

ارزیابی زمین شیمیایی منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت ساری - قائمشهر از نظر شرب و

کشاورزی

همایون مقیمی^۱

چکیده

دشت ساری - قائمشهر در شمال شرقی ایران در استان مازندران کنار ساحل دریای خزر قرار دارد. در پاییز ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱ از ۴۴ نقطه برای تعیین وضعیت منابع آب از لحاظ شرب و کشاورزی نمونه برداری انجام گرفته است. در این نمونه‌ها عناصر اصلی از قبیل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی کربنات، سولفات و کلراید و فراسنجهایی مانند، SAR, PI, TDS و غیره و درمورد آب آبیاری آزمایش و محاسبه شده است. براساس تحلیل نتایج آبهای زیرزمینی، نمودار پایپر آنها را در محدوده - ی شیرین، لب شور تا شور و از نوع CaHCO_3 ، اختلاط (Ca, Mg, Cl) و Na-Cl نشان می دهد. نمودار گیبس نیز نحوه‌ی واکنش شیمیایی و نوع آب را تأیید می کند. نسبتهای یونی نشان دادند که منشا یونهای کلسیم و منیزیم از سنگهای کربناته، یون سدیم از کانیهایی رسی (غنی از سدیم)، و محلول سدیم کلرایدی، سولفاتها از فعالیتهای انسانی بوده و منشا رسوبی ندارد. این واکنشها تحت تاثیر تشکیلات زمین شناسی، نفوذ آب شور (دریا، آبخوانهای شور سنگواره ایی) شکل گرفته اند. آنها با توجه به معیار شرب و نمودار شولر، با آن در حد سخت و خیلی سخت می باشند، هم اکنون از نظر شرب مشکلی ندارند. ارزیابی شیمیایی فراسنجهای مورد استفاده نیز نشان می دهد که این آنها از لحاظ کشاورزی در حد خیلی خوب، مناسب و مجاز، و درصدهای کمتری نامناسب می باشند. برای جلوگیری از شستشو شدن خاک، کاهش نفوذپذیری و پیشروی آب شور، یعنی نامناسب شدن آب تمهیداتی از قبیل مهار کردن بهره برداری، و بالا بردن سطح ایستابی در بخش تغذیه اندیشده شوند. **واژه‌های کلیدی:** نمودار پایپر، نمودار شولر، مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، نمایه‌ی نفوذپذیری.

^۱ - عضو هیات علمی، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور

* - نویسنده مسوول مقاله: homayounmoghimi@pnu.ac.ir

مقدمه

یکی از موضوعات مهم و بسیار پیچیده در مطالعات زمین شیمیایی، کیفیت و مناسب بودن آب زیرزمینی و حفاظت از آن می باشد، زیرا عمده فعالیت‌های آبشناسی در جهت تأمین آب برای مصارف کشاورزی و یا شرب و صنعت است (سوبرامانی و همکاران، ۲۰۰۵). داده‌های کیفی آبهای زیرزمینی راهنمای بسیار خوبی در مورد تاریخچه‌ی زمین شناسی و یا سنگ شناسی محدوده‌ی مطالعاتی است و نشان دهنده وضعیت تغذیه، تخلیه و ذخایر آنها می‌باشند؛ در نتیجه، کیفیت آبهای زیرزمینی مورد استفاده در شرب و آبیاری وابستگی زیادی به مسیر جریان آب، و نوع و میزان نمکهای محلول دارد. منشاء این مواد از انحلال یا هوازدگی سنگها و خاک است که می‌تواند از محلول شدن ته نشینهایی مانند کربناتها، سولفاتها، کلرایدها و دیگر کانیهای موجود به وجود آیند (دومینیکو و همکاران، ۱۹۹۰ گولر و همکاران، ۲۰۰۴).

دشت ساری - قائمشهر در استان مازندران، یکی از زیر حوضه‌های دریای مازندران، و دشتی هموار در مسیر رودهای سیاه رود، و رودهای تالار و تجن به سمت دریای مازندران کشیده شده است. مساحت تقریبی حوضه‌ی آبخیز 10000 Km^2 و دشت 1839 Km^2 است. یکی از مهمترین اهداف این مطالعه، بررسی تاثیر سازندها، نفوذ آب شور دریا و آبخوانهای شور سنگواره ای بر کیفیت منابع آب زیرزمینی و نحوه‌ی کاربرد آنها در مصارف (کشاورزی، شرب و صنعت) مختلف می‌باشد. در این تاثیرات واکنشهای شیمیایی بین عوامل موثر و آبهای زیرزمینی نقش اساسی را بازی می‌کنند، سپس تاثیر برداشتهای بی رویه در واکنشهای شیمیایی و کیفیت منابع آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق، تاثیر شرایط اقلیم آبی (بارش، تبخیر، رواناب، پوشش گیاهی و شرایط پستی و بلندی)، شرایط زمین شناسی، رشد جمعیت و افزایش آب مصرفی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی و فعالیت‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر فعالیت‌های انسانی از قبیل کشاورزی (برداشتهای بی رویه و استفاده از انواع کودهای شیمیایی)، صنعتی (پسابها) و فاضلابهای شهری، و تاثیر سازندهای زمین شناسی در محدوده‌ی مطالعاتی از طریق

محققین مختلف نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. صداقت (۱۳۵۴) شش آبخوان را در محدوده‌ی مطالعاتی تفکیک کرد. در بالا، آبخوان آزاد و در زیر آبخوانهای محصور به صورت یک سامانه‌ی مرکب آبی قرار دارند. با توجه به عبور آب از این آبخوانها به یکدیگر به دلیل کاهش فشار آب پویایی، که ناشی از برداشتهای می باشد، باعث نفوذ آب شور از آبخوانهای شور سنگواره ای و آب دریا می شود. این مساله از لحاظ شیمیایی باعث اختلاط شده و تاثیر مستقیم در کاهش کیفیت آب آبیاری و شرب شده است. قره محمدلو و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مطالعات زمین شیمیایی وضعیت چاههای آب شرب شهر ساری را مطالعه، و شور شدن و کاهش کیفیت آب شرب را به دلیل برداشتهای بی‌رویه و نفوذ آب شور دانسته اند. قره محمدلو و همکاران (۱۳۸۶) با توجه به مطالعات زمین فیزیکی از جنوب به شمال اندازه‌ی مقاومت ظاهری کاهش داشته، که دلیل آن ریز دانه شدن ذرات و به احتمال زیاد نفوذ آب شور به داخل آبخوان شیرین بوده و ارتباطی به سنگ کف ندارد. مطالعه‌ای دیگر، اشاره به سدیمی بودن خاک و منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک و اثرات آن بر کیفیت منابع آب در دشت زیر راه از توابع دشتستان (بوشهر) می‌باشد (احمدنژاد و همکاران، ۱۳۹۲). آقازاده و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ی آبهای زیرزمینی در مصارف شرب و کشاورزی دشت اشنویه نشان دادند که عواملی مانند رابطه‌ی آب-سنگ در اشباع کانیها و تعویض یونی نقش مهمی داشته و با استفاده از نمودار شولر و نمایه‌هایی از قبیل EC, TDS, PI, RSC, MH، در سدسیم و ویلکوکس ارزیابی نمونه‌های آب زیرزمینی را در شرب و کشاورزی انجام دادند. بر این اساس، نمونه‌ها در حد مناسب و قابل قبول محاسبه شده اند. سارات و همکاران (۲۰۱۲) آبهای زیرزمینی آبخوان ساحلی آلاپوژا (کرالا، جنوب غربی هندوستان) را از نظر شرب و کشاورزی مورد مطالعه قرار داده و با توجه به یونهای اصلی و مواد موجود (pH, TDS, EC) نوع آب در محدوده‌ی کلسیم- منیزیم- بی کربنات بوده و براساس معیار WHO به جز نقاط معدودی، ۹۶٪ نمونه‌ها براساس میزان سختی کل و TDS در حد مناسب محاسبه شده اند. با توجه به نمودار ویلکوکس و شوری اکثر نمونه‌ها در رده‌ی C3S1, C3S2

غلظت سدیم و پتاسیم از روش طیف سنج نوری شعله‌ای، کلسیم، منیزیم، بی کربنات و کلراید از روش حجمی، و سولفات از روش طیف سنج نوری، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول از طریق هدایت سنج محاسبه شده است.

با استفاده از روشهای زمین شیمیایی آب، مانند پایپر و گیس، و نرم افزارهایی از قبیل Excel و Surfer.AqQa وضعیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تعیین وضعیت منابع آب از لحاظ شرب و کشاورزی از روشهای مختلفی مانند شولر، ویلکوکس و نمایه های متفاوتی مانند نفوذپذیری، درصد سدیم و غیره استفاده شده است. ترکیب مواد موجود در آب بر مبنای نسبت وزن اکسی والان یا میلی اکسی والان و یا میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. [در نتایج هر تجزیه، مقادیر مختلفی کاتیون و آنیون وجود دارند که مقادیر آنها باید با هم مساوی باشند؛ عدم تساوی آنها می تواند ناشی از خطای آزمایش و یا مورد آزمایش قرار نگرفتن دیگر عناصر و مواد در آب باشد (مقیمی، ۱۳۸۴). میزان این خطا نباید بیش از ۵٪ باشد (ماژر، ۲۰۰۴)، درصد خطا از رابطه‌ی ۱ به دست می آید. براساس رابطه ۱ میزان درصد خطا در ۹۹٪ از نمونه ها زیر ۵٪ می باشد.

(رابطه‌ی ۱) $[\frac{\sum \text{Cation} - \sum \text{Anion}}{\sum \text{Ion}}] \times 100 = \text{درصد خطا}$
در جدول ۱ داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی منابع آب همراه با مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار ارائه شده‌اند.

بوده، و این آبها در خاکهایی با نفوذپذیری متوسط تا بالا استفاده گردد. نمایه های دیگر (Na, SAR, PI, MH) نیز آب آبیاری را در کشاورزی در حد مجاز مشخص کرده اند.

محدوده‌ی مطالعاتی دشت ساری - قائمشهر

محدوده مطالعاتی از شمال با دریای مازندران و از جنوب با رشته کوههای البرز محدود می شود. مختصات جغرافیایی این دشت ۳۵'-۵۲" تا ۲۳'-۵۳" طول شرقی ۴۴'-۳۵" تا ۴۷'-۳۶" عرض شمالی بوده و در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی دشت ساری - قائمشهر.

