دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۳۶-۱۷

*مجتبی فریدپور[۱]
مجید رضایی بنفشه[۲]
بتول زینالی[۳]
صیاد اصغری[٤]

ارزیابی تأثیر خشکسالی ژئوهیدرولوژیکی بر کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی (مطالعه موردی: دشت مرند)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۱٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۱/۱۵

چکیده

ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مدیریت صنعت کشاورزی و با هدف استفاده بهینه از این منابع از اهمیت خاصی برخودار است. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر افت سطح ایستابی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مرند با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای آب مورد نیاز کشاورزی می‌باشد. در این پژوهش، دوره‌های متوالی خشکسالی هیدروژئولوژی با استفاده از شاخص خشکسالی SWI در ٦ بازه زمانی (٦، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲٤ و ٤۸ ماهه) در دشت مرند واقع در استان آذربایجان‌شرقی، بررسی شد. برای این منظور، داده‌های مربوط به پارامترهای کیفیت ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری و داده‌های ماهانه سطح آب ۲۳ چاه پیزومتری در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) استفاده

*۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی. (نویسنده مسئول). E-mail: Faridpor@Gmail.com
۲- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز. E-mail: mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir
۳- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی. E-mail: Zeynali.b@uma.ac.ir
٤- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات، دانشگاه محقّق اردبیلی. E-mails.asghari@Urmia.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

شد. نقشه‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و با روش کریجینگ تهیه شدند. نتایج بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی نشان داد که خشکسالی‌های این منابع به طور تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن در غرب آبخوان بیش از شرق آن بوده است. نتایج بررسی بر اساس شاخص‌های قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کلر (CL)، نشان داد که از مرکز آبخوان به طرف خروجی از کیفیت آن‌ها کاسته شده، به طوری که در انتهای آبخوان به آب‌های خیلی شور تبدیل می‌گردند. این وضعیت در دوره‌هایی که برداشت از آبخوان افزایش یافته، بسیار تشدید شده است. بررسی مقادیر کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکاکس نشان داد که در خشکسالی هیدروژئولوژیک (۹۰-۱۳۸۹) حدود ٤٤ درصد آب‌های زیرزمینی دشت مرند دارای کیفیت خیلی شور می‌باشند.

کلید واژه‌ها: خشکسالی هیدروژئولوژی، شاخص SWI، کیفیت آب، دشت مرند.

مقدمه

آبهای زیرزمینی، یک منبع مهم آب آشامیدنی برای بسیاری از مردم در سراسر جهان است (Nas and Berktay, 2010). به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع به منظور ذخیره آب محسوب میشود (Sener and Davraz, 2013). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش سطح ایستابی آب زیرزمینی و تنزل کیفیت شیمیایی آن (در اثر افزایش غلظت املاح) در ایجاد شوری ثانویه خاک، شوری آب‌های سطحی، کاهش باروری خاک‌ها و غیره نقش اساسی دارد (Malins and Metternicht, 2007). این پدیده‌ها که شوری منابع آب و خاک را در پی دارند، از عوامل مؤثر در بیابانی شدن مناطق مختلف جهان می‌باشند (Abdi Nejad, 2008). در زمینه تأثیر خشکسالی منابع آب زیرزمینی بر کیفیت آب، تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که هر کدام بسته به هدف و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، روش‌های مختلفی را به‌کار برده‌اند: Yaouti et al (2009) بر اساس مطالعات زمین آماری، ژئوشیمی و توموگرافی، فرآیندهای شوری‌زایی آبخوان‌های تحت فشار سواحل مدیترانه (شمال‌شرقی Morocco) را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش شوری زمین‌های منطقه با نفوذ آب شور دریا از خط ساحل همراه است. Arsalan (2012) در مطالعه‌ای در آبخوان دشت Bafra در کشور ترکیه با استفاده از داده‌های ۹۷ حلقه چاه در طی دورهی آماری هفت ساله (از سال ۲۰۰٤ تا ۲۰۱۰) میزان شوری را بررسی کرد. واریوگرامهای مناسب برازش داده شده به داده‌ها شامل مدلهای نمایی کروی در روش کریجینگ معمولی[5] و کریجینگ شاخص[6] بودند. میزان روند شوری در ۳۱ درصد از دشت دارای شوری پنج دسیزیمنس بر سانتی‌متر در سال (۲۰۰٤) بوده که در مقایسه با سال (۲۰۱۰) این مقدار به اندازه ۹ درصد کاهش پیدا کرده است. Zaiming et al (2012) در مطالعه‌ای

5- Ordinary Kriging (OK)
6- Indicator Kriging (IK)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ چاه واقع در دشت بهای[۷] در شمال کشور چین پرداخت. نتایج نشان داد که بهترین مدل‌های برازش داده شده به لگاریتم داده‌ها شامل تراز آب زیرزمینی و TDS مدل کروی، برای TH مدل نمایی و برای EC مدل گوسین بودند. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و روند تغییرات TDS و EC به صورت افزایشی می‌باشند و بیش‌ترین میزان THمربوط به قسمت میانی و خط ساحلی دشت است.

در تحقیقی Rostami et al (2014) به بررسی کیفیت آب‌زیرزمینی تحت تاثیر بارندگی در شهرستان مشهد پرداختند. برای این منظور یک دوره خشکسالی و ترسالی در بازه زمانی بارندگی ۳۶ ساله مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد بررسی عبارتند از: Cl^-, TH, TDS, Na+ و So4. نتایج نشان داده است در دوره‌های مرطوب کیفیت آب زیرزمینی افزایش یافته و در دوره‌های خشکسالی کیفیت آب کاهش یافته است. Velayati (2002) در یک بررسی تحت عنوان تأثیر برداشت آب از چاه‌ها در شور شدن آبخوان دشت جنگل (جنوب‌غرب شهر تربت حیدریه در استان خراسان) نشان داد که افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در حواشی رو ستای جنت آباد از ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در سال (۱۳٦٦) به ٦۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در سال (۱۳۷۵)، ناشی از اضافه برداشت از آبخوان بوده است. Abadeh et al (2006) در بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی در منطقه زیدآباد سیرجان نشان داد که افزایش شوری آب زیرزمینی به علت افزایش افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد. Veysi et al (2010) در پژوهشی به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی، شناسایی منشأ شوری آن و فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی تأثیرگذار بر کیفیت آب، تعداد ۱۵ نمونه آب زیرزمینی را جمع‌آوری و آنالیز نمودند. نتایج این پژوهش نشان داده است که تخریب کیفیت آب زیرزمینی منطقه در نتیجه فرآیندهای مختلف مانند انحلال هالیت و ژیپس سازند گچساران و تشدید فعالیت‌های کشاورزی در بخش‌های مختلف این دشت می‌باشد. Zareian Jahromi et al (2007) از طریق روش‌های زمین‌آماری به پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی اقدام و در نهایت نقشه پهنه‌بندی شوری آب‌های زیرزمینی دشت یزد–اردکان را در محیط GIS ترسیم کردند.

در تحقیقی Harasi et al (2011) به بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی بر اثر افت سطح ایستابی دشت آذرشهر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی منطقه، باعث افت شدید سطح ایستابی و افزایش شوری آب و کاهش آب زیرزمینی در این دشت شده است. Kiani et al (2011) با استفاده از داده‌های ۱۷۲حلقه چاه واقع در شهرستان فسا در سال آبی (۸۹– ۱۳۸۸) به روش کریجینگ در محیط Arc GIS به پهنه‌بندی دو پارامتر کل مواد جامد محلول (TDS[۸])، درصد سدیم محلول (SSP[۹]) و پهنه‌بندی آب زیر

