هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲۲، سال ششم، بهار ۱۳۹۹، صص ۲۰-۱
Hydrogeomorphology, Vol.6, No.22, Spring 2020, pp (1-20)

بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت جنگل استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص‌های GWQI و AWQI و پهنه‌بندی آن با سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

علی شهیدی*[1]، فهیمه خادم‌پور[2]

۱- دانشیار، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی علوم آب، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸

چکیده

افزایش مصرف آب ناشی از افزایش جمعیت، باعث کاهش کیفی و کمی آب‌های قابل استحصال شده است. با توجه به این وضعیت، شناخت کمی و کیفی منابع مناسب برای شرب و کشاورزی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. در این مطالعه، به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت جنگل در استان خراسان رضوی پرداخته شده است. ۱۰ حلقه چاه در این دشت در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ از نظر غلظت یون‌های +Ca2، +Mg2+Na2، -HCO3، -SO42، -Cl، pH و TDS با دو شاخص GWQI و AWQI مورد تحلیل قرار گرفت. هم‌چنین، پهنه‌بندی دشت با استفاده از شاخص GWQI در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. بر اساس نتایج این مطالعه، مقدار شاخص GWQI در منطقه بین ۶۹/۶۶ تا ۲۳۹/۱۲ و مقدار شاخص AWQI بین ۵۶/۴۹ تا ۱۸۹/۴۸ قرار دارد، یعنی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی جنگل در حد ضعیف و نامناسب قرار دارد که علت آن نیز بالا بودن مقدار جامدات محلول کل آب می‌باشد. در حقیقت در این منطقه، مقدار تمامی شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده غیر از جامدات محلول کل در حد استاندارد قرار دارد.

کلمات کلیدی: GWQI، AWQI، آب زیرزمینی، دشت جنگل، GIS

۱- مقدمه

* (نویسنده‌ی مسئول). **E-mail:** ashahidi@birjand.ac.ir

رشد جمعیت و توسعه صنعتی در دهه‌های اخیر منجر به گسترش آلودگی منابع آبی در اثر تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و شیرابه محل‌های دفن زباله و محدود شدن منابع آب قابل استفاده شده است (آلوارز و واکسز و همکاران[۱]، ۲۰۱۵: ۲۱۷-۲۳۰). از طرفی، میانگین نزولات جوی کشور ما نیز حدود یک سوم میانگین خشکی‌های زمین است و توزیع همین مقدار اندک بارندگی نیز یکنواخت نیست (کتیرایی- بروجردی و همکاران[۲]، ۲۰۱۳: ۲۰۵). در این میان، آب‌های زیرزمینی به منزله‌ی منبعی قابل اعتماد جهت تأمین آب تلقی می‌گردند. امروزه با توجه به برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها تراز آب نوسانات زیادی داشته و سطح آب زیرزمینی دچار افت شده و این دشت‌ها با کاهش کیفیت منابع آب روبرو شده‌اند. بنابراین کنترل منابع آبی و استفاده بهینه از آن‌ها از اولویت بسیار بالایی برخوردار است. در همین راستا بدیهی است که تعیین وضعیت کیفی منابع آبی برای اتخاذ راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از کاهش کیفیت آب و یا بهبود آن ضروری می‌باشد (لی و همکاران[۳]، ۲۰۱۵: ۹۷-۱۰۹). لذا شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و مدیریت اراضی در این مناطق به منظور بهبود کیفیت آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از آنجا که منابع آب زیرزمینی به عنوان منابعی مهم در تأمین آب برای مصارف مختلف محسوب می‌شوند، بنابراین، به منظور درک بهتر وضعیت کیفی منابع آبی از شاخص‌های کیفی آب استفاده می‌شود. برای این کار با انجام آزمایشات بر روی نمونه‌های آب و استفاده از روابط ریاضی که برای هر شاخص تعیین شده است، عددی به دست می‌آید که بر اساس آن و مراجعه به جداول مربوطه می‌توان به توصیف وضعیت کیفی آب پرداخت. متداول‌ترین شاخص‌ها برای بیان کیفیت آب‌های زیرزمینی شاخص کیفی AWQI[۴] و GWQI[۵] می‌باشد. شاخص AWQI یک شاخص کیفی متوسط آب است که یکی از ابزارهای مهم، ساده و قابل فهم برای ارزیابی کیفیت آب برای تناسب آن با اهداف مختلف می‌باشد (سینگ و همکاران[۶]،

1- Alvarez-Vazquez et al.,
2- Katiraie- Boroujerdy et al.,
3- Li et al.,
4- Average Water Quality Index
5- Ground Water Quality Index
1- Singh et al.,

۲۰۱۳: ۲۳۵۱-۲۳۵۶). شاخص GWQI یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت پهنه‌بندی کیفی آب‌ها می‌باشد که نسبت به سایر مدل‌های موجود دارای مشکلات کمتری بوده و هم‌چنین به دلیل سادگی و در دسترس بودن مشخصه‌های کیفی توسط بیشتر محققان به کار گرفته می‌شود (توماسکیویچ و همکاران[۱]، ۲۰۱۴: ۱۳-۲۶ و ییدانا و همکاران[۲]، ۲۰۱۰: ۲۲۰-۳۴۰). این شاخص بر اساس مقادیر پارامترهای pH، کل جامدات محلول، کلرور، کلسیم، منیزیم، سولفات، بی‌کربنات و سدیم تعیین می‌گردد. در دنیا مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به شرح برخی از این مطالعات پرداخته می‌شود. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت قم از نظر شرب توسط شاخص‌های کیفی (GWQI) و آلودگی [۳](GWPI) نشان داد که ضعیف‌ترین شاخص کیفی آب زیرزمینی مربوط به بخش‌های شمال غربی و شرقی دشت بوده و بدترین کیفیت در نواحی میانی و شرقی دشت مشاهده شد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان با استفاده از روش‌های GQI[۴] و FGQI[۵] نشان داد که آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر کیفیت، بین رده‌های کاملاً نامطلوب تا مناسب قرار می‌گیرند (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۹-۹۸). در پژوهشی دیگر، نتایج حاصل از بررسی تأثیر عناصر سنگین بر کیفیت آب‌های استحصالی شهر خرم‌آباد با استفاده از استانداردهای ملی، سازمان بهداشت جهانی[۶] و EPA[۷] نشان داد که، بیشترین و کمترین مقادیر عناصر و آلاینده‌های کروم، روی، کبالت، سرب، کادمیوم و نیکل پایین‌تر از حد استانداردهای ملی، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و استاندارد (EPA) آمریکا است (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱-۴۱). بررسی ویژگی‌های

