

طراحی نرم افزار Hydrogeochem برای بررسی ویژگی های هیدروژئوشیمیایی و کیفیت آب

مهدی کرد^{۱*}

۱- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه کردستان

* نویسنده مسئول: m.kord@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

چکیده

ارزیابی گرافیکی یک بخش مهم در ارزیابی های هیدروژئوشیمیایی آب های سطحی و زیرزمینی است که به وسیله آن ویژگی های مهمی از آب مانند منشأ، کاربری، واکنش های اصلی، تیپ، دسته بندی نمونه ها و خیلی دیگر از مسایل آب مشخص می شود. در اغلب مواقع برای رسم نمودارهای کیفی از نرم افزارهای تجاری قفل شکسته استفاده می شود که با مشکلات زیادی از قبیل عدم دسترسی به تمام امکانات نرم افزار و حق کپی رایت مواجه هستند. هدف از این تحقیق، طراحی یک نرم افزار تخصصی برای ترسیم نمودارهای ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آب است که فاقد مشکلات ذکر شده باشد. به این منظور با استفاده از برنامه نویسی در محیط ویژوال بیسیک ۲۰۰۸ نرم افزار هیدروژئوکم طراحی شد. این نرم افزار تحت ویندوز بوده و با انواع ویندوزها سازگار است و برای رسم برخی از پرکاربردترین نمودارهای هیدروژئوشیمیایی مانند پایپر، استیف، شولر، ویلکاکس و نمودار آزمایشگاه شوری ایالات متحده طراحی شده است. کار با آن بسیار ساده بوده و دارای عمل کردی سریع است. ارزیابی همزمان ۹۹۹ نمونه آب برای آن در نظر گرفته شده که می توانند به صورت گروهی و یا موردی پردازش شوند. پارامترهای کیفی ضروری برای بررسی اکثر نمودارهای کیفی، شامل عناصر اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، کلر، سولفات، کربنات و بی کربنات هستند. علاوه بر آنها در برخی از نمودارها از پارامترهای pH و کل مواد جامد محلول نیز استفاده می شود. در مقایسه با نرم افزارهای این حیطه از آشناسی، نرم افزاری بومی است که در آن سعی شده است تا علاوه بر کاربرپسند بودن، ابزارهای لازم برای بررسی کیفی آب در یک محیط ساده و در یک جا ارائه شود تا کاربر برای تهیه نمودارهای گوناگون ناچار به استفاده از چندین نرم افزار نباشد. در کنار تمام مزایا و قابلیت های این نرم افزار، بزرگ ترین قابلیت آن، رسم نمودار دوروف بسط یافته می باشد.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت آب، نرم افزار هیدروژئوشیمی، نمودار دوروف.

مقدمه

در میان نرم افزارهای ارائه شده، فری کیوسی^{۴۵} یکی از بهترین هاست که با استفاده از دیتابیس های تعریف شده در آن می توان واکنش های هیدروژئوشیمیایی و انتقال جرم را ارزیابی کرد (پارخورست و اپلو، ۲۰۰۳؛ تیروتا بارنا، ۲۰۰۸). قبل از استفاده از اینگونه نرم افزارها نیاز است تا وضعیت کلی هیدروژئوشیمیایی آب از لحاظ تیپ و رخساره، کاربری، تأثیر محیط های زمین شناسی بر آن و نوع واکنش های تعیین کننده

ارزیابی گرافیکی یک بخش مهم در ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آب های سطحی و زیرزمینی است که به وسیله آن ویژگی های مهمی از آب مانند منشأ، کاربری، واکنش های اصلی، تیپ، دسته بندی نمونه ها و خیلی دیگر از مسایل آب مشخص می شود (هانسلو، ۱۹۹۵). تا کنون نرم افزارهای مختلفی در این زمینه تولید شده اند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند.

پیچیدگی برای بررسی کیفی آب بوده و ضمن ارائه امکانات لازم و ترسیم نمودار دوروف^{۵۳}، فاقد محدودیت‌های نصب باشد.

مواد و روش‌ها

در اغلب بررسی‌های هیدروشیمیایی نمودار پایپر^{۵۴} مورد استفاده قرار می‌گیرد که یکی از نمودارهای مفید برای تعیین تیپ‌های غالب آب است. در این نمودار این امکان وجود دارد که تعداد زیادی نمونه به صورت هم‌زمان نمایش داده شود (پایپر، ۱۹۴۴). نمودار پایپر از دو قسمت مثلثی و یک بخش لوزی شکل تشکیل شده است. نسبت هر کاتیون به کل کاتیون‌ها و نسبت هر آنیون به کل آنیون‌ها، برای هر نمونه برحسب درصد محاسبه شده و به ترتیب در مثلث‌های مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌ها رسم می‌شوند. موقعیت نمونه‌ها در بخش لوزی شکل از موقعیت نمونه‌ها در دو قسمت مثلثی شکل به دست می‌آید (شکل ۱- الف).

نمودار دوروف نیز یکی از مفیدترین نمودارها است. این نمودار در دو شکل ساده و بسط‌یافته^{۵۵} مورد استفاده قرار می‌گیرد (دوروف، ۱۹۴۸). نوع بسط‌یافته آن در هیچ‌یک از نرم‌افزارهای ذکر شده در نظر گرفته نشده است. تنها نرم‌افزار ارائه شده برای رسم آن دوروف‌وین^{۵۶} است که صرفاً این نمودار را رسم کرده و فاقد دیگر گراف‌های معمول در بررسی‌های کیفی است (البسام و خلیل، ۲۰۱۲). امکان ترسیم داده‌های زیادی به صورت هم‌زمان و مقایسه آنها در نمودار دوروف وجود دارد. این نمودار در بهتر نشان دادن تیپ‌های مختلف هیدروشیمیایی و بعضی فرآیندهای هیدروشیمیایی بر دیاگرام پایپر برتری داشته و علاوه بر آن میدان اصلی وسیع‌تری دارد. نمودار دوروف خیلی شبیه به نمودار پایپر است اما کاتیون‌ها و آنیون‌ها در دو طرف یک مربع رسم می‌شوند. در نمودار دوروف یک مثلث برای آنیون‌ها و یک مثلث برای کاتیون‌ها وجود دارد در حالی که در دوروف بسط‌یافته هر یک از این مثلث‌ها به سه قسمت مجزا تقسیم شده‌اند. مربع میانی به ۹

کیفیت آب مورد ارزیابی قرار گیرد. این مسأله از آن لحاظ اهمیت دارد که دیدی خوب از سیستم کیفی ارائه داده و یک مرحله ضروری در فهم سیستم است.

