

## بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در کشاورزی و صنعت (مطالعه موردی دشت نیشابور)

آرش حسین سربازی<sup>۱</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۷

### چکیده

از آنجا که ۹۹ درصد از منابع آب شیرین جزء آب‌های زیرزمینی می‌باشد لذا شناخت و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها ضرورت می‌یابد. در این تحقیق کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور در دو بخش کشاورزی و صنعت در طی سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، پس از نمونه‌گیری، آزمایشات تجزیه شیمیایی روی نمونه‌ها انجام شد و با مقایسه آن با موارد استاندارد، کیفیت آن جهت بررسی رسوب‌گذاری و خوردگی مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که عناصر سدیم، کلر و سولفات به ترتیب، بیش‌ترین مقادیر را در بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها دارند به تدریج کیفیت آب‌ها کاهش می‌یابد. درصد مربوط به کلاس C4S4 که بدترین کیفیت را دارد نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که اغلب منابع آبی زیرزمینی دشت نیشابور شوری بالایی داشته و در اغلب موارد در کلاس شوری بالا قرار گرفته‌اند. همچنین حداکثر و حداقل رسوب‌گذاری براساس شاخص پوکوریوس به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۵ صورت گرفته است. در آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور غلبه رسوب‌گذاری وجود دارد چنان‌که آنالیزهای شیمیایی نمونه آب زیرزمینی نیشابور حاکی از آن است که شاخص پوکوریوس نسبت به دو شاخص لانژیلر و رایزنر دقیق‌تر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت آب، منابع زیر زمینی آب، شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری

### مقدمه

می‌شود (Horfar, 1996). خوردگی واکنش فیزیکی- شیمیایی ناشی از تأثیر چندین فاکتور شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی می‌باشد (پورزمانی و همکاران، ۱۳۸۴). فرایند فوق در دراز مدت می‌تواند سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته و مسائل اقتصادی، فنی مهندسی و زیبا شناختی را به دنبال داشته باشد (حسینیان، ۱۳۶۷). برای بررسی وضعیت کیفی آب دو مسئله خوردگی و رسوب‌گذاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از آنجا که همه مواد معدنی تشکیل دهنده اجزا یک رسوب از آن گروه نمک‌هایی هستند که حلالیت آن‌ها تابع دماست، تغییر درجه حرارت نقاط مختلف یک سیستم کافی است که نمک‌ها را به صورت اشباع و در نهایت وادار به ته‌نشینی کند. اجزا تشکیل دهنده ناخالصی‌های آب (مثل کربنات و سولفات کلسیم، سولفات باریم، سیلیکا و غیره) در اثر شرایط مختلف از قبیل افت فشار، تغییر دما، تغییر جریان، تغییر PH و غیره می‌توانند ته‌نشین شوند. آب با درجه سختی بسیار (وجود  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$ )، در اثر گرم شدن و جدا شدن مقداری از گاز کربنیک وابسته به آن‌ها، در جدار لوله ایجاد رسوب می‌کند و باعث کاهش ظرفیت انتقال آب می‌گردد. محوی و اسلامی (۱۳۸۵) با مطالعه وضعیت خوردگی و تشکیل

به‌طور کلی عوامل مختلفی بر کیفیت آب تأثیرگذارند که می‌توان به مواردی همچون زمین‌شناسی، آب و هوایی، هیدرولوژیکی، عوامل مصنوعی یا غیرطبیعی اشاره کرد. همگام با تلاش در جهت استفاده بهینه از منابع آب، نیاز به جستجو درباره عوامل تقلیل دهنده کیفیت آب نیز ضرورت یافته است. ارزیابی کیفی منابع آب از جمله آب‌های زیرزمینی یکی از مباحث بسیار مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور می‌باشد. پدیده‌ی شوری و قلیایی‌زایی از ترکیب عوامل اقلیمی، معدنی شدن آب آبیاری و بافت خاک حاصل می‌گردد (Valenza et al, 2000). تمامی آب‌ها کم و بیش دارای مقداری نمک به عنوان ناخالصی و عاملی برای خوردگی یا رسوب‌گذاری هستند. طبق استاندارد ایزو ۸۰۴۴ خوردگی، برهم کنش فیزیکوشیمیایی مسیر انتقال با محیط اطراف است که سبب تغییر در خواص مسیر انتقال

۱- دانش آموخته سازه‌های آبی دانشگاه آزاد

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: Esmaili@Ferdowsi.um.ac.ir)

