



هشدار اولیه بیابان‌زایی آبخوان دشت مشهد بر اساس پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی

مهدی گل‌افشانی^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن خسروی^{۳*}، آرش ملکیان^۴، احمد خالدآلی^۵، سمانه باقری^۶

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲

مقاله پژوهشی

چکیده

در این تحقیق جهت پیش‌بینی و تعیین آستانه هشدار بیابان‌زایی از مدل‌سازی پارامترهای کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی استفاده شد. داده‌های ۶۲ چاه پیرومتری و ۵۵ چاه‌های کیفی از شرکت منابع آب ایران و همچنین شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی جمع‌آوری شد. پیش‌پردازش داده‌های آماری، رفع داده‌های ناقص و گم‌شده، تحلیل‌های آماری از جمله آزمون من‌کندال و همبستگی پیرسون انجام شد. نقشه شاخص‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی از نظر شدت بیابان‌زایی و آستانه هشدار هر شاخص بر اساس مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) کلاس بندی و نقشه شدت و هشدار بیابان‌زایی برای یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۵) تهیه شد. برای پیش‌بینی مقادیر کمی آب زیرزمینی از داده‌های ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی به‌صورت متوالی استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 2015 و هوش مصنوعی پیش‌بینی داده‌ها برای سال ۱۴۰۰ صورت گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین هشدار شاخص‌های کمی و کیفی آب براساس شدت بیابان‌زایی مربوط به شاخص افت می‌باشد و بعد از آن بیشترین هشدار مربوط به شاخص هدایت الکتریکی است. شاخص نسب جذبی سدیم از نظر شدت بیابان‌زایی در کلاس ناچیز قرار دارد و تنها در سال ۱۴۰۰ بخش جنوبی آبخوان دشت مشهد در شرایط هشدار قرار خواهد گرفت. از نظر میزان کلر فعلاً آبخوان دشت مشهد در شرایط هشدار قرار نگرفته است. اما با توجه به ارزیابی روند تغییرات این شاخص در آینده ممکن است در آستانه هشدار قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: میان‌یابی، شبکه عصبی، زمین‌آمار، مدل IMDPA، آستانه هشدار.

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. mahdi.golafshani@ut.ac.ir

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. gheztab@ut.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. (مسئول مکاتبه) hakhosravi@ut.ac.ir

۴. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. malekian@ut.ac.ir

۵. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. khahmadauli@ut.ac.ir

۶. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. ۰۲۶۳۲۲۳۰۴۴. samaneh.bagheri@ut.ac.ir

مقدمه

بیابان‌زایی عبارت است از کاهش توان بیولوژیک در اکوسیستم مناطق فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب بر اثر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (زهتابیان و همکاران، ۱۳۹۳). بیابان‌زایی یک تهدید جدی برای اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود. از این رو درک ویژگی‌های مکانی و زمانی این فرآیند از طریق ارزیابی و پایش شاخص‌های مهم کاری دشوار است (امیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Akbari و همکاران، ۲۰۱۹). به همین منظور تدوین روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی، تهیه نقشه‌های بیابانی شدن، انتخاب مناسب‌ترین روش‌ها و یا مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی و همچنین تعیین سیستم هشدار بیابان‌زایی ضرورت دارد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰).

برای مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح جهت جلوگیری از بیابان‌زایی، شناخت عوامل، شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی در مناطق تحت تاثیر این پدیده ضروری است. عوامل زیادی در بیابان‌زایی دخالت دارند که یکی از آن‌ها افت آب‌های زیرزمینی است. محدودیت منابع آبی، کاهش کیفیت آب و بهره‌برداری بی‌رویه سبب شده که تخریب منابع آب زیرزمینی به همراه دیگر فرآیندها از جمله اصلی‌ترین عوامل بیابان‌زایی شناخته شوند. از طرفی استفاده از آب‌هایی با کیفیت نامناسب یکی از عوامل موثر شوری خاک و گسترش بیابان‌زایی است. تاثیر آب‌های زیرزمینی در روند بیابان‌زایی یک منطقه مانند شمشیری دولبه است. افزایش و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در هر دو حالت باعث بیابانی شدن بعضی از مناطق می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ معروف‌پور و همکاران، ۱۳۹۷).

پهنه‌بندی کیفیت آب مهم‌ترین گام در مدیریت منابع آب است. در این راستا، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به دلیل ارائه تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری است. از جمله روش‌های دیگر که می‌تواند شرایط کیفی منابع آب را بازگو کند استفاده از شاخص‌های کیفی آب است که نتایج را با ترکیب داده‌های عددی پارامترهای کیفی آب، به صورت سریع و قابل فهم ارائه می‌کند (Pourkhabaz و همکاران، ۲۰۱۷). از آن جایی که منابع آب زیرزمینی نقش بسزایی در تامین نیاز آبی بشر

دارند، لذا تحقیقات زیادی در زمینه کیفیت و کمیت این منابع در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است.

در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مطالعه‌ای در مورد بررسی منابع آب زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی انجام شد و نتایج نشان داد که اکثر آبخوان‌ها به ویژه از نظر کاربری کشاورزی دارای شوری بالایی هستند (Alipour و همکاران، ۲۰۱۷). در دشت شهر بابک ارزیابی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار انجام شد و آبخوان دشت مورد نظر از لحاظ مصارف کشاورزی و شرب با استانداردهای ویلکوکس و شولر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج استاندارد ویلکوکس نشان داد که آب ۳۰ حلقه از چاه‌ها در وضعیت نامناسب بوده و نتایج دیاگرام شولر، غیرقابل شرب بودن آب زیرزمینی را تأیید کرد (Jahanshahi و همکاران، ۲۰۱۴). طی پژوهشی دیگر در دشت جیرفت روند تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان پارامترهای اسیدیته، سدیم، کلر و سولفات در آب بیشتر شده و میزان کلسیم و منیزیم کاهش یافته است. در حالی که کیفیت منابع آب زیرزمینی در حالت کلی در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۸۱ کاهش یافته است (Soleimani و همکاران، ۲۰۱۷).

در منطقه بمبئی جهت ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب زیرزمینی از شاخص کیفی آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که ۷۴٪ از نمونه‌ها در طبقه غیرقابل شرب قرار دارند و علت آن نزدیک بودن چاه‌ها به مناطق صنعتی و فعالیت‌های انسانی است که منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است (Pawar و همکاران، ۲۰۱۴). طی تحقیقی دیگر در دشت یزد_اردکان تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی بررسی شد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی به‌جز در قسمت‌های شمال شرقی در مابقی دشت از کیفیت مناسب و قابل قبولی برخوردار است. اما با گذر زمان از کیفیت آن کاسته شده است (Rafei Sharifabad و همکاران، ۲۰۱۷).

فرنیا و همکاران (۱۳۹۷) طی پژوهشی در آبخوان قره‌سو استان گلستان از روش‌های درون‌یابی شامل فاصله معکوس وزنی، توابع پایه شعاعی و کریجینگ استفاده کرد. درنهایت نتایج نشان داد که با مقایسه روش‌های زمین‌آمار، روش