در سال‌های قبل برنامه‌ای کامپیوتری با عنوان کمیستری^{۴۶} در محیط اکسل به صورت ماکرو، توسط وزارت نیرو برای بررسی کیفیت آب ارائه شد که از طرف دانشجویان و محققین مورد استقبال واقع گردید. برنامه مذکور قادر به رسم نمودارهای پایپر، شولر، آزمایشگاه شوری ایالات متحده^{۴۷} و کالینز است. مزیت آن علاوه بر بومی بودن، وجود ابزارهای لازم برای بررسی کیفیت آب است. بزرگ‌ترین عیب آن نیز عدم استقلال به عنوان یک نرم‌افزار کیفی است. در واقع آن یک فایل اکسل است که قبل از استفاده نیاز به نصب اکسل از مجموعه نرم‌افزاری آفیس دارد. با انواع نسخه‌های اکسل هم‌خوانی نداشته و در صورتی که هم‌زمان نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی بر روی رایانه نصب شود، عمل کرد آن دچار اشکال می‌شود. نیاز به تنظیم امنیت کامپیوتر در پایین‌ترین حالت برای استفاده از آن و به هم ریختگی فونت‌ها نیز از دیگر اشکالات این برنامه است.

نرم‌افزارهای ای‌کیوکیوای^{۴۸} و آکواکم^{۴۹} نیز از نرم‌افزارهای تخصصی کیفیت آب هستند که به ترتیب توسط شرکت‌های راک ویر^{۵۰} و واترلو^{۵۱} طراحی شده‌اند (آکواکم، ۲۰۱۳؛ راکویر ای‌کیوکیوای، ۲۰۱۱). این نرم‌افزارها قابلیت رسم نمودارهای کیفی را داشته و تحت ویندوز هستند. تقریباً تمام نرم‌افزارهای خارجی دارای حق کپی رایت‌اند، به صورت رایگان در اختیار نیستند و به صورت قفل شکسته استفاده می‌شوند. همین موضوع سبب می‌شود تا اینگونه نرم‌افزارها به خوبی کار نکنند و بعضاً در مراحل نصب و یا اجرا با مشکلاتی روبرو شوند.

با توجه به مطالب گفته شده در بالا، هدف از طراحی هیدروژئوکم^{۵۲} ارائه یک نرم‌افزار با محیطی ساده، عاری از هرگونه

52 - Hydrogeochem

53 - Durov diagram

54 - Piper diagram

55 - Expanded

56 - Durov Win

46 - Chemistry

47 - USSL

48 - AqQA

49 - Aqua chem

50 - RockWare

51 - Waterloo

درمقیاس لگاریتمی نشان داده شده‌اند. از اتصال مقادیر مربوط به هر نمونه آب، خطی شکسته ایجاد می‌شود که از روی آن می‌توان کیفیت آب را برای شرب تعیین کرد. غلظت حقیقی عناصر بر حسب میلی گرم بر لیتر در این نمودار نمایش داده می‌شود (شکل ۱-د).

نمودارهای ویلکاکس^{۵۹} و آزمایشگاه شوری ایالات متحده برای دسته‌بندی کیفیت آب برای اهداف آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱-ه و ۱-و). از آنجا که یون سدیم بر روی بافت خاک تأثیر منفی داشته و سبب کاهش نفوذپذیری آن می‌شود، مقدار آن در آب برای مصارف آبیاری دارای اهمیت است. در این نمودارها برای نشان دادن سهم سدیم در مقابل تمام یون‌های موجود در آب، از ترسیم مقدار نسبت جذب سدیم^{۶۰} و درصد سدیم در مقابل هدایت الکتریکی^{۶۱} استفاده شده است (ویلکاکس، ۱۹۶۲). مقادیر درصد سدیم و نسبت جذب سدیم از رابطه‌های ۱ و ۲ حاصل می‌شود.

$$Na \% = \frac{Na^{+}+K^{+}}{Na^{+}+K^{+}+Ca^{2+}+Mg^{2+}} \times 100 \quad [1]$$

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad [2]$$

در رابطه‌های بالا غلظت بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

قسمت تقسیم می‌شود و هر یک از این قسمت‌ها مربوط به ویژگی‌های هیدروشیمیایی خاصی است (اصغری‌مقدم، ۲۰۱۰). علاوه بر آن واکنش‌های غالب آب در جهات متفاوت در این نمودار قابل بررسی است (شکل ۱-ب).

از نمودار استیف^{۵۷}، برای تعیین سنگ میزبان و نوع محیط زمین‌شناسی مؤثر بر کیفیت آب استفاده می‌شود (استیف، ۱۹۵۱). از سه محور موازی و افقی که در دوطرف یک محور عمودی به عنوان مبدأ گسترده شده‌اند، تشکیل شده است. هر آنیون در مقابل کاتیون متناظر خود قرار گرفته است. کاتیون‌ها در سمت چپ و آنیون‌ها در سمت راست محور قائم رسم شده و از اتصال آنها چند ضلعی حاصل می‌شود. با مقایسه شکل به دست آمده با الگوهای استیف، نوع سنگ مؤثر بر کیفیت آب تعیین می‌شود. در شکل ۱-ج الگوهای مربوط به آبخوان‌های دارای محیط‌های زمین‌شناسی مختلف نشان داده شده است. واحد غلظت در نمودارهای ذکر شده به صورت میلی‌اکی‌والان بر لیتر است (هانسلو، ۱۹۹۵).

