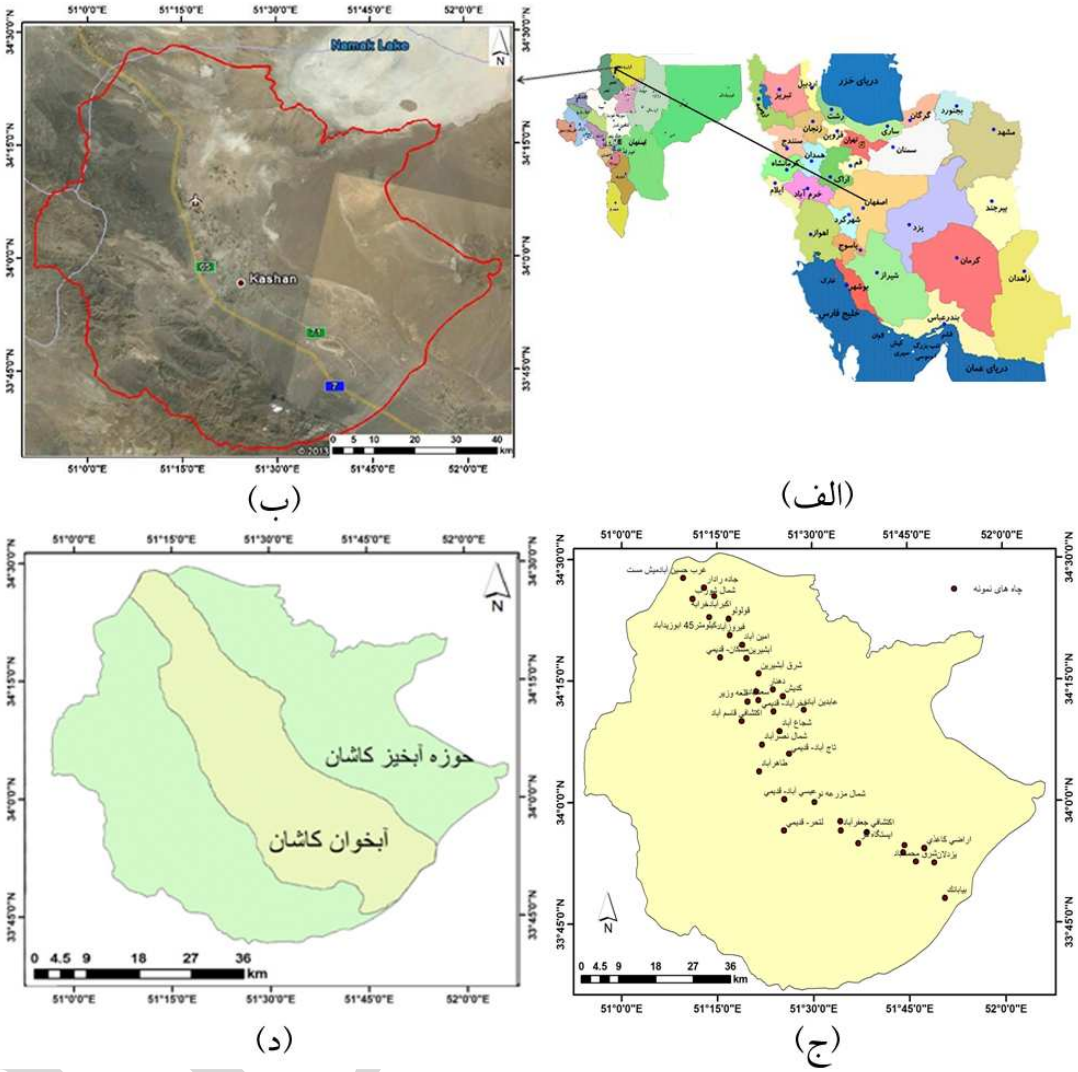
منطقه مورد مطالعه، آبخوان کاشان در استان اصفهان واقع در موقعیت '۵۰°۴۵ تا '۵۲°۱۵ طول جغرافیایی و '۳۳°۳۰ تا '۳۴°۳۰ عرض جغرافیایی است. این محدوده وسعتی معادل با ۱۸۴۹/۴ کیلومتر مربع از شهرستان‌های کاشان و آران بیدگل را پوشش می‌دهد (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴).

بلندترین نقاط مرتفع در منطقه ارتفاعی حدود ۱۱۸۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که در قسمت جنوبی منطقه واقع است. پست‌ترین منطقه ۷۹۴ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که قسمت میانی و شمالی منطقه را شامل می‌شود. اکثر شیب منطقه مورد مطالعه متمایل به شمال و شرق و حد

1. Iranian Model of Desertification Potential Assessment

 All rights reserved for IBWRD

واسط بین این دو یعنی شمال شرق است. متوسط ارتفاع منطقه ۹۹۰ متر از سطح دریا است. حوضه مورد مطالعه دارای شیب بسیار کم و مسطح است، به طوری که حدود ۹۰٪ از منطقه شیبی کمتر از ۲٪ دارد. حداکثر شیب منطقه نیز ۱۶٪ است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کاشان در ایران و استان اصفهان. ب. تصویر هوایی حوزه آبخیز کاشان. ج. چاه‌های پیزومتری حوزه آبخیز کاشان. د. موقعیت آبخوان کاشان در حوزه آبخیز کاشان.