7- Bohai
8- Total dissolved soil.
9- Soluble sodium percentage

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

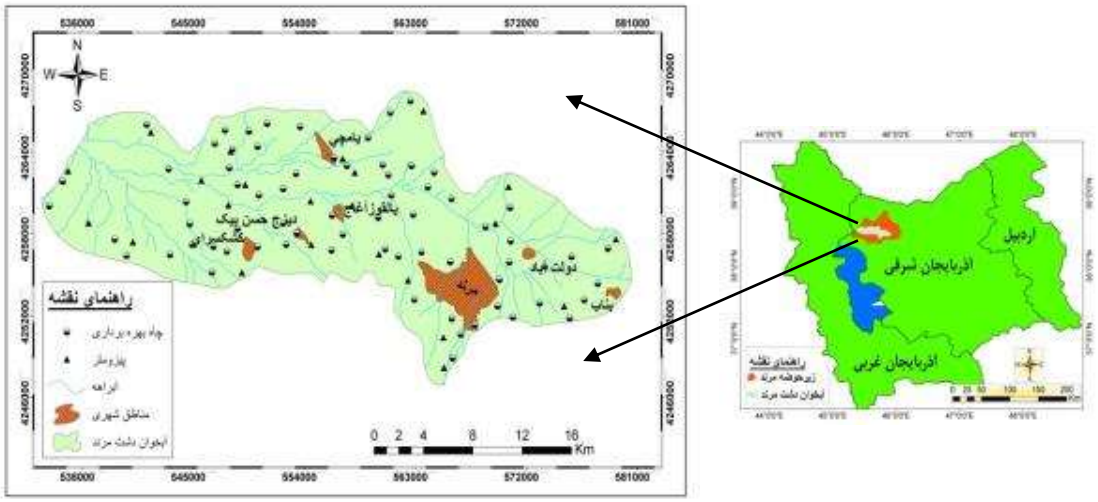
زمینی با توجه به طبقه‌بندی ویل‌کاکس[10] پرداخته‌اند. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داده است که بخش کوچکی از شرق دشت فسا دارای کیفیت آب خوب و بخش مرکزی دارای کیفیت آب مناسب، بخش‌های جنوبی و جنوب غربی دارای کیفیت آب پایین‌تری نسبت به سایر مناطق می‌باشند Banejad and Mohebzadeh (2012) در تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن-قهاوند برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه مذکور از میانگین داده‌های جمع‌آوری شده کیفیت آب ٤٩ چاه در طول ٤ سال شامل هدایت الکتریکی، کل جامدات حل شده، PH، کلرید، سدیم و نسبت جذبی سدیم استفاده شده است. برای پهنه‌بندی کیفی پارامترهای نامبرده از روش درون‌یابی و با استفاده از رهنمودهای تفسیر آب ارائه شده توسط کمیته مشاوران دانشگاه کالیفرنیا(١٩٧٤) استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ٤٧/٧ درصد این منطقه دارای غلظت نامناسب یون سدیم می‌باشد. در مطالعه حاضر به بررسی اثرات کاهش آب زیرزمینی دشت مرند با توجه به موقعیت مناسب جهت کشاورزی در استان آذربایجان‌شرقی در کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه و همچنین به بررسی روند تغییرات مکانی پارامترهای کمی و کیفی دشت با روش‌های زمین آماری و پهنه‌بندی آبخوان دشت از لحاظ کشاورزی پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه

دشت مرند با مختصات ٤٥ درجه و ١٥ تا ٥٠ دقیقه طول شرقی و ٣٧ درجه و ٧ دقیقه تا ٣٨ درجه و ٥٦ دقیقه عرض شمالی و با مساحتی معادل ٥١٧/٤٢ کیلو متر مربع بوده و یکی از دشت‌های وسیع در شمال‌غرب استان آذربایجان‌شرقی می‌باشد که از نظر وسعت بعد از دشت‌های تبریز (٦٥٧ کیلومتر مربع) و دشت سراب (٥٧٣ کیلومتر مربع)، سومین دشت استان محسوب شده و آب مورد نیاز اراضی کشاورزی و بخش قابل توجهی از آب شرب شهر مرند و روستاهای اطراف را تأمین می‌کند. با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در دوره آماری ٣٢ ساله از سال آبی (١٣٥٩) تا شهریور (١٣٩١)، داده‌های بارندگی و دما ٧ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک از سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی اخذ گردید که به‌طور کلی میزان متوسط بارش سالانه ٣٢٧/٧ میلی متر می‌باشد و میانگین بارندگی ماهانه ٢٧/٩٥ میلی‌متر می‌باشد. بیش‌ترین میزان بارندگی با ٧٩/٢ میلی‌متر مربوط به ماه اردیبهشت و کم‌ترین میزان بارش با ٥/٩ میلی‌متر مربوط به ماه شهریور می‌باشد. جریان‌های هوایی مختلف بر روی اقلیم این شهرستان تأثیرات متفاوت و متغیری را می‌گذراند که در نگاه اصلی دو فصل گرم (از اوایل اردیبهشت تا اوایل مهر) و سرد (از اوایل مهر تا اواخر فروردین) در منطقه دیده می‌شود. منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ٢٣ پیزومتر و ٧٠ چاه بهره‌برداری در شکل (١) نشان داده شده است.

10- wilcox

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی چاه‌های منتخب در دشت مرند

Figure 1: Geographic location of selected wells in Marand Plain

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های مربوط به پارامترهای کیفیت ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری و داده‌های ماهانه سطح آب ۲۳ چاه پیزومتری در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) استفاده شد. در ابتدا برای بازسازی نواقص آماری در این تحقیق از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و چاه‌های پیزومتری و روش رگرسیون خطی استفاده شد، سپس برای بررسی روند تغییرات آب‌های زیرزمینی و تحلیل خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک از شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI[11]) استفاده گردید (جدول ۱).

شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) به عنوان معیار ارزیابی وقوع خشکسالی و ترسالی (Bhuiyan et al., 2006) در دشت مرند مورد استفاده قرار گرفته است. هدف شاخص SWI امکان پهنه‌بندی نوسان سطح آب زیرزمینی در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شاخص سطح آب استاندارد شده توسط Bhuiyan et al، ارائه شده و هدف از آن بررسی نوسانات و آنومالی‌های[12] سطح آب زیرزمینی در هندوستان بوده است. معادله محاسباتی این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma \qquad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، W_{ij} عبارت است از متوسط فصلی سطح آب در چاه مورد مطالعه i ، و j تعداد مشاهده، W_{im} عبارت است از میانگین دراز مدت فصلی و σ انحراف معیار می‌باشد. در این مدل مقادیر مثبت نشان دهنده خشکسالی است.

11- Standardize Water Level Index
12- Anomaly

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SWI

Table 1- SWI Drought Index classification

طبقه خشکسالی	مقدار عددی SWI
خشکسالی بسیار شدید	≤2
خشکسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
خشکسالی متوسط	۱ تا ۱/٤۹
خشکسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹
بدون خشکسالی	۰/۰<

برای استخراج مقادیر خشکسالی و ترسالی آب‌های زیرزمینی از روش شاخص سطح آب استاندارد (SWI) با استفاده از نرم‌افزار DIP[۱۳] استفاده گردید. چون داده‌ها در این روش نرمال هستند مقادیر مثبت به عنوان خشکسالی و مقادیر منفی به عنوان ترسالی در نظر گرفته شد (Bhuiyan et al., 2006; McKee et al., 1993). به این ترتیب مقادیر شدت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های هیدروژئولوژیک دشت مرند در مقیاس‌های ۳، ٦، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲٤، ٤۸ ماهه تعیین گردید.

مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو پارامتر نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازد. شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با معیار نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم محلول (SSP) یا درصد سدیم قابل تبادل (ESP) سنجیده می‌شود که با داشتن غلظت عناصر در آب مقادیر آن‌ها از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$SAR=Na/(\sqrt{(Ca+Mg)/2}) \quad \text{معادله (۳)}$$

$$SSP=Na/(Ca+Mg+Na)\times 100 \quad \text{معادله (٤)}$$

شاخص سدیمی بودن یک خاک نسبت جذبی سدیم (SAR) است که وابسته به غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد. نسبت جذبی سدیم خاک برای برآورد درصد سدیم قابل تبادل خاک به‌کار می‌رود. هر چه SAR مربوط به خاک بیش‌تر باشد، سدیم قابل تبادل خاک هم زیادتر است. با افزایش سدیم تبادلی تمایل خاکدانه‌ها و نفوذپذیری