علاوه بر موارد ذکر شده، برخی از نمودارها برای سنجش کیفیت آب برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمودار شولر^{۵۸} برای تعیین کیفیت آب شرب به کار می‌رود. در این نمودار، پارامترهای کیفی به صورت مجزا، به صورت میله‌ای و

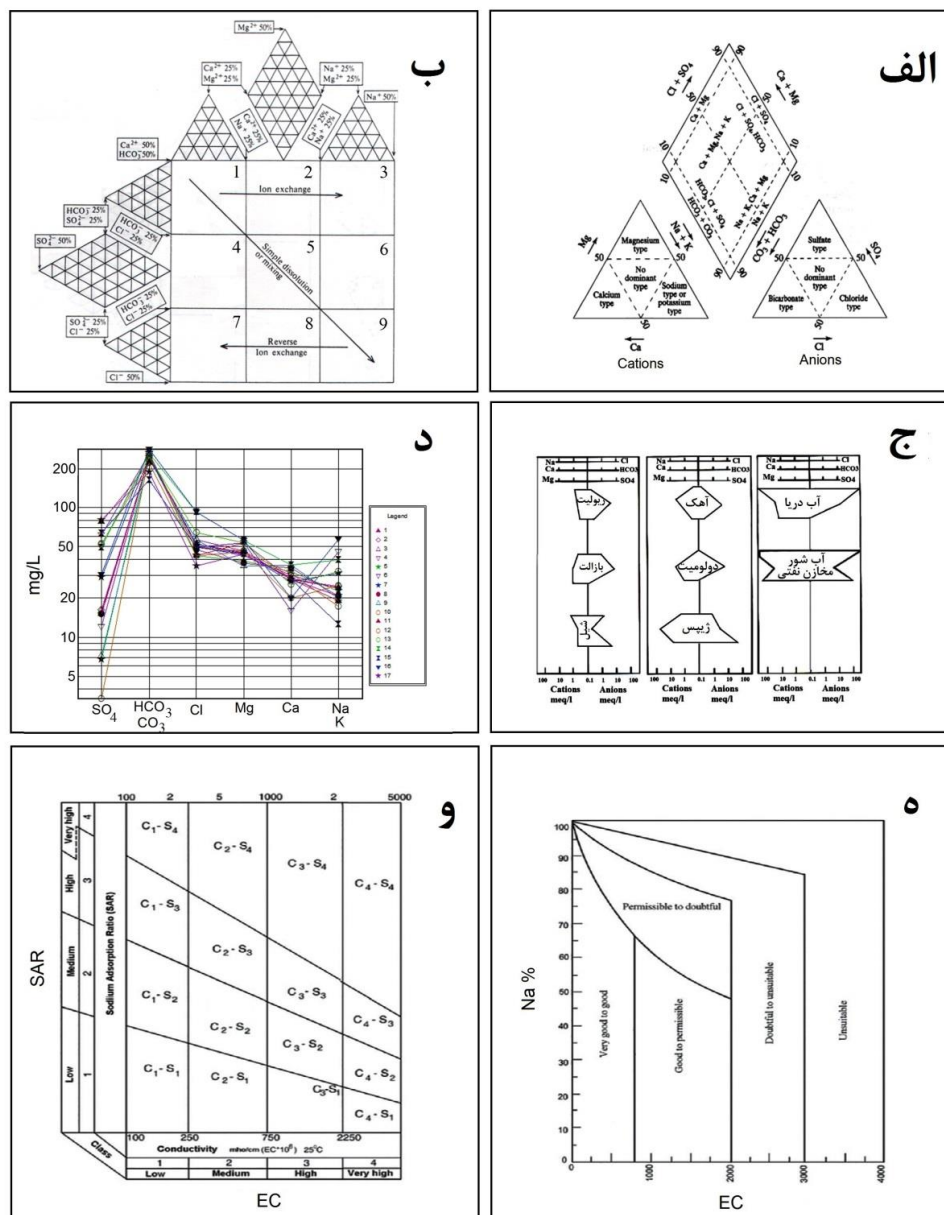
⁶⁰ - Sodium Adsorption Ratio (SAR)

⁶¹ - Electrical conductivity (EC)

⁵⁷ - Stiff diagram

⁵⁸ - Schoeller diagram

⁵⁹ - Wilcox

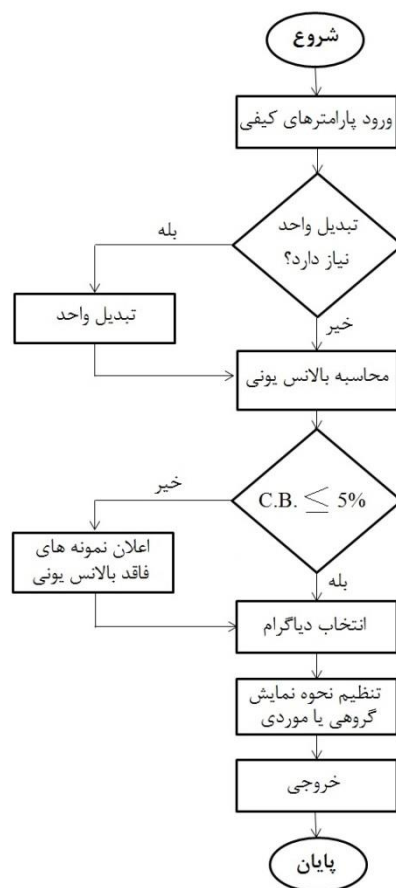


شکل ۱- نمودارهای (الف) پایپر، (ب) دوروف، (ج) استیف و الگوهای مختلف برای آبخوان‌های با جنس زمین‌شناسی متفاوت، (د) شولر (بر گرفته از نرم‌افزار ای کیوکیوای)، (ه) ویلکاکس، (و) آزمایشگاه شوری ایالات متحده

کار با آن بسیار ساده بوده و دارای عمل‌کردی سریع است. کد این نرم‌افزار در محیط ویزوال بیسیک ۲۰۰۸ نوشته شده است. ارزیابی همزمان ۹۹۹ نمونه آب برای آن در نظر گرفته شده که می‌توانند به صورت گروهی و یا موردی پردازش شوند. در شکل ۲ الگوریتم کاری نرم‌افزار به صورت ساده آورده شده است.