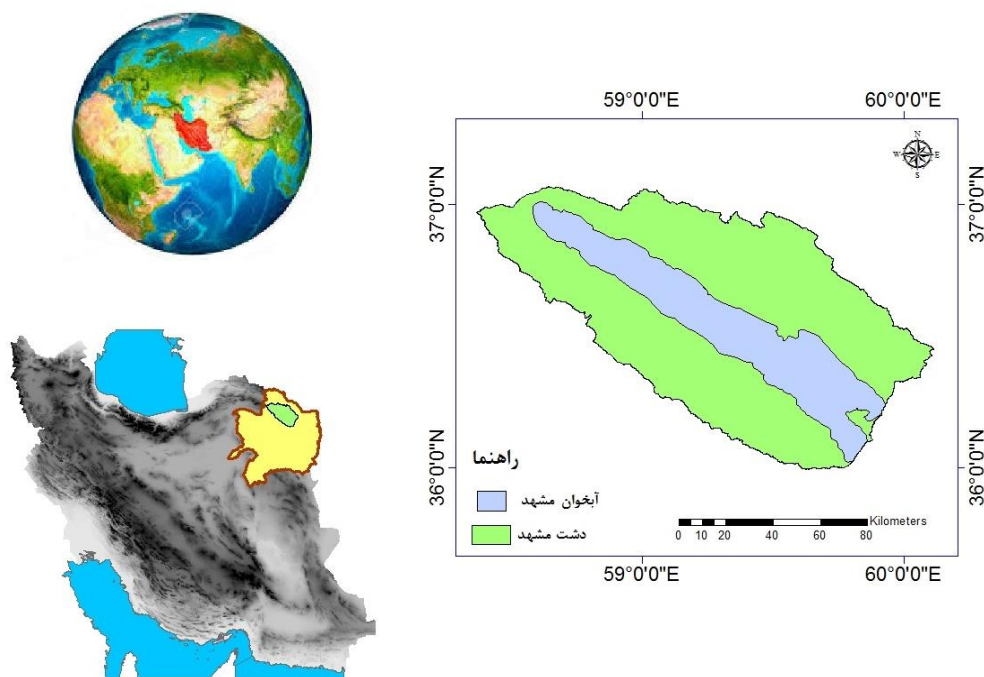
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

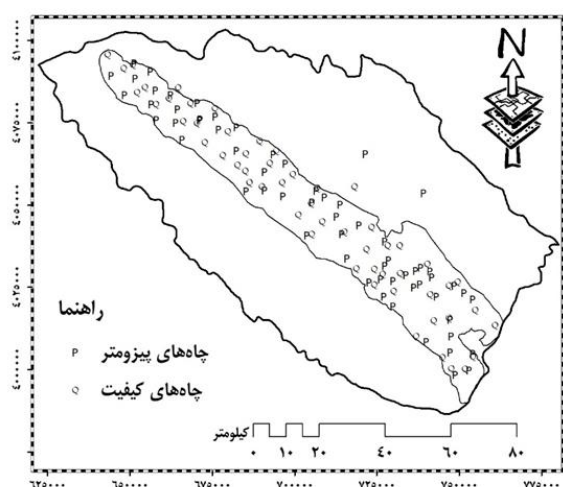
منطقه مورد مطالعه آبخوان دشت مشهد است که در شمال شرق کشور در استان خراسان رضوی واقع شده است. این دشت با مساحت ۹۹۱۰ کیلومتر مربع در منطقه‌ای نیمه‌خشک واقع شده است. بیشترین ارتفاع این حوزه آبخیز ۳۲۰۰ متر و پست‌ترین نقطه ارتفاعی معادل ۹۰۰ متر از سطح دریا دارد. موقعیت جغرافیایی این آبخوان در شمال غرب حوزه $38^{\circ} 57' 36''$ شرقی و $58^{\circ} 22' 48''$ شمالی و در جنوب شرق حوزه معادل $59^{\circ} 48' 00''$ شرقی و $36^{\circ} 00' 00''$ شمالی است (شکل ۱). بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک مشهد (۱۹۵۰-۲۰۱۸) میانگین دمای سالانه منطقه برابر با ۱۵/۵۹ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی دشت مشهد بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در اقلیم خشک تا نیمه‌خشک قرار گرفته است. قسمت عمده بارش در اواخر زمستان و اوایل بهار و کمترین میزان بارش در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. همچنین متوسط میزان بارش سالانه ۲۱۴/۱ میلی‌متر است. نوار شمالی و جنوبی دشت مشهد دارای پوشش سنگی بوده به سمت مرکز دشت بیشترین خاک منطقه از نوع اریدی‌سول و مقدار کمی اینسپتی‌سول و آنتی‌سول است.

کریجینگ از خطای کمتری برخوردار است. Selvakumar و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی واقع در جنوب هند پارامترهایی نظیر اسیدیته، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، سولفات، کلراید، نیتрат و فلوئور را برای مشخص نمودن کیفیت آب‌های زیرزمینی و مناسب بودن آن جهت شرب، مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کمی قلیایی بوده و ۵۵ درصد از نمونه‌ها برای شرب مناسب هستند.

در مطالعات مختلف بیشتر بر بررسی وضعیت موجود و همچنین روند تغییرات پارامترهای کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین پیش‌بینی این پارامترها تاکید شده است و کمتر از جنبه تاثیر آنها بر شدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین تاکید شده است. در این تحقیق سعی شده ضمن بررسی روند تغییرات پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد و نقش آن‌ها در روند بیابان‌زایی، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی هر یک از این پارامترها به عنوان شاخص بیابان‌زایی در آینده پیش‌بینی شود. در نهایت نقشه شدت آینده بیابان‌زایی تهیه و برای هر شاخص مناطقی که از نظر بیابان‌زایی در محدوده هشدار قرار دارند مشخص شود.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل (۲): موقعیت مکانی چاه‌های پیزومتری و کیفی

نرم افزارهای مورد استفاده: با استفاده از نرم افزارهای 2016 EXEL، SPSS 24، SAS 9.4 و R 3.5.2 پیش پردازش داده‌های آماری، رفع داده‌های گمشده و تحلیل‌های آماری (آزمون من‌کندال و همبستگی پیرسون) انجام شد. همچنین با استفاده از نرم افزار MATLAB 2015 و هوش مصنوعی پیش‌بینی داده‌ها صورت گرفت. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، از بهترین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی از نرم افزار ArcGIS 10.5 استفاده شد. به

روش شناسی تحقیق

داده‌های جمع آوری شده

داده‌های آب زیرزمینی: داده‌های چاه‌های پیزومتری و چاه‌های کیفی از شرکت منابع آب ایران و همچنین شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی جمع‌آوری شد. برای پیش‌بینی مقادیر کمی آب زیرزمینی از داده‌های ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی ۶۲ حلقه چاه مشاهده‌ای به صورت متوالی استفاده شد. موقعیت مکانی هر چاه در شکل ۲ آمده است.

برای پیش‌بینی مقادیر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از داده‌های ۵۵ حلقه چاه کیفی استفاده شد (شکل ۲). به دلیل اینکه به ازای هر چاه یک داده سالانه در نظر گرفته شد تعداد داده‌ها برای پیش‌بینی بدون ناظر کفایت نمی‌کرد، بنابراین با استفاده از همبستگی میان چاه‌های کیفی با چاه‌های پیزومتری اطراف آن، چاه‌هایی که بیشترین همبستگی را داشتند انتخاب شدند و برای پیش‌بینی از آن‌ها استفاده شد.

جهت ایجاد شبکه عصبی و تعیین میزان همبستگی و خطا برای هر شبکه، ۷۰٪ از داده‌ها به عنوان داده آموزش، ۱۵٪ جهت صحت‌سنجی و ۱۵٪ برای آزمایش به صورت تصادفی انتخاب شدند.



این منظور با استفاده از روش‌های درون‌یابی، پهنه‌بندی پارامترهای مختلف انجام شد. برای تعیین بهترین روش میان‌یابی از روش‌های تکنیک اعتبارسنجی حذفی و مقایسه میانگین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی استفاده شد و میزان همبستگی و خطا هر روش مشخص و بهترین روش انتخاب شد.

روش تحقیق

تهیه نقشه پهنه‌بندی مکانی پارامترهای کیفی: با استفاده از روش‌های درون‌یابی مانند وزن‌دهی معکوس فاصله‌ها، توابع پایه شعاعی و کریجینگ بهترین روش برای میان‌یابی داده‌های کیفی چاه‌ها از جمله هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، سختی، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات تعیین شد و نقشه پهنه‌بندی هر پارامتر برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ به دست آمد.

الف) کیفیت آب جهت شرب: جهت بررسی کیفیت آب جهت آشامیدن از دیاگرام شولر استفاده شد. نقشه‌های عناصر منیزیم، کلسیم، سدیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات و سختی آب تهیه و کلاس‌بندی شد.