۱- Tomaszkiewicz et al.,
۲- Yidana et al.,
۳- Ground Water Pollution Index
۴- Groundwater Quality Index
۵- Fuzzy Groundwater Quality Index
۶- World Health Organization
۷- Environmental Protection Agency

هیدروشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی زیرحوضه‌ی تمیلنادو[۱] در هند نشان داد که، کیفیت آب‌های زیرزمینی با استانداردهای آشامیدنی و استانداردهای مناسب برای آبیاری مطابقت دارد و اکثر نمونه‌های آب برای شرب مناسب هستند (سرینی واسمورتی و همکاران[۲]، ۲۰۱۴: ۳۷-۵۲). نتایج ارزیابی کیفیت آب رودخانه سینوس در برزیل با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) نشان داد که، وضعیت کیفی آب این رودخانه در وضعیت بد و نگران کننده‌ای قرار دارد (بنونتی و همکاران[۳]، ۲۰۱۶). هم‌چنین، ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) آب‌های زیرزمینی در نواحی راجکوت[۴] و گجرات[۵] هند نشان داد که، ۵۱/۸ درصد از نمونه‌ها در رده‌ی خوب تا عالی قرار دارد. از سوی دیگر، ۴۸/۲ درصد از نمونه‌ها در رده ضعیف قرار دارند که نشان می‌دهد آب برای مصرف مستقیم مناسب نیست (کریشان و همکاران[۶]، ۲۰۱۶: ۳). متأسفانه امروزه به علت وجود منابع متعدد آلوده‌کننده‌ی آب، از کیفیت منابع آب کاسته شده است. به این علت باید قبل از استفاده از آب در مصارف مختلف، کیفیت آن مورد بررسی قرار گیرد. در اطراف دشت جنگل منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای متعددی از جمله ورود فاضلاب‌های روستایی و رواناب شهری (پساب خروجی آن‌ها اکثراً بدون انجام فرآیند تصفیه می‌باشد) وجود دارد و هم‌چنین، اراضی بسیاری از آب این دشت سیراب می‌شود. دشت جنگل در تولید انواع محصولات کشاورزی، دامی و شیلات استان نقش مهمی ایفا می‌نماید، بنابراین بررسی کیفی این دشت حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت جنگل در استان خراسان رضوی برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های GWQI و AWQI در طول دوره‌ی آماری ۱۳۹۵-۱۳۸۶ می‌باشد. هم‌چنین پهنه‌بندی شاخص GWQI با استفاده از روش

۱- Tamilnadu Basin
۲- Srinivasamoorthy et al.,
۳- Benvenuti et al.,
۴- Rajkot
۵- Gistrict
۶- Krishan et al.,

عکس مجذور فاصله[۱] (IDW) برای دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 انجام پذیرفته است.

