نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۷ شماره ۱/ بهار ۱۳۹۶

ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برازجان برای مصارف کشاورزی

زهرا سجادی میان آب[۱*]، سید مسعود یعقوبی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۵

۱-کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر- ایران
۲- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز
*مسئول مکاتبه: Email: Sajadi_z@yahoo.com

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 داشتن کشاورزی پایدار امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. در این مطالعه به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مصارف کشاورزی دشت برازجان در شمال استان بوشهر پرداخته شده است. ۲۱ نمونه آب زیرزمینی دشت در اردیبهشت سال ۱۳۹۱ از نظر غلظت یون‌های K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^- و NO_3^- مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. غلظت یون‌های کلر، سدیم و نیترات به دلیل اهمیت خاص با عیارهای استاندارد آب کشاورزی مقایسه شد. همچنین عواملی مانند کل مواد جامد محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، شاخص نفوذپذیری (PI)، کربنات باقی‌مانده (RC)، هدایت الکتریکی (EC) و شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برازجان از لحاظ EC و کلرید وسدیم بیشتر از حد استاندارد آب کشاورزی می‌باشد. با بررسی مکانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعه مشخص شد که آب‌های زیرزمینی دشت مذکور برای مصارف کشاورزی از کیفیت متوسط برخوردار است. نقشه GQI بدست آمده مقدار این شاخص را بین ٦٨ تا ٨٢ درصد در منطقه نشان می‌دهد، که بیانگر این مسئله است که شمال و مرکز دشت دارای آب‌هایی با کیفیت متوسط و نیمه جنوبی دارای آب‌هایی با کیفیت مناسب برای آبیاری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، دشت برازجان، شاخص کیفیت GQI، کشاورزی، کیفیت آب زیرزمینی

Geochemical Evaluation of Groundwater Quality in Borazjan Plain for Agricultural Purposes

Zahra Sajadi Mianab[1*], Syed Massoud Yaghubi[2]

Received: May 7, 2014 Accepted: January 24, 2017
1-MSc Hydrogeological Technical and professional College Sama- Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Shoushtar, Iran.
2-MSc Hydrogeological, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author: Email: Sajadi_z@yahoo.com

Abstract

Increased water consumption due to population growth, has a great impact on quality and quantity of water supply. Given this situation, the qualitative and quantitative identification of appropriate resources for a sustainable agriculture seems to be necessary and inevitable. In this study, ground water quality in agriculture Borazjan plain in the north of Bushehr is paid. 21 samples of groundwater plain of ion HCO_3^-, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, and NO_3^- were analyzed. Density of sodium chloride and nitrate ions because of special importance were compared to grades of agricultural water standard. Furthermore the comparison involves parameters such as total dissolved solids (TDS), sodium adsorption ratio (SAR), permeability index (PI), carbonate residue (RC), Electrical conductivity (EC) of ground water quality index (GWQI) were evaluated ,the results stated that, ground water quality in lowland of Borazjan has more EC, sodium and chloride than limit agricultural water standard. Studying the location of underground water quality with respect to the parameters boundaries, it has been determined that underground water quality is average to use for agricultural purposes in the fields. Obtained GQI map shows a value between 68 to 82 percentages for this index, which indicates that the Water irrigation quality in North and Centre of Plains is average and the southern half of the plain has water with suitable quality for irrigation.

Keywords: Agriculture, Borazjan Plain, Irrigation, Quality Index GQI, Water Quality

مقدمه

استان بوشهر در جنوب ایران واقع شده است و به علت موقعیت خاص جغرافیایی و تأثیر دیگر عوامل از مناطق خشک ایران به شمار می‌رود. لذا، به دلیل کمبود بارندگی و عدم توزیع یکنواخت آن، آبیاری یک اصل مهم در کشاورزی این مناطق محسوب می‌شود. همچنین محدود بودن منابع آب سطحی و افزایش بیش از حد سطح زیرکشت، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطق تحت کشت خرما افزوده شده است. استفاده از آب‌های شور و نامتعارف جهت آبیاری محصولات نقش و اهمیت منابع آب‌های غیرمتعارف در توسعه آینده کشاورزی را بیان می‌دارد (مرکز ملی تحقیقات شوری استان بوشهر، ۲۰۰۸). لیکن کیفیت پایین‌تر این آب‌ها، برخی تنش‌ها و محدودیت‌ها را برای محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند، در نتیجه باید در مدیریت این آب‌ها نهایت دقت

مبذول گردد. یکی از راه‌های استفاده مؤثر از این آب‌ها شناخت کیفیت آنها در رابطه با کشاورزی است، برای هر برنامه‌ریزی صحیح و درست در درجه اول نیاز به اطلاعات دقیق می‌باشد، لذا با شناخت ویژگی‌های کیفی این آب‌ها در رابطه با کشاورزی می‌توان به‌طور بهینه از آن‌ها استفاده نمود.