طبقه‌بندی بد، متوسط و خوب قرار دارند. دهقانی سانچ و همکاران نشان دادند کارایی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای با کاهش کیفیت آب ارتباط مستقیم دارد (Dehghanisanij et al, 2005). نجفی‌مود و همکاران (۱۳۸۵) بیان داشتند که عامل اصلی کاهش راندمان سیستم‌های آبیاری تحت فشار در استان خراسان جنوبی کیفیت نامناسب آب و وجود مقادیر زیاد املاح محلول و نامحلول در آن است. ناکایاما و باکس رسوب کلسیم در مجاری و لوازمات انتقال آب را به درجه بالای اسیدیته آب، غلظت زیاد کربنات کلسیم در آب و نوسانات بیش از حد درجه حرارت محیط وابسته دانسته‌اند (Nakayama & Bucks, 1991). روند تحقیقات نشان می‌دهد محققین شاخص‌های گوناگونی را در زمینه خوردگی و رسوب‌گذاری معرفی نموده‌اند (Al Rawajfeh & Al Shamaileh, 2007, Puchorius & Broke, 1991). اما همگی در ارزیابی نهایی شاخص‌های پیشنهادی از شاخص‌های رایزنر، لانژیلر و پوکوریوس به عنوان شاخص‌های مرجع و پایه استفاده کرده‌اند. یزدانی و بانژاد (۱۳۸۸) در بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت همدان بیان داشتند که با توجه به بررسی انجام شده در سطح آب‌های زیرزمینی دشت بهار تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آن با غالبیت رسوب‌گذاری وجود دارد. در این راستا هدف این مقاله بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور به منظور حفظ شبکه‌های آبرسانی شهری و کشاورزی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت نیشابور، جزئی از حوضه آبریز کالشور نیشابور است که از شمال به خط الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یال پلنگ و از جنوب به تپه ماهورهای نیزه بند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود (ولایتی، ۱۳۷۹). این حوضه در طول جغرافیایی ۱۷° ۵۸ تا ۳۰° ۵۹ و عرض جغرافیایی ۴۰° ۳۵ تا ۳۹° ۳۶ واقع شده است. وسعت کل حوضه آبریز دشت نیشابور حدود ۷۳۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۳۱۶۰ کیلومتر آن را ارتفاعات و بقیه آن یعنی ۴۱۹۰ کیلومتر مربع را دشت تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه منطقه در ارتفاعات بینالود واقع بوده که از سطح دریا ۳۳۰۰ متر ارتفاع دارد و پایین‌ترین نقطه خروجی در محل خروجی دشت (حسین آباد جنگل) است که حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا بلندتر می‌باشد (ولایتی، ۱۳۷۹). بدین ترتیب دشت نیشابور از همه طرف به حصار کوهستانی و تپه‌های نسبتاً مرتفعی محدود است و هرچه از اطراف به سمت مرکز دشت حرکت کنیم از ارتفاع آن کاسته شده، سرانجام در قسمت جنوب غربی دشت، در محل خروجی رودخانه کالشور

رسوب مخازن ذخیره و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان بر اساس شاخص‌های لانژیلر<sup>۱</sup> و رایزنر<sup>۲</sup> به این نتیجه رسیدند که ۵۳/۵۱ درصد از نمونه‌ها خورنده و ۷/۴۵ درصد نیز رسوب‌گذار می‌باشند. در مطالعه‌ای مشابه رضانی (۱۳۸۰) با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت، عملیات کلرزنی، فلوکولاسیون و عملیات به‌سازی آب در تصفیه‌خانه بر روی آب چاه امامزاده هاشم را سبب تغییر کیفیت آب و خوردگی آن دانست. سواری و همکاران (۱۳۸۷) در ارزیابی شبکه آبرسانی شهر اهواز نشان دادند که خوردگی آب در حد ضعیف تا متوسط و فاقد رسوب‌گذاری می‌باشد. در حالی که کریم و همکاران (۱۳۸۷) آب همه مناطق اهواز را براساس ضریب رایزنر به شدت خورنده و بر اساس ضریب لانژیلر آب مناطق شمال و جنوب اهواز را فاقد مشکل خوردگی و مناطق شرق و غرب را کمی خورنده ارزیابی کردند. در این راستا جعفرزاده و همکاران (۱۳۸۵) براساس قانون سرب و مس، آب شهر اهواز را کمی خورنده بیان دانستند. پوکوریوس و بروک برای تشخیص رسوب‌گذاری و خوردگی ناشی از کربنات کلسیم در صنایع خنک‌کننده آب از شاخص پوکوریوس<sup>۳</sup> (POR) در تعیین حد آستانه رسوب‌گذاری در آب‌های بازیافت شده برای صنایع یاد کردند (Puchorius & Broke, 1991). یو و همکاران نیز از شاخص فوق با عنوان کاربرد رسوب (RSI) در تعیین حد آستانه رسوب‌گذاری در آب‌های بازیافت شده برای صنایع استفاده کردند (You et al, 2001). پاکشیر و همکاران (۱۳۸۳) نیز بر اساس رهنمودهای پوکوریوس و بروک در ارزیابی سیستم خنک‌کننده نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه شاخص پوکوریوس را برای آب‌های صنعتی توصیه نمودند. الرواجفه و الشمایله از شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم<sup>۴</sup> (CCPP) در ارزیابی خوردگی و رسوب‌گذاری سیستم آبرسانی استان تافیل در جنوب اردن استفاده کردند. در این شاخص مقادیر منفی CCPP بیانگر خوردگی و مقدار مثبت آن بیانگر رسوب‌گذاری است (Al Rawajfeh & Al Shamaileh, 2005).