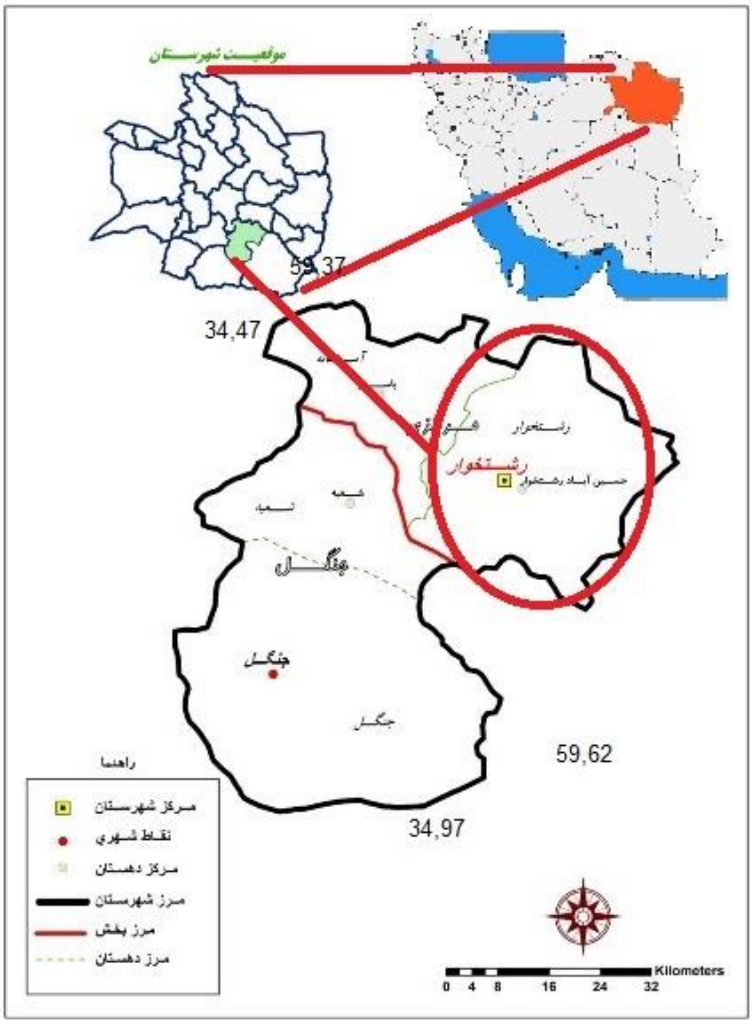
۲- مواد و روش

- منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر جنگل قطب کشاورزی شهرستان رشتخوار است. شهرستان رشتخوار در استان خراسان رضوی و در محدوده‌ی مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و۴۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و۹۷ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۹ درجه و۳۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و۶۲ دقیقه‌ی طول شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۱۴۰ متر می‌باشد (شکل ۱). شهر جنگل بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی پنبه در استان خراسان رضوی است و به همین دلیل به شهر طلای سفید معروف شده است. در این شهرستان، علاوه بر کاشت ۱۰ هزار هکتار گندم و تولید ۳۰ الی ۴۰ هزار تن گندم (سومین تولیدکننده‌ی گندم خراسان رضوی) هم‌چنین، تولید جو، چغندر، ذرت و کلزا نیز رونق دارد. به لحاظ قرار گیری منطقه در عرض متوسط و تأثیر توده‌ای هوای شمال و غربی در این منطقه باعث شده است که نوع خاصی از اقلیم در این منطقه حکمفرما شود. تأثیر توده‌های باران‌زای غربی باعث ریزش باران در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار می‌گردد. در عین حال تأثیر نوع و جهت ارتفاعات نیز نقش قابل ملاحظه‌ای در نوع اقلیم منطقه دارد، به طوری که جهت شمال غربی، جنوب شرقی ارتفاعات تا حد بسیار زیادی از شدت تأثیر توده‌های سرد شمالی کاسته است. در عوض خصوصیت دالانی دشت، باعث نفوذ هر چه بیشتر توده‌های باران‌زای غربی می‌شود. این شهرستان دارای آب و هوای خشک است. با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی عمده‌ترین منابع تأمین آب به شمار می‌رود، لذا اطمینان از مطلوبیت آن به منظور حفظ سلامت مصرف‌کنندگان اهمیت فراوانی دارد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های کیفی آب زیرزمینی چاه‌های دشت جنگل (Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Cl^-، pH و TDS) در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ می‌باشد

۱- Inverse Distance Weighting

که از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی اخذ شدند. شکل (۱) و جدول (۱) به ترتیب، مشخصات آماری داده‌های به کار رفته و موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Fig (1) Geographical location of the study area

جدول (۱) نمایه‌های آماری پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جنگل (میلی گرم در لیتر) در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶

Tab (1) Statistical indices of chemical parameters of groundwater samples of forest Plain (mg / l) in the period 2007-2016

نمایه‌های آماری	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	HCO3	pH	TDS
میانگین	۵۵/۸۵	۲۶/۳۲	۹/۰۰	۱۶/۱۰	۵۷/۴۰	۳/۹۴	۷/۸۶	۵۳۷۸/۴۹
حداکثر	۱۲۳/۶	۵۳	۲۶	۵۶	۱۲۵	۹/۵	۸/۶	۱۱۶۴۷
حداقل	۴/۶	۱۱	۲/۲	۵	۸	۱/۸	۶/۴	۲۸۴۷/۶
انحراف معیار	۲۹/۸۴	۳۰/۹۳	۴۷/۱۱	۴۰/۹۶	۲۲/۷۹	۵۱/۶۷	۴۷/۷۶	۵۷۸۹/۸۸
دامنه‌ی تغییرات	۰/۵۳	۱/۱۸	۵/۲۴	۲/۵۴	۰/۴۰	۱۳/۱۳	۶/۰۸	۱/۰۸

به منظور به دست آوردن شاخص GWQI و AWQI و پهنه‌بندی کیفی آب دشت جنگل از داده‌های کیفی ۱۰ حلقه چاه مشاهده‌ای طبق آمار سازمان آب منطقه‌ای استفاده شد. مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲) مختصات چاه‌های نمونه‌برداری

Tab (2) Specifications of sampling wells

شماره چاه	نام چاه	X (m)	Y (m)
۱	جنت‌آباد خرده مالکین	۷۰۹۱۳۱	۳۸۴۵۴۹۹
۲	فیض‌آباد	۷۰۲۵۹۱	۳۸۴۲۹۲۳
۳	حوض مغول عشقی	۷۰۶۱۶۰	۳۸۳۸۳۷۱
۴	بین جنگل و آهنگران جعفری	۷۰۴۹۰۲	۳۸۳۵۶۹۰
۵	جنگل کوده خرده مالکین	۷۰۷۱۷۵	۳۸۳۵۱۵۱
۶	چاه شورک	۷۰۳۷۲۶	۳۸۳۲۷۹۵
۷	جنگل خرده مالکین	۷۰۵۵۴۳	۳۸۴۳۸۵۱
۸	جنت‌آباد جلال صادقی	۷۰۴۶۳۲	۳۸۴۷۰۹۸
۹	جنت‌آباد خرده مالکین	۶۹۶۱۲۵	۳۸۴۶۴۴۲
۱۰	فیض‌آباد	۶۹۷۱۹۸	۳۸۴۱۰۸۵

- تعیین کیفیت آب دشت جنگل با استفاده از شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI) و متوسط شاخص کیفیت (AWQI)

براساس استانداردهای بین‌المللی برای آب شرب و کشاورزی، برخی از پارامترهای بررسی شده مقادیری کمتر و برخی دیگر مقادیری بیشتر از حدود استاندارد جهانی دارند. اصولاً چنین تفاوت‌هایی نشانه‌ی وجود آلودگی در منابع آبی گوناگون است (آریافر و همکاران، ۱۳۸۸). شاخص کیفیت آب در حقیقت عددی ساده است که از کوچک کردن مقادیر بزرگ داده‌ها، اعم از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به دست می‌آید و عموماً نشان-دهنده‌ی کیفیت کلی آب برای مصارف گوناگون به ویژه آشامیدن است. معمولاً برای ارزیابی آلودگی کلی آب، فلزات سنگین در شاخص کیفی آب لحاظ می‌شوند. در این پژوهش از دو شاخص GWQI و AWQI استفاده شد.

- شاخص GWQI

شاخص GWQI یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های بررسی کیفی آب زیرزمینی می‌باشد که در آن پارامترهای متفاوت با هم تلفیق شده و با استانداردهای جهانی مثل استاندارد سازمان بهداشت جهانی ارتباط پیدا می‌کنند. در این پژوهش، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی شاخص GWQI، شامل ۸ پارامتر، کل مواد جامد محلول (TDS)، کلر (Cl)، سولفات (SO4)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، اسیدیته (pH) و بی‌کربنات (HCO3) می‌باشد. برای محاسبه کیفیت آب زیرزمینی با شاخص GWQI چهار گام وجود دارد. در گام اول، هر پارامتر بر اساس اهمیت نسبی که در کیفیت آب آشامیدنی دارد، وزن‌دهی می‌شود. به هر پارامتر، وزنی بین ۱ تا ۵ بسته به اهمیت آن‌ها در تعیین کیفیت آب تعلق می‌گیرد. در گام بعدی، وزن نسبی هر پارامتر (Wi) از رابطه‌ی (۱) تعیین می‌شود.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۱)$$

که در آن، Wi وزن نسبی هر پارامتر، wi وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها می‌باشد.