۳. روش تحقیق

در پژوهش حاضر برای ارزیابی و تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی از جنبه معیار آب زیرزمینی از مدل IMDPA استفاده شد. در روش IMDPA برای رسیدن به نقشه شدت بیابان‌زایی مناطق با توجه به شرایط منطقه مورد بررسی، معیارهایی تعریف شده است که هر یک دارای شاخص‌هایی هستند. شناخت معیارها و شاخص‌ها به منظور ارائه یک مدل برای نشان دادن شدت بیابان‌زایی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن برای جلوگیری از گسترش فاکتورهای بیابان‌زایی ضرورت دارد (احمدی، ۱۳۸۳). به طور کلی در مدل IMDPA نه معیار کلیدی به عنوان عوامل اصلی و کلیدی بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. کلاس‌های هر یک از شاخص‌ها و نیز نقشه نهایی بیابان‌زایی در چهار کلاس "خطرکم" (ناچیز)، "خطر متوسط"، "خطر شدید" و "خیلی شدید" طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱). به این صورت که به هر لایه بر اساس تأثیر آن بر بیابان‌زایی با توجه به بررسی منابع و استناد به کار محققین و با توجه به شرایط منطقه، وزنی بین ۱ تا ۴ داده می‌شود، به طوری که عدد یک بیشترین ارزش و عدد چهار کمترین ارزش را داده است.

All rights reserved for IBWRD

جدول ۱. تعیین امتیاز شاخص‌های معیار آب در مدل IMDPA.

شاخص ارزیابی	کلاس بیابان‌زایی	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
	امتیاز	۱/۰۰–۱/۵۰	۱/۵۱–۲/۵۰	۲/۵۱–۳/۵	۳/۵۱–۴
افت سالانه آب زیرزمینی (cm)		<۲۰	۲۰–۳۰	۳۰–۵۰	>۵۰

۳. ۱. وضعیت عمق ایستابی سفره آب زیرزمینی

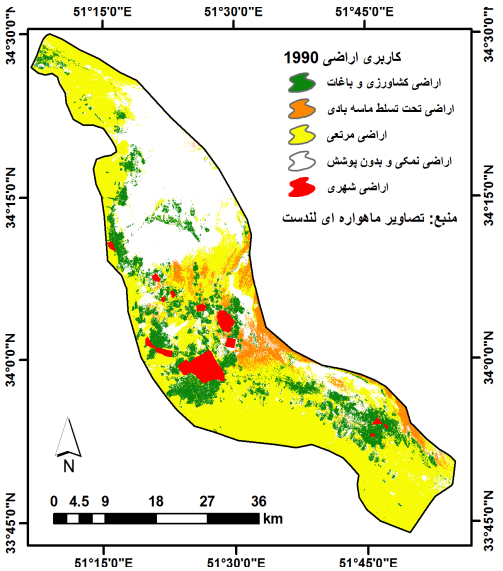
در این پژوهش آمار ۲۰ ساله چاه‌های پیزومتری به دو دوره ۱۰ ساله دوره‌بندی شده و نقشه‌های پهنه‌بندی و کلاس‌بندی برای هر دوره تهیه و با هم مقایسه شده است. در نهایت برای جمع‌بندی و تلفیق کلی نقشه‌ها و رسیدن به نقشه نهایی با توجه به وزن‌دهی (امتیازدهی) انجام شده در هر پیکسل از نقشه، میانگین هندسی طبق الگوریتم معادله زیر صورت گرفت.

$$IMPDA = [\prod_{i=1}^{2} Q_i]^{\frac{1}{2}} = \sqrt[2]{Q_1 \times Q_2} \quad (۱)$$

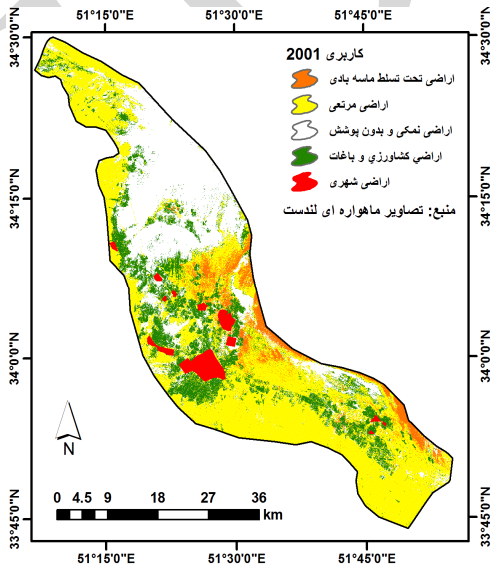
که در آن، Q_1 امتیاز افت آب زیرزمینی در دوره اول و Q_2 امتیاز افت آب زیرزمینی در دوره دوم است.