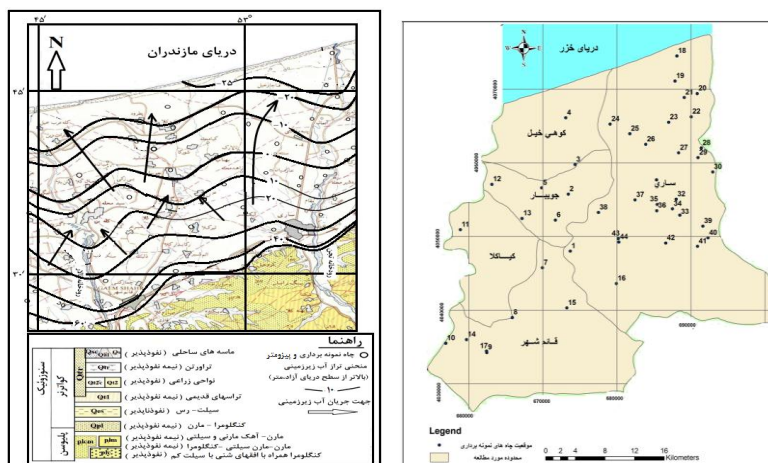
مواد و روشها

به منظور بررسی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی دشت ساری - قائمشهر از اطلاعات مربوط به ۴۴ نمونه از چاههای بهره‌برداری در سالهای ۹۱-۱۳۹۰ استفاده شد (شکل ۲).

تجزیه نمونه‌های آب شامل اندازه گیری غلظت کاتیون و آنیونهای اصلی و فراسنجهایی مانند pH و T.D.S. سختی می‌باشد. برای تجزیه عناصر از معیار انجمن سلامت عمومی آمریکا (APHA, 2005) استفاده شده است.

جدول ۱- آمار میانگین عناصر و مواد موجود در آب زیرزمینی دشت ساری - قائمشهر (مقادیر عناصر mg/l و $\text{EC} (\mu\text{S/cm})$).

فراسنجه	EC	TDS	PH	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{-2}	Cl^{-}
(بهار ۱۳۹۱)										
حداکثر	۵۳۳۰	۲۴۱۱	۷/۸	۲۲۸	۱۱۲/۸	۱۰۳۰/۴	۵/۴۶	۸۶۰/۱	۷۶۸	۱۴۷۲/۲
حداقل	۷۸۰	۵۰۷	۶/۹	۵۴	۱۰/۸	۱۱/۵	۲/۷۳	۱۷۰/۸	۹/۶	۱۷/۷
میانگین	۱۵۰۶/۵	۹۷۷/۸	۷/۴	۱۱۲/۲	۳۷/۵	۱۳۷/۱	۴/۰۴	۴۶۴/۵	۸۸/۲	۱۹۶
انحراف معیار	۹۱۴/۷	۵۹۴	۰/۲۴	۴۱/۶	۲۰/۷	۱۹۱/۳	۰/۷۱	۱۳۰/۷	۱۲۹/۱	۲۶۰/۶
(پاییز ۱۳۹۰)										
حداکثر	۶۶۸۰	۴۲۷۵	۸	۳۳۸	۱۸۰	۸۷۶/۳	۵/۴	۱۰۲۴/۸	۴۹۹/۲	۱۴۹۵
حداقل	۶۲۷	۴۰۷	۶/۷	۶۴	۱۴/۴	۱۳/۸	۲/۷	۲۳۱/۸	۱۴/۴	۲۱/۳
میانگین	۱۵۸۰/۶	۱۰۱۵/۶	۷/۳	۱۲۳/۳	۵۰	۱۱۸/۱	۳/۶	۴۸۷/۱	۱۰۱/۷	۱۹۰/۸
انحراف معیار	۱۲۶۵/۱	۸۰۵	۰/۲۶	۵۶/۲	۳۰/۴	۱۸۳/۷	۰/۷۳	۱۸۲/۳	۱۰۰/۳	۲۹۳/۵



شکل ۲- نقشه‌ی محل چاههای نمونه برداری دشت قائمشهر - ساری.

شکل ۳- نقشه‌ی زمین شناسی، میانگین تراز آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی دشت ساری - قائمشهر.

از فروافتادگی تدریجی دریا شکل گرفته است (قره محمدلو و همکاران، ۱۳۸۶). همزمان با عقب نشینی دریا، جبهه‌ی آب شیرین از ارتفاعات سعی در شستشو و عقب راندن آب شور کرده، ولی این بطور کامل انجام نگرفته و در جای جای آبرفت، محدوده‌های آب شور به جای مانده اند (قره محمدلو، ۱۳۸۷). آبهای شور به مرور، در طول دوره‌های زمین شناسی و پوشیده شدن آنها به وسیله‌ی رسوبات حمل شده، آبخوانهای شور سنگواره ای را تشکیل داده‌اند. به دلیل برداشتهای بی رویه، تعادل آب شور و شیرین به هم خورده و باعث شده است که کیفیت آب زیرزمینی، مخصوصاً در محدوده‌های میانی و خروجی دشت، نامناسب گردد. سازندهای زمین شناسی بیشترین و اصلیت‌ترین تاثیر را بر منابع آب (کیفی و کمی) حوضه‌ی آبخیز ساری - قائمشهر دارند. ارتفاعات این حوضه اکثراً شامل ته نشینهای آهکی، آهک‌رسی، دولومیتی و ماسه سنگی است. در محدوده‌ی دشت از جنوب به شمال شامل رسوبهای مخروط افکنه (مراد دانه درشت زاویه دار، که از هوازگی فیزیکی سنگهای ارتفاعات بالاتر و حمل و نقل آن تشکیل شده اند) و در بخش میانی به سمت ساحل، از رسوبهای دانه ریز شکل گرفته اند (شکل ۳). در سطح دشت این ته نشینها شامل ماسه و رسهای سخت نشده و لای و لایه‌ی نازک از خاکسترهای آتشفشانی که با نام رسوبهای جدید خزر (دوران چهارم) تعریف می شوند. در

اقلیم و زمین شناسی محدوده‌ی مطالعاتی

شرایط اقلیمی حاکم بر محدوده‌ی دشت ساری - قائمشهر متأثر از آب و هوای کوهستانی و مرطوب دریایی است. نوع اقلیم محدوده‌ی با استفاده از روش دومارتن، نیمه مرطوب معتدل محاسبه شده است. میانگین سالانه بارندگی در محدوده‌ی مطالعاتی در حدود ۷۱۵ (ساری) الی ۷۳۰ (قائم‌شهر) میلی متر که، حداکثر آن مربوط به آبان و آذر، و حداقل آن در ارتباط خرداد و تیر است. میانگین تبخیر - تعرق بالقوه سالانه ۸۹۹/۱ میلی متر است، که حداقل آن مربوط به دی و بهمن و حداکثر آن در تیر و امرداد اتفاق می افتد. بارش و تبخیر همراه با برداشت بی رویه از عوامل مهم در تغییرات سطح ایستابی و کیفیت منابع آب در محدوده محسوب می شوند. در محدوده‌ی مطالعاتی ۵۳۳۶ حلقه چاه عمیق، ۴۴۹۳۹ حلقه چاه نیمه عمیق، ۲۶۳۲ دهنه چشمه و ۲۱ رشته قنات با مجموع تخلیه‌ی سالانه ۷۱۲ میلیون متر مکعب باعث می - شود که بطور میانگین سالانه ۷/۸ میلیون متر مکعب از حجم آب مخزن کاسته شود. براساس آمار طولانی مدت، سالانه بطور میانگین بین ۷ الی ۱۰ سانتی متر افت در سطح ایستابی ثبت شده است (سازمان آب منطقه ای مازندران، ۱۳۹۱).

دشت ساری - قائمشهر مانند دیگر آبخوانهای آبرفتی خط ساحلی دریای مازندران همانند کاسه ای می باشد که زیر این ته نشینها، سازند آپشوران که از رس، آهک‌رس، ماسه‌ی سخت نشده، جوش سنگ و لایه‌ی نازکی از

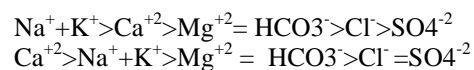
محدوده‌ی دشت ناشی می‌شود. آبهای زیرزمینی و سطحی در حین حرکت باعث فرسایش، هوازگی و انحلال رسوبات شده و واکنشهای شیمیایی بین سنگ-آب را سبب می‌شود. با انحلال مقادیر قابل توجهی یونهای مختلف از خاکهای فرسوده‌ی ارتفاعات و دشت وارد آبهای زیرزمینی شده و در مسیر خود از تغذیه تا تخلیه با انجام واکنشهای شیمیایی و تعویض یونی و نشت از آبخوانهای شور سنگواره ای، آب شور دریا، ضخامت زیاد آبخوان و کاهش سرعت جریان به دلیل ریزدانه شدن رسوبات در بخش میانی، افزایش زمان ماندگاری آب در آبخوان را افزایش داده و باعث غنی شدن آب زیرزمینی از لحاظ یونها می‌شود. این دلایل همراه با دلایل اول بحث در شکل گیری کنونی محدوده‌ی مطالعاتی از لحاظ هیدروژئو- شیمیایی نقش اصلی را ایفا می‌کنند. متفاوت بودن تواتر یونی در بهار و پاییز به میزان حجم آب ورودی، میزان برداشت، تبخیر و واکنشهای شیمیایی بین آب و ته‌نشینهای موجود در آبخوان وابسته است.