در کاربری کشاورزی نیز رسوب کربنات کلسیم رایج‌ترین عامل ایجاد گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد (نادری، ۱۳۸۵). کربنات‌ها و سولفات‌های کلسیم یا منیزیم معمول‌ترین عوامل شیمیایی انسداد گسیلنده‌ها می‌باشند (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵). نتایج مطالعات زارعی و همکاران (۱۳۸۵) در خصوص رسوب کربنات کلسیم در سامانه آبیاری قطره‌ای استان‌های مختلف کشور نشان داد لوله‌های نواری قطره‌ای بیش‌ترین حساسیت به گرفتگی شیمیایی را به واسطه کیفیت نامطلوب آب دارند. آن‌ها بیان داشتند که آب استان‌های کرمان، خراسان و سمنان به ترتیب در

1- Langlier Index

2- Raisener Index

3- Puchorius scale Index

4- Calcium carbonate precipitation potential

نیشابور به دشت سبزوار، به حدود ۱۰۵۰ متر می‌رسد. شیب عمومی دشت نیشابور، شرقی - غربی است و علاوه بر آن، قسمت عمده‌ی دشت و به ویژه قسمت‌های شمالی آن نیز دارای شیبی با جهت شمالی - جنوبی می‌باشد.

آب و هوای منطقه نیمه‌خشک تا خشک و میانگین درجه حرارت ماهانه ایستگاه بار (معرف مناطق کوهستانی) ۱۳ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه محمدآباد - فدیشه (معرف مناطق دشتی) ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. با وجود اختلاف کم دما بین ارتفاعات و دشت، آب و هوای حوضه در شمال و جنوب آن به شدت متفاوت می‌باشد، طوریکه در شمال که کوهستانی است هوا نسبتاً سرد با تابستان ملایم و به طرف جنوب و غرب هوای آن گرم‌تر می‌شود که می‌تواند ناشی از وسعت زیاد حوضه باشد. متوسط بارندگی در کل حوضه معادل ۲۳۴ میلی‌متر است، هرچند میزان بارندگی در نقاط مختلف آن متفاوت بوده، به‌طوریکه در ارتفاعات بلند بینالود مقدار آن حداکثر به ۶۰۰ میلی‌متر و در سطح دشت به مراتب کم‌تر از آن است. در فصل زمستان نزولات جوی در ارتفاعات بینالود بیش‌تر به صورت برف است و برف‌های بینالود را تا اوایل تابستان می‌توان مشاهده کرد. میزان تبخیر به علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد می‌باشد، به‌طوریکه متوسط تبخیر برای کل حوضه حدود ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال گزارش شده است (ایزدی، ۱۳۸۷).

### بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی

کیفیت آب‌های زیرزمینی بر اساس مقدار و نوع مواد تشکیل دهنده شیمیایی، بیولوژیکی، مواد رسوبی و درجه حرارت آن تعیین می‌گردد که اهمیت ویژه‌ای در تعیین درجه رسوب‌گذاری و خوردگی آن جهت مصارف خاص دارد (توسلی ۱۳۷۹). از این رو باید نمونه‌گیری آب و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی با دقت صورت پذیرد. جهت تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، پس از نمونه‌گیری، آزمایش‌های تجزیه شیمیایی روی نمونه‌ها انجام و با مقایسه آن با موارد استاندارد، کیفیت آن جهت بررسی رسوب‌گذاری و خوردگی مشخص گردد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در تحلیل‌های کیفی منابع آب در دشت نیشابور را نشان می‌دهد. منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور عمدتاً شامل آب‌های نهفته شده درخلل و فرج رسوبات آبرفتی است که آبخوان غنی محدوده مطالعاتی را تشکیل داده است. آبخوان این دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه‌ها و سیلاب مسیل‌های ورودی از ارتفاعات شمالی حوضه آبریز تغذیه می‌گردد.