استفاده از منابع آب برای تولیدات کشاورزی در کاهش سریع کمیت و کیفیت آب سهیم می‌باشد (گونزالز دوگو و همکاران ۲۰۱۰؛ فروزانی و کرمی ۲۰۱۱). کشاورزی پایدار، سیستمی است که منابع آن به‌طور متعادل نگه داشته می‌شوند، تولید و سودمندی و سایر موارد آن نه فقط برای کشاورزی بلکه برای جامعه و کشاورزان پایدار باشد (گولد ۲۰۰۷). محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور طبیعی باعث کاهش کمی و کیفی منابع آب و خاک می‌شود. از جمله عوامل بسیار تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی کیفیت آب مورد استفاده است. به عنوان مثال، استفاده از آب‌های دارای کیفیت پایین سبب کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شود (لیچفوز ۲۰۱۰). شوری آب آبیاری و یا وارد شدن فلزات سنگین به خاک از طریق آب زیرزمینی، بر کیفیت خاک کشاورزی تأثیرگذار می‌باشد (بارتلز و سانکار ۲۰۰۵ صلاح و بارینگتون ۲۰۰۶، لیچفوز ۲۰۱۰). از طرفی، آب شور موجب دهیدراسیون سلولی گیاه می‌شود که از طریق خروج آب درون سلولی موجب کاهش حجم واکوئل و سیتوسل می‌گردد. همچنین فرآیندهای متابولیکی نظیر کاهش فتوسنتز، کاهش رشد، کاهش جوانه‌زنی، سوختگی برگ، کمبود منیزیم و کلسیم در گیاه و تولید هورمون آبسیزیک اسید از پاسخ های اولیه گیاه به؛ آب شوری می‌باشند (بارتلز و سانکار ۲۰۰۵، صلاح و بارینگتون ۲۰۰۶، لیچفوز ۲۰۱۰). افزایش تولید ناشی از افزایش جمعیت دارای تبعات زیست محیطی فراوانی از جمله، افزایش میزان آب آبیاری، مصرف آفت‌کش‌ها و کودها بوده که در نتیجه باعث شستشو و جابجایی آنها به لایه‌های مختلف خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (احتشامی و همکاران ۲۰۰۸). از دیگرسو، فعالیت‌های بشر به‌منظور افزایش محصول در واحد سطح باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است (مکلای و همکاران ۲۰۰۱). ترکیبات نیترات ازجمله عوامل آلاینده منابع آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود که در سال-های اخیر به لحاظ گسترش کشاورزی و فعالیت‌های انسانی میزان آنها در آب‌های زیرزمینی افزایش یافته است (موحدیان ۲۰۰۳). پیامد مصرف زیاد نیترات، رشد بیش از حد گیاه و رنگ سبز تیره برگ‌هاست. مقدار زیاد نیتروژن خاک در صورت کم بودن سایر عناصر غذایی، دوره رشد گیاه را طولانی‌تر کرده و رسیدن محصول را به تأخیر می‌اندازد. روش‌های مختلفی برای مطالعه و پهنه‌بندی تغییرات ویژگی‌های آب‌های وجود دارد که هر کدام از آنها بسته به شرایط منطقه و وجود آمار و اطلاعات دارای دقت‌های مختلفی می‌باشند. از جمله روش‌های میان‌یابی برای مطالعه و تهیه نقشه-های تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌توان به روش‌های زمین آمار و کریجینگ و کوکریجینگ و غیره اشاره کرد. انتخاب روش‌های پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی کیفی آب‌های زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. ماریا و لوئیس (۲۰۱۰) در یک بررسی زمین آماری جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی غلظت نیترات حاصل از شستشوی کود ازته در آب زیرزمینی بیست هزار هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت ذرت در شمال شرقی کشور پرتغال از روش تخمین زمین آماری کریجینگ متقاطع بهره جستند. ایشان مدل نیم تغییرنمای کروی را به عنوان کاراترین مدل نشاندهنده همبستگی مکانی غلظت نیترات جهت تخمین‌های زمین آماری معرفی کردند.

ارسلان (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در آبخوان دشت بافرا در کشور ترکیه، میزان شوری در ۹۷ حلقه چاه را

طی هفت سال بررسی نمود(سال ۲۰۰٤ تا ۲۰۱۰)، میزان شوری در ۳۱ درصد از دشت در سال ۲۰۰٤، حدود ٥ دسی زیمنس بر متر بود که در سال ۲۰۱۰ این مقدار ۹ درصد کاهش پیدا کرده بود. واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده به داده‌ها، شامل مدل‌های نمایی و کروی در روش کریجینگ معمولی ٦ و کریجینگ شاخص ۷ بودند.

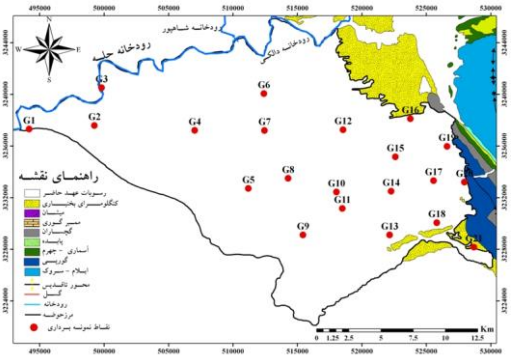
در مطالعه‌ای ژایمینگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ چاه واقع در دشت بهای در شمال کشور چین پرداخت. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که تراز آب زیرزمینی از غرب به سمت شرق دشت دارای افت بوده و روند تغییرات TDS و EC به صورت افزایشی می‌باشند و بیشترین میزان TH مربوط به قسمت میانی و خط ساحلی دشت است. 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.