13- Drought Indices Package

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

خاک کاهش می‌یابد. کلیه مقادیر کاتیون‌ها در معادله فوق بر حسب میلی‌اکی والات در لیتر می‌باشند. اما سدیم به تنهایی نمی‌تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی قرار گیرد و بهتر آن است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. روش طبقه‌بندی ویل‌کاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است (Alizadeh, 2005). در نمودار ویلکاکس محور افقی به شوری آب (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر)، EC×106 و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حرف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می‌گردد. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ٤ به‌ترتیب نشان دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد می‌باشد (Alizadeh, 2005). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس، کیفیت آب برای کشاورزی به‌صورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- کیفیت آب بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس (Alizadeh, 2005)

Table 2- Water quality based on the Wilcox classification (Alizadeh, 2005)

کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
C1S1	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر
C2S1, C2S2	کمی شور – مناسب برای کشاورزی
C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3	شور - قابل‌استفاده برای کشاورزی
C1 C4S2, C4S1,S4, C2S4, C3S4,C4S4, C4S3	خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب

در این تحقیق برای نمایش بهتر توزیع مکانی کیفیت آب کشاورزی به روش ویلکاکس، با توجه به مقادیر به‌دست آمده در خرداد ماه سال‌های ترسالی و خشکسالی، کیفیت آب برای مصارف کشاورزی به صورت نقشه نمایش داده شد. پارامترهای هیدروشیمیایی که مورد بررسی قرار می‌گیرند، متفاوت است ولی بررسی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب در هر مطالعه‌ای اهمیت دارد. از آنجا که یون کلرید (CL) تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی نظیر فرآیند جذب و تعویض یونی قرار نمی‌گیرد لذا در موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در نفوذ آب شور به سفره‌های ساحلی می‌تواند به عنوان ردیاب تغییر ناپذیر مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور جهت ارزیابی آب از نظر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و کلر (CL)، برای مصارف کشاورزی از رهنمودهای تفسیر کیفیت آب آبیاری، ارایه شده توسط مشاوران دانشگاه کالیفرنیا استفاده شد (Haj Rasoliha, 2003). این مقادیر به سه منطقه با کیفیت خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شدند (جدول ۳).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

در این تحقیق با توجه به این‌که داده‌های مربوط به ویژگی‌های خشکسالی و پارامترهای کیفی در دشت مرند در هر یک از ایستگاه‌ها به‌صورت مکانی بود، از روش کریجینگ و روش عکس مربع فاصله برای پهنه‌بندی و تحلیل فضایی ویژگی‌های مورد نظر در دشت مرند استفاده شد. به منظور فرآیند درون‌یابی در نرم‌افزار ARC GIS، از عملگر Geostatistical Analyst استفاده شد.

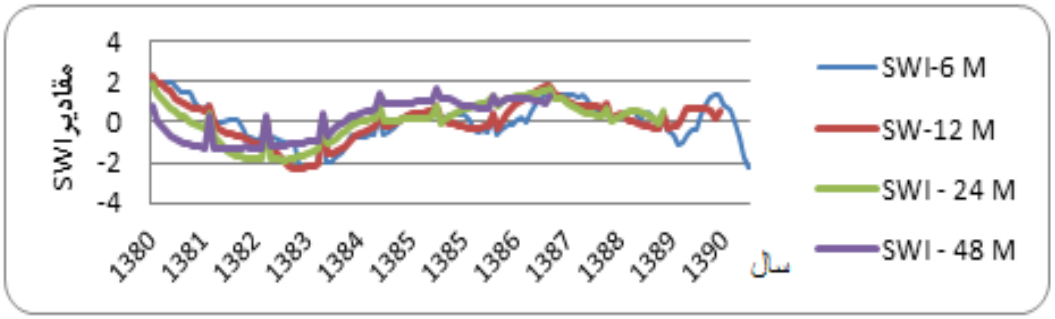
جدول ۳- تفسیر کیفیت آب آبیاری، ارائه شده توسط مشاوران دانشگاه کالیفرنیا (Haj Rasooliha, 2003)

Table 3- Interpretation of irrigation water quality, provided by university of California advisers (Haj Rasooliha, 2003)

پارامتر	واحد	درجه محدودیت در مصرف		
		هیچ	جزیی تا متوسط	شدید
EC	umhos/cm	> ۷۰۰	۳۰۰۰-۷۰۰	<۳۰۰۰
CL	Meq/l	> ٤	٤-۱۰	<۱۰
SAR	بدون بعد (٪)	> ۳	۳-۵	<۵

یافته‌ها و بحث

شاخصی که به منظور تحلیل وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی در دشت مرند مورد استفاده قرار گرفته در ابعاد زمانی ٦، ۱۲، ٢٤ و ٤٨ ماهه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، شاخص SWI در پیزومتر قره قوم در سال‌های اخیر مقادیر بالایی را نشان می‌دهد و بیانگر این مطلب است که سطح آب زیرزمینی در دشت مرند دچار افت شده است و خشکسالی‌ها شدت یافته است.



شکل۲: وضعیت خشکسالی و ترسالی در پیزومتر نمونه (قره قوم) در مقیاس‌های زمانی مختلف

Figure 2: Drought and wet condition in the sample piezometer (Qare Qom) at different time scaleS

در این قسمت خصوصیات خشکسالی چاه پیزومتری قره‌قوم با توجه به شکل (۳) به‌عنوان نمونه شرح داده می‌شود:

الف) مقیاس زمانی ٦ ماهه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

در این مقیاس، شدیدترین مقدار SWI مشاهده شده مربوط به ماه شهریور (۱۳۸۰) می‌باشد، که مقدار آن برابر ۲/۱ می‌باشد. طولانی‌ترین تداوم مشاهده شده در این ایستگاه در مقیاس ٦ ماهه، تداوم ۲۸ ماهه سال‌های (۱۳۸۷) تا (۱۳۸۹) می‌باشد. این خشکسالی در حقیقت از ماه اردیبهشت (۱۳۸۷) آغاز و تا شهریور (۱۳۸۹) به طول انجامیده است. از مجموع ۱۲۷ ماه مورد مطالعه در این مقیاس، تعداد یا فراوانی مطلق خشکسالی‌های مشاهده شده، ۷۵ ماه بوده که حدودا ۵۹ درصد می‌باشد.

ج) مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

در این مقیاس زمانی، شدیدترین خشکسالی مشاهده شده مربوط به اسفند (۱۳۸۰)بوده است و مقدار آن ۲/۳۱ می باشد. از نظر تداوم خشکسالی در این ایستگاه، طولانی‌ترین تداوم مشاهده شده، تداوم ۲۹ ماهه بوده است. از مجموع ۱۲۱ ماه مورد مطالعه در این مقیاس، تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده، ٦۸ ماه یعنی ٥٦ درصد بوده است.