برای تعیین نوع و رخساره های زمین شیمیایی منابع آب زیرزمینی در راستای جریان آب از نمودار پاییز استفاده شده است (شکل ۵). این روش در تعیین هم زمان تعداد زیادی از نمونه های تجزیه شده کاربرد وسیعی دارد. با تعیین نقاط آنیون و کاتیونهای اصلی بر روی نمودار پاییز می‌توان رخساره های محدوده‌ی مطالعاتی را تعیین کرد (شکل ۵). همان گونه که در شکل دیده می‌شود، در پاییز ۱۳۹۰ اکثر نمونه ها در نمودار لوزی در محدوده‌ی نوع کلسیم بی کربنات (۱) و کلسیم- منیزیم- بی کربنات (IV) قرار دارند (محدوده‌ی تغذیه)؛ سپس نوع کلسیم، منیزیم، کلراید (۴) نوع اختلاط آبهای زیرزمینی (محدوده‌ی میانی) و پس از آن نوع آب سدیم کلرایدی (۲) تشکیل می‌دهد (محدوده‌ی تخلیه). در بهار ۱۳۹۱ اکثر نمونه‌ها در محدوده‌های یک و درصدهای کمتری در محدوده‌های ۲ و ۴ قرار گرفته‌اند. در واقع نوع غالب، کلسیم بی کربنات، آبهای اختلاط یافته و نوع سدیم کلراید می‌باشد. در پاییز قلیاییهای نسبت به بهار کاهش داشته و قلیاییهای خاکی دقیقاً برعکس بوده است. در

خاکسترهای آتشفشانی با سن پلیوسن فوقانی- دوران چهارم قرار گرفته است. مخروط های افکنه‌ها و رسوبهای خزر جدید از نظر آب و زمین شیمیایی آب به عنوان نفوذپذیر، و تشکیلات آپشوران نیمه نفوذپذیر تعریف می‌شوند. این طبقه بندی بر اساس دانه بندی، جورشدگی، تخلخل، شکل و اندازه و مطالعات زمین فیزیکی انجام گرفته است. دشت ساری- قائمشهر با توجه به مطالعات زمین فیزیکی (شکل ۴) از ارتفاعات جنوبی مشرف به دشت تا ساحل دریای مازندران دارای مشخصات مختلفی است که در ذیل بطور مختصر تشریح می‌شود. با توجه به شکل-۴ و مقطع 'A-A' در محدوده‌ی میانی دشت که دارای مقاومت مخصوص ظاهری بین ۳۰ تا ۱۷ اهم متر(از جنوب به شمال) است، از آبخوانی با مشخصات متفاوت نسبت به بخش زیرین قرار گرفته که ضخامت آن کمتر از ۹۰ متر(بین ۷۵ الی ۸۷ متر) است (الکساندر گیب، ۱۹۷۵، صداقت، ۱۳۵۴). در زیر بخش میانی منحنیهای ۴۰ تا یک اهم متر(جنوب به شمال) نشان دهنده‌ی سنگ کف بوده که در عمق ۲۰۰-۲۵۰ متری قرار دارد.

ساز و کار مهار کردن زمین شیمیایی آبهای زیر زمینی دشت قائمشهر- ساری

در طی هوازگی و گردش آب در بین سازندهای زمین شناسی یونها از کانیها جدا شده و در آبهای زیرزمینی حل می‌شوند. یونهای اصلی و محاسبه نسبت این یونها در درک، نتیجه گیری و اثرگذاری شیمی سنگها بر ترکیب آب زیرزمینی بسیار کمک خواهند کرد. شرایط اقلیم آبی (بارش، تبخیر و رواناب)، برداشتهای بی رویه از منابع آب، تشکیلات زمین شناسی، واکنش بین سنگ- آب و تغییرپذیری نسبی یونها از عوامل موثر در ساز و کار مهار کردن زمین شیمی آبهای زیرزمینی به شمار می‌روند. در محدوده‌ی مطالعاتی ترتیب و تواتر یونی آبهای زیرزمینی در پاییز ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱ (جدول ۱) به صورت زیر است:



این تواتر یونی متأثر از حرکت آب در بین رسوبات آهکی، آهکری و دولومیتی محدوده‌ی ارتفاعات حوضه آبخیز و ته‌نشینهای ناپیوسته ماسه ای، رسی، آهکری و لایی

نفوذ آب شور (سدیم و کلراید) ناشی شود. منشاء آب شور از نفوذ آب شور دریای خزر و آبخوانهای شور سنگواره ای است. در همین رابطه، با ترسیم نمودار ترکیبی کلر نسبت به TDS و سدیم + پتاسیم، رابطه‌ی خطی با ضریب همبستگی بالا (پاییز و بهار) مشاهده می شود. در این شکل، کلر با TDS از ۰.۸۷٪ (پاییز) به ۰.۹۵٪ (بهار) و کلر با سدیم + پتاسیم از ۰.۷۸٪ به ۰.۹۶٪ افزایش یافته است. در نمودار کلر به سدیم + پتاسیم خط همبستگی در پاییز و بهار محور سدیم را قطع می کند، یعنی در واکنشهای آب زیرزمینی سدیم غالب است. در نتیجه تعویض یونی بین کلسیم و منیزیم انحلال یافته از ته نشینها با بخشی از سدیم و پتاسیم محلول در آب (نفوذ آب شور سنگواره ای و دریا) صورت می گیرد. میزان برابری یون کلر و سدیم با توجه به جدول ۱ و شکل ۸ تقریباً تغییری زیادی نکرده و دلیل آن ثابت ماندن حجم آب شور ورودی به داخل آبخوان می باشد (شکل ۸).

نسبت یونی: شاخص مناسبی در ارزیابی شیمی آب زیر زمینی است و استفاده از آنها در تعیین سنگ منشاء و منشاء نمکها بسیار کمک خواهد کرد (هوارد و همکاران، ۱۹۹۶). برای بررسی منشاء مواد محلول در آب زیرزمینی و واکنشهای موجود در آبخوان از نسبتهای یونی استفاده شده است (جدول ۲) (هانسلو، ۱۹۹۵). از این نسبتها معمولاً برای pH بیش از ۵ استفاده می شود، زیرا برای pH کمتر از ۵، کانیهای رسی متلاشی شده و بر مقادیر یونها تاثیر می گذارد (گارلز و مکنزی، ۱۹۶۷). تعیین نسبتهای یونی در آبهای زیرزمینی دشت ساری - قائمشهر که همجوار با دریای خزر است، بسیار مهم است. مقادیر این نسبتها و توضیحات آن در جدول ۲ ارائه شده اند. از نتایج نسبتهای یونی موارد زیر برداشت شده است:

۱- نسبت Ca/Mg: بطور معمول میزان این نسبت از محدوده‌ی تغذیه تا تخلیه کاهش می یابد. با توجه به مقادیر این نسبت، که در آب آبیاری مهم است، اگر نسبت کمتر از یک باشد (Ca < Mg)، به علت فوق اشباع بودن آب از کلسیم بی کربنات، مقداری کلسیم کربنات رسوب می کند و نشان دهنده‌ی سنگ مخزن دولومیتی است (مقیمی، ۱۳۸۸) به دلیل افزایش آهک، آب باعث واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن می شود. در محدوده-

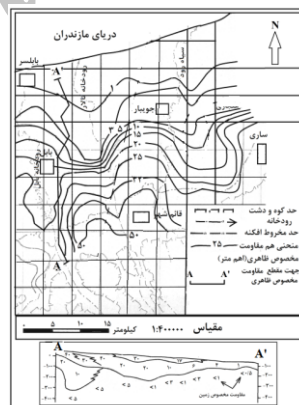
ضمن اسیدهای ضعیف (HCO_3) بیش از اسیدهای قوی (Cl , SO_4) است؛ و در این حالت معمولاً انحلال کلسیت و عکس تعویض یونی، شیمی آبهای زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی را مهار کردن می کند (سوبرانو، ۲۰۰۲). برای مشخص کردن تاثیر رسوبهای تشکیل دهنده‌ی آبخوان و سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب و ساز و کار حاکم بر جریان آب زیرزمینی و ترکیب یونهای اصلی از نمودار گیبس استفاده شده است (شکل ۶). همان گونه که در شکل دیده می شود، در پاییز ۱۳۹۰، ۵۹٪ نمونه‌ها در محدوده‌ی آب-سنگ و بقیه در محدوده‌ی تبخیر و تبلور قرار می گیرند. در حالی که در بهار ۱۳۹۱، ۵۵٪ نمونه‌ها در محدوده‌ی آب-سنگ (هوازگی) و بقیه در تبخیر و تبلور مشخص شده اند. آن که واکنش سنگ-آب در اولویت و تبخیر و تبلور در گام پسین قرار دارند، دلیل افزایش تبخیر و تبلور از پاییز تا بهار به دلیل برداشتهای بی رویه، ورود آب شور از آبخوانهای شور سنگواره ای و آب دریا و تبخیر مستقیم از سطح ایستابی ناشی می شود. بطور کلی این عوامل واکنشهای شیمیایی آب زیرزمینی را از تغذیه تا تخلیه مهار می کنند. با استفاده از نمودارهای ترکیبی، رابطه‌ی عناصر و مواد موجود در آبهای زیرزمینی در محدوده‌ی مطالعاتی، مورد بررسی قرار گرفته است. [در نمودارهای ترکیبی اگر توزیع نقاط در نمودار بر روی یک خط واقع شوند، می تواند نشانه‌ی اختلاط آب شور و شیرین باشد. در این حالت، خط ترسیمی اگر از مبدا مختصات عبور کند نشان دهنده‌ی رقیق شدن آب شور به وسیله‌ی آب شیرین می باشد. در حالی که خط همبستگی هر کدام از محورها را قطع کند نشانه‌ی اهمیت آن مشخصه نسبت به مشخصه ای است که در محور دیگر قرار دارد (ماژر، ۲۰۰۴)]. در این راستا، نمودار ترکیبی EC با TDS (شکل ۷) و Cl با Na+K با TDS (شکل ۸)، ترسیم و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته اند. در شکل ۷ نمودار ترکیبی EC با TDS نشان می دهد که در پاییز ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱ کاملاً خطی بوده و ضریب آن ۰/۶۴ می باشد. با توجه به خطی بودن نمودار شکل ۸، و اطلاعات داده شده در جدول ۱-۱، میزان EC و TDS در نمونه هایی که بیش از $2250 \mu\text{S/cm}$ و 300 mg/l می باشد، می تواند از

مخزن آهک) و در بهار چاه ۳۲ دارای مقادیر زیر یک بوده و در بقیه نمونه‌ها یک تا ۲/۵ (سنگ مخزن دولومیت آهکی) می باشند (Ca>Mg) (جدول ۲).