محمدی قلعه‌نی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی تغییرات زمانی و مکانی تراز و کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌های دشت اراک و ساوه پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی ۷ سال در ٥۷ حلقه چاه محدوده اراک برابر ۳/۳۸ متر و در ٦۳ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر ۱۰/۱۹ متر بوده است. آنها همچنین آب زیرزمینی این دو آبخوان را بر اساس روش ویلکوکس جهت مصارف کشاورزی تقسیم‌بندی کردند که آبخوان ساوه به ٤ دسته و آبخوان اراک به ۳ دسته طبقه‌بندی شدند. اهداف تحقیق حاضر عبارتند از: ۱- مطالعهٔ تغییرات مکانی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی با هدف استفاده در آبیاری و ۲- پهنه‌بندی کیفیت آب-های زیرزمینی دشت برازجان با هدف کشاورزی.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی برازجان در حوضه آبریز شاپور و دالکی قرار دارد. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ″٤٨ ′٢٩ °٤٩ تا ″٤٠ ′٠٠ °٥٣ شرقی و عرض‌های ″١٠ ′٢٢ °٣٢ تا ″٩٣ ′٤٥ °٣٢ شمالی، از شمال به محدوده مطالعاتی گناوه، از سمت جنوب به محدوده مطالعاتی اهرم و از غرب به حوضه آبریز شاپور و دالکی محدود می‌شود. از نظر آب و هوایی، میانگین بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه ۲٥۹/۸ میلی‌متر و میانگین دمای آن ۲۹/۹ درجه سانتی‌گراد است و بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه دارای اقلیم بیابانی گرم میانه قرار می‌گیرد. منطقه برازجان در کمربند چین‌خورده زاگراس و در مجاورت کوهپایه واقع شده است. تأثیر نیروهای تکتونیکی بر منطقه سبب به وجود آمدن تاقدیس‌ها، خرد و شکسته شدن سازندهای سخت و ایجاد گسل‌های تراستی و گسل قطر – کازرون که با امتداد شمالی ـ جنوبی، از قسمت شرقی دشت عبور می‌کند، شده است. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

به منظور بررسی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی دشت برازجان تعداد ۲۱ نمونه آب از چاه‌های منطقه برداشت شد(شکل۱). نمونه‌برداری از چاه‌ها در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۱ انجام گرفته است. نمونـه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی نگهداری شده و به منظور آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه شرکت زاگرس آبشناس فارس منتقل گردید. برای اندازه‌گیری میزان مجموع املاح جامد (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های آب از دستگاه هدایت‌سنج، و برای اندازه‌گیری مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها از دستگاه اسپکترومتر استفاده شد. در این تحقیق از روش‌های زمین‌شناسی و هیدروشیمیایی جهت ارزیابی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی استفاده گردید. ضمناً نقشه زمین-شناسی منطقه با استفاده از نرم افزار ArcGis9.2 ترسیم شد. در بررسی فرآیندهای ژئوشیمیایی دشت برازجان از نمودارهای ترکیبی ترسیم شده توسط Excel 2007 و کیفیت این آب‌ها برای مصارف کشاورزی از طریق دیاگرام ها، نسبت‌ها و شاخص‌های لازم و نیز مقایسه با استانداردهای جهانی تعیین گردید. به منظور ارزیابی کیفیت آب کشاورزی از پارامترها و شاخص‌های خطر شوری و قلیائیت، نسبت جذب سدیم (SAR)، شاخص نفوذپذیری (PI)، کربنات باقی‌مانده (RC)، نسبت جذب منیزیم (MAR) و نسبت کلایز (KR) آب‌های زیرزمینی و در نهایت شاخص کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی (GQI) استفاده شد. در روش GQI، مقادیر این شش پارامتر ($MAR, SSP, SAR, EC, Na^{+}, Cl^{-}$) که تأثیر بیشتری در آب آبیاری دارند و از نظر تأثیرگذاری بر گیاهان نیز دارای اهمیت می‌باشند به صورت عددی به استانداردهای فائو ارتباط داده می-شوند. جهت محاسبه GQI، در محیط ArcGIS 9.3 با درونیابی کریجینگ (*Kriging*) داده‌های نقطه‌ای، برای هریک از شش پارامتر شیمیایی، نقشه رستری (*Raster map*) غلظت تهیه می‌گردد. به منظور ایجاد یک نقشه که نماینده تمام شش پارامتر شیمیایی باشد و وضعیت کلی کیفیت آب زیرزمینی را در مقایسه با استاندارد فائو نشان بدهد با استفاده از شاخص GQI لایه‌های مربوط به پارامترها، تلفیق می‌شود.

$$GQI = 100 - [(r_1w_1 + r_2w_2 + \cdots r_6w_6)/6]$$

[رابطه۱]

در این فرمول r، رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده و w، وزن نسبی هر یک از پارامترها می‌باشد که برابر با مقدار میانگین نقشه رتبه‌بندی شده مربوطه در خودش می‌باشد. برای محاسبه GQI در واقع از پارامترهای مختلف میانگین وزنی گرفته می‌شود که پارامترهای با مقدار بیشتر (تفاوت بیشتر با مقدار استاندارد) دارای وزن نسبی و در نتیجه تأثیرگذاری بیشتری می‌باشند(تتسویا ۲۰۱۰).

نتایج و بحث

شیمی آب‌های زیرزمینی

با استفاده از روش‌های استاندارد در آزمایشگاه مقادیر HCO_3^-, SO_4^{-2}, Cl^-, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Ca^{2+}, pH, TH NO_3^- TDS و EC در نمونه‌های آب زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج آنالیز نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

کیفیت نمونه‌های آب برداشت شده از دیدگاه کشاورزی

در جدول ۲ متوسط مقادیر پارامترهای کیفی در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت برازجان برای مقایسه با مقادیر استاندارد قرار گرفته است. در بررسی قابلیت استفاده از آب‌های زیرزمینی دشت برازجان از لحاظ کیفیت آب آبیاری به منظور مقایسه غلظت برخی از عناصر عمده موجود در آب‌های نمونه‌برداری شده با استانداردهای آب آبیاری، از جدول استاندارد و هیستوگرام عناصر مذکور استفاده شد.