در گام سوم، مقیاس امتیاز کیفی برای هر پارامتر بر اساس رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود.

$$q_i = (\frac{C_i}{S_i}) \times 100 \quad (۲)$$

که qi مقیاس امتیاز کیفی، Ci غلظت هر پارامتر در نمونه‌های آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر و Si استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای همان پارامتر است. وزن هر پارامتر به همراه وزن نسبی آن‌ها و هم‌چنین استاندارد سازمان بهداشت جهانی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) وزن نسبی پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی در دشت جنگل بر حسب میلی‌گرم در لیتر
Tab (3) Relative weight of groundwater chemical parameters in forest plain in milligrams per liter

پارامتر	استاندارد (WHO)	وزن (wi)	وزن نسبی (Wi)	پارامتر	استاندارد (WHO)	وزن (wi)	وزن نسبی (Wi)
Cl	۲۵۰	۵	۰/۱۶۶۷	Na	۲۰۰	۴	۰/۱۳۳۳
SO4	۲۵۰	۵	۰/۱۶۶۷	HCO3	۵۰۰	۱	۰/۰۳۳۳
Ca	۷۵	۳	۰/۱۰۰۰	pH	۸-۶	۴	۰/۱۳۳۳
Mg	۳۰	۳	۰/۱۰۰۰	TDS	۱۰۰۰	۵	۰/۱۶۶۷

پس از به دست آوردن مقادیر Wi و qi طبق رابطه‌ی (۳) شاخص آب زیرزمینی GWQI محاسبه می‌شود.

$$GWQI = \sum_{i=1}^{n} W_i q_i \quad (۳)$$

براساس عددی که برای شاخص کیفی آب بدست می‌آید و با توجه به جدول رتبه‌بندی این شاخص در جدول (۴)، می‌توان به توصیف کیفی وضعیت آب آن منطقه پرداخت.

جدول (۴) رتبه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص GWQI (محبی و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۸-۳۴)
Tab (4) Groundwater Quality Assessment Based on the GWQI Index (Mohebbi et al., 2013: 28-34)

شاخص کیفیت آب زیرزمینی	کیفیت آب	رنگ
۲۵-۰	خیلی خوب	آبی
۵۰-۲۵	خوب	سبز
۷۵-۵۰	متوسط	زرد
۱۰۰-۷۵	ضعیف	نارنجی
۱۲۵-۱۰۰	خیلی ضعیف	قهوه‌ای
بیشتر از ۱۲۵	نامناسب	قرمز

در نهایت با توجه به مقدار عددی شاخص GWQI و با توجه به مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 درون‌یابی با روش IDW صورت گرفته و سپس پهنه‌بندی کیفی دشت جنگل با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد.

- شاخص AWQI

متوسط شاخص کیفیت (AWQI) نیز برای n پارامتر، از رابطه‌ی (۴) حاصل می‌شود (آریافر و همکاران، ۱۳۸۸). در مواردی که مقدار AWQI برابر صفر باشد، به این معنی است که هیچ آلاینده‌ای در آب وجود ندارد و اگر این مقدار به ۱۰۰ برسد یعنی همه‌ی آلاینده‌ها به حد مجازشان رسیده‌اند. بالا بودن این مقدار نشان‌گر بالا بودن آلودگی است و عبور این مقدار از ۱۰۰، نشان‌دهنده‌ی آلودگی جدی است.

$$AWQI = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{n} \qquad (۴)$$

- روش میان‌یابی معکوس فاصله (IDW)

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت این روش‌ها مربوط به نحوه‌ی محاسبه‌ی وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه‌ی مجهول داده می‌شود. مدل IDW یکی از معمول‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضاست که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد (انصاری و داوری، ۱۳۸۶). در این روش فاصله‌ی هر نقطه یا پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده شده و سپس بر حسب مقدار فاصله به آن سلول، ارزش یا ضریب وزن داده می‌شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آن‌ها بدست می‌آید (لی و همکاران[1]، ۲۰۱۰: ۴۳۲). الگوریتم این روش به صورت رابطه‌ی (۵) می‌باشد.

$$x = \sum_{i=1}^{n} (Z_i / D_i) / \sum_{i=1}^{n} (1/D_i) \qquad (۵)$$

که در آن، x ارزش برآورد شـده از روش درون‌یابی، Z_i ارزش نقاط موجود (نقاط یا پیکسل-های همسایه) و D_i فاصله بین x و هر نقطه موجود می‌باشد.

۳- بحث و نتایج

در این پژوهش داده‌های کیفی آب زیرزمینی چاه‌های دشت جنگل برای بررسی وضعیت کیفی آبخوان این دشت استفاده شده است. شاخص‌های GWQI و AWQI برای دوره‌ی آماری ۱۳۸۶-۱۳۹۵ و با تلفیق ۸ پارامتر (TDS, Cl, SO4, Ca, Mg, Na, PH, HCO3) و

1- Ly et al.,

مطابق رابطه‌ی (۳) و (۴) به دست آمد. میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده برای کل منطقه در سال‌های مختلف مطالعاتی در جدول (۵) آورده شده است. مقدار مطلوب، بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) می‌باشد. هم‌چنین، مقادیر به دست آمده برای هر دو شاخص GWQI و AWQI در جدول‌های (۶) و (۷) آورده شده‌اند.