٤. یافته‌ها و بحث

تشخیص به موقع و دقیق تغییرات عوارض سطح زمین، پایه و اساسی را برای درک بهتر روابط و تعاملات بین پدیده‌های انسانی و طبیعی به منظور مدیریت بهتر و استفاده بهینه از منابع فراهم می‌آورد. با پایش تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمانی می‌توان به روند مسائل محیطی نظیر تخریب اراضی، کاهش توان اکوسیستم و بیابان‌زایی پی برد. بررسی نتایج کاربری اراضی در ۲۰ سال گذشته نیز نشان می‌دهد که در آبخوان کاشان میزان اراضی شهری، به صورت کاملاً خطی در کل بازه زمانی مطالعاتی حدود ۲ برابر افزایش یافته، همچنین اراضی مرتعی در ۱۰ سال اول ثابت مانده و در ۱۰ سال دوم کمی کاهش یافته است. از طرفی اراضی تحت تسلط ماسه‌های بادی در ۱۰ سال اول کمی کاهش و در ۱۰ سال دوم افزایش پیدا کرده است. اراضی کشاورزی و باغات نیز در ۱۰ سال اول کمی افزایش و در ۱۰ سال دوم با شیب بیشتری افزایش یافته است. در نهایت اراضی شور و بدون پوشش گیاهی در ۱۰ سال اول کمی کاهش و در ۱۰ سال دوم کمی افزایش یافته‌اند. نتیجه نهایی این مطالب، استفاده نامناسب از اراضی به منظور توسعه فعالیت‌های انسانی از قبیل شهرسازی و کشاورزی را نشان می‌دهد و این امر نیز رخداد مسائل زیست محیطی نظیر تخریب اراضی و بیابان‌زایی انسانی را تشدید می‌کند (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸).

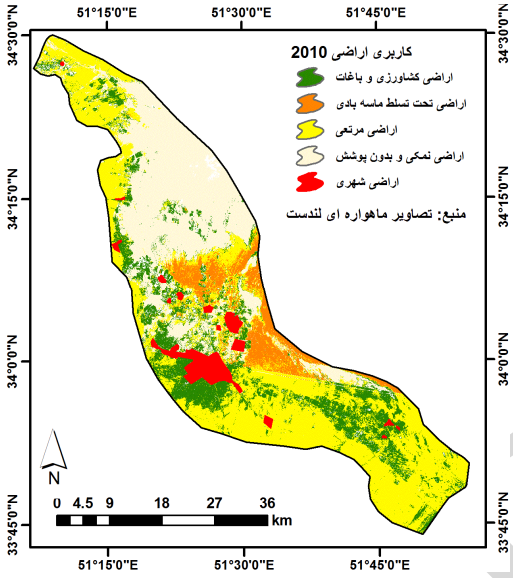


شکل ۵. نقشه کلاس‌بندی کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰.

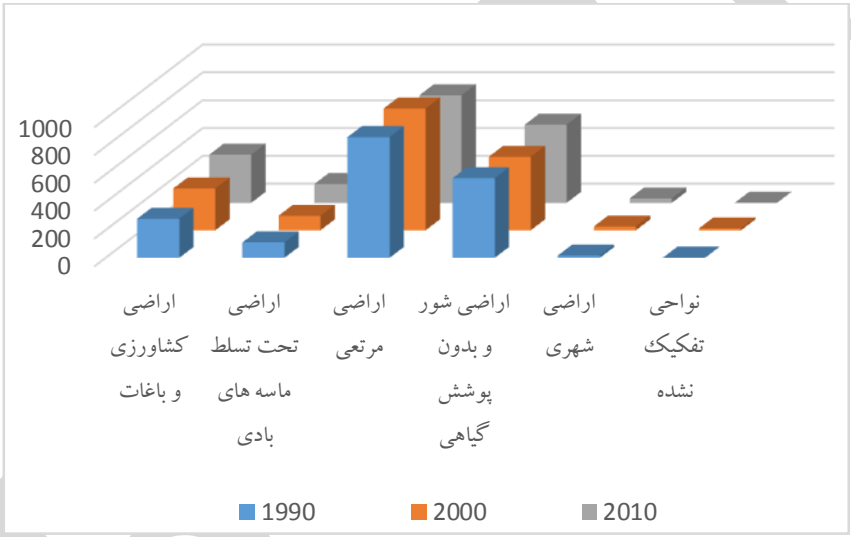


شکل ۶. نقشه کلاس‌بندی کاربری اراضی در سال ۲۰۰۰.

All rights reserved for IBWRD



شکل ۷. نقشه پنج‌گانه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۰.



شکل ۸. نتایج مساحی‌سنجی کاربری‌های منطقه مورد مطالعه (۲۰۱۰-۱۹۹۰).

شکل (۹) نشان می‌دهد که طی ۲۰ سال گذشته سطح سفره دشت کاشان به طور متوسط سالانه ۱/۷۵ متر افت داشته است. همان گونه که از نمودار میله‌ای شکل (۱۰) نشان می دهد، میانگین بیشترین افت چاه‌ها در طول ۲۰ سال گذشته در سال ۱۹۹۲ رخ داده است، به طوری که افت سالانه آب زیرزمینی به ۳/۵ متر می‌رسد. پس از آن افت سالانه چاه‌ها بسیار کاهش پیدا کرده است، به طوری که در سال ۱۹۹۴ افت سالانه آب به حدود ۰/۵ متر می‌رسد. از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ دوباره افت آب افزایش پیدا می کند و به حدود ۱/۵ متر در سال می‌رسد.