ب) کیفیت آب برای کشاورزی: جهت تعیین کیفیت آب آبیاری برای کشاورزی، نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای SAR و EC هر سال با هم ادغام و طبقه‌بندی بر اساس دیاگرام ویلکوکس انجام شد و در نهایت کیفیت آب آبیاری طبقه‌بندی شد و نقشه‌های کیفیت آب آبیاری به دست آمد.

نقشه پهنه‌بندی پارامتر کیفی: با استفاده از داده‌های ۶۲ حلقه چاه پیرومتری پس از این که بهترین روش میان‌یابی

انتخاب شد، نقشه‌های پهنه‌بندی تراز سطح به منظور بررسی پتانسیل سطح ایستابی آبخوان و تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، تشخیص منابع تغذیه و تخلیه و تعیین جبهه‌های ورودی و خروجی آب زیرزمینی با بهره‌گیری از رقوم سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای و نیز با لحاظ کردن ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی در دو فصل تغذیه و تخلیه ترسیم شد. به منظور بررسی تغییرات عمق آبخوان در سطح دشت با استفاده از تفاضل نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در دو فصل تغذیه و تخلیه میزان افت سالانه به دست آمد و پهنه‌بندی برای آن انجام شد.

پیش‌بینی داده‌های سطح آب زیرزمینی و داده‌های کیفی آب زیرزمینی: برای پیش‌بینی داده‌های سطح آب زیرزمینی برای سال ۱۴۰۰ از بهترین روش که بیشترین همبستگی و کمترین خطا را داشت (روش توابع پایه شعاعی) استفاده شد. بهترین روش پیش‌بینی داده‌های کیفی آب زیرزمینی نیز، پرسپترون چندلایه (MLP) برآورد شد.

شدت و هشدار بیابان‌زایی بر اساس کمیت و کیفیت آب زیرزمینی: به منظور تهیه نقشه شدت و هشدار بیابان‌زایی، بر اساس مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA: Iranian Model of Desertification Potential Assessment) و جدول ۱ نقشه شاخص‌های افت، میزان کلر، نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از نظر شدت بیابان‌زایی کلاس‌بندی و آستانه هشدار هر شاخص تعیین شد (جدول ۱).

جدول (۱): کلاس بندی شاخص های آب زیرزمینی از منظر بیابان زایی

شاخص	غیر قابل ملاحظه	ناچیز	متوسط	شدید	بسیار شدید	آستانه هشدار
افت (سانتیمتر)	۱۰-۰	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	۵۰-۳۰	> ۵۰	۳۰
کلر (میلی اکی والان بر لیتر)	< ۲۵۰	۵۰۰-۲۵۰	۱۵۰۰-۵۰۰	۳۰۰۰-۱۵۰۰	> ۳۰۰۰	۱۵۰۰
هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)	< ۲۵۰	۷۵۰-۲۵۰	۲۲۵۰-۷۵۰	۵۰۰۰-۲۲۵۰	> ۵۰۰۰	۲۲۵۰
نسبت جذبی سدیم	< ۱۰	۱۸-۱۰	۲۶-۱۸	۳۲-۲۶	> ۳۲	۲۶
امتیازدهی	۱-۰	۱/۱-۰/۱/۵	۱/۲-۵/۱/۵	۲/۳-۵/۱/۵	۳/۴-۵/۱	۲/۵۱

نتایج

سختی، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بی کربنات و سولفات از لحاظ کیفیت برای شرب تهیه شد. جدول ۲ مقدار متوسط هر پارامتر را در هر سال نشان می دهد.

کیفیت از لحاظ شرب: پس از پیش بینی پارامترهای کیفی با استفاده از بهترین روش میان یابی نقشه های پهنه بندی

جدول (۲): متوسط مقادیر پارامترهای کیفی آب جهت شرب

پارامتر	واحد	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰
کلسیم	میلی اکی والان بر لیتر	۴/۰۲	۴	۴/۲۶	۴/۴۳	۴/۸۴	۴/۹۳
منیزیم	میلی اکی والان بر لیتر	۵/۴۷	۴/۸۳	۴/۹۹	۴/۵۶	۴/۳۴	۴/۴۳
سدیم	میلی اکی والان بر لیتر	۹/۱۱	۱۰/۶	۱۰/۵۳	۱۱/۹۸	۱۳/۰۷	۱۳/۸۱
کلر	میلی اکی والان بر لیتر	۷/۶۵	۷/۸۷	۷/۸	۸/۲۵	۸/۴۶	۸/۶۹
بی کربنات	میلی اکی والان بر لیتر	۲/۵	۳/۰۲	۳/۱۶	۴/۳۶	۴/۴۷	۴/۴۹
سولفات	میلی اکی والان بر لیتر	۶/۹	۷/۷۲	۸	۸/۳۷	۸/۴۴	۸/۷
سختی		۲۹۱/۰۸	۲۸۵/۶۲	۳۵۱/۶۴	۳۵۱/۰۴	۳۸۵/۷۴	۴۷۴/۵۱

نتایج جدول ۲ نشان داد که میزان متوسط کلسیم از ۴ به ۵ میلی اکی والان بر لیتر افزایش یافته است. کلسیم آب از نظر کیفی برای مصرف شرب در کلاس خوب قرار دارد. مقدار منیزیم روندی کاهشی داشته و از مقدار متوسط ۵/۵ به ۴/۵ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است. منیزیم از نظر کیفی برای مصرف شرب، از کلاس کیفی قابل قبول به خوب تغییر یافته است. مقدار متوسط سدیم به شدت در حال افزایش است. به طوری که از ۹ به ۱۴ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است. سدیم از نظر شرب، از کلاس کیفی قابل قبول به نامناسب تغییر یافته است. مقدار متوسط کلر از ۷/۵ به ۸/۵ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است و روندی افزایشی داشته است. به طور کلی کیفیت آب برای کلر از نظر شرب در کلاس

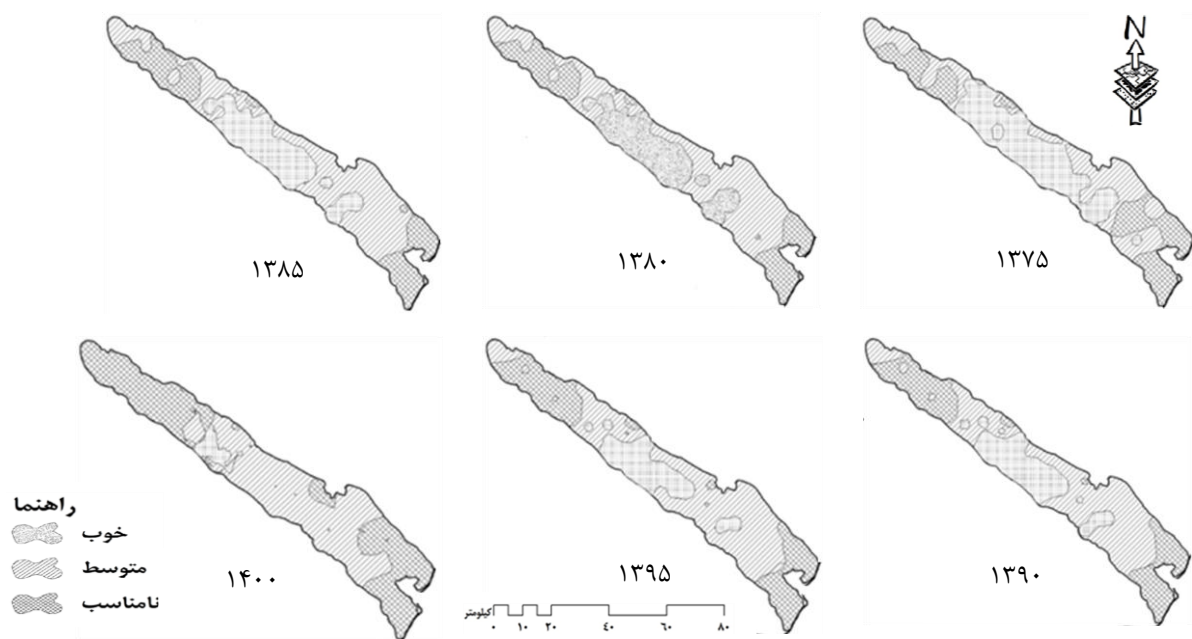
قابل قبول قرار دارد. مقدار متوسط بی کربنات از ۲/۵ به ۴/۵ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است و تغییرات روندی افزایشی داشته است. بی کربنات از نظر شرب در کلاس کیفی خوب قرار دارد.