جدول (۵) میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سال‌های مختلف در چاه‌های مطالعاتی (میلی-گرم در لیتر)

Tab (5) Average values of parameters measured in different years in study wells (mg / l)

شاخص	مقدار مطلوب	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
کلرور	۲۵۰	۵۴/۷	۵۶/۴	۵۳/۴۵	۵۶/۲۲	۵۷/۵۵
سولفات	۲۵۰	۲۵/۲۹	۲۸/۸۴	۲۴/۹۶	۲۵/۹۷	۲۹/۰۱
کلسیم	۷۵	۸/۹۸	۸/۸۲	۸/۴۳	۹/۱۱	۱۰/۴۶
منیزیم	۳۰	۱۵/۳	۱۴/۵۶	۱۴/۹۱	۱۵/۲۴	۱۸/۸
سدیم	۲۰۰	۵۵/۲۷	۶۰/۶	۴۷/۸۸	۵۹/۴۹	۶۲/۴۲
بی‌کربنات	۵۰۰	۳/۵۵	۴/۰۸	۳/۷۳	۳/۶۹	۳/۸
pH	۸-۶	۸/۰۰	۷/۱۷	۸/۰۰	۷/۵۷	۷/۷
TDS	۱۰۰۰	۵۲۰۳/۸	۵۵۲۶/۶۵	۴۹۲۱/۰۷	۵۳۵۵/۸	۵۵۰۳/۳۴
کلرور	۲۵۰	۵۵/۸	۵۷/۴	۵۱/۳۱	۵۵	۶۰/۶۶
سولفات	۲۵۰	۲۴/۱۲	۲۵/۰۳	۲۶/۲۳	۲۸	۲۵/۷۷
کلسیم	۷۵	۸/۷۴	۹/۲۳	۱۰/۵۸	۸/۵۶	۷/۰۶
منیزیم	۳۰	۱۴/۳۱	۱۶/۰۳	۱۷/۳۶	۱۶/۱۹	۱۸/۲۷
سدیم	۲۰۰	۴۷/۹۴	۵۶/۶۱	۵۸/۳۶	۵۵/۲۶	۷۰/۱۹
بی‌کربنات	۵۰۰	۳/۰۳	۴/۱۴	۵/۱۳	۴/۴۴	۳/۷۷
pH	۸-۶	۸/۰۰	۸/۰۰	۷/۹۳	۷/۹۲	۷/۹۵
TDS	۱۰۰۰	۵۲۳۴/۷۱	۵۴۴۵/۱۴	۵۴۸۲/۲۶	۵۳۵۸/۹۸	۵۷۵۳/۱۶

جدول (۶) مقدار شاخص GWQI برای چاه‌های مورد مطالعه

Tab (6) GWQI index value for the studied wells

نام ایستگاه	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
جنت‌آباد خرده مالکین	۷۲/۷۸	۶۹/۶۶	۷۳/۰۱	۷۲/۳۲	۷۳/۳۳
فیض‌آباد	۱۷۸/۹۰	۱۸۳/۳۷	۱۷۸/۸۸	۱۸۳/۸۷	۱۹۷/۹۵
حوض مغول عشقی	۹۸/۵۹	۹۷/۹۵	۹۸/۶۷	۹۶/۴۳	۹۳/۹۲
بین جنگل و آهنگران جعفری	۹۳/۹۹	۹۵/۷۶	۹۱/۸۱	۹۶/۰۴	۹۶/۶۴
جنگل کوده خرده مالکین	۹۰/۳۷	۸۹/۹۷	۹۱/۹۱	۷۶/۸۶	۸۷/۹۸
چاه شورک	۱۰۵/۴۵	۱۰۳/۶۶	۱۰۴/۵۹	۱۰۱/۹۸	۱۰۶/۶۴
جنگل خرده مالکین	۹۱/۸۴	۹۶/۵۸	۹۹/۳۳	۹۷/۰۲	۹۶/۸۶
جنت‌آباد جلال صادقی	۷۹/۸۸	۸۳/۴۵	۸۳/۱۱	۹۴/۵۴	۹۸/۲۶
خیرآباد علی اکبر رحمانی	۱۹۵/۰۹	۲۰۲/۲۴	۱۴۴/۵۸	۲۳۹/۱۲	۲۰۳/۷۵
جنگل بندازیک صالحی	۱۶۹/۵۶	۱۹۲/۹۷	۱۵۲/۷۶	۱۳۶/۵۱	۱۸۴/۹۰

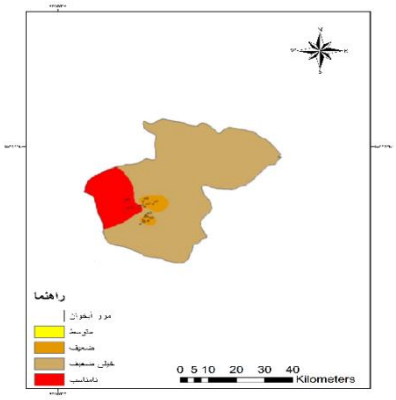
جدول (۷) مقدار شاخص AWQI برای چاه‌های مورد مطالعه