همان‌طور که در شکل‌های (۱۱) تا (۱۵) مشاهده می‌شود که شرایط آبخوان کاشان از نظر شدت بیابان‌زایی با در نظر گرفتن افت سالانه سطح سفره در تمامی نقاط یکسان نیست و بسته به توپوگرافی، میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی، بافت آبخانه و ضخامت آبرفت از منطقه ای به منطقه دیگر تفاوت است. به طور کلی نوسانات سطح آب در قسمت جنوب و مرکز حوضه به علت برداشت از چاه‌های عمیق و وضعیت آبخوان بحرانی‌تر بیشتر از بخش شمالی منطقه است. در قسمت شمال و شمال شرقی با نزدیک شدن به کویر، میزان افت سالانه کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در نقشه پهنه بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی (متر) در سال ۱۹۹۰ مشاهده می‌شود، کمترین میزان افت آب ۱/۷ متر و بیشترین افت آب سالانه ۹/۵ متر است

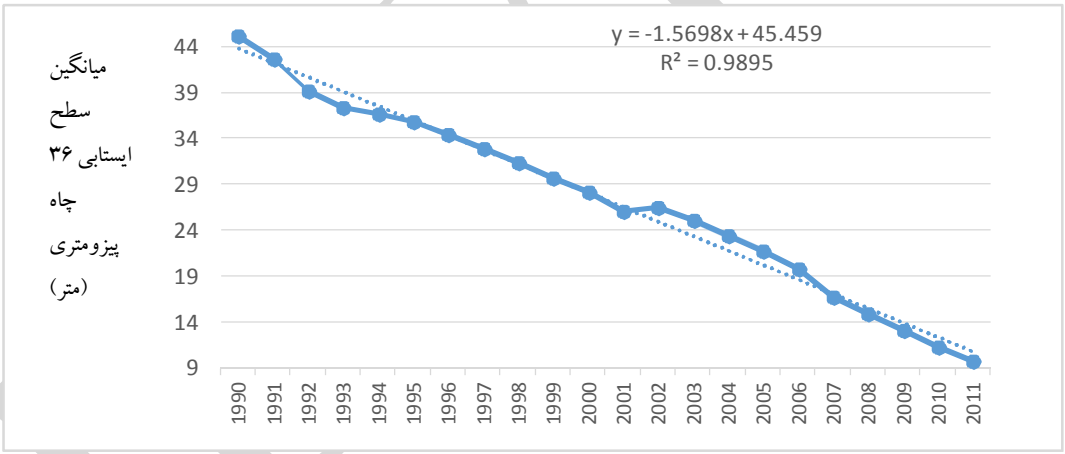
All rights reserved for IBWRD

(شـکـل ۱۷). همچنین میـانگین وزنی افـت سـالانـه آب کل آبخوان کاشـان در سال ۱۹۹۰ برابر با ۳/۵۲ متر است. علاوه بر این الگوی تغییر افـت آب در فواصـل بسـیـار اندک تفاوت چشـمگیری نشـان می‌دهد، به طوری که افت سالانه تعدادی از چاه‌ها در سـال ۱۹۹۰ به ۷ متر هم رسـیده، حال آنکه در همان سال در چاه‌های دیگر سطح آب یک متر بالا آمده است.

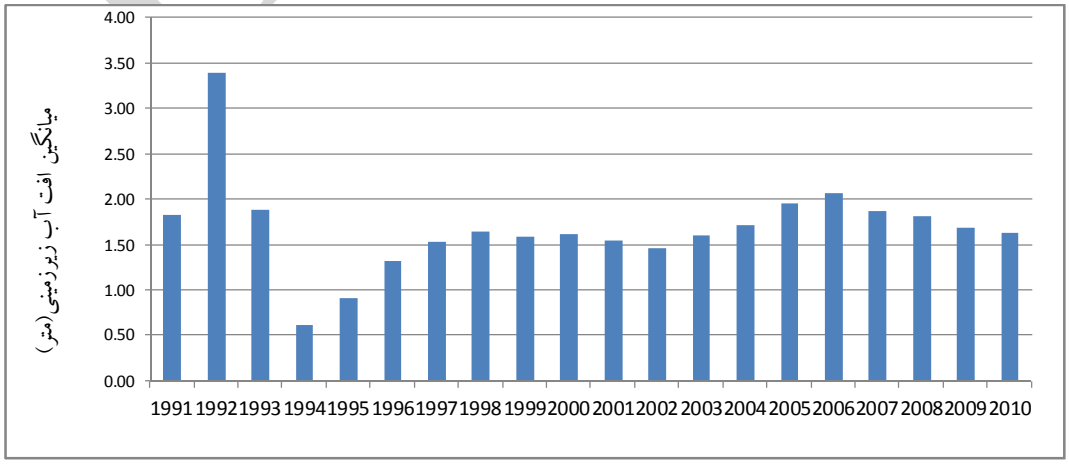
با توجه به نقشـه پهنه‌بندی میانگین شـاخص افت سـالانه آب زیرزمینی (متر) از سـال ۱۹۹۱ تـا ۲۰۰۰، الگوی میـانگین افت سـالانـه آب زیرزمینی حتی در فواصـل بسـیـار اندک تغییر می‌کند؛ اما شـدت اختلاف افت سـالانه مانند دوره سـال ۱۹۹۰ فاحش نیسـت، به طوری که کمترین میزان افت سالانه ۰/۱ متر و بیشـترین افت سالانه ۳ متر است (شکل ۱۸). در حالی که در سـال ۱۹۹۰ اختلاف کمترین و بیشـترین افت سالانه بیش از ۱۰ متر اسـت. همچنین میانگین وزنی افت سالانه آب زیرزمینی در این ۱۰سال برابر با ۱/۵۸ متر است.