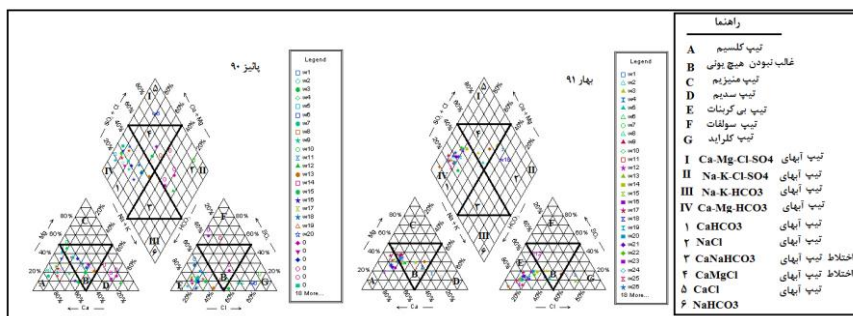
ی مطالعاتی از ۴۴ چاه انتخابی در پاییز چاههای ۲۱ و ۳۵ (۶۱٪ بین ۱-۲/۵ سنگ مخزن دولومیت آهکی، ۲۷/۲٪ بین ۵-۲/۵ سنگ مخزن آهک دولومیتی که بر حسب میزان کلسیت ارزیابی می شود، ۶/۸٪، بیش از ۵ سنگ

جدول ۲- نسبتهای یونی و توضیحات در مورد نتایج حاصل از آن در نمونه های چاههای انتخابی دشت ساری - قائمشهر (Hounslow, 1995).

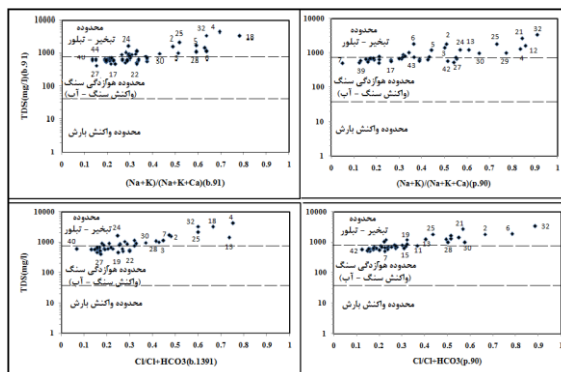
نسبتهای یونی	HCO ₃ /Anion	Ca/Mg	Ca/ (Ca+SO ₄)	Na/ (Na+Cl)	Cl/ HCO ₃ +CO ₃	(Na+K-Cl) / (Na+K+Ca-Cl)
مشخصات آماری						پاییز ۱۳۹۰
حداقل	۰/۱	۰/۸۵	۰/۳	۰/۱۷	۰/۱۴	-۱/۵۵
حداکثر	۰/۷۷	۹/۱۷	۰/۹۷	۰/۸۶	۷/۶۹	۴/۵۸
میانگین	۰/۵۹	۲/۴۲	۰/۷۹	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۱۷
						بهار ۱۳۹۱
حداقل	۰/۲۱	۰/۸۵	۰/۵۵	۰/۳۱	۰/۰۷	-۱/۳
حداکثر	۰/۹	۳/۵۸	۰/۹۴	۰/۶۳	۳/۰۳	۰/۳۸
میانگین	۰/۶۱	۱/۶۱	۰/۷۸	۰/۴۹	۰/۵۶	-۰/۰۴
توضیحات	< ۰/۸ و سولفات کم (تبخیرها یا شورابه)، < ۰/۸ و سولفات زیاد (انحلال ژپس)	< ۱ سنگ مخزن دولومیتی، ۲/۵-۱ سنگ مخزن دولومیت آهکی، ۲/۵-۵ سنگ مخزن آهک دولومیتی که بر حسب میزان کلسیت ارزیابی می شود، بیش از ۵ سنگ مخزن آهکی	> ۰/۵ منبع کلسیم غیر از ژپس، = ۰/۵ انحلال ژپس، < ۰/۵ جابجایی کلسیم، تعویض یونی یا رسوب کلسیت	> ۰/۵ منبع سدیم به غیر از هالید- آلبیت یا تعویض یونی	< ۱ تغذیه از آهکها، > ۱ تغذیه از رسوبات تبخیری، نفوذ آب شور دریا، ورود کودهای شیمیایی	< ۰/۸ و > ۰/۲ (امکان هوازدگی پلاژیوکلازها)



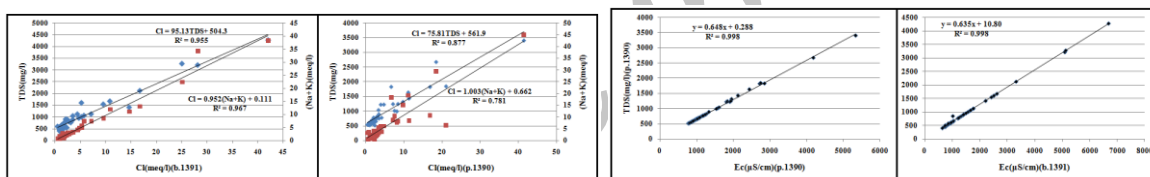
شکل ۴- نقشه‌ی هم تغییرات مقاومت ویژه ظاهری محدوده‌ی بابل - ساری و مقطع A-A' (صداقت، ۱۳۵۴).



شکل ۵- نمودار پایپر منابع آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در پاییز ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱.



شکل ۶- نمودار کاتیونی و آنیونی گیبس منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی دشت ساری - قائمشهر.



شکل ۷- نمودار ترکیبی EC با TDS در محدوده مطالعاتی دشت ساری - قائمشهر.

شکل ۸- نمودار ترکیبی کلر با سدیم و پتاسیم و TDS در محدوده مطالعاتی دشت ساری - قائمشهر

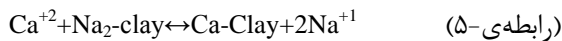
و تنها از انتهای بخش میانی (چاه ۳۲) تا بخش تخلیه (چاههای ۲۱، ۲۵ و ۲۷) مقدار این میزان کمتر از ۰/۵ بوده که نشان دهنده‌ی جابه جایی کلسیم (احتمالاً با سدیم به صورت بی کربنات سدیم)، تعویض یونی و یا رسوبگذاری کلسیت می باشد (جدول ۲).

۴- نسبت $Na/(Na+Cl)$: از این نسبت برای تعیین منشاء سدیم که دارای منبع به غیر از هالید- آلبیت یا تعویض یونی است، استفاده می شود (مقادیر بیش از ۰/۵). در محدوده‌ی مطالعاتی، در مقادیر بیشتر از ۰/۵، از پاییز تا بهار کاهش قابل ملاحظه ای مشاهده می گردد (از ۵۴/۵٪ به ۲۹/۵٪) که دلیل آن می تواند از افزایش تدریجی حجم آب به داخل آبخوان از پاییز تا بهار و کاهش حجم منابعی که از طریق آب شور دریا و نشت آب شور سنگواره ای

۲- نسبت $HCO_3/\text{sum anion}$: میانگین مقدار این نسبت در بهار و پاییز کمتر از ۰/۸ است. با توجه به این که در محدوده‌ی رسوبهای ژیبس و فرایند انحلال آن نیز وجود ندارد، سولفات موجود از فعالیتهای انسانی (فاضلابهای شهری، صنعتی و استفاده از کودهای سولفات) ناشی می-شود؛ در نتیجه، تکامل زمین شیمیایی آب محدوده از تغذیه تا تخلیه به صورت بی کربنات و کلراید شکل می-گیرد (جدول ۲).

۳- نسبت $Ca/(Ca+SO_4)$: از این نسبت در تعیین منشاء کلسیم، انحلال ژیبس، تعویض یونی و رسوبگذاری کلسیت استفاده می شود. در محدوده‌ی مطالعاتی، میزان این نسبت در بهار بیش از ۰/۵ بوده که نشان دهنده‌ی منشاء کلسیم غیر از ژیبس است. در پاییز ۴۰ نمونه بیش از ۰/۵

زیرزمینی واکنش کرده و باعث ورود سدیم به آب زیرزمینی می شود (درور، ۱۹۸۸).



در محدوده‌ی مطالعاتی، در پاییز ۵۴/۵٪ و در بهار ۴۵/۵٪ نمایه کلروقلیا منفی بوده که نشان می دهد در پاییز عکس تعویض یونی نسبت به بهار بیشتر است، زیرا با کاهش ورود محلول کلسیم و منیزیم دار از ارتفاعات، و افزایش سیالهای شور سدیم کلرایدی به داخل آبخوان (آبخوان شور سنگواره ای و آب دریا) عکس تعویض یونی صورت می گیرد.

کیفیت آب شرب

یکی از مهمترین اهداف استفاده از آبهای زیرزمینی (مصارف شرب و غذا)، عاری بودن آن از هر گونه مواد شیمیایی سمی و بیماریزا می باشد. کیفیت آبهای مصرفی در واقع غلظت تعیین شده از یک یا چند عامل خاص را که ممکن است برای انسان مناسب و یا نامناسب باشد، نشان می دهد؛ به همین دلیل معیار معینی برای استفاده از آب مصرفی برای شرب با توجه به غلظت یونهای موجود در آن ارائه شده است. معیار مورد استفاده مربوط به WHO است که در جدول ۳ دیده می شود. بر اساس این معیار، به سمت محدوده‌ی تخلیه مقادیر کلراید و سدیم افزایش قابل توجهی را نشان می دهد. مقادیر کلسیم در پاییز و بهار از میزان حداکثر حد مطلوب بالاتر بوده که تاثیر مهمی در افزایش سختی داشته، و باعث نامناسب شدن آبهای زیرزمینی شده است. یونهای سولفات و منیزیم از محدوده‌ی تغذیه تا تخلیه مشکل خاصی را نشان نمی دهند.

نمونه های آب را از لحاظ شرب می توان براساس TDS، سختی و نمودار شولر طبقه بندی کرد. طبقه بندی که بر اساس میزان TDS انجام گرفته، نشان می دهد، اکثر نمونه ها در محدوده‌ی مجاز برای شرب و مفید برای آبیاری قرار می گیرند. همان گونه که در شکل ۹ دیده می - شود، از جنوب (تغذیه) به شمال و شمال شرقی (تخلیه) و غرب محدوده‌ی مطالعاتی در مقادیر TDS تغییراتی مشاهده می شود. دلیل آن در شمال و شمال شرقی، بالا بودن سطح ایستابی، تبخیر زیاد و نفوذ آب شور از طریق

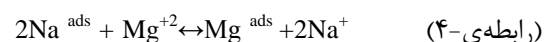
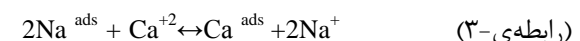
وارد آبخوان می شوند، ناشی شود؛ مقادیر نمونه های کمتر از ۰/۵ افزایش یافته و از ۴۵/۵٪ به ۷۰/۵٪ رسیده است. این افزایش به دلیل افزایش حجم آب ورودی، واکنش بین آب- سنگ (رسوبات رسی غنی از سدیم که آبخوان دشت را تشکیل می دهند) و تعویض یونی در آبخوان ناشی می - شود (جدول ۲).