Tab (7) AWQI index value for the studied wells

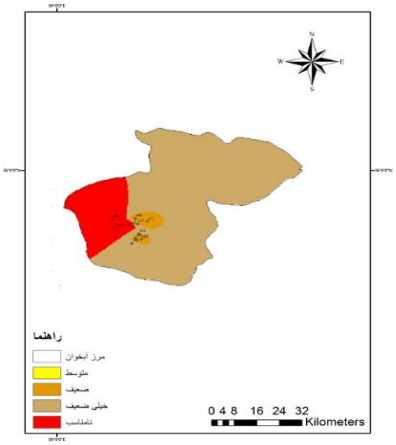
نام ایستگاه	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
جنت‌آباد خرده مالکین	۵۹/۵۴	۵۶/۴۹	۵۹/۷۹	۵۸/۹۲	۶۱/۰۷
فیض‌آباد	۱۴۴/۸۲	۱۴۶/۶۸	۱۴۴/۸۱	۱۴۸/۶۷	۱۵۹/۷۵
حوض مغول عشقی	۷۹/۹۵	۷۹/۱۸	۸۰/۰۶	۷۸/۲۳	۷۶/۱۲
بین جنگل و آهنگران جعفری	۷۶/۴۶	۷۶/۹۸	۷۴/۸۲	۷۷/۳۱	۷۸/۱۹
جنگل کوده خرده مالکین	۷۳/۲۷	۷۲/۷۲	۷۴/۴۴	۶۲/۵۶	۷۱/۲۳
چاه شورک	۸۴/۹۲	۸۳/۱۰	۸۴/۰۷	۸۱/۸۲	۸۵/۵۹
جنگل خرده مالکین	۷۴/۶۹	۷۷/۹۳	۸۰/۱۱	۷۸/۶۱	۷۸/۲۷
جنت‌آباد جلال صادقی	۶۴/۶۳	۶۷/۲۵	۶۷/۰۲	۷۵/۵۶	۸۳/۴۱
خیرآباد علی اکبر رحمانی	۱۵۶/۱۲	۱۶۱/۳۸	۱۱۶/۱۳	۱۸۹/۴۸	۱۶۲/۵۱
جنگل بندازیک صالحی	۱۳۶/۱۰	۱۵۴/۰۵	۱۲۳/۵۱	۱۱۱/۴۳	۱۴۸/۲۹
جنت‌آباد خرده مالکین	۵۷/۸۴	۵۹/۷۹	۵۹/۲۲	۶۰/۲۸	۶۰/۶۸
فیض‌آباد	۱۵۲/۸۵	۱۵۷/۰۵	۱۵۴/۷۵	۱۶۱/۳۹	۱۶۹/۳۷
حوض مغول عشقی	۷۱/۵۷	۷۴/۹۰	۷۴/۲۲	۷۴/۳۱	۷۳/۲۶
بین جنگل و آهنگران جعفری	۷۷/۴۰	۸۰/۸۷	۷۷/۵۲	۷۹/۵۴	۷۷/۵۳
جنگل کوده خرده مالکین	۷۳/۹۹	۷۲/۷۲	۷۰/۸۳	۷۱/۵۴	۷۳/۷۴
چاه شورک	۸۹/۰۸	۸۵/۲۰	۸۵/۷۲	۸۷/۷۱	۹۰/۳۵
جنگل خرده مالکین	۷۸/۴۸	۸۱/۰۲	۸۵/۰۹	۸۳/۷۳	۸۳/۶۵
جنت‌آباد جلال صادقی	۶۴/۴۳	۶۳/۰۵	۶۴/۴۴	۶۵/۲۰	۶۵/۵۲
خیرآباد علی اکبر رحمانی	۱۲۹/۸۵	۱۵۶/۳۶	۱۶۲/۴۹	۱۲۸/۷۸	۱۷۶/۸۷
جنگل بندازیک صالحی	۱۴۸/۵۴	۱۵۳/۰۸	۱۵۹/۰۲	۱۵۷/۵۹	۱۶۵/۹۸

با توجه به جدول (۷)، می‌توان گفت که آلودگی اکثر چاه‌های دشت جنگل در طول دوره‌ی آماری مورد نظر، کمتر از حد مجاز می‌باشند. چاه‌های فیض‌آباد، خیرآباد علی‌اکبر رحمانی و جنگل بندازیک صالحی در تمام سال‌ها از حد مجاز آلودگی عبور کرده و دارای آلودگی جدی هستند و برای شرب و کشاورزی مناسب نمی‌باشند. هم‌چنین، پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت جنگل بر اساس شاخص GWQI و با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات

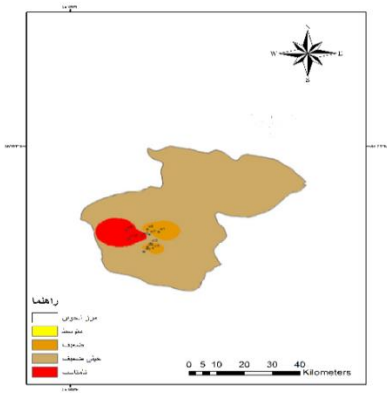
جغرافیایی برای سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ به صورت شکل‌های (۲- الف) تا (۲- د) آورده شده-اند.



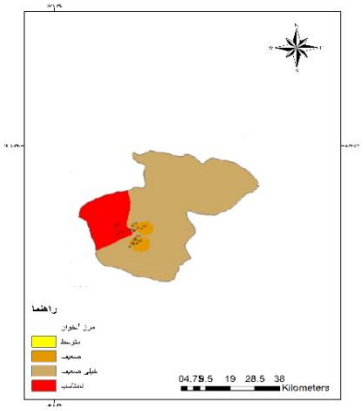
شکل (۲- الف) سال ۱۳۸۶
Fig. (2-a) of 2007