مقدار متوسط سولفات طی روند افزایشی از ۷ به ۸/۵ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است و در کلاس کیفی قابل قبول قرار دارد. مقدار متوسط سختی آب طی روند افزایشی از ۲۷۱ به ۴۷۵ میلی اکی والان بر لیتر رسیده است و در کلاس کیفی قابل قبول قرار دارد.

کیفیت آب از لحاظ کشاورزی: شکل ۳ نقشه های کلاس بندی کیفیت آب از منظر کشاورزی را نشان می دهد



که پس از پیش‌بینی داده‌های نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی با استفاده از بهترین روش میان‌یابی تهیه شدند.

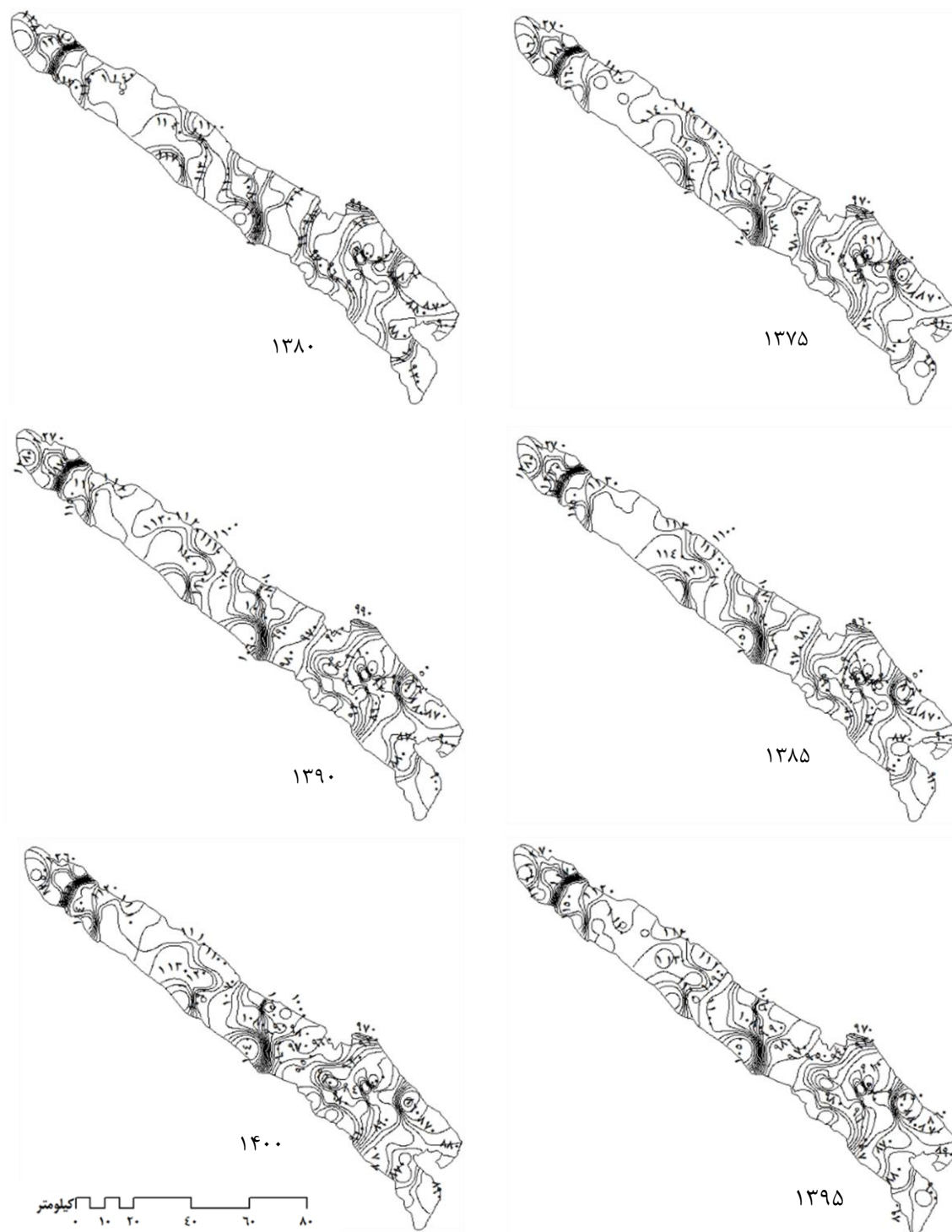


شکل (۳): نقشه‌های کلاس‌بندی کیفیت آب برای کشاورزی

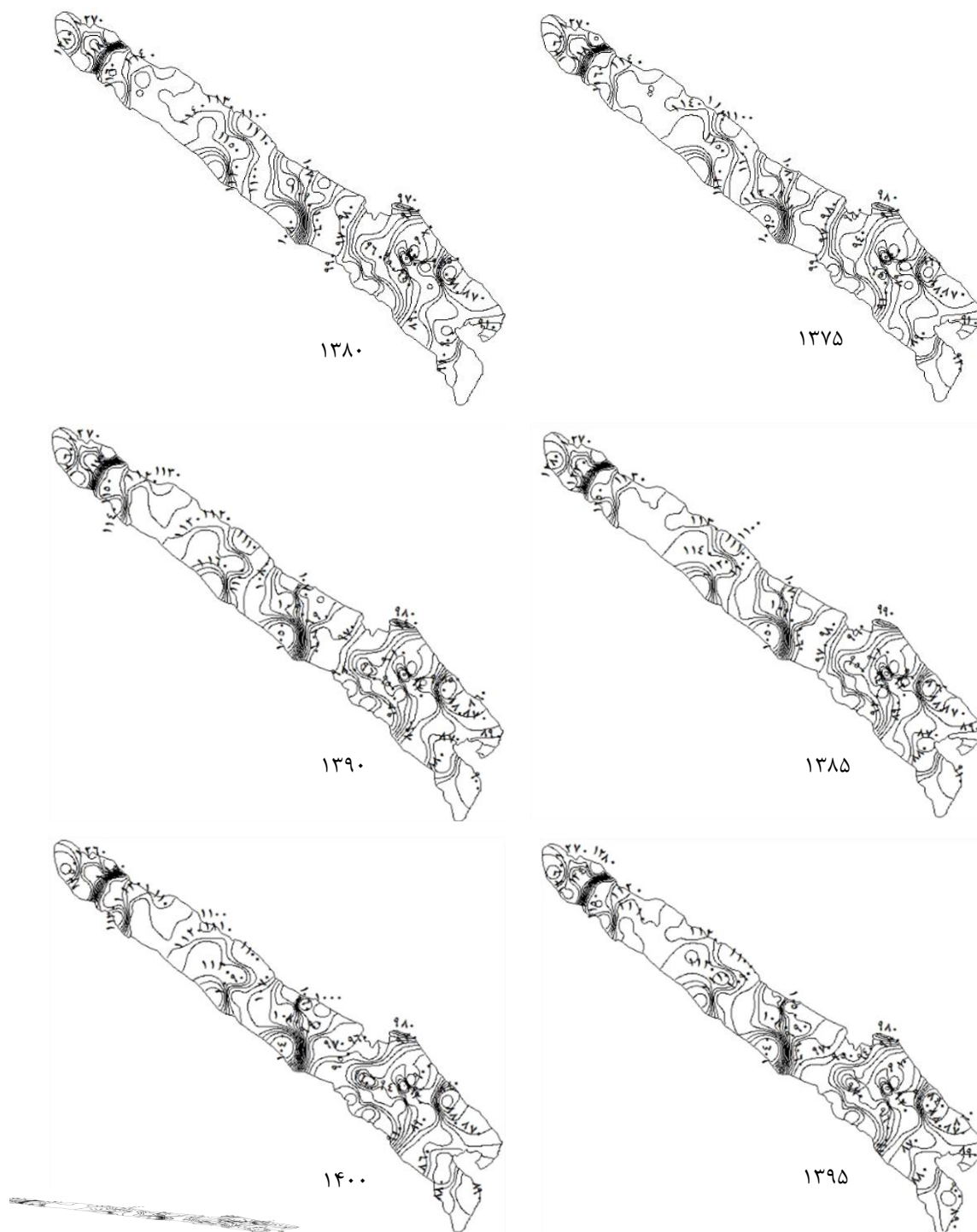
خطوطی که همگرا می‌باشند، نشان‌دهنده تخلیه بیشتر آب زیرزمینی در منطقه است.