در سال‌های اخیر، بیش‌تر تحقیقات در کشورهای صنعتی از مسئله بهره‌داری و تأمین آب‌های زیرزمینی به مسئله کیفیت آب زیرزمینی تغییر یافته است (فریز و چری، ۱۹۷۹). انتخاب محل‌های نمونه‌گیری بر اساس حضور منابع آلاینده، توزیع آن‌ها، محل‌های

تغذیه و تخلیه حوزه و موجودیت چاه‌ها خواهند بود. پارامترهای کیفی مورد استفاده در این مطالعه شامل هدایت الکتریکی<sup>۱</sup> (EC)، اسیدیته (pH)، یون‌های بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)، کلر (Cl<sup>-</sup>)، سولفات (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)، کلسیم (Ca<sup>2+</sup>)، منیزیم (Mg<sup>2+</sup>)، سدیم (Na<sup>+</sup>)، پتاسیم (K<sup>+</sup>)، درصد سدیم (Na) قلیائیت<sup>۲</sup> (SAR)، سختی کل<sup>۳</sup> (TH) و باقیمانده جامد املاح<sup>۴</sup> (TDS) می‌باشند. پارامترهای فوق به ترتیب توسط EC متر، pH متر، تیتراسیون، کلر متر، اسپکتوفوتومتر (طول موج ۴۲۰ نانومتر)، تیتراسیون، فلیم فوتومتری، محاسبه‌ای، تیتراسیون با EDTA و ظرف تبخیر اندازه‌گیری شدند. بهجز، pH و SAR که به ترتیب دارای واحد استاندارد و بدون بعد هستند، واحد بقیه پارامترها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر ثبت می‌شوند. نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی مورد نظر، برای هر یک از شاخص‌های کیفی انجام می‌شود. نمونه‌برداری و سنجش پارامترهای کیفی براساس روش‌های استاندارد نمونه‌برداری آب صورت می‌گیرد (انجمن آزمایش مواد آمریکا، ۱۹۹۵). نمونه‌برداری‌ها به شکل لحظه‌ای در ظروف شیشه‌ای استریل عاری از آلودگی و بعد از ۲۰-۱۰ دقیقه از پمپاژ آب از محل دهانه خروجی چاه، برای قنات و چشمه‌ها نیز از محل مظهر انجام خواهد شد.

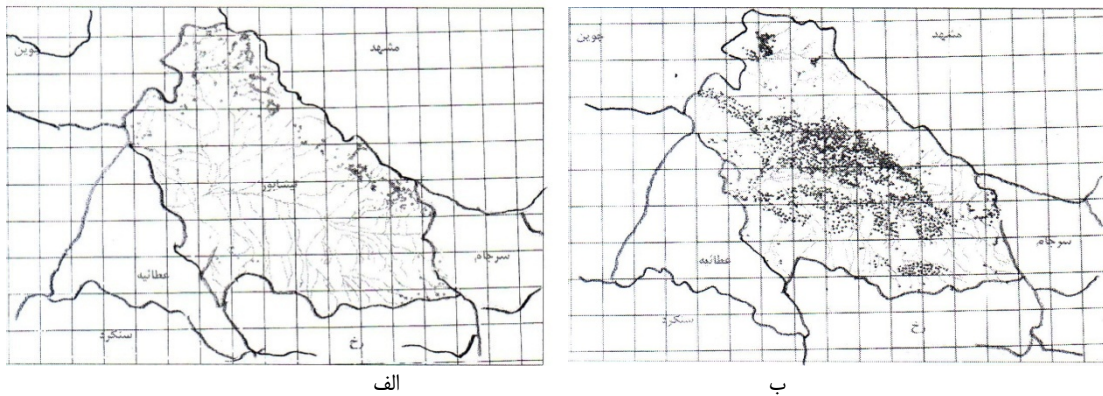
در این تحقیق از آنالیز شیمیایی انجام گرفته بر روی مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌های آب در یک دوره ۷ ساله به عنوان متغیرهای اولیه استفاده شد. داده‌ها در طی سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ شامل اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای کیفی مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌های هر نمونه آب از طریق آزمایشات مربوطه بود. در مجموع بر اساس مکان‌یابی محل‌های نمونه‌گیری از طرف اداره امور آب استان طی هفت سال در حدود ۳۲۵۴ نمونه آب از ۹۱۵ حلقه چاه، ۹۰۰ رشته قنات و ۹۰۹ دهنه چشمه برداشت شد.