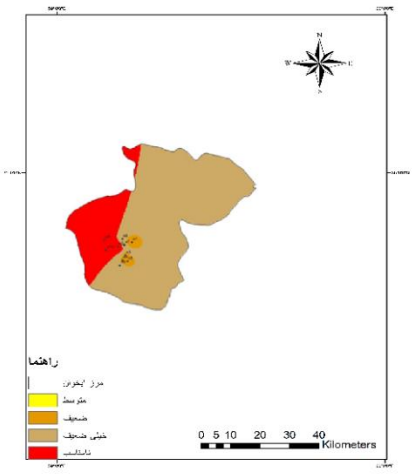
شکل (۲- ب) سال ۱۳۸۷
Fig (2-b) of 2008



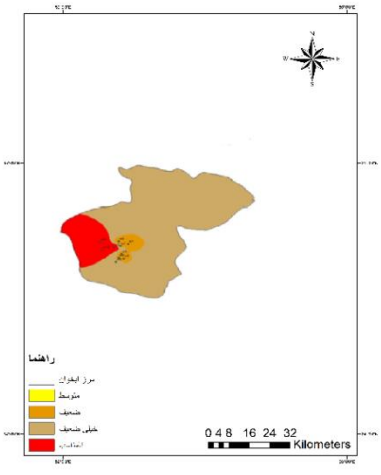
شکل (۲- پ) سال ۱۳۸۸
Fig (2-c) of



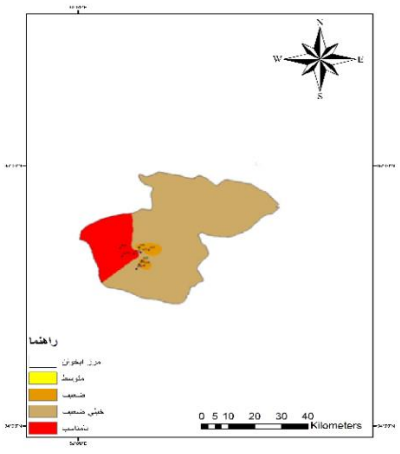
شکل (۲- ت) سال ۱۳۸۹
Fig (2-d) of 2010



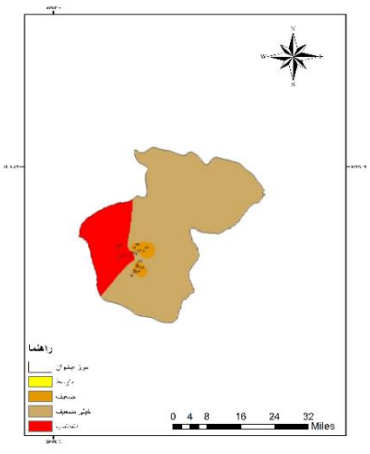
شکل (۲- ث) سال ۱۳۹۰
Fig (2-e) of 2011



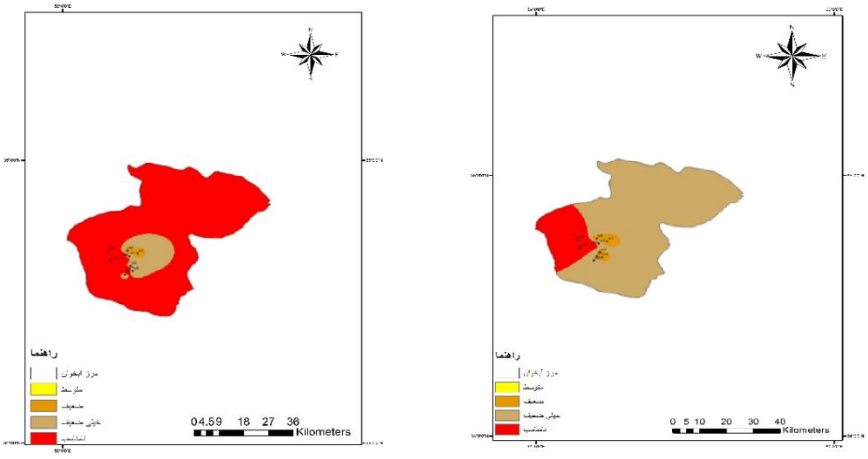
شکل (۲- ج) سال ۱۳۹۱
Fig (2-f) of 2012



شکل (۲- چ) سال ۱۳۹۲
Fig (2-g) of 2013



شکل (۲- ح) سال ۱۳۹۳
Fig (2-h) of 2014



شکل (۲- خ) سال ۱۳۹۴
Fig (2-i) of 2015

شکل (۲- د) سال ۱۳۹۵
Fig (2-j) of 2016

شکل (۲) نقشه‌های پهنه‌بندی به روش IDW با شاخص GWQI در سال‌های مطالعاتی
Fig (2) IDW zoning maps with GWQI index in the years of study

بر اساس نتایج پهنه‌بندی در شکل (۲)، وضعیت شاخص در تمامی چاه‌ها (به جز چاه‌های فیض‌آباد، خیرآباد علی اکبر رحمانی و جنگل بندازیک صالحی که نامناسب (رنگ قرمز) است) در همه سطح منطقه‌ی جنگل از نوع ضعیف (رنگ نارنجی) می‌باشد، لذا کیفیت آب این چاه‌ها ضعیف می‌باشد. جدول (۵)، مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان طور که از این جدول قابل مشاهده است، مقدار تمامی شاخص‌ها به غیر از جامدات محلول کل (TDS) در همه‌ی چاه‌ها در حد استاندارد می‌باشد. علت این امر، عدم وجود فعالیت‌های صنعتی و انسانی در نزدیکی این چاه‌ها می‌باشد. در نتیجه، فاضلاب‌های تولیدی اجتماعات انسانی نیز نمی‌تواند وارد چاه شود. بیشترین مقدار میانگین جامدات محلول کل با توجه به جدول (۱)، با مقدار ۵۳۷۸/۴۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در مطالعه‌ی دیندارلو و همکاران در بندرعباس نیز مقدار جامدات محلول در منابع آب زیرزمینی این شهر بیش از سایر شاخص‌ها و برابر با ۱۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. علت