جدول۱ - پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت برازجان

HCO_3	SO_4	Cl	K	Na meq/l	Mg	Ca	NO_3	TDS	EC µmohs/cm	pH	Sample
۱/۸	۱۷/۲	٤۷/٦	۰/۳	٤۷/۳	۲۸/٥	۳۲/٦	۱۳/۸	۱٦٤۷/۳	۲۸۹۰	۸/٦۱	G_1
۱/۲	٤/۹	۱۸/٥	۰/۱	۱۸/٤	۱۰/٥	۱۲/۱	۱۱/۳	۱۳۱۲/۲	۲٤۳۰	۷/۸	G_2
۱/۳	۱۲/٥	۳٤/۸	۰/۲	۳٤/٦	۲۰/۹	۲۳/۹	۱۸	۲۹۸٦/٥	٥٤۳۰	۷/۲۳	G_3
۱/٦	٦/۹	۲٥/۸	۰/۱	۲٥/٥	۱٤/٦	۱٦/۸	۱۰/۳	۱۸۲۲/٥	۳۰۳٥/٥	۷/٦٥	G_4
۱/۲	۱٥/٦	۱۱/۱	۰/۲	۱۰/٤	۹/۷	۳۸/۱	۲۳	۱٥۳۱/۷٥	۲۷۸٥	۷/۷۸	G_5
۲/۸	۲۷/۹	۹۸/٥	۱/۲	۸۱/٥	۷۰/٦	٥۹/۸	۲۱	۷٥۳۲	۱۳٤٥۰	۷/٦٤	G_6
۲/۸	۳۲/۳	۹٥/٤	۱/٤	۸۲/٤	۷۲/۳	٦۷/۸	۲۲/۱٤	۷۲٤٤/۲	۱۲٤۹۰	۷/٥۹	G_7
۱/۳	٥/٦	۲۰/۹	۰/۱	۲۰/۷	۱۱/۹	۱۳/٦	۳/۲	۱٤۸۳/٤	۲٦۹۷	۷/٦۲	G_8
۱/۹	۸/۳	۳۱/۱	۰/۲	۳۰/۸	۱۷/٦	۲۰/۳	٤/۸	۲۲۰۸	۳٤٥۰	۷/۸۹	G_9
۲/۲	۱۳/۱	۷۱/۲	۰/۳	٦٤/۲	۳۷/۱	۳۰/۹	۱۲/۳	٥۰۰۹/٦	۸۰۸۰	۷/٤۸	G_{10}
۲/۱	۱۲/۱	٦٥/٥	۰/۳	٥۹	۳٤/۱	۲۸/٥	۳۲/٥	٤٥۸۸/٥	۸۰٥۰	۷/۲۹	G_{11}
۱/٤	۷/۹	٤۲/۹	۰/۲	۳۸/٦	۲۲/٤	۱۸/٦	۲٤/۳	۳۰۳۲/٤	٥۳۲۰	۷/۳٥	G_{12}
۲/۹	۲٥/۸	٤۷/۹	۰/۳	٤۷/۹	٤٥/٤	٥۷/۹	۱۳/٥	۸۰۷٦/٤	۱۳۲٤۰	۷/٥۸	G_{13}
۲/۷	۲٤/۳	٤٥/۰۲	۰/۳	٤٥/۱	٤۲/۷	٥٤/٤	۱۲/۳	٤۳۱۲	۷۷۰۰	۷/۱۳	G_{14}
۲/۸	۳۰/۳	٤۷/۳	۰/۳	٤٤/٥	٤٤/۹	٥۷/۲	۱۱	٤٥۳٥/٦	۷۸۲۰	۸/۱	G_{15}
۱/۸	۲٦/٥	۳۸/٥	۰/۳	۳٥/۹	۳٥/۹	٤۹/۲	۳۲	۳۲۳٦/۷	٥٤۷۰	۸/۳	G_{16}
۲/۲	۲۷/٦	۲٦/۸	۰/۳	۲٦/۹	۲٦/٤	۸۲/۳	۱۱	۲۳٥۰	٤۲۷۰	۷/٤	G_{17}
۳/۳	۲۹/۷	٥٤/۹	۰/۳	٥٥/۰۱	٥۲/۱	٦٦/۳	٤۳	٥۲۷٤/٦	۸۹٤۰	۷/۹٥	G_{18}
۲/۹	۲٦/۳	٤۸/۷	۰/۳	٤۸/۸	٤٦/۲	٥۸/۸	۳٤	٤٦٤۳/۳	۷۸۷۰	۷/٦	G_{19}
۱/۸	۱٦/٤	٤۸/۲	۰/۲	٤۸/۲	۲۸/۸	۳٦/۷	٦/٤	٤٦۲۸/٤	۸۱۲۰	۷/۹۸	G_{20}
۳/۲	۲۸/۹	٥۳/٥	۰/۳	٥۳/٥	٥۰/۷	٦٤/٥	٥/۷	٥۲۱۲/۱	۸۸۳٤	۸/۹	G_{21}

جدول ۲- مقایسه غلظت عناصر عمده نمونه‌ها با حداکثر مجاز آن‌ها در آب آبیاری (آیرز و وسکات ۱۹۹۴).

پارامترهای آب	علائم قراردادی	واحد	دامنه معمول در آب آبیاری	Average
هدایت الکتریکی	EC_w	µmohs/cm	۰ تا ۳۰۰۰	٦٧٧٩/٧
کل جامدات حل شده	TDS	mg/l	۰ تا ۲۰۰۰	٣٩٤١/٣
کلسیم	Ca^{+2}	meq/l	۰ تا ۲۰	٤٦/٦
منیزیم	Mg^{+2}	meq/l	۰ تا ٥	٥٠/٧
سدیم	Na^{+}	meq/l	۰ تا ٤٠	٥٣/٥
بیکربنات	HCO_3^{-}	meq/l	۰ تا ۱۰	٣/٢
کلرید	Cl^{-}	meq/l	۰ تا ۳۰	٥٣/٤
سولفات	SO_4^{-2}	meq/l	۰ تا ۲۰	٢٨/٧
نیترات	NO_3- N	mg/l	۰ تا ۱۰	١٧/٤
پتاسیم	K^{+}	mg/l	۰ تا ۲	١٢/٩
اسیدی- بازی	pH		٦ تا ٨/٥	٧/٨
نسبت جذب سدیم	SAR	meq/l	۰ تا ٤٠	٧/٢
درصد سدیم محلول در آب	SSP	meq/l	٤٠>	٣٧/٦
بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده	RSBC	meq/l	٢/٥ تا ١/٢٥	-٤٠/٢
شاخص نفوذپذیری	PI		٠/١٩ تا ٧/١٥	٠/٥١
نسبت جذب منیزیم	MAR		٥٠>	٤٤/٩
نسبت کلایز	KR		١	٠/٦٣