کمیت آب زیرزمینی:

پیزومتر منطقه: برای تهیه نقشه خطوط پیزومتری نقاط هم تراز به یکدیگر وصل شدند و نقشه‌های خطوط پیزومتری در فصل تغذیه (شکل ۴) و فصل برداشت (شکل ۵) تهیه شد.



شکل (۴): نقشه خطوط پیزومتری آبخوان دشت مشهد در انتهای فصل تغذیه



شکل (۵): نقشه خطوط پیزومتری آبخوان دشت مشهد در انتهای فصل برداشت

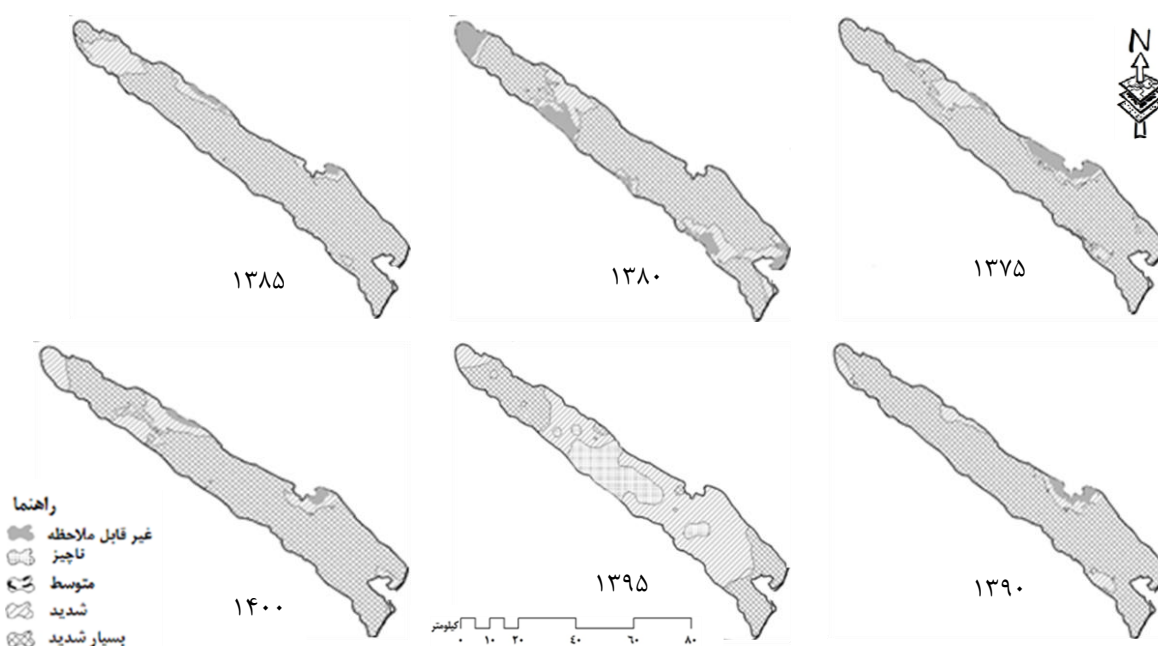
مطالعه، ۸۳ سانتی‌متر در سال بوده است. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های افت نشان داد که بیشتر منطقه مورد مطالعه با افت سطح آب زیرزمینی مواجه شده است؛ بجز قسمتهایی از شمال شرق آبخوان دشت مشهد که میزان افت در این نواحی جزئی بوده است.

جدول (۳): میزان افت متوسط هر سال

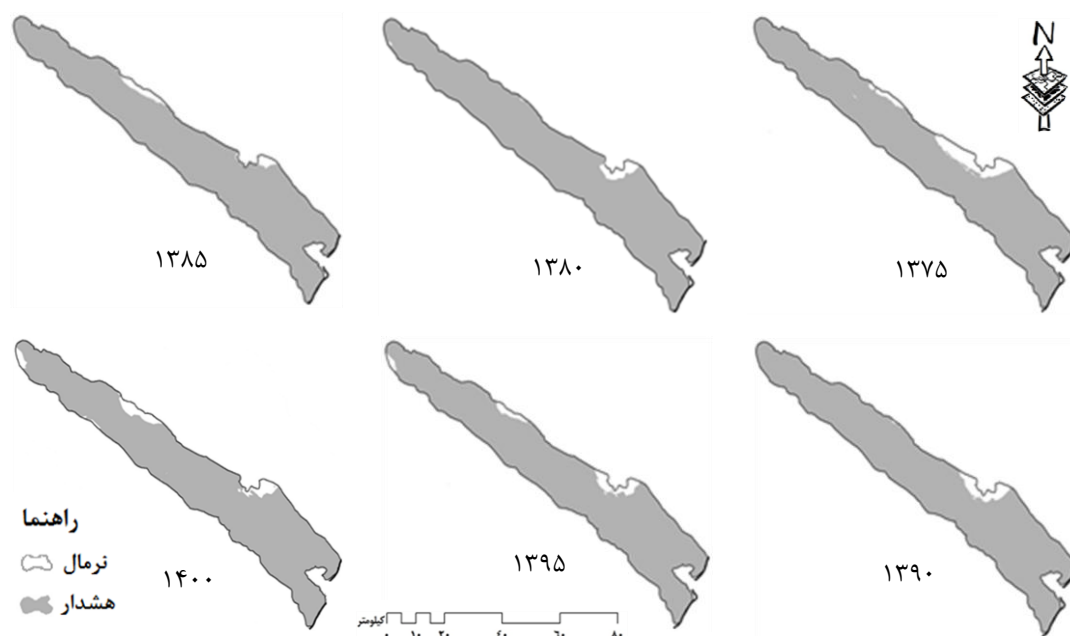
سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰
میزان متوسط افت (سانتی‌متر)	۸۲/۶	۸۵/۱	۱۰۰	۸۹/۵	۸۵/۲	۸۱/۵

که از بین شاخص‌های کیفی آب‌زیرزمینی شاخص هدایت الکتریکی در قسمت‌های شمال غربی و جنوب‌شرقی در شرایط هشدار قرار دارد. از منظر شاخص نسبت جذبی سدیمی فقط در سال ۱۴۰۰ قسمت کوچکی از منطقه در قسمت جنوب شرقی در آستانه هشدار قرار خواهد داشت.