۵- نسبت $\text{Cl}/\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$: این نسبت که با نام نسبت رول نیز شناخته می شود، در محدوده‌ی مطالعاتی، به دلیل نفوذ آب شور دریا و آبخوانهای شور سنگواره ای از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار این نسبت اگر کمتر از یک باشد، نشان دهنده‌ی تغذیه از رسوبات آهکی است و اگر بیش از یک باشد، نفوذ آب شور دریا، کودهای شیمیایی و رسوبات تبخیری ناشی می شود. در محدوده‌ی مطالعاتی، در پاییز بین ۰/۱۴ تا ۷/۶۹ و در بهار بین ۰/۰۷ تا ۳/۰۳ متغیر است. نسبت رول بطور میانگین از جنوب به شمال افزایش داشته و مقدار آن در جنوب کمتر از یک می باشد که ناشی از تغذیه‌ی رسوبهای آهکی و دولومیتی ارتفاعات است. در بخش میانی و تخلیه (شرق و شمال شرقی) بیش از یک است که دلیل آن نشت آبهای شور سنگواره ای (بخش میانی) و نفوذ آب شور دریا (بخش تخلیه) می باشد (جدول ۲).

تبادل یونی: شولر (۱۹۷۷) در مورد تعویض یونی، نمایه کلروقلیا را پیشنهاد داده است. رابطه‌ی کلروقلیا نشان دهنده‌ی تعویض یونی بین آب زیرزمینی و میزبانان محیطی است و از رابطه‌ی ۲ محاسبه می شود:



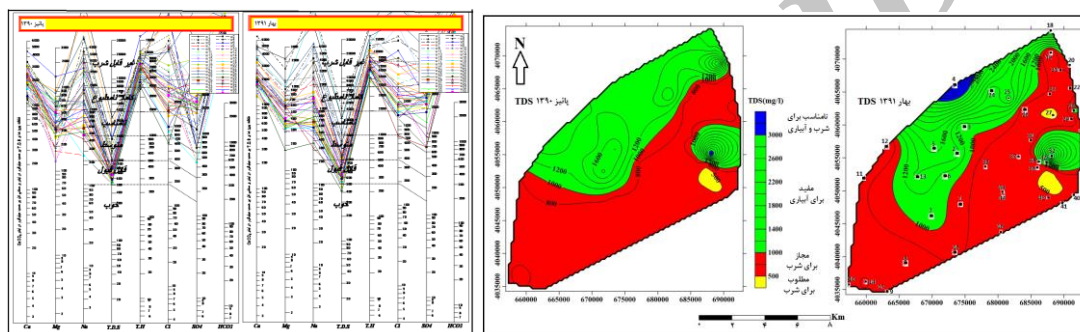
در این رابطه، اگر تعویض یونی مثبت باشد، سدیم و پتاسیم موجود در آب با کلسیم و منیزیم موجود در خاک یا سنگ تعویض می شوند، درحالی که اگر منفی باشد، کلسیم و منیزیم موجود در آب با سدیم و پتاسیم موجود در خاک تعویض می شوند (عکس تعویض یونی). رخداد این فرایند بر حسب واکنشهای زیر صورت می گیرد (رابطه‌ی ۳ و ۴):



این فرایند در جایی رخ می دهد که کانیهای رسی غنی از سدیم بر اساس رابطه‌ی ۵ با کلسیم و منیزیم آب

ولی از طرف دیگر با افزایش محلول ورودی غلظت آنها نیز کاهش می یابد. با این حال، مساله‌ی مزبور در میزان کاهش سختی تاثیر چندانی نداشته، و آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی در رده‌ی سخت (پاییز ۱۶٪ و بهار ۹/۱٪ نمونه‌ها) و خیلی سخت (۸۴٪ و ۹۰/۹٪ نمونه‌ها) قرار دارد و استفاده از آنها را با محدودیت مواجه می کند. یکی از مهمترین انواع طبقه بندیها برای شرب نمودار شولر است (شکل ۱۰) که بر اساس این نمودار اکثر نمونه‌ها در پاییز و بهار در محدوده‌ی قابل قبول تا مناسب قرار گرفته و مانعی از لحاظ شرب ندارند.

دریا و آبخوانهای شور سنگواره ای می باشد. در بخش غربی و در فصل بهار به دلیل بالا آمدن سطح ایستابی، مقادیر قابل توجهی از آب زیرزمینی با کیفیت نامناسب وارد آبخوان محدوده‌ی مطالعاتی شده، و باعث کاهش کیفیت در محدوده‌ی غربی می گردد. در پاییز به دلیل افت سطح ایستابی، این ارتباط آبی قطع می شود. با توجه به مقادیر سختی که در جدول ۳- دیده می- شود، میزان آن از پاییز به بهار کاهش نشان می دهد. پدیده افزایش بارشها و آبدهی رودها باعث فزونی انحلال سنگهای کربناتی در جنوب محدوده می گردد؛ در نتیجه میزان قابل توجهی کلسیم کربنات به آبخوان افزوده گشته



شکل ۹- نقشه‌ی پهنه بندی تغییرات TDS در تعیین مناطق مناسب از نظر شرب و آب آبیاری در دشت ساری- قائمشهر. شکل ۱۰- وضعیت منابع آب شرب محدوده‌ی مطالعاتی با کمک نمودار شولر در پاییز ۱۳۹۰ و بهار ۱۳۹۱.

جدول ۳- موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی از لحاظ آبهای مصرفی (شرب و غذا) با توجه به معیار

عوامل	WHO(2008) حداکثر حد مطلوب (mg/l) حداکثر حد مجاز (mg/l)	درصد نمونه هایی که بیش از حداکثر حد مطلوب(%)	درصد نمونه هایی که بیش از حداکثر حد مجاز(%)
PH	۸/۵-۶/۵	۹/۲-۸/۵	صفر درصد پاییز ۱۳۹۰، بهار ۱۳۹۱
TH	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰٪ پاییز ۱۳۹۰، بهار ۱۳۹۱
Ca ⁺²	۷۵	۲۰۰	۶/۹٪ پاییز ۱۳۹۰، ۹/۱٪ بهار ۱۳۹۱
Mg ⁺²	۵۰	۱۵۰	صفر درصد پاییز ۱۳۹۰، ۲/۲٪ بهار ۱۳۹۱
Cl ⁻	۲۰۰	۶۰۰	۹/۲٪ پاییز ۱۳۹۰، ۶/۸٪ بهار ۱۳۹۱
SO ₄ ⁻²	۲۰۰	۴۰۰	۴/۵٪ پاییز ۱۳۹۰، ۶/۸٪ بهار ۱۳۹۱
Na ⁺	---	۲۰۰	۱۶٪ پاییز ۱۳۹۰، ۹/۱٪ بهار ۱۳۹۱

مناسب بودن آب از نظر آبیاری، ارزیابی است که در مورد تعیین میزان درصد سدیم، خطر منیزیم، سدیم کربنات باقیمانده، نسبت جذب سدیم، نمایه نفوذپذیری و غیره [مقادیر هدایت الکتریکی (رسانه های کهربایی) و سدیم نقش بسیار حساسی را در مناسب بودن آب در

کیفیت آب از لحاظ کشاورزی

برای رسیدن به حداکثر بهره وری از لحاظ محصولات کشاورزی نیاز به آب با کیفیت خوب می باشد. منظور از می باشد. مقادیر این نسبتها و نمایه ها در جدول ۴ ارائه شده اند.

خوب (C2) و نامناسب (C4, C5) قرار دارند. طبقه بندی آب از لحاظ خطر سدیم (قلیایی) یا نمودار ویلکوکس که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، نمونه‌های آب در پاییز وضعیت نامناسبتری داشته و در محدوده‌های C3S4, C4S4 و C3S3, C3S2, C3S1 (قابل استفاده) و C3S4, C4S4 (نامناسب) قرار گرفته اند. در بهار با توجه به افزایش بارشها و به دنبال آن روانابها، باعث افزایش نفوذ شده و حجم آب بیشتری در آبخوان به حرکت در می آید؛ بدین ترتیب، نمونه‌ها در محدوده‌های C2S1 (خیلی خوب)، C3S2, C3S3, C3S1 (قابل استفاده) و C3S4, C4S4 (نامناسب) قرار می گیرند (جدول ۴). با توجه به نحوه‌ی قرار گیری نقاط آبی در نمودار ویلکوکس و مقادیر نسبت جذب سدیم بخش اعظمی از محدوده بطور میانگین در پاییز و بهار در حد خوب و مجاز قرار دارند. بطور کلی با در نظر گرفتن جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در پاییز و بهار مخصوصا از بخش میانی تا خروجی دشت دو عامل در افزایش میزان EC نقش بازی می کنند. اولی، نشت آب شور از آبخوانهای شور سنگواره ای به داخل آبخوان شیرین دومی، نفوذ آب شور دریا به داخل آبخوان در بخش تخلیه می باشد.

درصد سدیم: سدیم موجود در آب آبیاری که یکی از عوامل مهم محسوب می گردد که معمولا با درصد سدیم (ویلکوکس، ۱۹۵۵) مشخص می شود. زمانی که سدیم در آب آبیاری افزایش یابد، به وسیله‌ی ذرات رس جذب و باعث پراکندگی یونهای کلسیم و منیزیم می شود. این تعویض یونی بین سدیم در آب با کلسیم و منیزیم موجود در خاک نفوذپذیری را کاهش داده و زهکشی درونی خاک را ضعیف می کند. درصد سدیم با استفاده از رابطه‌ی ۷ قابل محاسبه است (یونها بر حسب meq/l).