نقشـه پهنه‌بندی شـاخص میانگین افت سـالانه آب زیرزمینی (متر) از سـال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که میانگین افت آب در این دوره نسـبت به دوره قبل ملایم‌تر و دارای شـدت کمتر اسـت (شـکـل ۱۹). به نحوی که اختلاف بیشـترین و کمترین افت سـالانه آب زیرزمینی ۲/۵ متر اسـت. همچنین میانگین وزنی افت سـالانه آب در این دوره طبق نقشه برابر با ۱/۸۱ متر است که نسبت به دوره قبل افزایش افت را نشان می‌دهد.

نتایج به دسـت آمده از کلاس‌بندی شـاخص سـالانه افت آب زیرزمینی نشـان می دهد که ۹۵٪ از آبخوان در کلاس "خیلی شدید" بیابان‌زایی قرار دارد و این مهم می تواند عمق بحران در اسـتفاده بی‌رویه و مدیریت اشـتباه مسـؤولین در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی کاشـان را بازگو کند (شـکل‌های ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳).

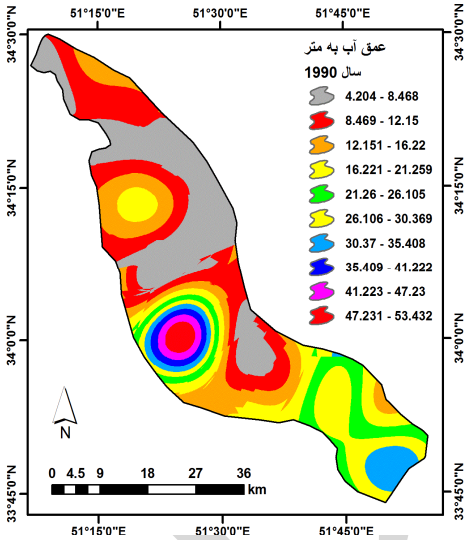


شکل ۹. نمودار میانگین سطح ایستابی ۳۶ چاه پیزومتری آب زیرزمینی (متر) آبخوان کاشان (۲۰۱۰-۱۹۹۰).

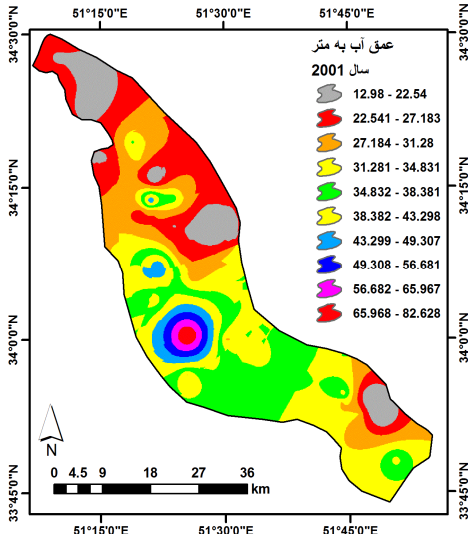


شکل ۱۰. نمودار میله‌ای شاخص میانگین افت سالانه سطح ایستابی آب زیرزمینی (متر) (۲۰۱۰-۱۹۹۱).

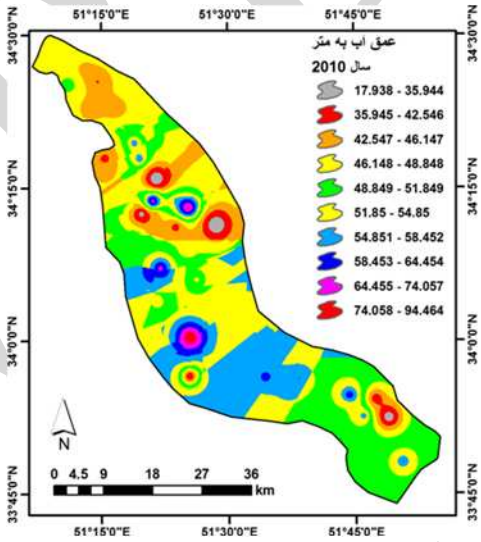
All rights reserved for IBWRD



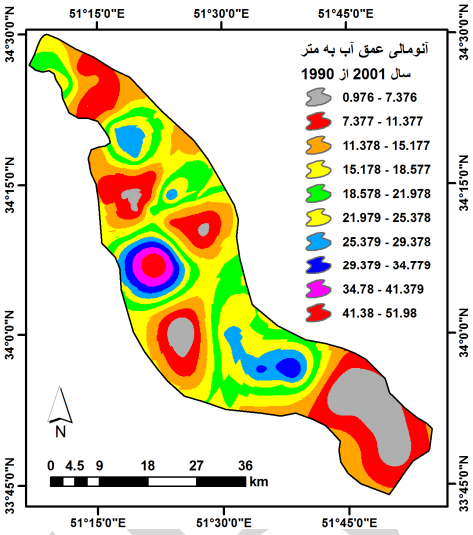
شکل ۱۱. سطح ایستابی آبخوان کاشان در سال ۱۹۹۰.