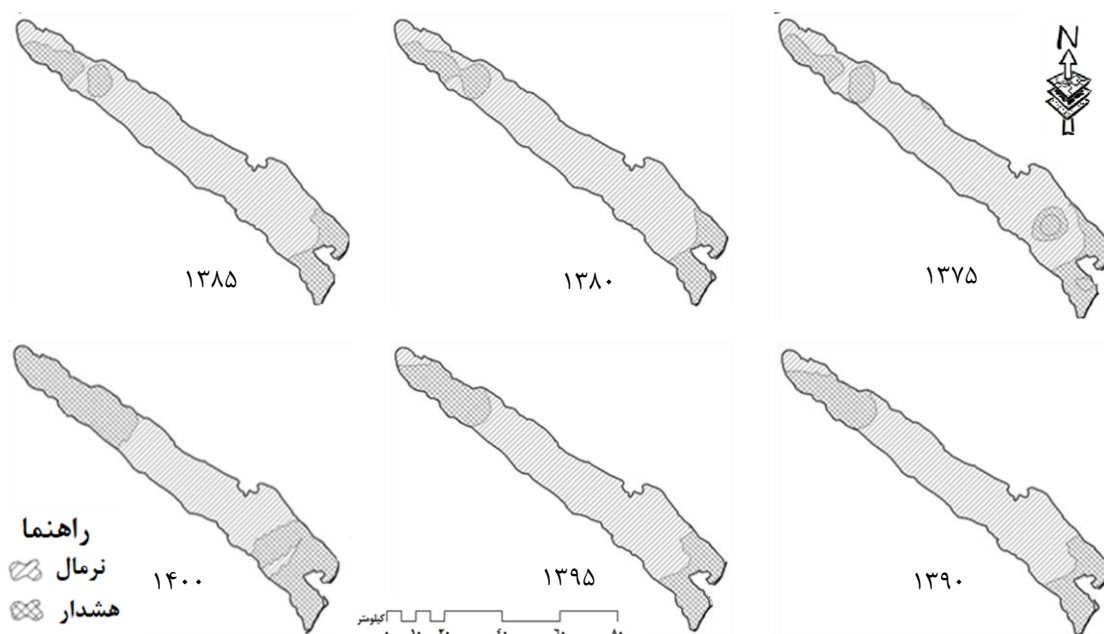
با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ که نقشه‌های پهنه‌بندی و هشدار افت آبخوان را نشان می‌دهد، آبخوان دشت مشهد در اکثر مناطق در کلاس شدید و بسیار شدید (شرایط هشدار) قرار دارد. نقشه‌های هشدار هدایت الکتریکی (شکل ۸)، کلر (شکل ۹)، و نسبت جذبی سدیم (شکل ۱۰) نشان می‌دهد



شکل (۶): نقشه‌های پهنه‌بندی میزان افت در آبخوان دشت مشهد



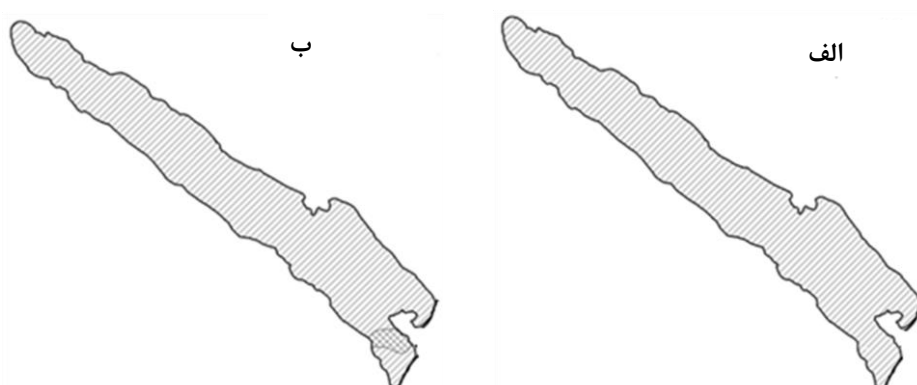
شکل (۷): نقشه هشدار بیابانزایی شاخص افت آب زیرزمینی



شکل (۸): نقشه هشدار بیابانزایی شاخص هدایت الکتریکی آب زیرزمینی



شکل (۹): نقشه هشدار بیابان‌زایی شاخص کلر آب زیرزمینی (۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰، ۱۳۹۵، ۱۴۰۰)



شکل (۱۰): نقشه هشدار بیابان‌زایی شاخص نسبت جذبی سدیم (الف: ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ب: ۱۳۹۵، ۱۴۰۰)

مدل‌سازی بیابان‌زایی: میزان شدت بیابان‌زایی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول (۴): امتیازدهی شاخص‌های آب زیرزمینی بر اساس شدت بیابان‌زایی

نسبت	جذبی	متوسط ارزش عددی	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰
سدیم	کلاس بیابان‌زایی	ناچیز	۱/۰۳	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۱۳	۱/۰۸
هدایت الکتریکی	متوسط ارزش عددی	۲/۱۱	۲/۱۵	۲/۱۷	۲/۱۳	۲/۳۴	۲/۶۹	ناچیز
کلر	کلاس بیابان‌زایی	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	شدید
	متوسط ارزش عددی	۱/۱۹	۱/۱۸	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۴	۱/۲۶	ناچیز
	کلاس بیابان‌زایی	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز
افت	متوسط ارزش عددی	۳/۷۲	۳/۷۹	۳/۸۱	۳/۷۸	۳/۶۹	۳/۶۷	ناچیز
	کلاس بیابان‌زایی	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید

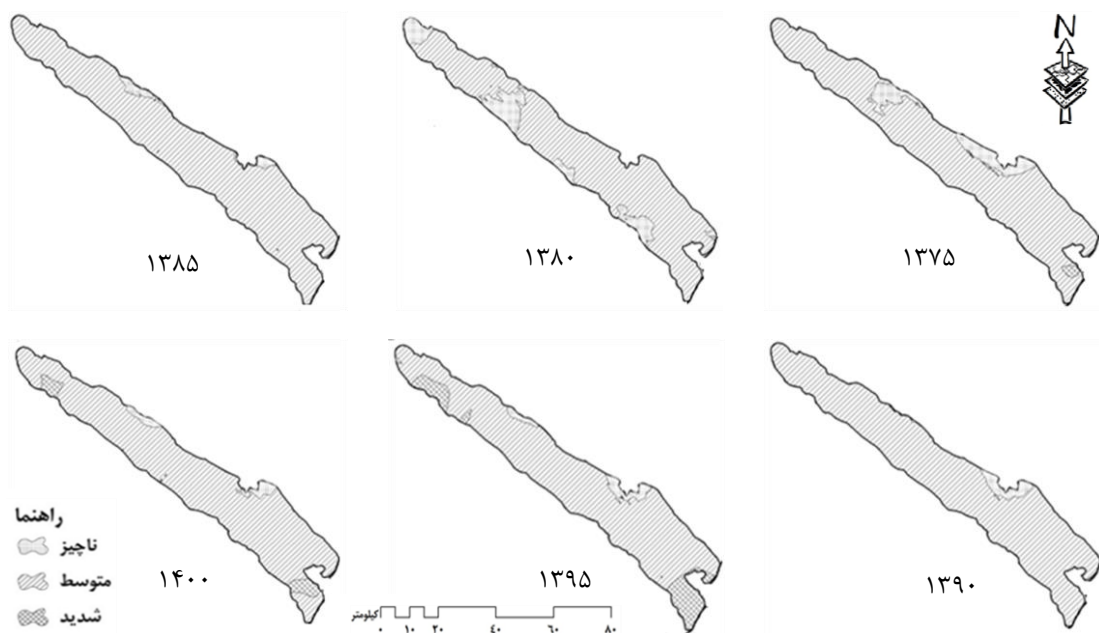
شاخص افت می‌باشد و بعد از آن بیشترین ارزش عددی مربوط به شاخص هدایت الکتریکی است. شاخص نسب جذبی

بر اساس جدول ۴ بیشترین ارزش عددی متوسط شدت بیابان‌زایی شاخص‌های کمی و کیفی آب زیرزمین مربوط به



به ارزیابی روند تغییرات این شاخص در آینده ممکن است در آستانه هشدار قرار گیرد. در نهایت براساس جدول ۴، نقشه بیابانزایی (شکل ۱۱) تهیه شد.