(رابطه‌ی -۷)

$$\%Na = (Na^{+1} + K^{+1}) * 100 / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+1} + K^{+1})$$

با توجه به نقشه‌ی پهنه بندی Na% (شکل-۱۲)، و

جدول ۴ اکثر محدوده‌ی مطالعاتی در پاییز و بهار (۸۰ الی ۸۵٪) در حد خیلی خوب تا مجاز قرار گرفته و مساحت کمتری در حد مشکوک تا نامناسب پوشیده شده است. در شکل ۱۳، نمونه‌های آب در پاییز ۵/۸۵٪ در حد خوب تا مجاز و بقیه از مشکوک تا نامناسب می باشند؛ در حالی که در بهار ۱۱٪ خیلی خوب، ۱۱٪ مشکوک تا نامناسب و

آبیاری بازی می کنند. به نظر تورن و پترسون (۱۹۵۴) با افزایش نمک، فشار اسمزی محلول در خاک نیز افزایش می یابد. فشار اسمزی متناسب با محتوای نمک و یا خطر شوری است؛ از طرف دیگر نمک ساختار خاک، نفوذپذیری و هوادهی را تحت تاثیر قرار می دهد. غلظت کل نمکهای محلول در آب آبیاری را می توان به رده های مختلفی از C1 تا C5 و برای مقادیر EC کمتر از ۲۵۰ تا ۵۰۰۰ تقسیم بندی کرد. یکی دیگر از مهمترین عوامل برای تعیین مناسب بودن آب آبیاری، استفاده از تغییرات میزان EC نسبت به محتوای سدیم یا خطر قلیایی است که در میزان نسبت جذب سدیم (SAR) بیان شده است. در نتیجه، آبهای مورد استفاده در آبیاری را می توان براساس میزان خطر شوری (C)، خطر سدیم (S) (قلیایی) و نسبت جذب سدیم (SAR)، نسبت به میزان تغییرات EC به گروهها و طبقات مختلف تقسیم بندی کرد (جدول ۴).

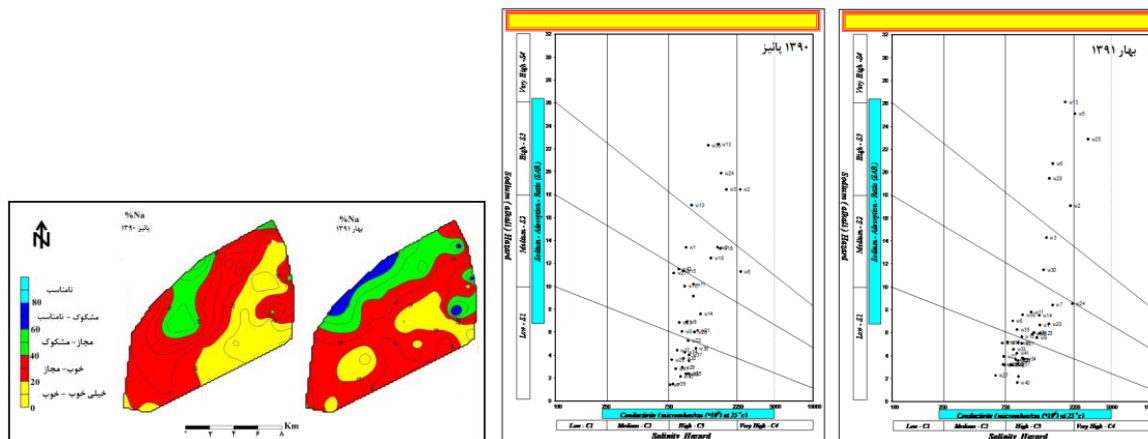
نسبت جذب سدیم (SAR): غلظت بالای سدیم شرایط خاک و میزان نفوذپذیری را کاهش می دهد و این مساله منجر به توسعه‌ی یک خاک قلیایی خواهد شد. در واقع آبهایی که مقادیر بالایی سدیم داشته ولی کلسیم آن کم است، در نتیجه تعویض یونی باعث اشباع آب از لحاظ سدیم شده که نتیجه آن، از هم پاشیدگی کانیهای مانند رس شده و این مساله در کاهش رشد گیاهان موثر می باشد (تاد، ۲۰۰۵). اگر مقادیر تجمعی غلظت $HCO_3 + CO_3$ بیش از یونهای Ca+Mg باشد، این نشان دهنده‌ی واکنش کربنات باقیمانده با سدیم است که حاصل آن خطر سدیم خواهد بود. نسبت جذب سدیم از رابطه‌ی ۶ قابل محاسبه است (مقادیر meq/l).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{(رابطه‌ی -۶)}$$

بر اساس رابطه‌ی فوق، طبقه بندیهای موجود در جدول ۴ نشان داده شده اند. بنا به طبقه بندی SAR، آبهای زیرزمینی محدوده در پاییز ۶/۸۸٪ (S1) در حد عالی بوده در حالی که در بهار ۱۰۰٪ محدوده در حد عالی قرار داشته و از لحاظ استفاده در آبیاری هیچ مشکلی ندارد. بر اساس EC یا خطر شوری، اکثر نمونه‌ها در پاییز (۹۶٪) و بهار (۷۵٪) در حد مجاز (C3) و درصدهای کمتری در حد

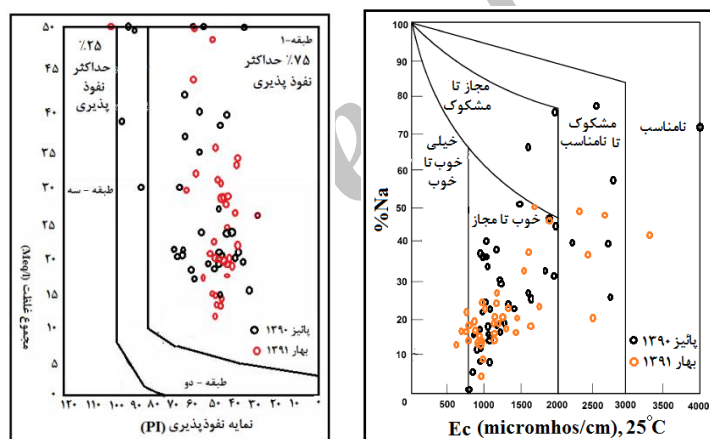
بهار) در حد خوب تا مجاز بوده و از لحاظ آبیاری مشکلی ندارند.

بقیه خوب تا مجاز طبقه بندی شده اند؛ در نتیجه، بطور میانگین آبهای زیرزمینی محدوده بین ۷۰ تا ۸۵٪ (پاییز و



شکل ۱۱- نمودار ویلکوکس در طبقه بندی آب از نظر آبیاری در دشت ساری - قائمشهر.

شکل ۱۲- نقشه پهنه بندی تغییرات %Na در تعیین مناطق مناسب از نظر آب آبیاری در دشت ساری - قائمشهر.



شکل ۱۳- طبقه بندی آب آبیاری محدوده مطالعاتی دشت قائمشهر - ساری (USSL, 1954)

شکل ۱۴- طبقه بندی آب آبیاری محدوده مطالعاتی دشت قائمشهر - ساری بر اساس نمایه نفوذپذیری.

در آبیاری تعریف کرد که نام آن را نمایه نفوذپذیری گذاشت. این نمایه از رابطه ۸ قابل محاسبه است (یونها، ۱/۱۹۶۴):

(رابطه ۸-)

$$PI = [(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-} (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+))] \times 100$$

دارای نوع آب نامناسب می باشد. براین اساس، همان گونه که در شکل ۱۴ دیده می شود، در پاییز و بهار تقریباً ۹۰٪ نمونه‌ها در طبقه‌ی یک، ۹/۱٪ در طبقه‌ی دو قرار می‌گیرند. قرار گرفتن اکثر نمونه‌ها در طبقه‌ی ۱- در واقع

نمایه نفوذپذیری (PI): استفاده آبیاری دراز مدت معمولاً نفوذپذیری خاک را تحت تاثیر قرار می دهد. این مساله در مورد محتویات خاک از قبیل کلسیم، سدیم، منیزیم و بی کربنات اثر گذار خواهد بود. دنین (۱۹۶۴) معیاری را برای ارزشیابی نحوه‌ی قابل استفاده بودن آب نمایه نفوذپذیری به سه طبقه تقسیم می شود. طبقه یک بیش از ۷۵٪ حداکثر نفوذپذیری را دارد و از نوع آب خوب محسوب می شود؛ طبقه‌ی دو از نوع آب مناسب و طبقه‌ی سوم که دارای حداکثر ۲۵٪ نفوذپذیری است،

آن می‌کند. ولی نمونه‌هایی که در طبقه-۲ و ۳ قرار دارند، تحت شرایط عادی برای آبیاری مناسب نیستند (جدول ۴).

کمک بسیار زیادی در بهبود و تقویت خاک از نظر عبور جریان آب، عناصر موجود و کاهش سختی و سفتی

جدول ۴- خلاصه‌ای از وضعیت و تعیین مشخصات منابع آب از لحاظ استفاده در شرب و آبیاری.