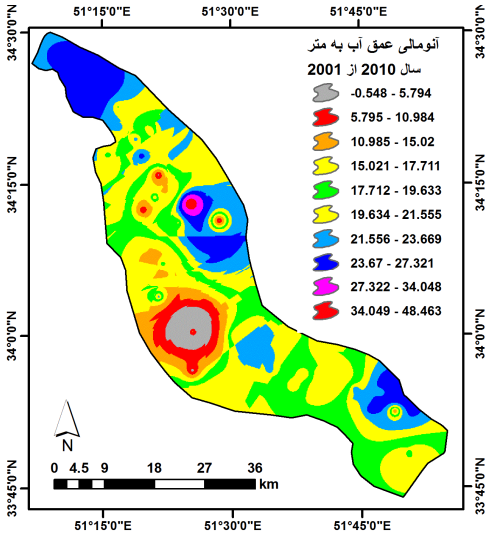
شکل ۱۲. سطح ایستابی آبخوان کاشان در سال ۲۰۰۱.



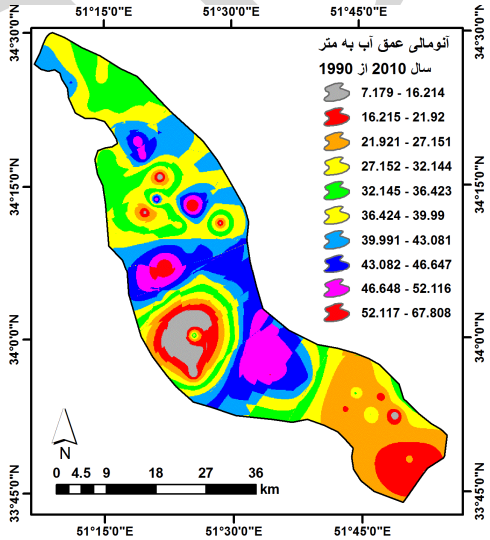
شکل ۱۳. سطح ایستابی آبخوان کاشان در سال ۲۰۱۰.



شکل ۱۴. تغییرات سطح ایستابی آبخوان کاشان (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰).

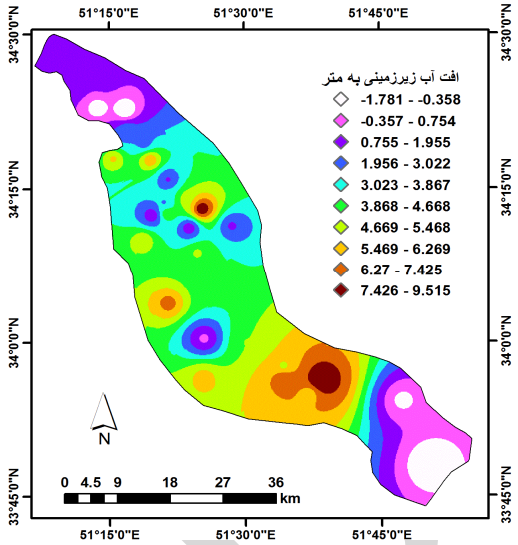


شکل ۱۵. تغییرات سطح ایستابی آبخوان کاشان (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰).

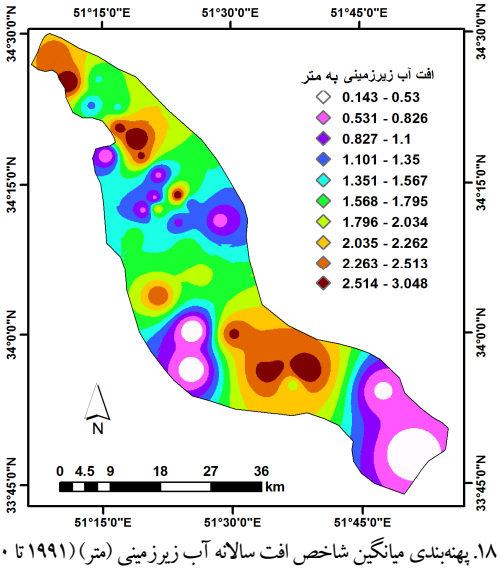


شکل ۱۶. تغییرات سطح ایستابی آبخوان کاشان (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰).

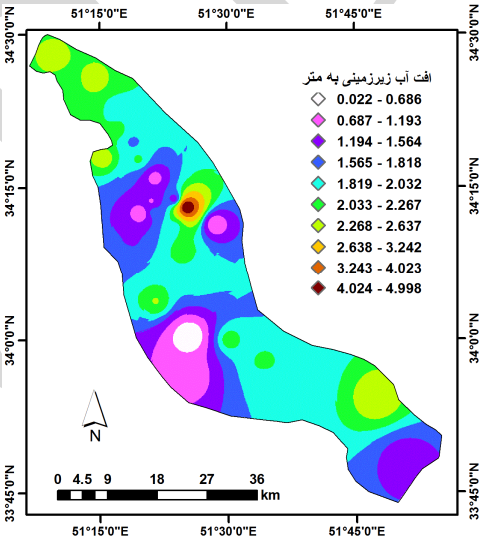
All rights reserved for IBWRD



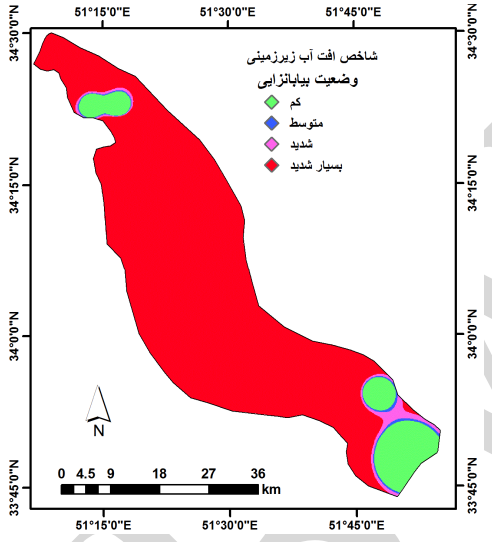
شکل ۱۷. پهنه‌بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی (متر) در سال ۱۹۹۰.