نتایج و بحث

هیدروژئوکم، نرم‌افزاری تحت ویندوز است که با انواع ویندوز سازگار بوده و برای رسم برخی از پرکاربردترین نمودارهای هیدروژئوشیمیایی مانند پایپر، دوروف بسط‌یافته، استیف، شولر، ویلکاکس و آزمایشگاه شوری ایالات متحده طراحی شده است.



شکل ۲- فلوچارت مراحل کاری در نرم افزار هیدروژئوکم

بسیار مهم است که در بررسی های هیدروشیمیایی، نمونه ها از لحاظ یونی، متعادل باشند. بالانس یونی^{۶۳} با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$CB = \frac{\sum Cations - \sum anions}{\sum Cations + \sum anions} \times 100 \quad [3]$$

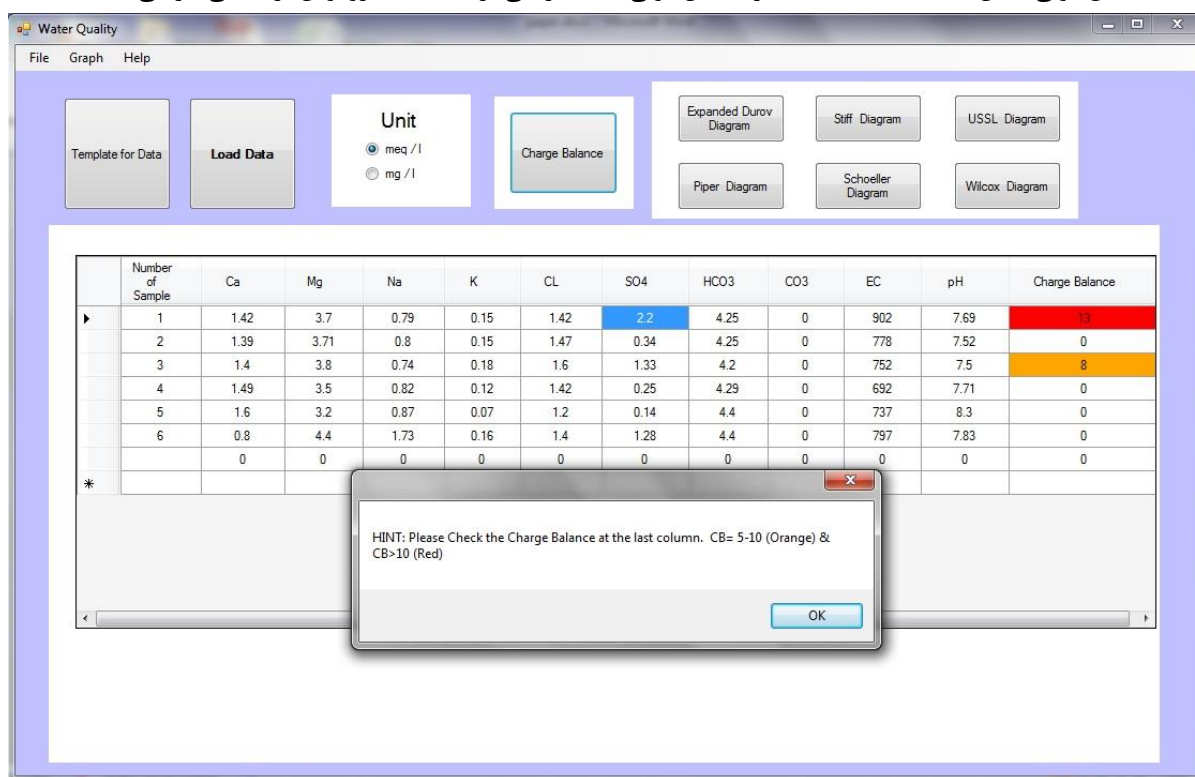
با محاسبه بالانس یونی برای هر یک از نمونه ها، مقدار آن در ستون آخر صفحه گستره نشان داده شده و سلول مربوط به آنهايي که دارای خطای بالای ۵ درصد هستند با رنگ قرمز مشخص شده و همزمان پیامی داده می شود تا کاربر از وجود آنها مطلع شود. در تمامی مراحل اجرا در صورت نیاز سیستم پیام های کوتاهی برای راهنمایی کاربر اعلان می کند. پس از محاسبه بالانس یونی دکمه های مربوط به نمودارهای مختلف و نوار منو فعال خواهند شد. این امر کاربر را ناچار به محاسبه بالانس یونی خواهد کرد.

پارامترهای کیفی ضروری برای بررسی اکثر نمودارهای کیفی، عناصر اصلی شامل کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، آنیون های کلر، سولفات، کربنات و بی کربنات هستند. علاوه بر آنها در برخی از نمودارها از پارامترهای pH و کل مواد جامد محلول^{۶۲} نیز استفاده می شود. برای ورود داده ها در پنجره اصلی نرم افزار، یک صفحه گسترده در نظر گرفته شده است که ورود آنها را به صورت دستی و یا از طریق فراخوانی انواع فایل اکسل ممکن می سازد. علاوه بر آن برای سهولت، یک فایل الگو در نرم افزار در نظر گرفته شده است که می توان داده ها را در آن کپی نموده و سپس فراخوانی کرد. پس از بارگذاری داده ها نوبت به انتخاب واحد اندازه گیری می رسد. در صورتی که واحدها بر حسب میلی اکی والان گرم بر لیتر نباشند، نرم افزار تبدیلات لازم را بر روی آنها انجام می دهد.