هدایت الکتریکی(EC)

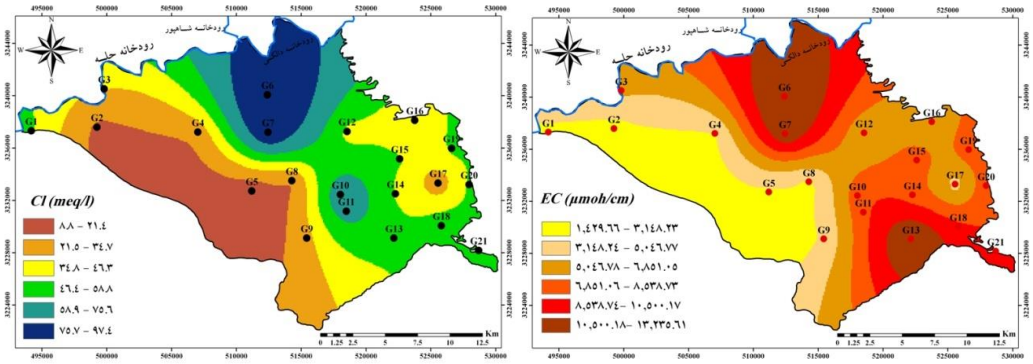
مقدار هدایت الکتریکی ویژه آب نشان‌دهنده میزان وجود املاح در آب است که بستگی به درجه حرارت، غلظت یونی و نوع یون‌های موجود در آب دارد (هم ۱۹۹۱). بنابراین EC یک تصویر کیفی از چگونگی کیفیت آب‌های زیرزمینی ارائه می‌دهد. حداکثر مقدار مجاز EC برای آب‌های زیرزمینی µmohs/cm ۳۰۰۰ است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به میزان EC آب‌های منطقه موردمطالعه (µmohs/cm ۱۳٤٥۰ - ۲٤۳۰) ۱۹٪ از نمونه‌ها در کلاس ٤ (مشکوک) و ۸۱ ٪ از نمونه‌ها در کلاس ٥ (نامناسب) قرار می‌گیرند جدول ۳، که نشان از کیفیت نامناسب آب‌ها برای مصارف کشاورزی است. شکل۲ الف پهنه‌بندی منطقه موردمطالعه را بر اساس هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. به‌طورکلی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی از حواشی شرقی دشت به سمت ناحیه غربی دشت کاهش می‌یابد.

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی بر اساسEC (پارک و همکاران ۲۰۰۵).

کلاس آب	کیفیت آب	EC(µmohs/cm)	درصد نمونه‌های منطقه برازجان
۱	بسیار خوب	<۲٥۰	-
۲	خوب	۲٥۰-۷٥۰	-
۳	قابل استفاده	۷٥۰-۲۰۰۰	-
٤	مشکوک	۲۰۰۰-۳۰۰۰	٪۱۹
٥	نامناسب	>۳۰۰۰	٪ ۸۱

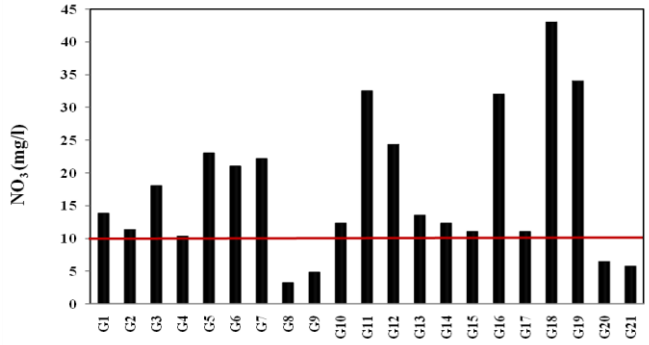
کلرید (Cl): منشأ اصلی کلراید آب‌های طبیعی کانی هالیت می‌باشد. شایع‌ترین مسمومیت گیاهان در آب آبیاری نسبت به یون کلرید می‌باشد. از آنجائی‌که برخی از گیاهان به تأثیر این یون حساسیت ویژه‌ای نشان می‌دهند، لذا رده‌بندی‌های تجربی آب آبیاری بر اساس غلظت کلرید ضرورت دارد (جدول۲). اگر غلظت کلر در برگ‌ها بیش از حد استاندارد باشد، علائم آسیب مانند سوختگی برگ یا خشک شدن بافت برگ ایجاد می‌شود.

بررسی نتایج آنالیز بدست آمده نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های منطقه بجز نمونه‌های G_2، G_8، G_5، G_4 و G_{17} غلظتی بیش از حد استاندارد دارند (جدول۱). با توجه به نقشه هم‌کلراید آبخوان دشت برازجان شکل ۲ ب مشخص می‌گردد، که حداکثر غلظت کلراید آب‌های زیرزمینی در نزدیکی رودخانه دالکی در شمال دشت مقدار ۹۸/۵ meq/l می‌باشد.