د) مقیاس زمانی ٢٤ ماهه

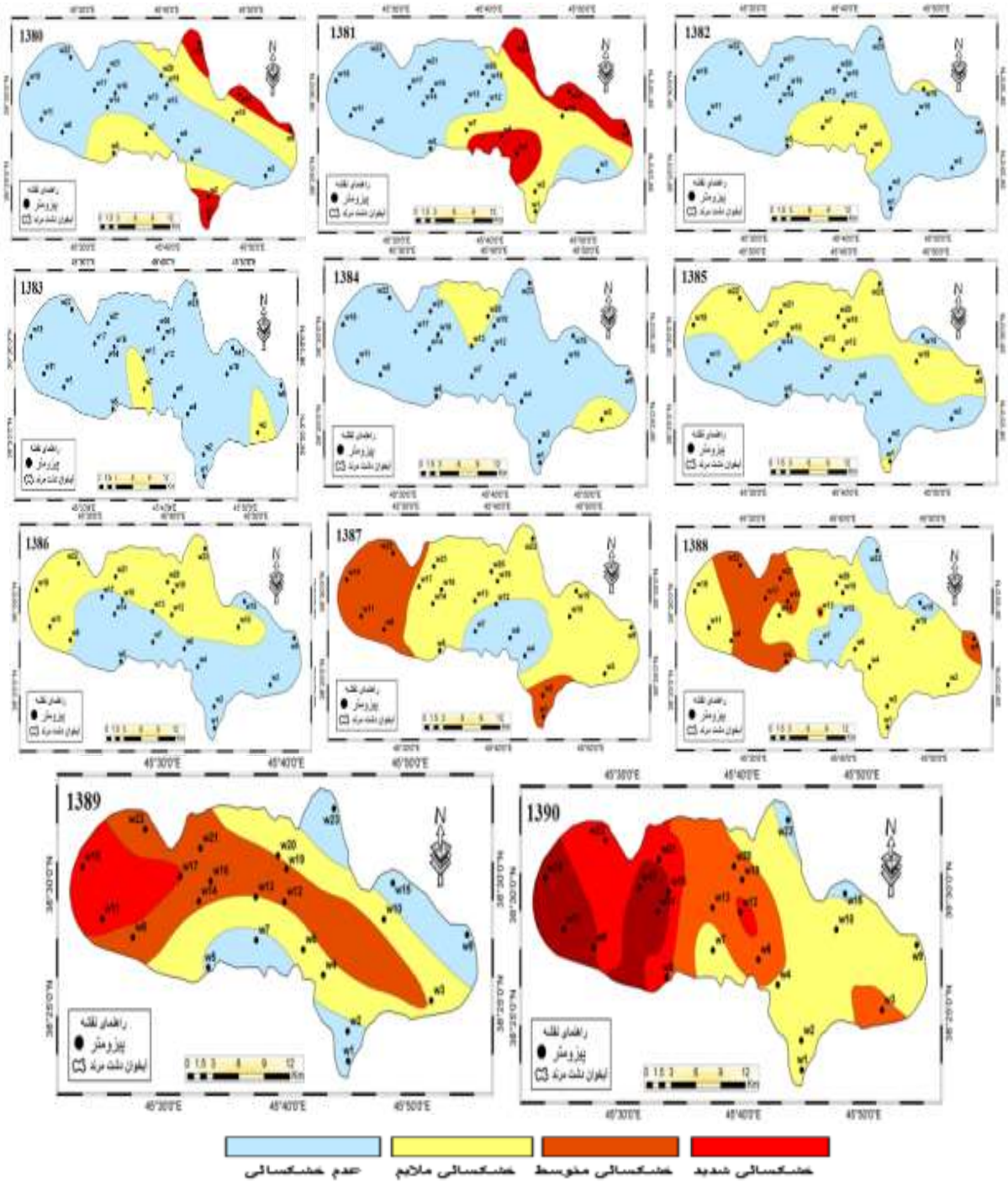
در این مقیاس شدیدترین ماه خشک، اسفند (۱۳۸۱) می‌باشد که همانند مقیاس زمانی ۱۸ ماهه تکرار شده است. در این ماه مقدار SWI، ۱/۹٦ می‌باشد. طولانی‌ترین تداوم مشاهده شده در مقیاس ٢٤ ماهه، تداوم ٤٦ ماهه می‌باشد. این خشکسالی در حقیقت از ماه اردیبهشت (۱۳۸۷) آغازشده و در اواخر سال (۱۳۸۸)به اوج خود رسیده و بعد به‌صورت خشکسالی متوسط تا اواخر سال (۱۳۹۰) ادامه یافته است. از نظر فراوانی مطلق خشکسالی‌ها در این چاه پیزومتری نیز، از مجموع ۱۰۹ ماه مورد مطالعه، تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده، ۷۵ ماه که ٦۹ درصد می‌باشد.

ه) مقیاس زمانی ٤۸ ماهه

شدیدترین خشکسالی مشاهده شده در مقیاس زمانی ٤۸ ماهه مربوط به اسفند (۱۳۸۸) بوده و مقدار آن ۱/٦۳ می‌باشد. ازنظر تداوم خشکسالی در پیزومتر قره قوم، طولانی‌ترین تداوم مشاهده شده دارای تداوم ٤٤ ماهه بوده است. این خشکسالی از ماه مرداد (۱۳۸۷) شروع شده است و تا پایان دوره آماری در این مقیاس تداوم داشته است. از مجموع ۸۵ ماه مورد مطالعه در این مقیاس، تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده، ٤۹ ماه و حدود ٤۸ درصد بوده است.

به منظور ارزیابی خشکسالی آب‌های زیرزمینی ابتدا با استفاده از مقادیر سالانه شاخص سطح آب استاندارد، پهنه بندی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در سطح منطقه انجام شد. شکل (۳) روند تغییرات سالانه نوسان سطح ایستابی منطقه را در قالب شاخص‌های SWI نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



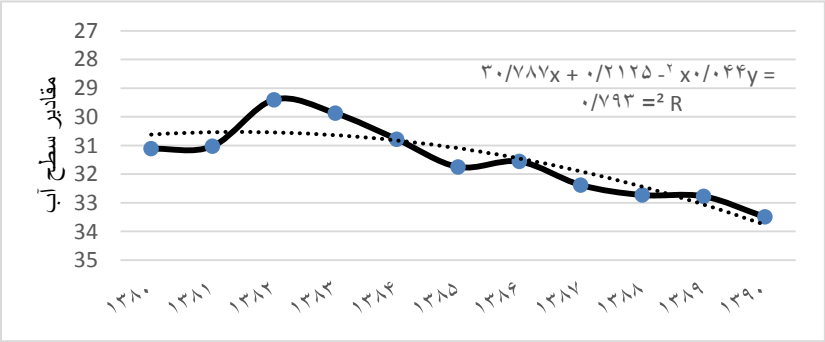
شکل ۳: مقادیر سالانه شاخص SWI

Figure 3: Annual values of the SWI indicator

از ویژگی‌های بارز دشت مرند وجود دو فصل بارشی متفاوت طی سال است. یک دوره مرطوب که از اواسط بهمن آغاز شده و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد و یک دوره خشک که در بقیه سال به چشم می‌خورد. انطباق فصل خشک

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

با دوره رویش گیاهان زراعی، مصرف آب به منظور جبران نیاز آبی گیاهان را ضروری می‌کند. این کمبود عمدتاً از منابع آب زیرزمینی جبران می‌شود. افزایش برداشت طی سال‌های اخیر و به‌طور محسوس بعد از سال (۱۳۸۵) در منطقه، به‌طوری که با بررسی هیدروگراف سالانه دشت نیز مشخص می‌باشد، تعادل بین ورودی و خروجی دشت بر هم زده و کاهش ذخیره مخزن را سبب گردیده است. این افزایش برداشت تا سال (۱۳۹۰) ادامه داشته به طوری که حدود نیمی از آبخوان بر اثر برداشت زیاد دچار افت سطح ایستابی شده است (شکل ٤).



شکل ٤: هیدروگراف سالانه آب زیرزمینی دشت مرند (سال‌های ۹۰-۱۳۸۰)

Figure 4: Annual hydrograph of the groundwater of the Marand plain (2001-11)