⁶² - Total Dissolved Solid (TDS)

⁶³ - Charge balance (CB)

در شکل ۳ صفحه ورود داده‌ها، انتخاب واحد غلظت و فعال شدن نوار انتخاب و دکمه‌های مربوط به نمودارهای مختلف پس از محاسبه بالانس یونی نشان داده شده است. مقادیر بالانس یونی برای ۶ نمونه فرضی آب در ستون آخر نشان داده شده است. واحد غلظت یون‌ها بر حسب اکوالان گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۳- پنجره اصلی نرم‌افزار هیدروژئوکم

در نرم‌افزار طراحی شده، برای رسم موقعیت هر نمونه، از حل معادلات خطی استفاده شد. در مورد نمودارهایی مانند پایپر و دوروف ابتدا معادلات خط مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌ها تشکیل شده و سپس فصل مشترک آنها محاسبه می‌شوند. در نهایت نقاط به دست آمده در یک دستگاه دکارتی رسم می‌شوند. برای تمامی نمودارهای پایه که داده‌ها روی آنها پیاده می‌شوند، معادلات ریاضی آنها به کار رفته است تا از کیفیت عکس‌های خروجی کاسته نشود. به عنوان مثال در رسم نمودار پایپر فضایی معادل ۶۵۰×۶۰۰ پیکسل در نظر گرفته شده است (شکل ۴). در ویژوال بیسیک گوشه سمت چپ و بالای صفحه نمایش به عنوان مبدأ مختصات در نظر گرفته می‌شود لذا برای رسم نمونه‌ها با احتساب

حاشیه نمودار از بالای و سمت چپ صفحه به اندازه ۵۰ پیکسل، از معادلات ۴ و ۵ برای محاسبه موقعیت نمونه‌ها در مثلث کاتیون‌ها، از معادلات ۶ و ۷ برای بدست آوردن محل نمونه‌ها در مثلث آنیون‌ها و از معادلات ۸ و ۹ به منظور تعیین محل نمونه‌ها در بخش لوزی استفاده شد.

$$x_1 = 1.5 * Mg^{2+} + 3 * Na^+ + 50 \quad [4]$$

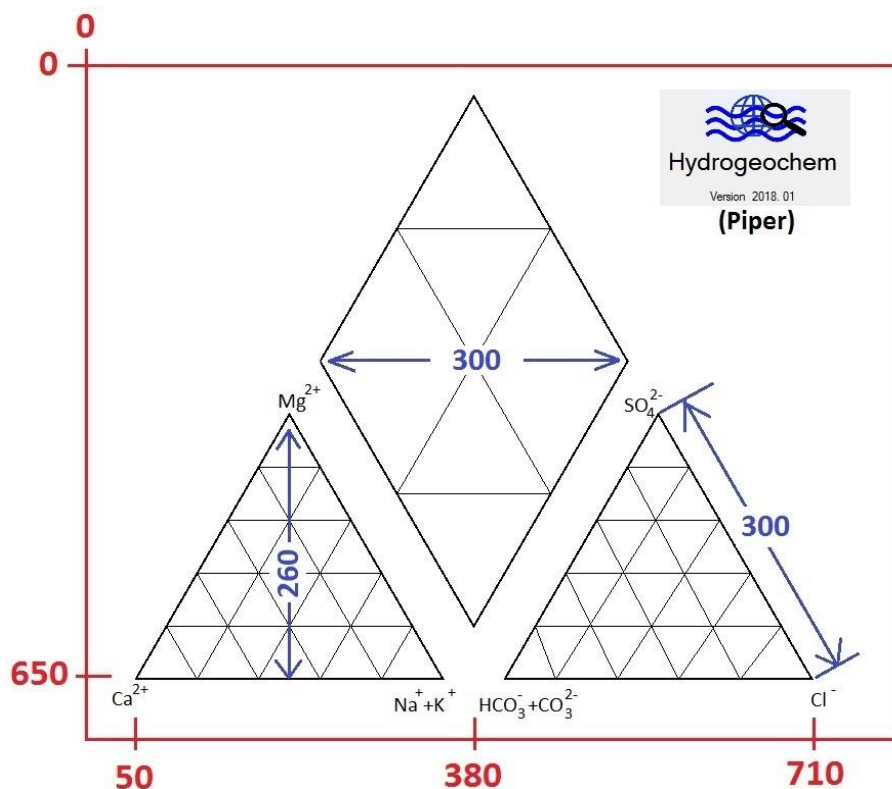
$$y_1 = 650 - (\sqrt{3} * (x_1 - 3 * Na^+ - 50)) \quad [5]$$

$$x_2 = -1.5 * SO_4^{2-} + 710 - 3 * HCO_3^- \quad [6]$$

$$y_2 = 650 - \sqrt{3} * (710 - x_2 - 3 * HCO_3^-) \quad [7]$$

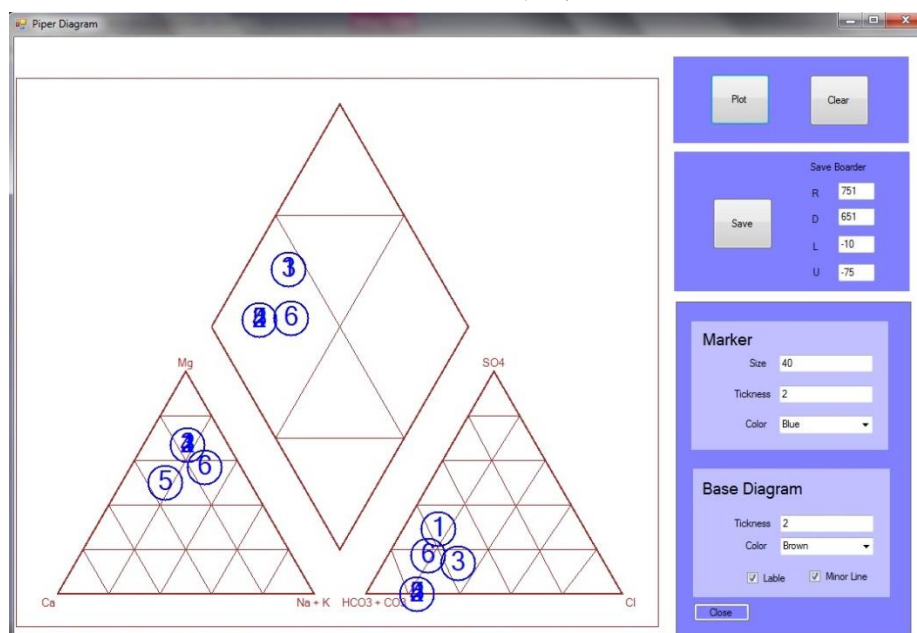
$$x_3 = 380 + 1.5 * Na^+ - 1.5 * HCO_3^- \quad [8]$$