درصد نمونه‌ها	طبقه بندی	محدوده	مقادیر محاسبه شده	فراسنجه‌ها
۱۳۹۱ بهار ۱۰۰٪، پاییز ۸۸/۶٪، ۱۳۹۰	عالی	کمتر از ۱۰ (کم، S1)	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۳/۲	SAR (Todd,1959&Richards,1954)
۱۳۹۱ بهار ۹/۱٪، پاییز ۱۳۹۰، صفر درصد	خوب	۱۰-۱۸ (متوسط، S2)	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۰/۷	
۱۳۹۱ بهار ۲/۳٪، پاییز ۱۳۹۰، صفر درصد	مشکوک	۱۸-۲۶ (زیاد، S3)		
-----	نامناسب	بیش از ۲۶ (خیلی زیاد، S4)		
۱۳۹۱ بهار ۱۰۰٪، پاییز ۸۸/۷٪، ۱۳۹۰	عالی تا مناسب	کمتر از ۱/۲۵ و منفی	پاییز ۱۳۹۰ میانگین -۱/۴	RSC (Richards,1954)
۱۳۹۱ بهار ۴/۵٪، پاییز ۱۳۹۰، صفر درصد	در حد مرز	۱/۲۵-۲/۵	بهار ۱۳۹۱ میانگین -۲/۴۹	
۱۳۹۱ بهار ۶/۸٪، پاییز ۱۳۹۰، صفر درصد	نامناسب	بیش از ۲/۵		
۱۳۹۱ بهار ۵۴/۲٪، پاییز ۴۸/۶٪، ۱۳۹۰	خیلی خوب-	کمتر از ۲۰	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۳۱/۴	%Na (Wilcox,1955)
۱۳۹۱ بهار ۲۹/۸٪، پاییز ۳۱/۸٪، ۱۳۹۰	خوب	۲۰-۴۰	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۲۴/۵	
۱۳۹۱ بهار ۱۳/۶٪، پاییز ۸/۱٪، ۱۳۹۰	خوب- مجاز	۴۰-۶۰		
۱۳۹۱ بهار ۲/۴٪، پاییز ۹/۱٪، ۱۳۹۰	مجاز- مشکوک	۶۰-۸۰		
۱۳۹۱ بهار ۲/۴٪، پاییز ۱۳۹۰، صفر	مشکوک- نامناسب	بیش از ۸۰		
۱۳۹۱ بهار ۹۷/۸٪، پاییز ۹۵/۵٪، ۱۳۹۰	مناسب	کمتر از ۵۰	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۳۴	MH(%) (Doneen,1964)
۱۳۹۱ بهار ۲/۲٪، پاییز ۴/۵٪، ۱۳۹۰	نامناسب	بیش از ۵۰	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۳۹/۳	
۱۳۹۱ بهار ۱۳۹۰، صفر درصد	نرم	کمتر از ۷۵	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۴۴۷/۳	TH (CaCO3, mg/l) (Sawyer&McCarty,1967)
۱۳۹۱ بهار ۱۳۹۰، صفر درصد	معتدل	۷۵-۱۵۰	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۱۳۹۱	
۱۳۹۱ بهار ۹/۱٪، پاییز ۱۶٪، ۱۳۹۰	سخت	۱۵۰-۳۰۰		
۱۳۹۱ بهار ۹۰/۹٪، پاییز ۸۴٪، ۱۳۹۰	خیلی سخت	بیش از ۳۰۰	میانگین ۵۱۴/۱	
۱۳۹۱ بهار ۹۷/۸٪، پاییز ۸۶/۴٪، ۱۳۹۰	مناسب	کمتر از یک	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۰/۷۵	KI(Kelly,et.al,1940)
۱۳۹۱ بهار ۲/۲٪، پاییز ۱۳/۶٪، ۱۳۹۰	نامناسب	بیش از یک	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۰/۳۹	
۱۳۹۱ بهار ۱۳۹۰، صفر درصد	عالی (کم) C1	کمتر از ۲۵۰	پاییز ۱۳۹۰ میانگین ۱۵۸۰/۶	Ec(μS/cm) (USDA Classification)
۱۳۹۱ بهار ۱۱/۴٪، پاییز ۹۶/۴٪، ۱۳۹۰	خوب (متوسط) C2	۲۵۰-۷۵۰	بهار ۱۳۹۱ میانگین ۱۵۰۶/۵	
۱۳۹۱ بهار ۷۵٪، پاییز ۱/۴٪، ۱۳۹۰	مجاز (بالا) C3	۷۵۰-۲۲۵۰		
۱۳۹۱ بهار ۹/۱٪، پاییز ۲/۲٪، ۱۳۹۰	نامناسب (خیلی)	بیش از ۵۰۰۰		

C4(بالا) نامناسب(خیلی)		C5(بالا)			
۱۳۹۱ بهار ۶/۸٪، ۱۳۹۰ پاییز ۶۸/۲٪	مطلوب برای شرب	کمتراز ۵۰۰	۱۳۹۰ پاییز ۱۰۱۵/۶ میانگین	TDS(mg/l) (Davis&DeWeist,1966)	
۱۳۹۱ بهار ۲۲/۷٪، ۱۳۹۰ پاییز ۲۹/۵٪	قابل قبول برای شرب	۱۰۰۰-۳۰۰۰	۱۳۹۱ بهار ۹۷۷/۸ میانگین		
۱۳۹۱ بهار ۴/۶٪، ۱۳۹۰ پاییز ۲/۳٪	مفید برای آبیاری نامناسب برای شرب و آبیاری	بیش از ۳۰۰۰			
۱۳۹۱ بهار ۹۷/۸٪، ۱۳۹۰ پاییز ۹۰/۹٪	طبقه یک(خوب)	کمتراز ۲۵٪	۱۳۹۰ پاییز ۵۳/۲ میانگین	PI(%) (Doneen,1964)	
۱۳۹۱ بهار ۹/۱٪، ۱۳۹۰ پاییز ۵۴/۵٪	طبقه دو(مناسب)	۲۵-۷۵٪	۱۳۹۱ بهار ۴۷/۵ میانگین		
۱۳۹۱ بهار ۲/۳٪، ۱۳۹۰ پاییز ۴۵/۵٪	طبقه سه(نامناسب)	بیش از ۷۵٪	۱۳۹۰ پاییز ۰/۲ میانگین	Chloro-alkaline Indice I (Schoeller,1967)	
۱۳۹۱ بهار ۴۵/۵٪، ۱۳۹۰ پاییز ۴۵/۵٪	مقادیر منفی	واکنشهای عکس تعویض یونی	۱۳۹۱ بهار ۰/۲ میانگین		
۱۳۹۱ بهار ۴۵/۵٪، ۱۳۹۰ پاییز ۴۵/۵٪	مقادیر مثبت	واکنشهای تعویض یونی	۱۳۹۱ بهار ۰/۲ میانگین		
۱۳۹۱ بهار ۹۳/۲٪، ۱۳۹۰ پاییز ۹۰/۹٪	حداکثر حد	۲۰۰	۱۳۹۰ پاییز ۱۹۰/۸ میانگین	Chloride(mg/l) (WHO,2008)	
۱۳۹۱ بهار ۶/۸٪، ۱۳۹۰ پاییز ۹/۱٪	مطلوب	۶۰۰	۱۳۹۱ بهار ۱۹۶ میانگین		
	حداکثر حد مجاز				

میزان حجم آب ورودی طی پاییز تا بهار از طریق نفوذ آب بارش (ذوب برف و باران) و روانابها به داخل آبخوان می- باشد. مقدار RSC مثبت (بین صفر تا ۱/۲۵) در محدوده‌ی مطالعاتی نشان دهنده‌ی انحلال محتویات کلسیم و منیزیم بوده، تا زمانی که بیش از بی کربناتها شوند.

معمولا کلسیم و منیزیم در اغلب آبها نقش متعادل کننده را بازی می کنند(هم، ۱۹۸۵). موازنه‌ی شیمیایی منیزیم در آب برای محدوده‌ی های زراعی تاثیر منفی خواهد داشت. اثرات منیزیم در آب آبیاری را می توان با نسبت منیزیم (خطر منیزیم) اندازه گیری کرد. پالی وال (۱۹۷۲) نمایه‌ای را با عنوان نسبت منیزیم (خطر منیزیم)

در محدوده‌ی مطالعاتی، با توجه به رابطه‌ی ۱۰ در پاییز ۱۳۹۰، ۹۵/۵٪ نمونه‌ها مناسب و بقیه نامناسب بوده- اند. این نسبت در بهار ۱۳۹۱، به ۹۷/۸٪ رسیده که نشان دهنده‌ی کاهش غلظت و افزایش حجم آب ورودی به آبخوان می‌باشد، در نتیجه آبهای زیرزمینی محدوده‌ی

سدیم کربنات باقیمانده (RSC) و خطر منیزیم

(MH): در صورت بیشتر بودن غلظت کربنات و بی کربنات از کلسیم و منیزیم، شرایطی برای رسوبگذاری (کلسیم و منیزیم) کربناتها ایجاد می گردد. مقدار RSC واقع مشخصه‌ی این آثار بوده و از نمایه‌ی سدیم کربنات باقیمانده برای تشخیص این پیامدها و وضعیت آب آبیاری استفاده می شود (ریچاردز، ۱۹۵۴). برای محاسبه‌ی RSC از رابطه ۹ استفاده می شود (یونها بر حسب meq/l):

(رابطه‌ی ۹) $RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$

با توجه به جدول ۴ در پاییز ۸۸/۷٪ نمونه‌ها کمتر از ۱/۲۵ (۷۵٪ منفی و ۱۳/۷٪ مثبت) و در بهار این مقدار به ۱۰۰٪ رسیده (۹۵/۵٪ منفی و ۴/۵٪ مثبت) که نشان دهنده‌ی آب آبیاری عالی تا مناسب می باشد. دلیل آن از افزایش ارائه نمود. در این رابطه مقادیر بالای ۵۰٪ نامناسب و کمتر از آن مناسب طبقه بندی شده است. این نسبت از رابطه ۱۰ به دست می‌آید (یونها بر حسب meq/l می‌باشد):

(رابطه‌ی ۱۰) $MH = [Mg^{+2} / (Ca^{+2} + Mg^{+2})] \times 100$

سنگ (هوازگی) و تبخیر- تبلور در محدوده‌ی مطالعاتی نقش اصلی را در واکنشهای شیمیایی بازی می‌کند. نسبتها و تبادل یونی در محدوده‌ی مطالعاتی نشان می‌دهند که با توجه به نبود ته نشینهای ژپسی وجود سولفات در آب احتمالاً از فعالیتهای انسانی، یعنی کودهای سولفات، و بخشی نیز نفوذ آب دریا ناشی می‌شود. سدیم نیز از هوازگی کانیهای رسی سدیم دار در رسوبهای بخش میانی و از محلولهای سدیم کلرایدی ناشی می‌شود. هوازگی سنگهای کربناتی در مسیر جریان آب زیرزمینی وجود بی کربناتهای کلسیم و از طریق تعویض یونی بی کربنات سدیم قابل توجه می‌باشد. آبهای اختلاط یافته، ناشی از ترکیب آبهای با مشخصات بی کربنات کلسیم- منیزیم و سدیم با آبهای شور سدیم کلرایدی تزریق شده به آبخوان می‌باشد. آبهای سدیم کلرایدی دارای دو منشاء، یکی از نفوذ آب شور دریا و دومی نشت شورابه‌ها از آبخوان شور سنگواره‌ای است؛ در نتیجه، تبادل یونی که شامل تعویض یونی و عکس تعویض یونی است، بر اساس رابطه کلروقلیایی از عوامل موثر و اصلی در کنترل زمین شیمیایی آب و تعیین نوع آب در منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. در نتیجه، دو نوع آب شیرین، لب شور تا شور وجود دارد که با توجه به شرایط محدوده-ی مطالعاتی آب شیرین در شرایط کنونی بر آب شور غالب است. دشت مورد مطالعه از لحاظ شرب با توجه به نمودار شولر مشکل خاصی ندارد، ولی دارای آب سخت و خیلی سخت است که در مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی باید مورد توجه قرار گیرد. مناطقی که آبهای زیرزمینی دارای مقادیر EC و یا شوری کمتر از $2000 \mu\text{S/cm}$ (SAR کمتر از ۲۶، درصد سدیم کمتر از ۶۰ و TDS کمتر از ۳۰۰۰) و در رده‌های C3S3, C3S2, C1S1 قرار دارند برای آبیاری، مناطق مناسب محسوب می‌شوند. البته با توجه به نمودار ویلکوکس، و نمودار شوری اکثر نمونه‌ها در رده‌ی C3S1, C3S2 و خوب تا مجاز قرار می‌گیرند که این نوع آبهای زیرزمینی در رده‌ی شوری بالا با SAR کم تا متوسط قرار دارند و باید در خاکهایی که دارای نفوذپذیری متوسط تا بالا دارند مورد استفاده قرار گیرند. البته با توجه به استفاده مستمر از این نوع آبها پیشنهاد می‌شود که اقداماتی برای طراحی زهکشهای مناسب برای شوری بالا

مطالعاتی با توجه به این دو نمایه از نظر آبیاری مناسب بوده و مشکل خاصی ندارند (جدول ۴).