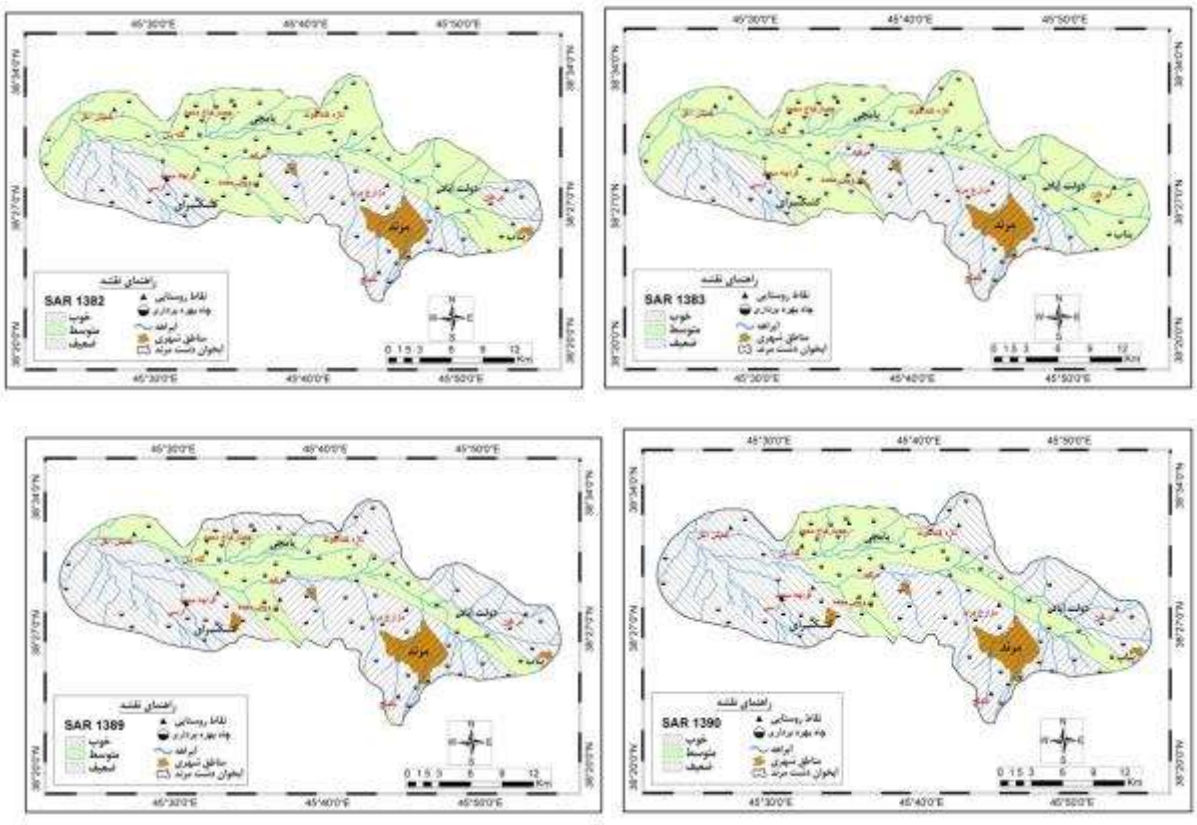
پس از محاسبه خط روند هیدروگراف سالانه (متوسط وزنی سطح ایستابی ایستگاه‌ها)، مشاهده می‌شود که ضریب تبیین بین سطح آب سالانه و زمان ۰/۷۹ درصد می‌باشد. این در حالی است که طبق معادله رگرسیون تغییرات سطح آب در منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۱۱ ساله از معادله درجه دوم تبعیت می‌کند. تغییرات سطح آب از سال (۱۳۸۰ تا ۱۳۸٤) افزایشی بوده و در ادامه تا سال (۱۳۹۰) یک روند کاهشی را نشان می‌دهد.

جهت نشان دادن تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت مرند نسبت به نوسان سطح ایستابی بر اساس نتایج به‌دست آمده از مدل SWI و همچنین شدت، مدت و فراوانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی منطقه در بازه‌های زمانی مختلف، ابتدا مقادیر مربوط به ماه خرداد سال‌های (۱۳۸۲) و (۱۳۸۳)، به عنوان سال‌هایی که سطح ایستابی افزایش یافته و مقادیر خرداد ماه مربوط به سال‌های (۱۳۸۹) و (۱۳۹۰) به عنوان سال‌هایی که به دلیل افزایش برداشت، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است، مورد بررسی قرار گرفتند.

شکل (۵) توزیع مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به مقادیر SAR را در خرداد ماه سال‌های (۱۳۸۲،۱۳۸۳ و ۱۳۸۹، ۱۳۹۰) نشان می‌دهد. مطابق این نقشه‌ها حدود ۲۳ تا ۲۷ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه که در اطراف شهر مرند قرار دارند، دارای آب با کیفیت عالی هستند اما افزایش برداشت در سال‌های پایانی دوره آماری بر مقادیر SAR

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

تأثیر مستقیم گذاشته و با توجه به بررسی نقشه‌های پراکندگی این پارامتر، بیش‌ترین مساحت آبخوان را مقادیر ۵ تا ۱۵ درصد در بر گرفته است. شکل (۵ و جدول ٤).



شکل ۵: پهنه‌بندی نسبت جذب سدیم (SAR) در خرداد ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

Figure 5: Zoning of Sodium Absorption Rate (SAR) in June 2003-2004 and 2010-2011

جدول ٤- مساحت و درصد مربوط به نسبت جذب سدیم (SAR) در خرداد ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

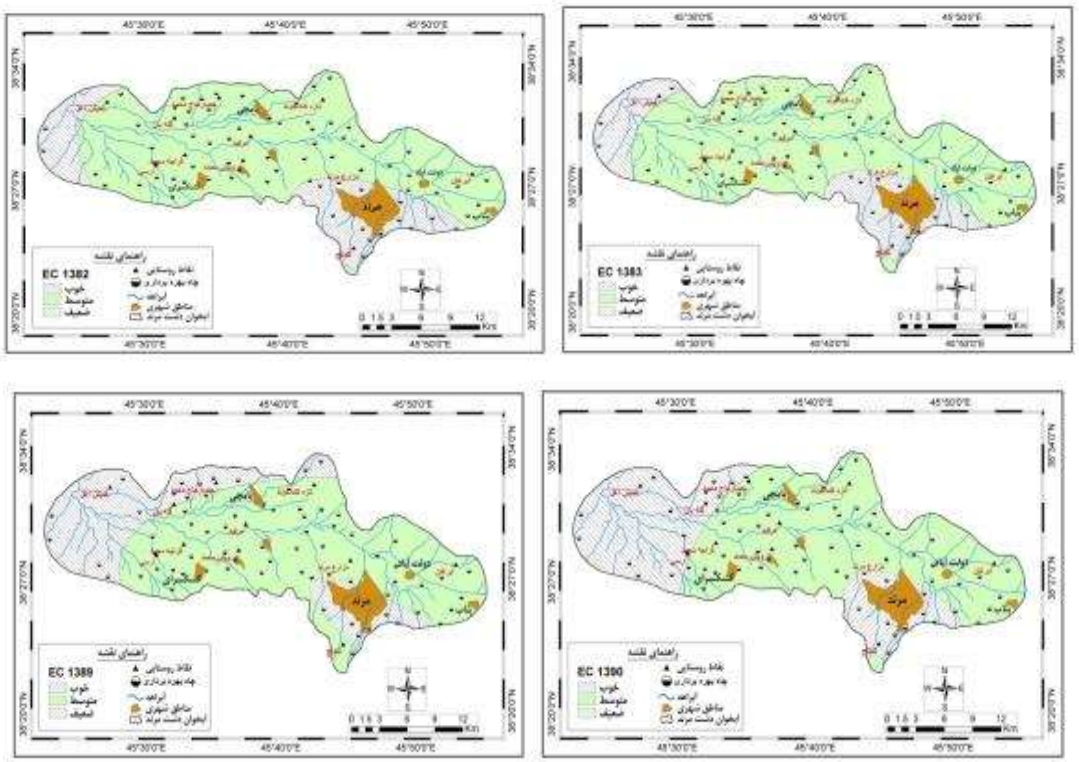
Table 4- Area and percentage of sodium absorption rate (SAR) in June 2003-2004 and 2010-2011

سال	مقادیر SAR	مساحت KM2	درصد ساحت	سال	مقادیر SAR	مساحت KM2	درصد مساحت
۱۳۸۲	خوب	۲۲/۱۲۳	۸۱/۲۳	۱۳۸۹	خوب	۱۳٦/۲۹	۲٦/۳٤
	متوسط	۰۱/۲۹۸	۵۹/۵۷		متوسط	۱٤۷/۳۲	۲۸/٤۷
	ضعیف	۱۷/۹٦	۵۸/۱۸		ضعیف	۲۳۳/۷۹	٤۵/۱۸
۱۳۸۳	خوب	۱٤٤/۷٤	۲۷/۹۷	۱۳۹۰	خوب	۱۳۳/۱۵	۲۵/۷۳
	متوسط	۳۱۱/۱٦	٦۰/۱۳		متوسط	۱٤۲/۰۷	۲۷/٤۵
	ضعیف	٦۱/۵۱	۱۱/۸۸		ضعیف	۲٤۲/۱۵	٤٦/۸۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

نتیجه‌ای که از بررسی توزیع مکانی مقادیر نسبت جذب سدیم به‌دست می‌آید، بیانگر افزایش میزان SAR در آبخوان دشت مرند و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک و از دست رفتن کیفیت آب قابل کشاورزی می‌باشد.

کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی از نظر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در دشت مرند در خرداد ماه در شکل (٦) نمایش داده شده است. بر اساس این نقشه‌ها، در خرداد ماه (۱۳۸۹) حدود ٢٤ درصد آب‌های زیرزمینی با مقادیر بالا، از کیفیت ضعیفی برخوردار است. این در حالی است که در خرداد ماه (۱۳۹۰) این مقدار به حدود ٢٦ درصد افزایش یافته است. در این سال‌ها کیفیت متوسط نیز بیش‌ترین مساحت را دارا می‌باشد. مساحت مربوط به کیفیت متوسط در هر دو سال مربوط به خشکسالی، نسبت به سال‌های (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) کاهش قابل توجهی داشته است (جدول ۵).