$$y_3 = 650 - \sqrt{3} * (330 - 1.5 * Na^+ - 1.5 * HCO_3^-) \quad [9]$$



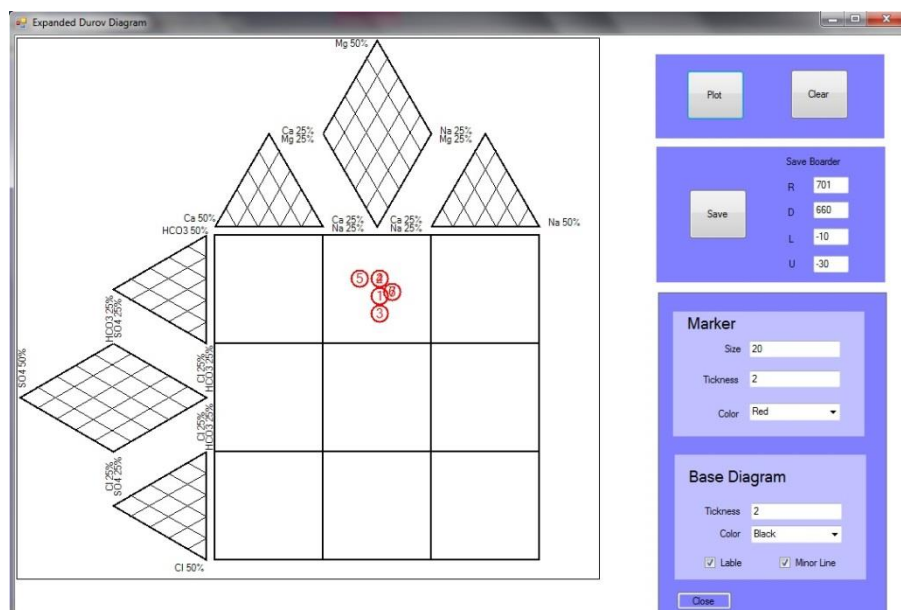
شکل ۴- ابعاد در نظر گرفته شده برای رسم نمودار پایپر

شکل ۵ پنجره نمودار پایپر را برای شش نمونه فرضی فوق الذکر کردن ترسیم، در میانه تنظیمات مربوط به ذخیره کردن خروجی، و پایین تر از آنها تنظیمات مربوط به نشان گر نمونه ها و نمودار پایه شامل اندازه، ضخامت و رنگ در نظر گرفته شده است. نمونه های رسم شده بر روی آن قرار دارد. در سمت راست سه قسمت مجزا تعبیه شده است. در بالا دکمه های رسم و پاک



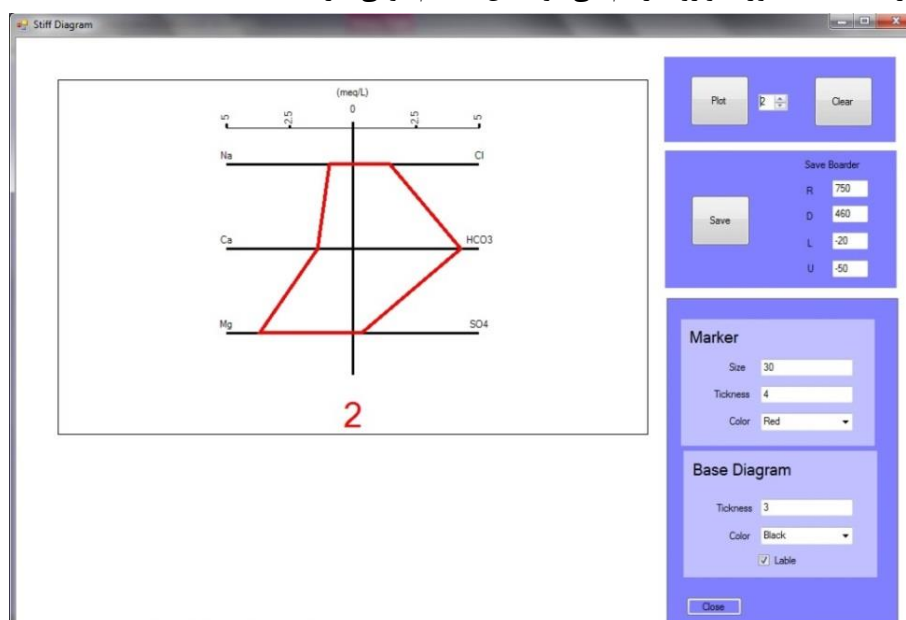
شکل ۵- پنجره ترسیم نمودار پایپر

شکل ۶ پنجره مربوط به ترسیم نمودار دوروف بسط یافته را نشان می‌دهد. در این پنجره نیز به مانند پایپر، رنگ، اندازه، ضخامت مربوط به نشان گر نمونه‌ها و دیگر خواص در سمت راست قرار دارد. الگوریتم ترسیم دوروف به این صورت در نظر گرفته شد که طول و عرض محل قرارگیری هر نمونه، به ترتیب از محل آن در قسمت کاتیون‌ها و قسمت آنیون‌ها، گرفته شود.