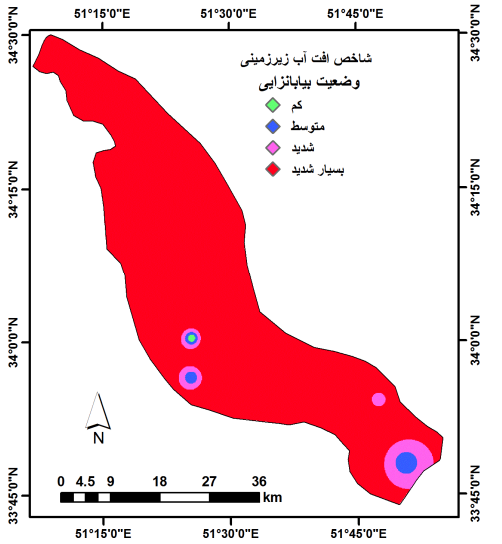
شکل ۱۸. پهنه‌بندی میانگین شاخص افت سالانه آب زیرزمینی (متر) (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰).



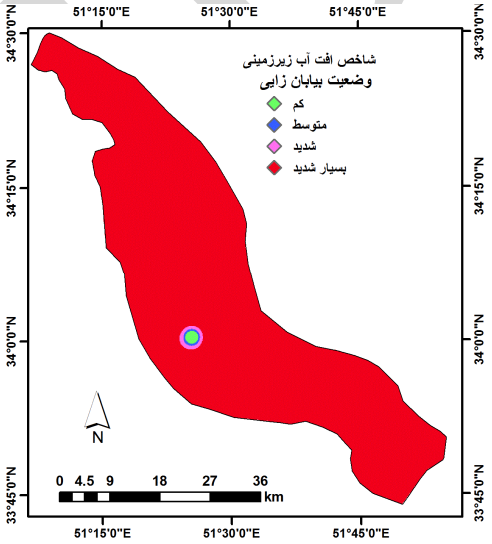
شکل ۱۹. پهنه‌بندی شاخص میانگین افت سالانه آب زیرزمینی (متر) (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰).



شکل ۲۰. کلاس‌بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی در سال ۱۹۹۰.

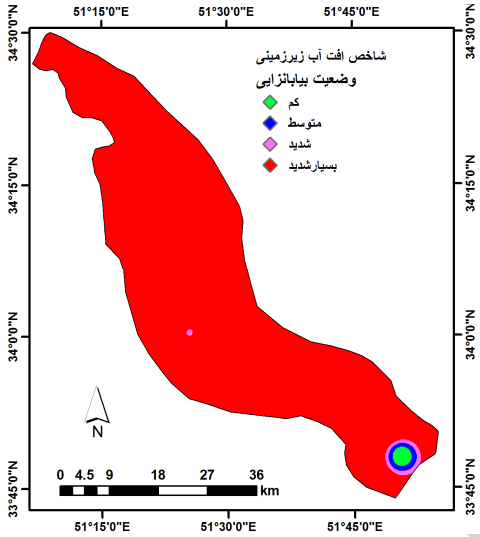


شکل ۲۱. کلاس‌بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۱تا ۲۰۰۰.



شکل ۲۲. کلاس‌بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰.

All rights reserved for IBWRD



شکل ۲۳. کلاس‌بندی شاخص افت سالانه آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰.

۵. نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه با وجود ممنوعیت حفاری و بهره‌برداری جدید، طی سال‌های اخیر به علت حفاری چاه‌ها، اکثر قنوات خشک شده‌اند و کیفیت آب چاه‌ها به دلیل پیشروی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین کاهش یافته است. در حال حاضر در منطقه ۸۵۳ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق بهره‌برداری وجود دارد که از این تعداد ۶۵۹ حلقه فعال هستند. لازم به ذکر است ساعات کارکرد چاه‌ها در سال در منطقه مورد مطالعه به علت گستردگی زمین‌های زراعی تحت آبیاری، گرم بودن هوا و مشاع بودن چاه‌ها اغلب ۲۴ ساعته است. این چاه‌ها بیشتر مدت سال را نیز در حال استفاده هستند، به طوری که طبق آمار آب منطقه‌ای در سال ۱۳۸۹ این چاه‌ها اغلب کارکردی بیش از ۶۷۰۰ ساعت در سال داشته‌اند. بر اثر این عمل همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، افت شدید آب ایجاد می‌شود که خود سبب تغییر شیب هیدرولیکی و حرکت آب‌های جانبی و حتی پایین‌دست به سمت آبخوان کاشان می‌شود. همچنین بر اثر استفاده بی‌رویه از آب شیرین و پمپاژ طولانی چاه‌ها، لایه آب شیرین به لایه آب شور رسیده است و بر اثر استفاده مجدد باعث شور شدن زیاد آبخوان و زمین‌های مورد استفاده می‌شود. از موارد دیگری که در منطقه به وفور دیده می‌شود کف شکنی چاه‌ها است تا بدین شیوه به آب بیشتر دست یابند. حال آنکه این عمل باعث تخریب بیشتر اراضی نیز می‌شود (خسروی، ۱۳۹۱).