بالا بودن مقدار جامدات محلول کل در منابع آب زیرزمینی اکثر شهرهای کشور ناشی از رسوبی بودن جنس خاک می‌باشد (دیندارلو و همکاران، ۲۰۰۷: ۵۷-۶۲). مقدار شاخص GWQI برای چاه‌های مورد مطالعه در جدول (۶)، بین ۶۹/۶۶ تا ۲۳۹/۱۲ می‌باشد. این در حالی است که در مطالعه جاوید و همکاران، در شهرستان گرمی واقع در استان اردبیل مقدار این شاخص در منطقه بین ۴۱/۳۷ تا ۴۴/۸۶ به دست آمد. یعنی کیفیت آب‌های زیرزمینی شهرستان گرمی در حد خوب قرار داردکه علت آن نیز بالا بودن مقدار جامدات محلول کل آب می‌باشد (جاوید و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه کریشان و همکاران، ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) آب‌های زیرزمینی در نواحی راجکوت و گجرات هند نشان داد که، ۵۱/۸ درصد از نمونه‌ها در رده خوب تا عالی قرار دارد. از سوی دیگر، ۴۸/۲ درصد نمونه‌ها در رده‌ی ضعیف قرار دارند که نشان می‌دهد آب برای مصرف مستقیم مناسب نیست (کریشان و همکاران، ۲۰۱۶: ۳). در این مطالعه، کمترین مقدار شاخص‌های GWQI و AWQI برای چاه جنت‌آباد خرده مالکین، به ترتیب ۶۹/۶۶ و ۵۶/۴۹ (بالاترین کیفیت در سال ۱۳۸۷) و بیشترین مقدار این دو شاخص به ترتیب، ۲۳۹/۱۲ و ۱۸۹/۴۸ (پایین‌ترین کیفیت در سال ۱۳۸۹) مربوط به چاه خیرآباد علی‌اکبر رحمانی می‌باشد، که این نشان دهنده وجود آلودگی جدی در این چاه می‌باشد. مقایسه‌ی نتایج به دست آمده برای مقدار شاخص GWQI هر یک از چاه‌ها با جدول (۴)، نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در اکثر چاه‌ها در حد ضعیف (شاخص GWQI بین ۷۵ تا ۱۰۰) قرار دارد، لیکن با توجه به اینکه مقدار TDS در تمامی این چاه‌ها بیشتر از حد استاندارد بود، لذا نمی‌توان با قطعیت در مورد مناسب بودن این آب برای شرب قضاوت نمود بلکه لازم است ابتدا با انجام مطالعه دیـگری مشخص شود که وجود چه کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم) و آنیون‌هایی (کربنات‌ها، نیترات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کلریدها و سولفات‌ها) در آب این چاه‌ها باعث افزایش مقدار TDS آن‌ها شده است و سپس با در نظر گرفتن بیماری‌هایی که توسط هر یک از این املاح محلول آب ممکن است در انسان ایجاد شود در مورد کیفیت نهایی این آب و نیاز یا عدم نیاز به تصفیه قبل از مصرف قضاوت نمود.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، مقدار شاخص GWQI در منطقه بین ۶۹/۶۶ تا ۲۳۹/۱۲ و مقدار شاخص AWQI بین ۵۶/۴۹ تا ۱۸۹/۴۸ قرار دارد، یعنی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی جنگل در حد ضعیف و نامناسب قرار دارد که علت آن نیز بالا بودن مقدار جامدات محلول کل آب است. در حقیقت در این منطقه، مقدار تمامی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده غیر از جامدات محلول کل در حد استاندارد قرار دارد. بر اساس نتایج این مطالعه، هر چند مقدار کلسیم و منیزیم آن نیز در محدوده‌ی استاندارد واقع است اما در سطوح پایینی قرار دارد و با توجه به نیاز بدن به این ریزمغذی‌ها، باید برنامه‌ریزی لازم در خصوص تأمین این عناصر از طریق سایر منابع یا افزودن آن‌ها به آب در تصفیه‌خانه صورت گیرد.

۵- منابع

Alvarez Vazquez, L.J., García Chan, N., Martínez, A., Vázquez Méndez, M., and Stackelberg, E., (2015). strategies for water management, *Journal of Comput Appl Math*, Vol. 280, 30-217.

Ansari, Hossein and Kamran Davari (2007). Expansion of dry periods using standardized rainfall index in GIS environment, *Journal of Geographical Research*, Institute of Geography, University of Tehran, No. 108, 97-60, In Persian.

Ariafar, Ahmad, Dolati Ardehjani, Faramarz, Mahvi, Mohammad Reza and Pouria Kianoush (2009). The Use of Water Quality Index and Saturation Index for Assessing Groundwater Quality in Khaf-Sangan Plain, is the third conference and specialized exhibition of environmental engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, p. 30-38, In Persian.

Asghari Saltkanrood, Sayad, Dolatshahi, Zeinab and Mehdi Poorahmad (2016). Investigation of the effect of heavy elements on the quality of extracted water in Khorramabad city using standards (national, World Health Organization and EPA), *Hydrogeomorphology*, No. 9, 41 -21. In Persian.

Asghari, Moghaddam, Asghar, Javanmard, Zahra, Vediati, Meysam and Morteza Najib (2015). Evaluation of groundwater quality of Mehraban plain using GQI and FGQI methods, *Hydrogeomorphology*, No. 2, 98-79. In Persian.

Benvenuti, T., Kieling Rubio, M.A., Klauck, C.R., and Rodrigues, M.A.S., (2016). Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil, Brazillian *Journal of Biology*, 75(2), In Persian.

Katiraie Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., and Sorooshian, S, (2013). Evaluation of satellite based precipitation estimation over Iran, *Journal of Arid Environ,* Vol. 97, 19-205.

Krishan, G., Surjeet, S., Kumar, C.P., Suman, G., Ghosh, N.C., (2016). Assessment of water quality index (WQI) of groundwater in Rajkot Distric, Gujarat, India, *Journal of Earth Science & Climatic Change*, Vol. 7, P. 3.

Li, X., Zhao, Y., Shi, C.L., Sha, J., Wang, Z.L, and Wang, Y.Q., (2015). Application of water evaluation and planning (weap) model for water resources management strategy estimation in coastal binhai new area, China, Ocean & Coast Manage, Vol. 106, 97-109.

Ly, S., Charle, C., and Degr, A., (2010). Spatial interpolation of daily rainfall at catchment scale: a case study of the ourthe and ambleve catchments, Belgium. *Hydrology and Earth System Science Discussions*, Vol. 7, 7383-7416.

Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi, K.A, Labbafi, S., and Oktaie, S., (2013). Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI), *Journal of Ecologicl Indicators,* Vol. 30, 28-34.

Mohammadi, Fatemeh, Naseri, Hamidreza, Alikhani, Farshad and Mohsen Rezaei (2014). Survey of groundwater quality in Qom plain in terms of drinking by GWQI quality indicators and GWPI pollution, 18th Conference of Iranian Geological Society, Tehran Iran, Tarbiat Modares University.

Rudbari, Ali Akbar, Javid, Allahbakhsh and Niloufar Ghomi Maghsad (2015). Investigation of the quality status of groundwater using GWQI index and its zoning with Geographic Information System (GIS), Journal of Knowledge and Health, No. 10, 56-48, In Persian.

Singh, P.K., Tiwari, A.K., and Mahato, M.K., (2013). Qualitative Assessment of surface water of West Bokaro Coalifield. Jharkhand by using water quality index method, *International Journal of Geotech Research*, Vol. 5, 2351-2356.

Srinivasamoorthy, K., Gopinath, M., Chidambaram, S., Vasanthavigar, M., and Sarma, V.S., (2014). Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India, *Journal of King Saud University Science*, No. 26, 37-52.

Tomaszkiewicz, M., Abou Najm, M., and El-Fadel, M., (2014). Development of a ground water quality index for seawater intrusion in coastal aquifers, *Journal of Environ Model Soft*, Vol, 57, 13-26.

Yidana, S.M., Banoeng Yakubo, B., and Akabzaa, T.M., (2010). Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana, *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 58, 220-340.