شکل ۶- پنجره ترسیم نمودار دوروف بسط یافته

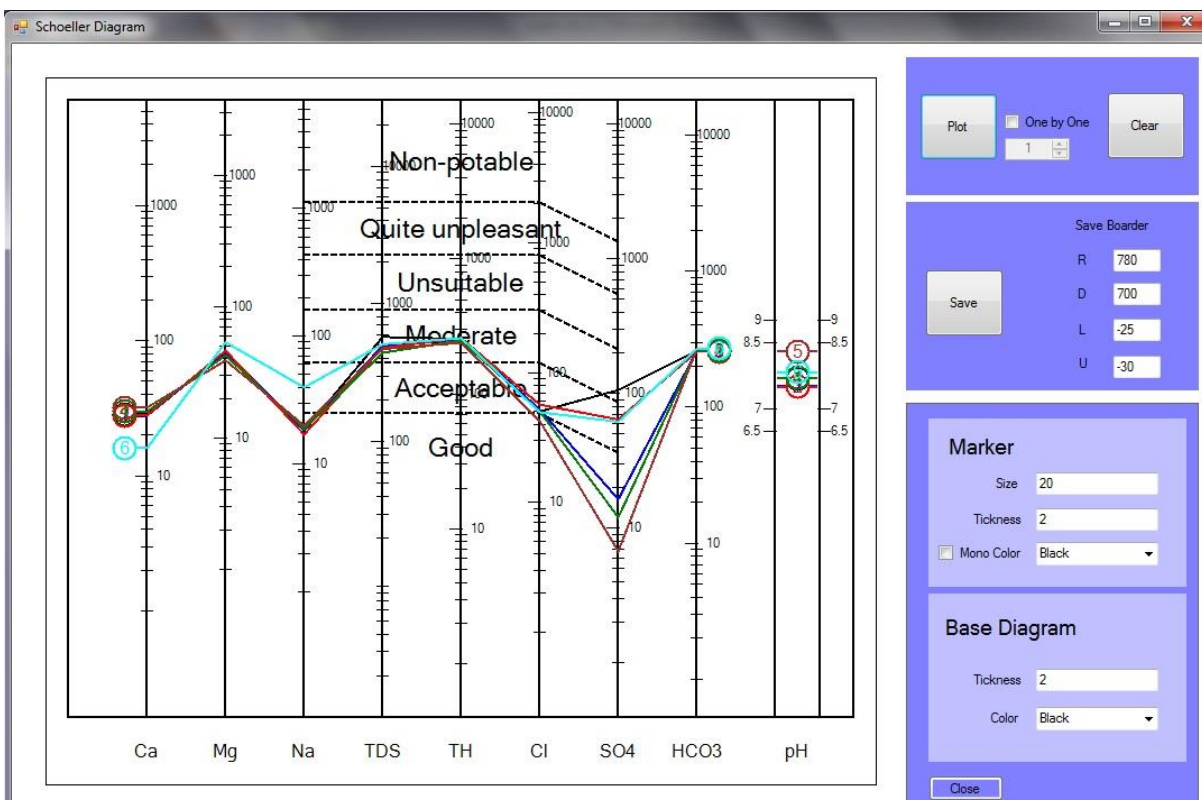
بر خلاف موارد قبلی در پنجره مربوط به ترسیم نمودار استیف بر روی دکمه ترسیم یک شماره‌دهنده قرار داده شد تا کاربر بتواند نمونه مورد نظر خود را انتخاب و رسم نماید (شکل ۷). در نرم‌افزار ای کیو کیوای، نمودار استیف به صورت وارونه رسم می‌شود. این مسأله سبب می‌شود تا مقایسه چندضلعی بوجود آمده با الگوهای مرجع (شکل ۱- ج) مشکل شود. از این رو در نرم‌افزار هیدروژئوکم این مشکل حل شده و محل یون‌های اصلی با الگوهای مرجع هم‌خوانی دارد.



شکل ۷- پنجره ترسیم نمودار استیف

کمتر از ۶ یا بیشتر از ۹ غیر قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. هر یک از نمونه‌ها علاوه بر مشخص شدن با شماره، با رنگ‌های مختلف متمایز می‌شوند. در هیدروژئوکم، این امکان فراهم شد که بتوان نمونه‌ها را به صورت موردی نیز نشان داد. شکل ۸ کیفیت نمونه‌ها را از لحاظ شرب به وسیله نمودار شولر نشان می‌دهد. در مقایسه با نرم‌افزار ای کیوکیوای که فاقد حدود کیفی است، حدود کیفی آب شرب در شش بخش بر روی نمودار شولر نشان داده شد که تفسیر کیفیت نمونه‌ها را ساده‌تر می‌کند.