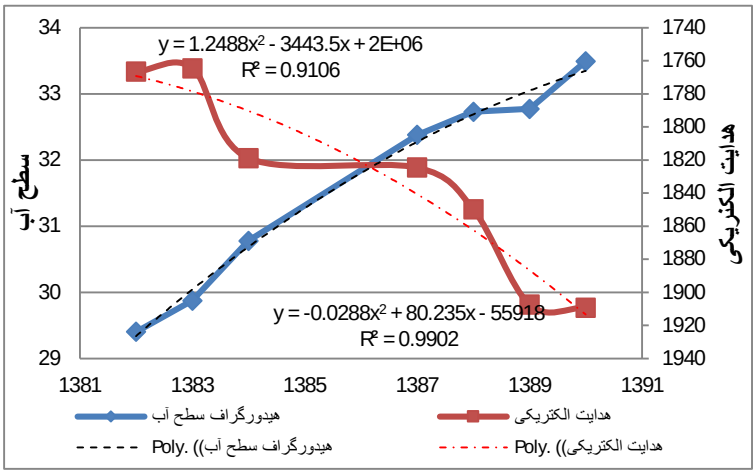
شکل ٦: پهنه‌بندی مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در خرداد (۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰)

Figure 6: Zoning the electrical conductivity values (EC) in June 2003-2004 and 2010-2011

از بررسی نقشه‌های به‌دست آمده مربوط به هدایت الکتریکی شکل (٦) می‌توان نتیجه گرفت که به طرف غرب آبخوان مقادیر EC رو به افزایش می‌باشد که بیانگر وجود آب شور و نفوذ آن به سفره‌های آب زیرزمینی است. مقایسه تغییرات دراز مدت هدایت الکتریکی، افزایش آن را در طول دوره آماری به ویژه بعد از خشکسالی‌های اتفاق افتاده و همچنین در اثر پمپاژ زیاد از حد چاه‌ها و افت سطح آب زیرزمینی تأیید می‌کند. کاهش بارندگی و

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

بهره‌برداری بیش از حد مجاز از سفره آب زیرزمینی برای مصارف گوناگون باعث افت شدیدی در سطح آب زیرزمینی شده و این به نوبه خود باعث نزول کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. شکل (۷) ارتباط هیدروگراف واحد (متوسط سطح آب زیرزمینی) و متوسط هدایت الکتریکی را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که با افزایش برداشت و افت سطح ایستابی متوسط تغییرات هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد و برعکس.



شکل ۷: رابطه بین هیدورگراف سطح آب زیرزمینی و متوسط هدایت الکتریکی در دشت مرند

Figure 7: Relationship between groundwater level hydrograph and the average electrical conductivity in Marand Plain

جدول ۵- مساحت و درصد مربوط به مقادیر (EC) در خرداد ماه سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

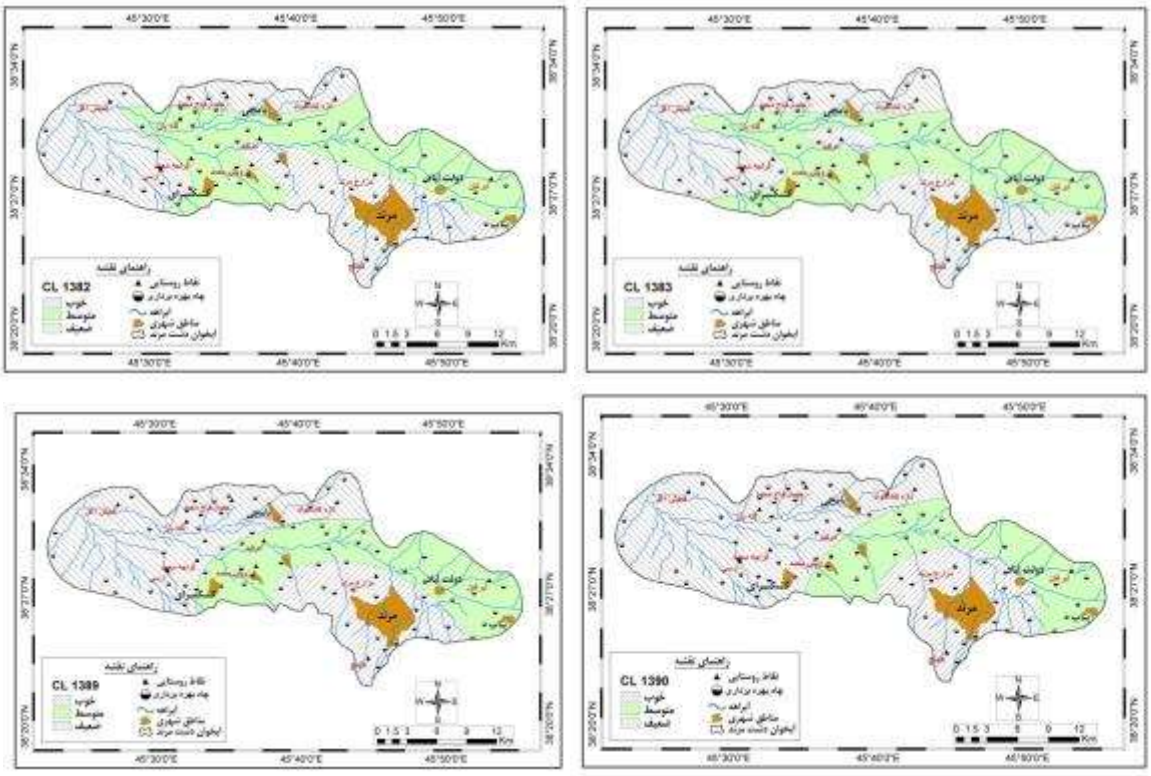
Table 5- Area and percentage of EC in June 2003-2004 and 2010-2011

سال	مقادیر EC	مساحت KM^2	درصد مساحت	سال	مقادیر EC	مساحت KM^2	درصد مساحت
۱۳۸۲	خوب	۷۹/۹۹	۱۵/۴۵	۱۳۸۹	خوب	۴۱/۸۲	۸/۰۸
	متوسط	۳۹۸/۸۳	۷۷/۰۸		متوسط	۳۵۰/۷۷	۶۷/۷۹
	ضعیف	۳۸/۶۰	۷/۴۶		ضعیف	۱۲۴/۸۲	۲۴/۱۲
۱۳۸۳	خوب	۷۷/۷۹	۱۵/۰۳	۱۳۹۰	خوب	۶۱/۴۰	۱۱/۸۶
	متوسط	۳۹۵/۲۶	۷۶/۳۸		متوسط	۳۲۱/۰۴	۶۲/۰۴
	ضعیف	۴۴/۴۲	۸/۵۸		ضعیف	۱۳۴/۹۷	۲۶/۰۸

شکل (۸) توزیع مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی مربوط به مقادیر Cl را در خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) نشان می‌دهد که تجمع کلر تنها مربوط به خروجی آبخوان است که مساحتی آن حدود ۳۲ درصد می‌باشد. بیش‌ترین محدوده آبخوان مربوط به کیفیت متوسط از نظر کلر می‌باشد. این در حالی است که در خرداد ماه (۱۳۸۹) حدود ۴۴ درصد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

آب‌های زیرزمینی از کیفیت ضعیفی برخوردار است و در خرداد ماه (۱۳۹۰) این مقدار به حدود ۵۰ درصد افزایش یافته است جدول (٦).