شکل ۲-الف: نقشه هم‌ارزش هدایت الکتریکی ب: نقشه هم‌ارزش کلرید در آب زیرزمینی دشت برازجان

نیترات (NO_3): نیترات از مهم‌ترین منابع نیتروژنی مورد استفادهٔ گیاهان است که بصورت طبیعی در خاک، آب، گیاه، علوفه انباری، محصولات کشاورزی، علف‌های هرز، بافت‌های حیوانی و فضولات دامی وجود دارد و می‌تواند از طریق استفاده از کودهای حیوانی یا شیمیایی به خاک اضافه گردد. بالا بودن غلظت نیترات به آبدار، ترد و شکننده‌شدن ساقه‌ها و تیره رنگ شدن برگ‌ها منجر می‌شود. از علائم کمبود نیتروژن کاهش رشد، زردی و کوچک شدن برگ‌ها و ضعف در برگ‌های پیر و ریزش پیش از موقع برگ‌ها است. مقایسه داده‌های غلظت نیترات جدول۱ با حد مجاز نیترات در آب آبیاری (۱۰mg/l) نشان می‌دهد که به‌جز آب چاه‌های G_{20}، G_8، G_9 و G_{21} آب سایر چاه‌های دارای غلظت نیتراتی فراتر از حدمجاز فوق می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار ستونی میزان نیترات آب چاه‌های منطقه و مقایسه با مقدار استاندارد

۱- **نسبت جذب سدیم** [1] (**SAR**): نسبت جذب سدیم آب مشخص‌کننده جذب سدیم خاک است (آبیفونا و شریف ۲۰۱۰) که با استفاده از فرمول ارائه شده توسط (ریچارد ۱۹۵٤) (رابطه ۲) محاسبه شد. بر اساس اطلاعات جدول (۲) حد متوسط میزان SAR آب‌های زیرزمینی منطقه کمتر از حدمجاز ۱۵ می‌باشد (فائو ۲۰۰۸). مقادیر بر حسب میلی اکی والان بر لیتر می‌باشد.

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$ [رابطه ۲]

۲- **میزان سدیم محلول** [2] (**SSP**): پارامتر نسبت SSP (سدیم محلول در آب) با داشتن غلظت عناصر کلسیم، سدیم و منیزیم در آب بر اساس رابطه ۲ (تاد ۲۰۰۵) قابل محاسبه می‌باشد. SSP پارامتر مهمی برای مطالعه خطر شوری است. درصد بالای سدیم محلول ممکن است رشد گیاه را متوقف کند و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد (جوشی و همکاران ۲۰۰۹). بر اساس جدول ۲ و شکل ٤ نیمی از نمونه‌ها دارای SSP بالاتر از حد مجاز می‌باشند.

$$SSP = \frac{Na}{Ca + Mg + Na} * 100$$ [رابطه ۳]

۳- **مقدار بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده** [3] (**RSBC**): طبق رابطه ٤ که توسط(گوپتا و گوپتا ۱۹۷۸) ارائه شد، بدست آمد. آب با مقادیر زیاد RSBC دارای pH بالایی است. بنابراین آبیاری زمین با این آب سبب بایر شدن زمین و رسوب بی‌کربنات سدیم می‌شود (ایتون ۱۹۵۰). با توجه به این که افزایش سدیم باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود، مقادیر RSBC در آب آبیاری باید از ۱/۲۵ کمتر باشد (آبیفونا و شریف ۲۰۱۰). مقدارRSBC محاسبه شده در تمامی نمونه‌های آب کمتر از مقدار مذکور می‌باشد، بنابراین، خطر رسوب بی‌کربنات سدیم وجود ندارد.

$$RSBC = HCO_3^{-} - Ca^{+2}$$ [رابطه ٤]

۴- **شاخص نفوذپذیری** [4] (**PI**): نفوذپذیری خاک از استفاده طولانی مدت آب آبیاری تأثیر می‌پذیرد و مؤثرترین پارامترها در آن شامل کل جامدات محلول، کربنات سدیم و نوع خاک است. دامنه مناسب شاخص نفوذپذیری از ۰/۱۹ الی ۷/۱۵ می‌باشد (آبیفونا و شریف ۲۰۱۰). با توجه به اطلاعات جدول ۲ میانگین PI آب‌های مورد مطالعه در حد قابل قبولی هستند توسط معادله (سوبا ۲۰۰٦) محاسبه شد (رابطه ٥).

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3 \times 100}}{Ca + Mg + Na}$$ [رابطه ٥]

۵- **نسبت جذب منیزیم** [5] (**MAR**): میزان منیزیم آب یکی از مهم‌ترین معیارها برای تعیین کیفیت آب از نظر آبیاری است. معمولاً منیزیم و کلسیم در بیشتر آب‌ها در تعادل هستند. منیزیم بیشتر در آب همچنان که باعث شور شدن آب می‌شود کاهش محصولات را سبب می‌شود (جوشی و همکاران ۲۰۰۹). حد مجاز این پارامتر در آب آبیاری ٥۰٪ است (آیرس و ویسکات ۱۹۸۵). بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه از نظر میزان جذب منیزیم کمتر از حد مجاز استاندارد هستند.

$$MAR = \frac{Mg \times 100}{Ca + Mg}$$ [رابطه ٦]

۶- **نسبت کلایز** [6] **KR**: حد مجاز این مؤلفه در آب آبیاری ۱ می‌باشد (آبیفونا و شریف ۲۰۱۰). با استفاده از اطلاعات جدول ۲ متوجه می‌شویم که نمونه آب چاه‌ها با مقدار متوسط ۰/٦۳ در وضعیت مطلوبی قرار دارند.