سدیم از نظر شدت بیابانزایی در کلاس ناچیز قرار دارد و تنها در سال ۱۴۰۰ بخش جنوبی آبخوان دشت مشهد در شرایط هشدار قرار می‌گیرد. از نظر میزان کلر فعلاً آبخوان دشت مشهد در شرایط هشدار قرار نگرفته است. اما با توجه



شکل (۱۱): نقشه نهایی شدت بیابانزایی با تاکید بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی

را داشتند و با داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۹۵_۱۳۷۴ مقادیر پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی تا سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شد. که این نتایج با Adiat و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی نسبت جذبی سدیم و هدایت الکتریکی کیفیت آب جهت مصرف کشاورزی بررسی شد. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی با کیفیت خوب از ۳۶/۵٪ به ۱۷٪ مساحت آبخوان و کیفیت متوسط از ۳۴/۵٪ به ۵۲/۵٪ مساحت آبخوان رسیده است. کیفیت نامناسب نیز به‌طور متوسط ۳۰٪ مساحت آبخوان را به خود اختصاص داده است. که نشان دهنده افت شدید کیفیت آب برای مصرف کشاورزی در آبخوان دشت مشهد است.

برای بررسی کیفیت آب از نظر مصرف شرب، به جز منیزیم بقیه عناصر روندی افزایشی داشتند و بیشترین افزایش مربوط

بر اساس شکل ۱۱ نتایج نشان داد که از نظر مساحت بیشتر منطقه مورد مطالعه در شرایط بیابانزایی متوسط قرار دارد. همچنین در سال ۱۳۹۵ بیابانزایی شدید در ۱۰/۵ درصد منطقه رخ داده است و با پیش‌بینی‌های صورت گرفته در سال ۱۴۰۰ حدود ۴ درصد از مساحت منطقه تحت شرایط بیابانزایی شدید قرار خواهد گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت پیش‌بینی و تعیین آستانه هشدار بیابانزایی از مدل‌سازی پارامترهای کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی استفاده شد. برای پیش‌بینی چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های کیفی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دو روش توابع پایه شعاعی و روش پرسپترون چندلایه، بهترین نتیجه

دارد. شاخص نسبت جذبی سدیم به جز در سال ۱۴۰۰ که در جنوب آبخوان دشت مشهد در شرایط هشدار قرار خواهد داشت در بقیه سال‌ها مانند شاخص کلر شرایط نرمال را داشت. اما با بررسی روند افزایشی کلر در طی سال‌های اخیر امکان دارد این شاخص در آینده در شرایط هشدار قرار گیرد. بیشترین امتیاز شاخص شدت مربوط به افت به میزان ۳/۸۱ است. طبق نتایج بدست آمده اکثر منطقه دارای شدت بیابان‌زایی متوسط است که از سال ۱۳۹۵ کلاس بیابان‌زایی در مناطق جنوبی و شمال غربی آبخوان دشت مشهد شدید شده است. این نتایج با پژوهش خواجه و همکاران (۱۳۹۳)، سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۷) و داوری و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات شاخص‌های کلر، نسبت جذبی سدیم، هدایت الکتریکی و افت آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد افزایشی است و در آینده مساحت بیشتری از آبخوان در محدوده هشدار بیابان‌زایی قرار خواهد گرفت. پیشنهاد می‌شود تحقیق جامع‌تر در منطقه مطالعاتی با سایر معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی صورت پذیرد و نقشه هشدار اولیه بیابان‌زایی کلی برای منطقه مطالعاتی ارائه شود.

به سدیم بوده است. از لحاظ شرب مقدار سدیم از کلاس کیفی قابل قبول به نامناسب تغییر یافت. کلسیم و بی‌کربنات در کلاس کیفی خوب و سولفات، کلر و سختی در کلاس کیفی قابل قبول قرار گرفتند و منیزیم از کلاس کیفی قابل قبول به خوب تغییر یافت. این نتایج با پژوهش Selvakumar و همکاران (۲۰۱۷) و Bain و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

با استفاده از تفاضل نقشه‌های تراز فصل تغذیه و فصل تخلیه، میزان افت سالانه به طور متوسط ۸۳ سانتیمتر در سال بوده است، که بیشترین افت متعلق به سال ۱۳۸۵ به مقدار ۱۰۰ سانتیمتر در سال است. دلیل آن بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، کشاورزی غیراصولی، افزایش جمعیت و همچنین خشکسالی‌ها می‌توان باشد. این نتایج با پژوهش چوبین و ملکیان (۱۳۹۱)، کریمی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

از نظر شدت بیابان‌زایی به ترتیب شاخص افت و شاخص هدایت الکتریکی بیشترین مساحت هشدار را به خود اختصاص داده اند. مساحت تحت هشدار از منظر شاخص هدایت الکتریکی از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۴۰۰ روندی افزایشی

منابع

- اختصاصی، م. ر. و ع. سپهر. ۱۳۹۰. روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد.
- امیری، م. م. خالیدیان، ا. اشرف‌زاده، و ع. شاه نظری. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری آب‌های زیرزمینی استان یزد با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ شاخص. مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۳، ص ۳۳۳-۳۴۵.
- چوبین، ب. ا. ملکیان و ح. قره‌چایی. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در یک زیست‌بوم خشک (مطالعه موردی: آبخوان دشت آسپاس). نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان، شماره ۱، ص ۵۰-۳۹.
- خواجه، م. ا. بذرافشان، ح. وقار فرد و ی. اسماعیل پور. ۱۳۹۳. بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت پریشان. نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۴، ص ۷۱-۹۶.
- زهتابیان، غ. ح. خسروی، ر. مسعودی، ۱۳۹۳. مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی (معیارها و شاخص‌ها)، انتشارات دانشگاه تهران
- داوری، س. ع. راشکی، م. اکبری و ع. طالبان‌فرد. ۱۳۹۶. ارزیابی شدت و ریسک بیابان‌زایی و ارائه برنامه‌های مدیریتی. نشریه مدیریت بیابان، شماره ۹، ص ۹۱-۱۰۶.
- سلیمانی ساردو، ف. ط. مصباح‌زاده، ن. برومند، ع. آذره و ا. رفیعی ساردوئی. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی در دشت کرمان با استفاده از مدل IMDPA. فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای سال هشتم)، شماره ۳، ص ۲۵-۴۰.
- فرنیا، ا. خ. قربانی و م. سالاری جزی. ۱۳۹۷. ارزیابی روش کریجینگ در پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۵، شمار ۱، ص ۱۶۵-۱۸۲.

- کریمی، ک.، ر. مسعودی، س. نخعی نژادفرد و ب. زهتابیان. ۱۳۹۳. تاثیر تغییر معیارهای اقلیمی و هیدرولوژیک بر بابانزایی دشت مهران. نشریه مدیریت بیابان، شماره ۴، ص ۶۶_۷۵.
- محمدی، ع.، ح. کریمی، م. ج. خجسته و ف. مهدوی فر. ۱۳۹۲. تاثیر تغییرات هدایت الکریکی آب زیرزمینی بر روند بیابانزایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت مهران). اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی. معروف پور، س.، ا. فاخری فرد و ج. شیر. ۱۳۹۷. بررسی توزیع مکانی کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از مدل های نرم افزاری و محاسباتی نرم. نشریه اکوهیدرولوژی، شماره ۱، ص ۲۳۸_۲۳۲.
- Adiat, K. A. N, O. F. Ajayi, A. A. Akinlalu & I. B. Tijani. 2020. Prediction of groundwater level in basement complex terrain using artificial neural network: a case of Ijebu-Jesa, southwestern Nigeria. Applied Water Science volume 10, Article number: 8.
- Akbari, M., M. JafariShalamzari, H. Memarian & A. Golami. 2019. Monitoring desertification processes using ecological indicators & providing management programs in arid regions of Iran.
- Alipour, A., J. Rahimi & A. Azarnivand. 2017. Groundwater quality assessment for drinking & agricultural purposes (A pre_requisite for land use planning in arid & semi_arid region of Iran). Range & Watershed Management. 70 (2): 423_434.
- Bain, J., S. Wang, H. Wan & C. Liu. 2018. Hydro chemical characteristics & quality assessment of groundwater for irrigation use in central & eastern Songnen Plain, Wortheast China. Environmental monitoring & assessment, 190 (7): 238.
- Jahanshahi, A., E. Rohimoghadam & A. Dehvari. 2014. Investigating groundwater quality parameters using GIS & Geostatistics (Case Study: Shahr Babak Plain Aquifer), Water & Soil Science, 24 (2): 183_197.
- Pawar, S., B. Panaskard & M. Wagh. 2014. Characterization of groundwater using water quality index of Solapur industrial, (Case Study: Maharashtra, India). International journal of Research in Engineering & Technology, 2 (4): 31_36.
- Pourkhabaz, H. R., H. Aghdar & F. Mohammadyari. 2017. Zoning groundwater quality for agriculture by classification WILCOX index, (Case Study: Qazvin Plain). Geographical Space, 17 (58): 111_129.
- Rafei Sharifabad, J., A. Nohegar, GH. Zehtabian & H. Gholami. 2017. Study of temporal & spatial variations of groundwater quality for drinking & farming in Yazd_Ardakan Plain. Desert Management, 5 (9): 107_119.
- Selvakumar, S., K. Ramkumar, N. Chandrasekar, N. S. Magesh & S. Kaliraj. 2017. Groundwater quality & its suitability for drinking & irrigational use in the southern Tirachirappalli district, Tamil Nada, India. Applied Water Science, 7 (1): 411_420.
- Soleimani, F., N. Broomand & A. Azareh. 2017. Evaluating the trend & spatial & temporal changes in groundwater quality in Jiroft Plain. Journal of Range & Watershed Management, 69 (4): 921_932.