با توجه به نقشه نهایی شدت تخریب منابع آب زیرزمینی، آبخوان کاشان در بیش از ۹۵٪ مناطق در کلاس بسیار شدید قرار دارد. این امر توجه هر چه بیشتر مسؤولان امر را می‌طلبد تا با اقدامات مناسب از توسعه هرچه بیشتر بیابان در منطقه جلوگیری شود.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود تا با کاربرد مدل IMPDA در مناطق مختلف و شرایط اقلیمی متفاوت بر حسب اهمیت و گستره اثر شاخص‌ها، ضریبی در خور توجه برای شاخص افت سالانه آب زیرزمینی در نواحی مختلف کشور به دست آید. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور آمایش سرزمین (برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه) از نقشه تهیه شده در این پژوهش استفاده شود.

منابع

احمدی، ح. (۱۳۸۳) *گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران*. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۶۸ ص.

بخشنده مهر، ل. سلطانی، س. و سپهر، ع. (۱۳۹۲) ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زدایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان. *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۶(۱)، ۲۷–۴۱.

All rights reserved for IBWRD

جعفری زاده، م. (۱۳۸۹) *ارزیابی شدت بیابان زایی با استفاده از مدل IMDPA(مطالعه موردی: منطقه ملاثانی اهواز)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

خسروی، ح. (۱۳۹۱) *ارائه مدل پایش و سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی (مطالعه موردی دشت کاشان)*. رساله دکتری، رشته بیابان‌زدایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

ذاکری‌نژاد، ر.، مسعودی، م.، سید فلاح شمسی، ر. و سید افضلی، ف. (۱۳۹۱) ارزیابی شدت بیابان زایی با معیار آب زیرزمینی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی زرین دشت فارس. *فصلنامه علمی پژوهشی انجمن آبیاری و آب ایران*، ۲(۷)، ۳-۹.

ذوالفقاری، ف.، شهریاری، ع.، فخیره، ا.، راشکی، ع.، نوری، س. و خسروی،ح. (۱۳۹۰) ارزیابی شدت بیابان زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA. *فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری*، ۲۴(۲)، ۹۷-۱۰۷.

رئیسی، ع.غ.، زهتابیان، غ. ر.، احمدی، ح.، خسروی، ح. و دستورانی، م. (۱۳۹۱) ارزیابی وضعیت فعلی بیابان در مناطق بیابان ساحلی با استفاده از معیارهای بیوفیزیک مدل IMDPA (بررسی موردی: منطقه کهیر کنارک- چابهار)، پژوهش و سازندگی، ۹۷(۴)، ۴۳-۵۱.

رئیسی، ع. ا. (۱۳۸۷) *بررسی عوامل مؤثر در شدت بیابان‌زایی (بیابان‌های ساحلی) با استفاده از مدل IMDPA(مطالعه موردی: کهیر کنارک)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

رزاقی، م. ح. (۱۳۸۶) بیابان زایی تغییر اقلیم یک روح در دو بدن. جنگل و مرتع، ۷۴(۱)، ۴-۶.

سپهر، ع. (۱۳۸۵) ارزیابی کمی وضعیت بیابانزایی با استفاده از GIS و RS برای ارائه یک مدل منطقه ای (با تأکید بر مدل مدالوس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

ناطقی، س.، زهتابیان، غ. ر. و احمدی، ح. (۱۳۸۸)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی با بهره گیری از مدل IMDPA. *نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۲(۳)، ۴۱۹-۴۳۰.

نگارش، ح.، فلاح، ح. و خسروی، م. (۱۳۹۰) تجزیه و تحلیل ناهنجاری‌های اقلیمی موثر بر فرایند بیابان زایی در منطقه خضرآباد یزد. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۴۳(۳)، ۶۹-۹۴.

Aubreville, A. (1949) *Climats, forêts et désertification de l´ Afrique trop icale*.-Soc d´´editions geographiques maritimes et coloniales, Paris.

Dregne, H. E. (1977) Desertification of arid lands. *Economic Geography*, 53(4), 322-331.

FAO\UNEP. (1984) Provisional *methodology for assessment and mapping of desertification. food and agriculture organization of the united nations*. United Nations Enviromental Programme, Rome, 73p.

Hare, F. K., Kates, R. W. & Warren, A. (1977) The making of deserts: climate, ecology and society. *Economic Geography*, 53(4), 332-346.

Herrmann, S. M. & Hutchinson, C. F. (2005) The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 538-555.

Lonergan, S. (2005) The role UNEP in desertification research and mitigation. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 533-544.

Santini, M. (2008) *A new GIS-based spatial modeling approach for desertification risk assessment in the Mediterranean area. An Italian case study: Sardinia Island*. Ph.D. thesis, University of Tuscia, Italy.

Sepehr, A., Hassanli A. & Ekhtesasi M. R. (2007) Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 134(1-3), 243-254.

Shakerian, N., Zehtabian, Gh. R., Azarnivand, H. & Khosravi., H. (2011) Evaluation of desertification intensity based on soil and water criteria in Jarghooyeh region. *Journal of Desert*, 16(1), 23-32.

All rights reserved for IBWRD