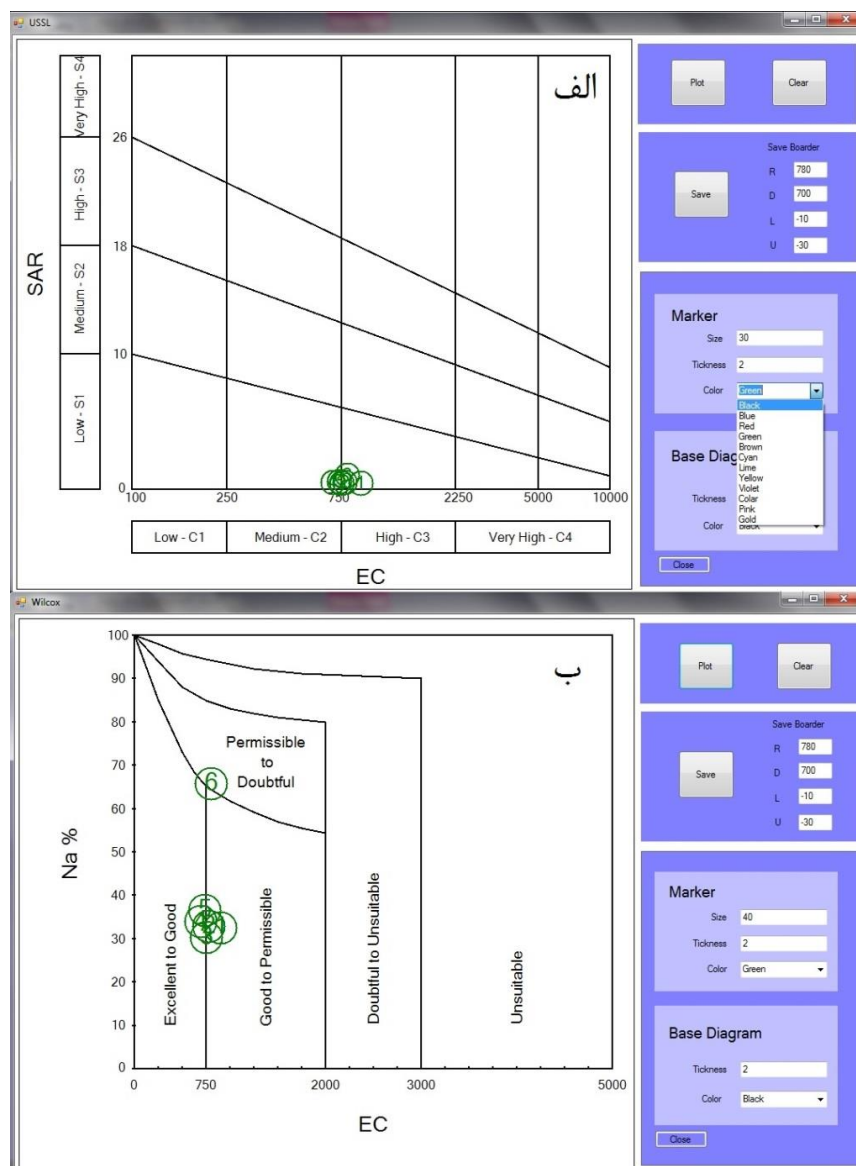
برای سهولت در استفاده نمودارها سعی شده است که در تمامی آن‌ها ابزارهای تنظیم، شبیه به هم و در سمت راست پنجره در اختیار کاربر قرار داده شود. در نمودار شولر که برای سنجش کیفیت آب شرب به کار می‌رود (شولر، ۱۹۶۰)، علاوه بر پارامترهای به کار رفته، pH نیز اضافه شد تا کاربر از وضعیت اسیدیته نمونه‌های آب نیز به طور هم‌زمان، مطلع باشد. بر اساس استانداردهای کیفی آب، اسیدیته بین ۷ تا ۸/۵ کیفیت خوب، ۶/۵ تا ۷ یا ۸/۵ تا ۹ قابل قبول و



شکل ۸- پنجره ترسیم نمودار شولر

هیدروژئوکم نسبت به دیگر نرم‌افزارهای هیدروشیمیایی است که اکثراً تنها از روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده استفاده می‌کنند.

علاوه بر این نمودارها، در طراحی هیدروژئوکم نمودارهای ویلکاکس و آزمایشگاه شوری ایالات متحده نیز برای ارزیابی کیفیت آبیاری در نظر گرفته شد. در شکل ۹ این نمودارها آورده شده است. ترسیم این دو نمودار به صورت هم‌زمان از مزایای



شکل ۹- پنجره‌های ترسیم نمودارهای (الف) ویلکاکس، (ب) آزمایشگاه شوری ایالات متحده

نتیجه‌گیری

صورت گیرد. یکی دیگر از قابلیت‌های این نرم‌افزار، منوط بودن ترسیم نمودارها به محاسبه بالانس یونی است. گرچه وجود خطا در آنالیز شیمیایی سبب عدم رسم نمودارهای کیفی نمونه نمی‌شود، اما کاربر را متوجه وجود خطا می‌کند. ورود داده، تنظیمات لازم و خروجی گرفتن از نرم‌افزار در ساده‌ترین حالت ممکن طراحی شده و این نرم‌افزار فاقد هرگونه پیچیدگی است. در نسخه بعدی سعی بر آن است تا با استفاده از ابزارهای آماری و زمین‌آماري امکانات لازم برای محاسبه شاخص‌های آماری و ترسیم نقشه‌های کنتوری فراهم گردد.

در طراحی نرم‌افزار هیدروژئوکم سعی شد که علاوه بر کاربرپسند بودن، قوی، سریع و سبک بوده و با انواع نسخه‌های ویندوز هم‌خوانی داشته باشد. علاوه بر آن سعی شد مهم‌ترین نمودارهای بررسی کیفی از جمله درووف بسط‌یافته در نظر گرفته شود که یکی از مزایای بزرگ آن بر رقبای خارجی خود است. از مزایای این نرم‌افزار، رسم نمودار شولر بر اساس حدود کیفیت آب شرب و نمایش همزمان pH است. در رسم نمودار استیف، محل یون‌های اصلی بر اساس آنچه که در الگوهای سنگ منشأ آورده شده است، در نظر گرفته شده است تا به راحتی این مقایسه

Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. 2003. User's guide to PHREEQC.
 Piper A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, American Geophysical Union, 25, 914-924.
 Rockware AqQA Software. 2011. Version AQC10664. Available at <http://www.rockware.com>.
 Schoeller, H. 1960. Salinity of groundwater, evapotranspiration and recharge of aquifers. IASH pulls, France.
 Stiff, H.A.Jr. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Journal of Petroleum Technology, 3(10), 15-17.
 Tiruta-Barna, L. 2008. Using PHREEQC for modeling and simulation of dynamic leaching tests and scenarios. Journal of Hazardous Materials, 157, 525-533.
 Wilcox, L.V. 1962. The quality water for irrigation use. US Department of Agricultural Technical Bulletin, 40.

سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه کردستان از طرح پژوهشی با

شماره گرانت ۴/۵۶۳۴۷ سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اصغری مقدم ا.، ۱۳۹۰. اصول شناخت آبهای زیرزمینی. انتشارات

دانشگاه تبریز. ۳۴۹ ص.

Al-Bassam A.M. Khalil A.R., 2012. DurovPwin: A new version to plot the expanded Durov diagram for hydro-chemical data analysis. Computers & Geosciences, 42, 1-6.
 AQUACHEM. 2013. Schlumberger Limited. Available at <http://www.swstechnology.com>. Accessed 09/07/2013.
 Durov S.A. 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. Doklady Akademii Nauk SSSR, 59, 87-90.
 Hounslow, A.W. 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation. CRC Press, 416 P.