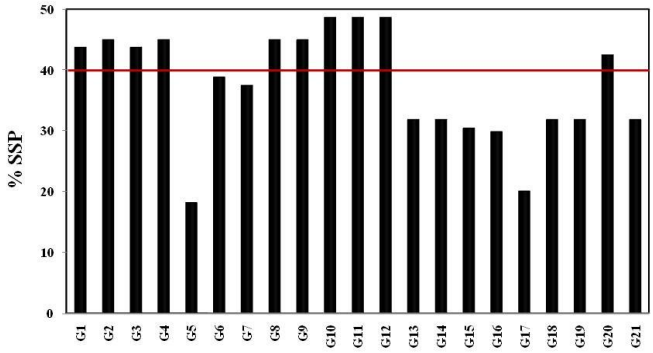
$$KR = \frac{Na}{Ca + Mg}$$ [رابطه ۷]

نمودار ویلکوکس

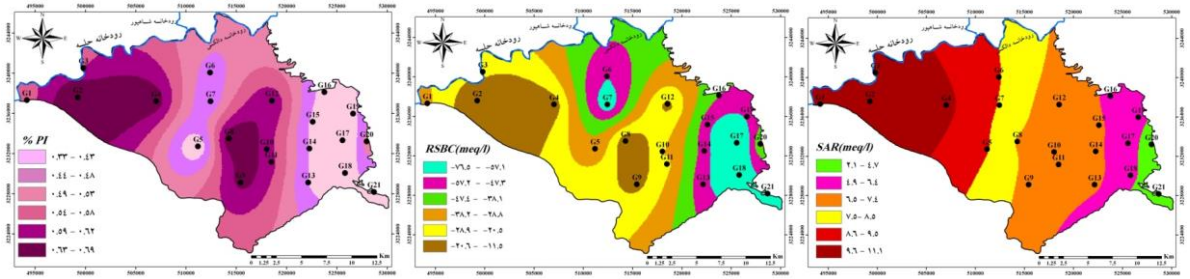
ویلکوکس بر اساس دو پارامتر EC و SAR دیاگرامی برای تعیین کیفیت آب کشاورزی ارائه نموده

[1] - Sodium Adsorption Ratio
[2] - Soluble Sodium Percentage
[3] - Remaining Sodium Bicarbonate
[4] - Permeability Index
[5] - Magnesium Absorption Ratio
[6] - Kellys Ratio

(شکل ۱۲)، که با توجه به موقعیت نمونه آب‌های منطقه بر روی این دیاگرام ۱۴ درصد از نمونه‌ها در کلاس C_3S_1 و ۹۰ درصد C_3S_2 قرار می‌گیرند (شکل ٦)، که نشان‌دهنده میزان شوری بالا و مقدار سدیم پایین است و این آب‌ها برای مصارف کشاورزی با اعمال تمهیدات مناسب می‌باشند.



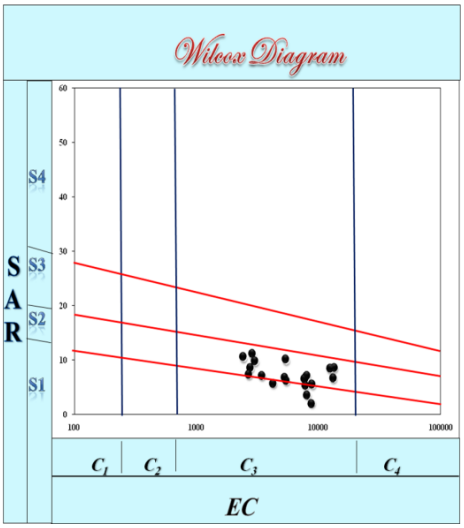
شکل ۴- نمودار ستونی SSP ٪ آب چاه‌های منطقه و مقایسه با مقدار استاندارد



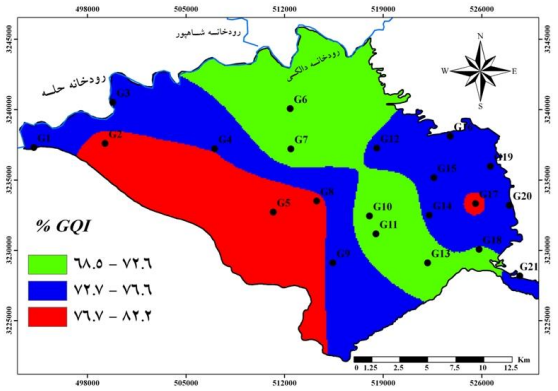
شکل۵- نقشه‌های هم‌ارزش SAR، RSBC و PI ٪ نمونه‌های آب زیرزمینی دشت برازجان

جدول ۴- رده‌های مختلف آب و نوع کیفیت بر اساس تقسیم‌بندی ویلکوکس (ویلکوکس ۱۹۵۴)

رده آب	نوع کیفیت آب برای کشاورزی
C_1S_2 ،C_2S_1	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی ضرر
C_2S_1 ،C_2S_2 ،C_1S_2	کمی شور- برای کشاورزی تقریباً مناسب
C_3S_3 ،C_3S_2 ،C_3S_1 ،C_2S_3 ،C_1S_3	شور- برای کشاورزی با اعمال تمهیدات، مناسب
C_1S_4 C_2S_4 ،C_3S_4 ،C_4S_4 ،C_4S_3 ،C_4S_1	خیلی شور- مضر برای کشاورزی



شکل ۶- نمودار ویلکوکس مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی برازجان



شکل۷- نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI دشت برازجان

شاخص کیفیت آب زیرزمینی[۷] (GQI)

بر اساس شاخص کیفیت آب زیرزمینی مقادیر کمتر از ٦٠ درصد نشانگر کیفیت بد آب‌ها، بین ٦٠- ٨٠ درصد نشان‌دهنده کیفیت متوسط و بیش از ٨٠ درصد نماینده کیفیت‌های مناسب آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی می‌باشد. نقشه GQI بدست آمده برای برازجان (شکل۷) نشان می‌دهد شمال و مرکز دشت دارای آب هایی با کیفیت متوسط برای آبیاری می‌باشد. درحالیکه نیمه جنوبی دشت که دارای آب‌هایی با کیفیت مناسبتری برای آبیاری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات پارامترهای کیفیت آب، برای ارزیابی ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت برازجان و مناسب بودن آنها برای استفاده‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نقشه-های پهنه‌بندی شده EC و یون کلرید آب زیرزمینی منطقه، بیشترین غلظت برای این دو پارامتر کیفی در