C

Mahdi Golashani¹, Gholamreza Zehtabian², Hassan Khosravi^{3*}, Arash Malekian⁴, Khaled Ahmadali⁵,
Samaneh Bagheri⁶

Abstract

This paper tries to forecast and determine the desertification warning threshold using groundwater resources quantitative and qualitative parameters modeling. The data from 62 piezometric wells and 55 quantitative wells were selected from Iranian Water Resources Management Company and Khorasan Razavi Regional Water Authority. Handling missing data, and statistical analyzes such as the Mann-Kendall test and Pearson correlation were performed. The desertification intensity and early warning maps were provided based on the Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA) Model. The maps of quantitative and qualitative indices of groundwater were classified according to the desertification severity and threshold of each index for a 20-years period (1996-2016). Desertification intensity and warning threshold maps of each groundwater quantitative and qualitative index were classified according to the IMDPA Model. The groundwater parameters were predicted by MATLAB 2015 software and artificial intelligence for 2022. The results showed that among the quantitative and qualitative indices the highest desertification warning area was related to drop index. The electrical conductivity index was in second-order warning. Sodium sorption index is located in low desertification class and only southern part of Mashhad aquifer will be in warning condition in 2020. In terms of chlorine content, the aquifer of Mashhad plain has not been under warning condition. But considering the trend of changes in the index in the future may be on the verge of warning.

Keywords: Interpolation, Neural Network, Geostatistics, IMDPA Model, Warning Threshold.

Desertification early warning based on forecasting of groundwater quantitative and qualitative parameters (Case Study: Mashhad plain aquifer)

¹. M.Sc. Expert in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

². Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

³. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (hakhosravi@ut.ac.ir)

⁴. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

⁵. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

⁶. M.Sc. Expert in Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Mahdi Golashani¹, Gholamreza Zehtabian², Hassan Khosravi^{3*}, Arash Malekian⁴, Khaled Ahmadali⁵, Samaneh Bagheri⁶

Introduction

Identifying desertification criteria and indices in areas affected by this phenomenon is essential for proper management and planning. Restriction of water resources, reduction of water quality, and improper exploitation have destroyed groundwater resources and other processes to be recognized as the leading causes of desertification. On the other hand, insufficient quality water is an influential factor in soil salinity and desertification. This paper tries to forecast and determine the desertification warning threshold using groundwater resources quantitative and qualitative parameters modeling. By preparing a map of the future intensity of desertification for each index, the areas in the warning zone in terms of desertification be identified.

Materials and Methods

In this study, the desertification early warning of the Mashhad plain aquifer has been investigated based on the prediction of quantitative and qualitative parameters of groundwater. The data from 62 piezometric wells and 55 quantitative wells were selected from the Iranian Water Resources Management Company and Khorasan Razavi Regional Water Authority. Handling missing data and statistical analyzes such as the Mann-Kendall test and Pearson correlation were performed. Using interpolation methods such as inverse weighting of distances, radial basis functions, and kriging, the best method for interpolating qualitative data of wells, including electrical conductivity, absorption ratio of sodium, chlorine, was determined. The zoning map of each parameter for 1996, 2001, 2006, 2011, 2016 was obtained. The Schuler diagram was used to evaluate the quality of drinking water. To determine the quality of irrigation water for agriculture, the zoning maps of SAR and EC parameters were merged and classified according to the Wilcox diagram for every year. Finally, the irrigation water quality map was classified. Using data from 62 piezometric wells, water level zoning maps were drawn in two feeding and discharging seasons to investigate the potential of the aquifer water level and determine the direction of groundwater flow and identify power supply and drainage sources, and determine groundwater inflow and outflow fronts. The desertification intensity and early warning maps were provided based on the Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA) Model. The maps of quantitative and qualitative indices of groundwater were classified according to the desertification severity and threshold of each index for 20 years (1996-2016). Desertification intensity and warning threshold maps of each groundwater quantitative and qualitative index were classified according to the IMDPA Model.

Discussion and Conclusion

¹. M.Sc. Expert in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, mahdi.golafshani@ut.ac.ir

². Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, ghzehtab@ut.ac.ir

³. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, hakhosravi@ut.ac.ir (Corresponding Author)

⁴. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, malekian@ut.ac.ir

⁵. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, khahmadauli@ut.ac.ir

⁶. M.Sc. Student in Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, samaneh.bagheri@ut.ac.ir



This study showed that the radial basis functions and the multilayer perceptron method had the best results for predicting groundwater quantitative and qualitative indices using an artificial neural network. Therefore, with the data related to the period of 1996-2016, the values of the index were predicted for the year 1400. The results showed that the percentage of groundwater class with good quality has changed from 36.5% to 17% and medium quality from 34.5% to 52.5%. Inadequate quality also occupies an average of 30% of the aquifer area. The results show a sharp decline in water quality for agricultural use in the Mashhad plain aquifer. In terms of drinking consumption, except for magnesium, the other elements had an increasing trend, and the highest increase was related to sodium. In terms of drinking, the amount of sodium from the acceptable quality class changed to inappropriate. Calcium and bicarbonate were in good quality class and sulfate, chlorine, and hardness were in acceptable quality class and magnesium was changed from acceptable quality class to good. Using the difference between the feeding season and the discharge season maps, the annual drop was an average of 83 cm per year, with the largest drop belonging to 2006 at 100 cm per year. This can be due to over-exploitation of groundwater resources, unregulated agriculture, population growth as well as droughts. In terms of desertification intensity, drop index and electrical conductivity index have the highest warning area, respectively. The results showed that among the quantitative and qualitative indices, the highest desertification warning area was related to drop index. The electrical conductivity index was in the second-order warning. In this study, quantitative and qualitative parameters of groundwater resources were used to predict and determine the threshold of desertification warning. This study showed that the trend of changes in chlorine indices, sodium adsorption ratio, electrical conductivity, and groundwater drop of Mashhad plain aquifer increases. In the future, more areas of the aquifer will be in the range of desertification warnings. Therefore, it is suggested that more comprehensive research be conducted in the study area with other desertification criteria and indicators and provide an early general desertification warning map for the study area.

The most important references

- Adiat, K. A. N, O. F. Ajayi, A. A. Akinlalu & I. B. Tijani. 2020. Prediction of groundwater level in basement complex terrain using artificial neural network: a case of Ijebu-Jesa, southwestern Nigeria. *Applied Water Science*, 10(8): 1-14.
- Akbari, M., M. JafariShalamzari, H. Memarian & A. Golami. 2019. Monitoring desertification processes using ecological indicators & providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological indicators*, 111: 106011.
- Zehtabian Gh, R., Khosravi, H., & Masoudi, R. 2014. Models of desertification assessment (criteria and indices). University of Tehran Press, 268 p.