شکل ۸: پهنه‌بندی مقادیر کلر (Cl) در خرداد ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

Figure 8: Zoning the amounts of chlorine (Cl) in June 2003-2004 and 2010-2011

جدول ٦- مساحت و درصد مربوط به مقادیر کلر (Cl) در خرداد (۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰)

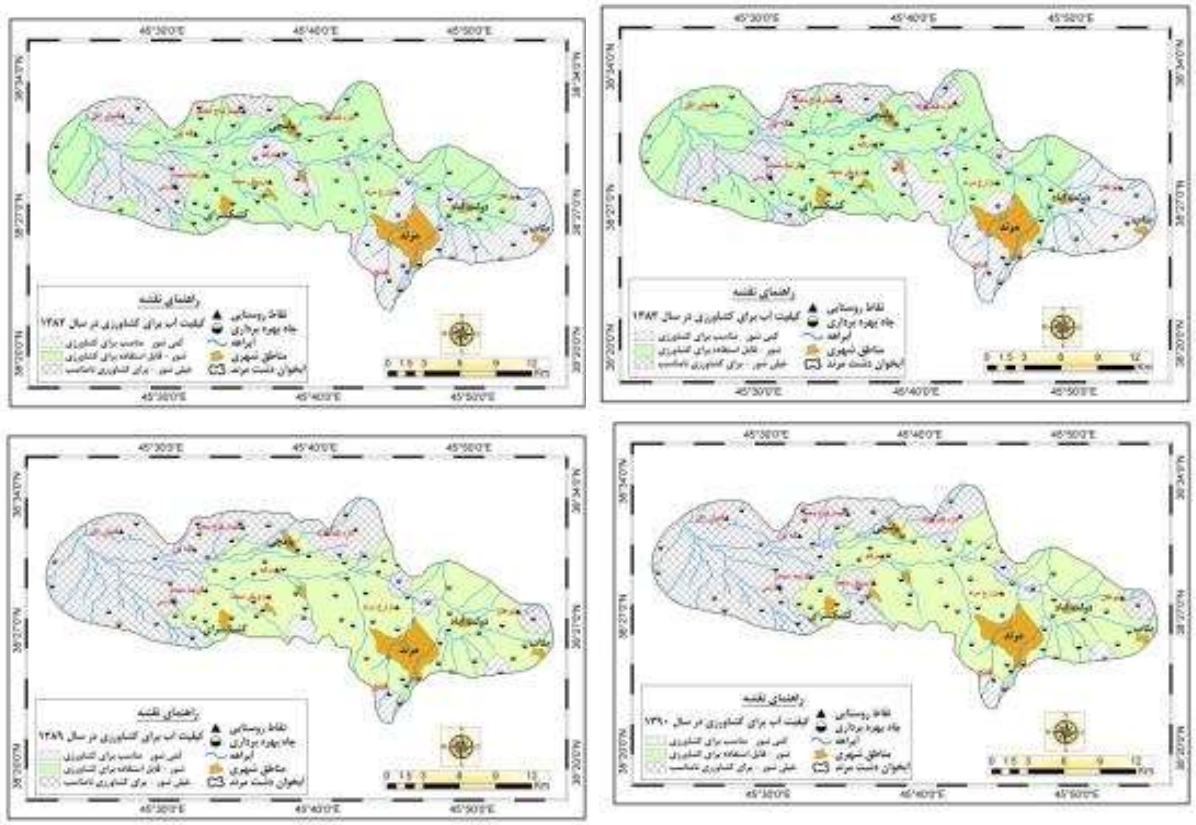
Table 6- Area and percentage of chlorine (Cl) in June 2003-2004 and 2010-2011

سال	مقادیر Cl	مساحت KM2	درصدمساحت	سال	مقادیر Cl	مساحت KM2	درصد مساحت
۱۳۸۲	خوب	۱۳۸/۰۵	۲٦/٦۸	۱۳۸۹	خوب	۱۱٦/۸	۲۲/۵۷
	متوسط	۲۱٤/۷۱	٤۱/٤۹		متوسط	۱۷٤/۵	۳۳/۷۳
	ضعیف	۱٦٤/٦۳	۳۱/۸۱		ضعیف	۲۲٦/۹	٤۳/٦۸
۱۳۸۳	خوب	۱۱۸/۳۷	۲۲/۸۷	۱۳۹۰	خوب	۱۱٦/۹	۲۲/۵۹
	متوسط	۲۲۹/۹۸	٤٤/٤٤		متوسط	۱٤۳/۷	۲۷/۷۸
	ضعیف	۱٦۹/۰٤	۳۲/٦۷		ضعیف	۲۵٦/٦	٤۹/٦۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

از بررسی نقشه‌های به‌دست آمده مربوط به مقادیر کلر شکل (۸) می‌توان نتیجه گرفت که به طرف غرب آبخوان مقادیر Cl رو به افزایش می‌باشد که بیانگر کیفیت ضعیف و شوری بالا و نفوذ آن به سفره‌های آب زیرزمینی است. مقایسه تغییرات دراز مدت کلر، افزایش آن را در طول دوره آماری به ویژه در سال‌های (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) که میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به سال‌های عدم خشکسالی، افزایش یافته است را نشان می‌دهد.

با بررسی توزیع مکانی کیفیت آب از نظر کشاورزی بر اساس دیاگرام ویلکاکس در سال‌هایی که برداشت از سطح آبخوان کم بوده است مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مساحت آبخوان دشت مرند از نظر کشاورزی، دارای کیفیت شور تا کمی شور می‌باشد و برای کشاورزی مناسب است. در این سال‌ها به دلیل بارندگی‌های مناسب و بالا بودن سطح ایستابی، کیفیت آب نیز در سطح مناسبی از نظر کشاورزی می‌باشد. قسمت شرق آبخوان در خرداد ماه هردو سال مورد مطالعه کم‌ترین میزان شوری را دارا می‌باشد؛ اما در سال‌های (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) از میزان مساحت آب‌های مناسب برای کشاورزی به شدت کم شده است و به طرف خروجی آبخوان کیفیت آب‌ها برای مصارف کشاورزی نامناسب شده است. بیش‌ترین مساحت مربوط به کیفیت خیلی شور حدود ٤٤ درصد در خرداد ماه سال (۱۳۹۰) بوده است (جدول ۷).



شکل ۸: کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکاکس در خرداد ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

Figure 8: Groundwater quality for agriculture based on the Wilcox diagram in June 2003-2004 and 2010-2011

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۷- مساحت و درصد مربوط به کیفیت آب از نظر کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکاکس در خرداد ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰

Table 7- Area and percentage of groundwater quality for agriculture based on the Wilcox diagram in June 2003-2004 and 2010-2011

سال	طبقات ویلکاکس	مساحت KM2	درصد مساحت	سال	طبقات ویلکاکس	مساحت KM2	درصد مساحت
۱۳۸۲	کمی شور	۱۳۷/۶۷	۲۶/۶۰	۱۳۸۹	کمی شور	۲۱/۱۰	٤/۰۷
	شور	۲۹۰/۳٤	٥٦/۱۱		شور	۲۹۳/٦۹	٥٦/۷٥
	خیلی شور	۸۹/٤۰	۱۷/۲۷		خیلی شور	۲۰۲/٦٦	۳۹/۱٦
۱۳۸۳	کمی شور	۱٤۰/۸٥	۲۷/۲۲	۱۳۹۰	کمی شور	۹/۷۱	۱/۸۷
	شور	۲۸۱/۰۹	٥٤/۳۲		شور	۲۷۹/۹۱	٥٤/۱۰
	خیلی شور	۹٥/٤۸	۱۸/٤٥		خیلی شور	۲۲۷/۷٤	٤٤/۰۱

نتیجه‌گیری

از بررسی نقشه‌های به‌دست آمده بر اساس دیاگرام ویلکاکس، می‌توان نتیجه گرفت که به طرف غرب آبخوان کلاس مربوط به آب‌های خیلی شور به ویژه در خرداد (۱۳۹۰)، رو به افزایش می‌باشد که بیانگر کیفیت ضعیف به منظور آب کشاورزی است. مقایسه تغییرات دراز مدت کیفیت آب، نامناسب بودن آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی، به ویژه در غرب آبخوان و در سال‌های (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) را نشان می‌دهد. کاهش سطح ایستابی و افزایش برداشت در طول دوره آماری، به دلیل کمبود بارش و جبران نشدن نیاز آبی منطقه برای مصارف کشاورزی، باعث کاهش شدید کیفیت آب‌های زیرزمینی در سطح وسیعی از آبخوان شده است. شاخص SWI این امکان را فراهم می‌کند که در یک دوره ثابت از اطلاعات محاسبه شده به وسیله این شاخص زمان شروع و پایان خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک و همچنین شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها محاسبه شود. این مطلب در مطالعات Hayes et al (1999) در آمریکا و Bhuiyan et al (2006) نیز اثبات شد.