[7] - Groundwater Quality Index

شمال دشت و نزدیک به رودخانه دالکی و شاپور می‌باشد. میزان EC آب‌های منطقه مورد مطالعه بین ۲۴۳۰ تا ۱۳۴۵۰ میکروموهس بر سانتی‌متر می‌باشند که نشان از کیفیت نامناسب آب‌های منطقه برای مصارف کشاورزی است. همچنین میزان سدیم محلول در آب‌های زیرزمینی (SSP) منطقه در بیش از نیمی از نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد است، که نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد. مقادیر نسبت جذب سدیم، درصد سدیم، بی‌کربنات سدیم باقی‌مانده وشاخص نفوذپذیری آب زیرزمینی دشت برازجان به طور کلی کمتر از حد استاندارد می‌باشند. مطابق با نمودار ویلکوکس نمونه آب زیرزمینی دشت برازجان، شوری آب زیاد بوده و جهت استفاده برای کشاورزی باید تمهیدات لازم اعمال گردد. آب‌های زیرزمینی دشت برازجان به خصوص در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت، به علت همجواری با رودخانه دالکی دارای شوری زیادی می‌باشند. نتایج نشان داد که بسیاری از پارامترهای فیزیکوشیمیایی به جزء کلرید، سدیم، نیترات و شوری مورد تجزیه و تحلیل در حدود پیشنهادی فائو برای آب آبیاری بودند، ولی به دلیل شوری بیشتر نمونه‌های آب زیرمینی، کیفیت آب برای آبیاری بسیار پایین است و در نتیجه برای مقاصد آبیاری نامناسب می‌باشند. بدلیل استفاده از آب‌های زیرزمینی این منطقه برای اهداف کشاورزی، این نواحی به مراقبت‌های ویژه‌ای از جمله کشت گیاهان مقاوم به شوری و زهکشی مناسب نیاز دارند.

منابع مورد استفاده

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.

Bartels D and Sunkar R, 2005. Drought and salt tolerance in plants. Critical Reviews in and Culture. Prentice hall, Upper Saddle River, NJ. p. 68.

Eaton FM, 1950. Significance of carbonate in irrigation waters. Soil Science, 67(3): 128-133.

Ehteshami M, Khorasani N and Ezad D A.hostdar, 2008. Study extent of the effect of pesticides on groundwater quality in the Shahryar Region. Journal of humans and the environment, 3,4: (In Persian).

Forouzani M and Karami E, 2011. Agricultural water poverty index and sustainability. Agronomy for Sustainable Development, 31: 415-432. (In Persian).

Gold MV, 2007. Sustainable Agriculture, definitions and terms. Special reference briefs series no. SRB 99-02.

Gonzalez-Dugo V. Durand JL and Gastal F, 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30: 529-544.

Gupta SK and Gupta IC, 1987. Management of saline soils and water. Oxford and IBH publication coy, New Delhi, India, Pp. 399.

Hem JD, 1991. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Scientific Publ., Jodhpur.

Joshi DM, Kumar A, Agrawal N, 2009. Assessment of the irrigation water quality of River Ganga in Haridwar District India. Journal of Chemistry, 2(2): 285-292.

Lichtfouse E, 2010. Sustainable Agriculture Reviews 6: Alternative Farming Systems Management, 82: 177–192.

Maria PM and Luis R, 2010. Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive kriging. Science of the Total Environment, 5: 1021-1034.

McLay CD, Dragten R, Sparling G and Selvarajah N, 2001. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. Environmental Pollution, 115: 191-204.

Mohammadi Ghalaeh ney M, Ebrahimi K and Araghynejad Sh, 2011. Evaluation quality and quantity of groundwater resources (Case study: Saveh and Arak aquifers). Journal of Soil and Water Tabriz University. 21(2): 108. 93. (In Persian).

Movahedian H and Ghanbarzadeh SH, 2003. Comparison of nitrate and Carbon in water resources and water supply system in Isfahan 2002-2003. Proceedings of the Sixth National Congress on Environmental Health, Volume I. (In Persian).

National Salinity Research Center, 2008. According to the strategic plan for sustainable management and use of unconventional water, saline soils.

Obiefuna GI and Sheriff A, 2010. Assessment of shallow groundwater quality of Pindiga Gombe area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. Research Journal Of Environmental And Earth Sciences, 3(2): 131-141.

Park S, 2005. Regional hydrochemical study on salinization of coastal area of South Korea. Journal of Hydrology, 313. Pp. 182-194.

Richards LA, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils agric Handbook 60. USDA and IBH Pub, Coy Ltd., New Delhi, India. Pp. 98-99.

Salah SA and Barrington SF, 2006. Effect of soil fertility and transpiration rate young wheat plants (*Triticum aestivum*) Cd/Zn uptake and yield. Agricultural Water Management, 82: 177–192.

Subba Rao N, 2006. Groundwater potential index in a crystalline terrain using remote sensing data, Environmental Geology,50: 1067–1076.

Tetsuya H, 2010. Evaluation of groundwater vulnerability and sustainability. 20thUNESCO-IHP Training Course DOI 10.1007/s11269-006-9059-6.

Wilcox LV, 1954. Classification and Use of Irrigation Waters. Department of Agriculture, United States, Circular No. 696, Washington D.C. Pp. 16.

Zaiming Z, Guanghui Z, Mingjiang Y and 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.