نمایه‌ی کلی (KI): یکی از کاربردهای مفید در طبقه بندی آب آبیاری، استفاده از روش کلی می‌باشد. کلی (۱۹۴۰) با اندازه گیری مقادیر یون سدیم و تقسیم آن بر مجموع مقادیر یونهای کلسیم و منیزیم، نمایه‌ای را به نام کلی، که با علامت KI نشان داده می‌شود، معرفی نمود (یونها بر حسب meq/l). در محدوده‌ی مطالعاتی نمایه کلی در پاییز ۱۳۹۰، ۸۶/۴٪ کمتر از یک (مناسب) و در بهار به ۹۷/۹٪ افزایش یافته است. در ضمن افزایش محدوده‌های مناسب از پاییز تا بهار نشان دهنده‌ی کاهش غلظت یون سدیم و افزایش یونهای کلسیم و منیزیم است که ناشی از افزایش ورود محلول از محدوده‌ی تغذیه می‌باشد؛ در نتیجه، آبهای زیرزمینی دشت ساری- قائمشهر از لحاظ استفاده در آبیاری مناسب می‌باشند (جدول ۴).

نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل‌های مختلفی از طریق روشهای نموداری و زمین شیمیایی آب در محدوده‌ی مطالعاتی با نتایج مطالعات قبلی مقایسه شده و نتایج حاصله در این تحقیقات در جدول ۴ ارائه گردیده اند. بر اساس این نتایج موارد زیر در مورد کیفیت منابع آب به دست آمده اند.

تواتر یونی در سال آبی مورد مطالعه نشان می‌دهد عواملی از قبیل واکنشهای بین سازندهای زمین شناسی و آب، نفوذ آب شور دریا و آبخوانهای شور سنگواره‌ای به داخل آبخوان شیرین، بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، تبخیر از منابع آب (سطحی و زیر زمینی)، فعالیتهای انسانی (فاضلابهای شهری، روستایی، کشاورزی و صنعتی) و شرایط اقلیم آبی در وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی تاثیر گذارند.

بر اساس نمودار پایپر آبهای زیرزمینی در پاییز و بهار بطور کلی دارای سه نوع رخساره آب است. با توجه به تشکیلات زمین شناسی، نفوذ آب شور دریا و آبخوان شور سنگواره‌ای نوع آب شامل CaHCO_3 , Ca-Mg-Cl و Na-Cl است، که در راستای جریان آب زیرزمینی از جنوب (تغذیه) به شمال و شمال شرقی (تخلیه) قابل مشاهده است. نمودار گیبس نیز نشان می‌دهد که واکنش آب-

۲. سازمان آب منطقه ای مازندران. ۱۳۹۱. آمار اندازه گیری سطح آب چاههای مشاهده ای، آنالیز شیمیایی و سایر اطلاعات و گزارشات.
۳. شرکت مهندسیین الکساندر گیب ۱۹۷۵، مطالعه حوضه رودخانه های تالار-بابل- هراز
۴. صداقت، محمود. ۱۳۵۴، بررسی مساله پیشرفت و نفوذ آب دریا در دشتهای ساحلی دریای مازندران، پایان نامه دوره فوق لیسانس، دانشگاه تهران.
۵. صداقت، محمود. ۱۳۸۷. زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۶. قره محمودلو، م، م، رقیمی - ا، طهماسبی، ۱۳۸۶. استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاههای آب (مطالعه موردی شهر ساری)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵ (۴).
۷. قره محمودلو، م، ح.ر، ناصری، بررسی نفوذ آب شور در آبخوان شهر ساری، مجله محیط شناسی، ۳۴ (۴۷). ۲۱-۳۰
۸. مقیمی، ه، ۱۳۸۸، آبشناسی کاربردی، دانشگاه پیام نور، ص. ۲۶۱
۹. مقیمی، ه. ۱۳۸۴، هیدروژئوشیمی، دانشگاه پیام نور، ص. ۲۱۳
10. Aghazade, N., and A., A., Mogaddam, 2010. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh, J Enviro. Prot. doi: 10. 4236 / jep. 2010.11005 (<http://www.SciPR.org/journal/jep>)
11. APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater (19th ed.), American Public Health Association, Washington, D.C., USA, 1467.p.
12. Domenico, P.A., and F.W., Schwartz. 1990. Physical and chemical
15. Drever, J., I., 1988. Geochemistry of natural waters, NJ: Prentice Hall Company, 367.p.
16. Garrels, R. M., and F. T., Mackenzie, 1967. Origin of the chemical composition of springs and lakes, in equilibrium concepts in natural water

انجام گیرد تا مانعی برای رشد مناسب گیاهان ایجاد نگردد. تعداد کمی از نمونه‌ها در نمودار شوری و ویلکوکس در هیچ کدام از طبقات قرار نگرفته و دارای خطر شوری بالا و بسیار بالا می‌باشند، ولی در حال حاضر، به دلیل مساحت کم خطری ندارند، اما در آینده لازم است روشهای خاصی برای آبیاری انتخاب کرد تا بتوان شوری بالا را مهار کرد و میزان تولیدات کشاورزی را افزایش داد. بطور کلی، در اکثر موارد، آبهای زیرزمینی از لحاظ استفاده در کشاورزی در حد قابل قبول و مناسب بوده و هیچ گونه محدودیتی ندارند، ولی توصیه می‌شود روش آبیاری به گونه ای انتخاب شود تا در ضمن نظارت بر کیفیت آبهای زیرزمینی از افزایش شوری جلوگیری گردد. در دراز مدت نیز موارد ارائه شده، می‌تواند بر کیفیت آب اثر منفی بگذارد؛ به همین دلیل برای جلوگیری از پیامدهای منفی ضمن مهار کردن و کاهش میزان بهره برداری، چاههای غیر مجاز شناسایی و از آبکشی آنها جلوگیری گردد. به علاوه با روشهای مناسب سطح ایستابی را در محدوده‌ی تغذیه افزایش داده بدون آن که نیازی به زهکشی در محدوده تخلیه باشد. هدف از این کار جلوگیری از پیشروی آب شور دریا و افزایش عمق ستون آب شیرین است؛ در نتیجه، نشت آب شور از آبخوان سنگواره ای کاهش می‌یابد. در این رابطه لازم است بطور منظم از لحاظ کمی و کیفی و از نظر منابع آلاینده تحت نظارت و تجزیه‌ی شیمیایی قرار گیرد.

منابع

۱. احمدنژاد، ز.، بوسیلک، ن.، کلانتری، ۱۳۹۲، ارزیابی ژئوشیمیایی منابع آب منطقه زیرراه استان بوشهر از دیدگاه کشاورزی و توصیه کشت مطلوب براساس آب موجود، ژئوشیمی، ۱: ۱۹۱-۲۰۴.
13. hydrogeology. John Wiley and Sons, New York, 824.p.
14. Doneen, L. D. 1964., Water quality for agriculture, Department of Irrigation, University of California, Davis, 48. p.

- US Department of Agriculture, Hand Book 60,160. p.
28. Sarath P. S. V., N.S., Magesh, K.V., Jitheshlal, and N., Chandrasekar, K., Gangadhar, 2012. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India, *Appl. Water Sci.* Springle,2:165 –175,DOI10.1007/s13201-012-0042-5.
 29. Schoeller, H. 1977. Geochemistry of groundwater, In ground water studies- An International guide for research and practice. Paris. p. 1-18,9
 30. Subramani,T., L. Elango, and R., Damodarasamy, 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agriculture use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India, *Enviro. Geo.* 47: p.1099-1110.
 31. Subba Rao, N. 2002. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India, *Environm. Geol.* 41.: 552-562.
 32. Thorne, D.W., and H.B., Peterson, 1954. Irrigation soils. Constable and Company Limited, London, p. 99-10.
 33. Todd, D.K., and L.W., Mays 2005. Groundwater hydrology, John Wiley & Sons, New York, 535p
 34. WHO. 2008., Guidelines for drinking water quality, Vol. 1, 2nd ed, Recommendations. WHO, Geneva, 0 pp.
 35. Wilcox, L. V., 1955, Classification and use of irrigation waters. USDA, Circular 969, Washington DC, USA.
 17. systems: *Am. Chem. Soc, Adv. in Chem. Ser. No. 67*, pp. 222-242.
 18. Gibbs, R. J. 1970. Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, 17: 1088-1090.
 19. Guler, C., and D., Thyne, 2004. Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells- Owens Valley area, SE California, USA. *Jo Hydrol.* 285: pp. 177-198.
 20. Hem, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. 3rd ed. USGS Water Supply Paper, 2254. p. 117-120.
 21. Hounslow, A.W. 1995. Water quality data analysis and interpretation. Lewis Publishers, CKC Press, LLC.
 22. Howard, F.. W. Ken. and E., Mullings, 1996. Hydro- chmical analysis of groundwater flow and saline intrusion in the Claredon Basin, Jamaica, *Groundwater.* 34: 801-810.
 23. Kelly, W.P. 1940.,Permissible composition and concentration of irrigated waters, In: *Proc the ASCF66.* p. 607.
 24. Mazor, E. 2004. Chemical and isotopic groundwater hydrology. 3rd ed. 453.p.
 25. Paliwal K.V. 1972. Irrigation with saline water [z]. Monogram No. 2(new series). IARI, New Delhi,198.p.
 26. Piper, A. M. 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis, *Tran. Am. Geophys. Union.* 25: 914-928.
 27. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.