به منظور نشان دادن تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت مرند نسبت به نوسان سطح ایستابی، ابتدا مقادیر مربوط به ماه خرداد سال‌های (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، به عنوان سال‌هایی که سطح ایستابی افزایش یافته و مقادیر خرداد ماه مربوط به سال‌های (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) به عنوان سال‌هایی که به دلیل افزایش برداشت، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است، انتخاب گردید. از نظر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نتایج بررسی ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی دشت مرند بر اساس شاخص‌های قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کلر (Cl) به لحاظ درجه در رده خوب، تنها در اطراف شهر مرند می‌باشند. از مرکز آبخوان به طرف خروجی (غرب آبخوان) از کیفیت آب زیرزمینی کاسته شده به طوری که در انتهای آبخوان به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

آب‌های خیلی شور تبدیل می‌گردد. این وضعیت در دوره‌هایی که برداشت از آبخوان افزایش یافته است بسیار تشدید شده است. در خشکسالی مربوط به خرداد ماه (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) از نظر درصد جذب سدیم، حدود ٤٦ درصد آب‌ها دارای مقادیر بالا بوده این در حالی است که در خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) این مقدار حدود ۱۸ درصد بوده است. از نظر شوری در خرداد ماه (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) حدود ۲٦ درصد از آب‌های زیرزمینی که مربوط به غرب آبخوان می‌باشند، دارای کیفیت ضعیف بوده که این مقدار در خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) حدود ۸ درصد است. از بررسی نقشه‌های به‌دست آمده مربوط به مقادیر کلر، می‌توان نتیجه گرفت که به طرف غرب آبخوان مقادیر Cl رو به افزایش می‌باشد که بیانگر کیفیت ضعیف و شوری بالا و نفوذ آن به سفره‌های آب زیرزمینی است و مساحت مربوط به خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) حدود ۳۲ درصد بوده که این مقدار در خرداد ماه (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) به حدود ٤۹ درصد افزایش یافته است. در ترسالی سهم آب‌های زیرزمینی شیرین به ویژه آب‌های با کیفیت متوسط بیش‌تر بوده و مقادیر آب‌های با املاح زیاد کم‌تر شده است. در ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها روند تغییر کیفی آب‌های زیرزمینی از شرق آبخوان به عنوان منطقه تغذیه به سمت بخش مرکزی و انتهایی دشت می‌باشد؛ یعنی منطقه تغذیه آبخوان و مناطق پایکوهی شرق آبخوان از نظر کیفیت شیمیایی دارای آب‌های با کیفیت بالا هستند، ولی به طرف مرکز آبخوان به ویژه خروجی آن به آب‌های با کیفیت بسیار نامناسب تبدیل می‌شوند. همچنین به دلیل وجود ارتفاعات بیش‌تر در قسمت جنوب به ویژه جنوب‌شرقی آبخوان که نقش منطقه تغذیه را دارا می‌باشند، روند تغییر کیفی آب‌های زیرزمینی از جنوب به شمال می‌باشد. این وضعیت در خشکسالی آب‌های زیرزمینی تشدید شده و دامنه آن توسعه می‌یابد. به منظور مقایسه توزیع مکانی مقادیر کیفیت آب برای مصارف کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکاکس، مقادیر مربوط به کیفیت آب زیرزمینی ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری برای خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) همچنین مقادیر مربوط به خرداد ماه (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰)، به صورت نقشه تهیه گردید. از بررسی نقشه‌های به‌دست آمده بر اساس دیاگرام ویلکاکس، می‌توان نتیجه گرفت که به طرف غرب آبخوان آب‌های خیلی‌شور به‌ویژه در خرداد (۱۳۹۰) نسبت به خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، رو به افزایش می‌باشد که بیانگر کیفیت ضعیف به منظور آبیاری کشاورزی می‌باشد. مساحت مربوط به کلاس خیلی شور در خرداد ماه (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) حدود ۱۸ درصد بوده که این مقدار در خرداد (۱۳۹۰) به حدود ٤٤ درصد افزایش یافته است. مقایسه تغییرات دراز مدت کیفیت آب، نامناسب بودن آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی، به‌ویژه در غرب آبخوان را برای سال‌های (۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Abadeh, M., Onagh, M., Mosaedi, A., Zeinodin, A., (2006), "Evaluation of the effect of surface water deficit reduction on groundwater salinity Zeidabad region Sirjan ", ***Journal of Agricultural Science and Natural Resources***, 2: 18-27. [In Persian].

- Abdi Nejad, GH., (2008), "Investigating the factors affecting desertification and drought", ***Forest and pasture***, 78: 8-10. [In Persian].

- Alizaheh, A., (2005), "***Principles of applied hydrology***", Mashhad: Publication of Imam Reza University. [In Persian].

- Arsalan, H., (2012), " Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging:The case of Bafra plain, Turkey", ***Agricultural Water Management***,113: 57-63.

- Banejad, H., Mohebzadeh, H., (2012), "Evaluation of groundwater quality for preparation of water requirement for agriculture in Razan-Ghahavand plain by GIS", ***Journal of Geographical Space***, (38): 99-110. [In Persian].

- Bhuiyan, C., Singh, R. P., Kkogan, F. N.,(2006)," Monitoring drought dynamics in the aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data", ***International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation***, 8: 289-302.

- El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D., Benavente, J., Kaufmann, O., (2009), "Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study", ***Applied Geochemistry***, 24 (1): 16-31.

- Haj Rasoliha, SH., (2003), "***Water Quality for Agriculture (translation)***", Tehran University Press Center. [In Persian].

- Harasi, S., Asgharo Moghadam, A., Sedigh, H., (2011), "Investigation of groundwater quality changes due to the fall of the surface of the Azarshahr plain", The 30th Earth sciences conference, 1st to 3rd of March 2011, pp 1-6. [In Persian].

- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V., (1999), "Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index", ***Bulletin of the American Meteorological Society***, 80: 429-438.

- Kiani, M., Taqbatabaie, S. M., Bahreyni, M., Keshavarz, A., (2011), "Zoning quality of groundwater for agricultural purposes using geostatistics (Case Study city Fasa)", 11th Irrigation and Evaporation Reduction Conference, Kerman, 18-20 February 2011, pp 1-7. [In Persian].

- Malins, D., Metternicht, G., (2007), "Assesing the spatial extent of dryhand salinity through fuzzy modeling", ***Ecological Modeling***, 193 (3-4): 387-411.

- Mckee, B.T., Doesken, N. J., Kleist, J., (1993), "The relationship of drought frequency and duration to time scales", 8th conference on Applied Climatology, Anaheim CA, American Meteorological Society, 17-22 January 1993, pp 179-184.

- Mohammad Rostami, Kh., Mohseni Saravi, M., Hesami, D., Rashidpour, M., Salmani, H., Farokzadeh, B., (2014), "Evaluation of groundwater quality in Mashhad city, using geostatistical methods in drought and wet periods", ***Journal of Applied Hydrology***, 38: 49-57.

- Nas, B., Berktay, A., (2010), "Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS", ***Environmental Monitoring and Assessment***, 160: 215 -227.

- Sener, E., Davraz, A., (2013), "Assessment of groundwater vulnerability based on a

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: The case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey)", ***Hydrogeology Journal***, 21 (3): 701-714.
- Velayati, S., (2002), "Effect of water extraction from wells in salinity aquifer of forest plain (Torbat Heydarieh)", ***Geographical Researches Quarterly Journal***, 17 (4): 91-105. [In Persian].
- Veysie, SH., Hoshmand, A., Panahi, M., (2010), "Investigating the source of salinity of groundwater resources using GIS, Case Study: Gotvand Aghili plain", The third national conference on irrigation and drainage management, Shahid Chamran University of Ahwaz, 10 to 12 March 2010, pp 1-7. [In Persian].
- Zaiming, Z., Guanghui, Z., Mingjiang, Y., Jinzhe, W., (2012), "Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China", ***Environmental Monitoring and Assessment***, 184 (6): 3697-3710.
- Zareian Jahromi, M., Naghizadeh, R., Mahmodi, SH., Heydari, A., (2007), " Evaluation of geostatistics to predict the spatial distribution of groundwater salinity (Yazd-Ardakan plain)", 4th National Conference on Watershed Engineering Sciences,1 to 2 March 2007, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, p 1-7. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]