### بررسی کیفیت آب‌ها از نظر استفاده در صنعت

خواص خوردگی و یا باز دارندگی یون‌ها علاوه بر نوع آن‌ها به غلظت یون نیز بستگی دارد. غالباً مقدار یون‌هایی که خاصیت بازدارندگی دارند باید بیش از مقدار اکسیژن حل شده در محلول باشد تا سرعت واکنش کاتدی احیاء اکسیژن کاهش یابد.

در این تحقیق در گام اول برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی از شاخص‌های لاتیژلر (LSI)، رایزنر (RSI)، پوکوریس (POR) و لارسون - اسکولد<sup>۵</sup> (LS) استفاده گردید. رابطه ریاضی این شاخص‌ها به صورت ذیل می‌باشد (یزدانی و بانژاد، ۱۳۸۸).

- 1- Electrical conductivity
- 2- Sodium absorption ratio
- 3- Total hardness
- 4- Total dissolved solid
- 5- Larson-Skold



شکل ۱ - موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه، الف (چشمه، ب) چاه و قنات

می‌گردد (غلامعلی زاده ۱۳۸۶). موقعیت نمونه‌های برداشت شده دشت بر روی نمودار ویل کاکس نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور از لحاظ شوری و اثر مخرب سدیم در چه حدی هستند.

### کلر (CL)

در استفاده از آب آبیاری از نظر میزان غلظت کلر محدودیتی وجود دارد که در جدول ۲ آمده است (یزدانی و بانژاد، ۱۳۸۸).

### اسیدیته آب (pH)

در شرایط متعارف pH آب‌های طبیعی بین ۷ تا ۸/۵ است و در این نوع آب‌هایی کربنات به صورت محلول در آب باقی می‌ماند. چون آب کشاورزی بعد از نفوذ در خاک اثر تغییر مستقیم روی گیاه دارد، لذا آب قلیایی ابتدا روی خاک اثر دارد که می‌تواند اثرات اصلاح یا تشدید کنندگی اثرات سوء، در محیط خاک اطراف ریشه داشته باشد. به‌طور کلی pH توصیه شده جهت مصارف کشاورزی و آبیاری بین حداقل ۵ و حداکثر ۹ پیشنهاد شده است (آبرز و وسکات، ۱۹۸۵).

### شاخص نفوذپذیری

نفوذپذیری خاکی که تحت آبیاری قرار دارد در دراز مدت تحت تأثیر EC آب آبیاری و همچنین غلظت  $Na^+$  و  $HCO_3^-$  موجود در آب آبیاری قرار می‌گیرد. لذا بر این اساس با استفاده از رابطه زیر مقدار شاخص نفوذپذیری محاسبه خواهد شد. در رابطه زیر تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر است. این شاخص نشان می‌دهد هرچه مقدار بدست آمده بیش‌تر باشد میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد و بالعکس (غلامعلی‌زاده، ۱۳۸۶).

$$I = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \quad (9)$$

$$LSI = pH - pH_c \quad (1)$$

$$RSI = 2(pH_c) - pH \quad (2)$$

$$POR = 2(pH_c) - (1.465 * (SAR) + 4.54) \quad (3)$$

$$LS = (epm CL^- + epm SO_4^{2-}) / (epm HCO_3^- + epm CO_3^{2-}) \quad (4)$$

$$PH_c = p(Ca + Mg + Na + K) + p(Ca + Mg) + p(CO_3 + HCO_3) \quad (5)$$

در روابط بالا LSI شاخص لاتیژر، RSI شاخص رایزنر، POR شاخص پوکوریس، LS شاخص لارسون - اسکولد، pH اسیدیته آب (اندازه‌گیری شده)، pH<sub>c</sub> اسیدیته محاسباتی بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی آب با فرض اشباع بودن از کلسیت یا کربنات کلسیم، P(Ca+Mg+Na+K) نمایه کاتیون‌های آب، P(Ca+Mg) نمایه کلسیم و منیزیم آب و P(CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) نمایه کربنات و بی‌کربنات است. برای بدست آوردن مولفه‌های رابطه ۸ به کمک جدول راهنما، در محیط نرم‌افزای اکسل نمودارهای مرجع استخراج شدند. نمودارهای فوق با برازش مدل‌های رگرسیونی بر داده‌های جداول راهنما (علیزاده، ۱۳۷۶)، نمایه کاتیون‌ها، کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات با ضریب (R<sup>2</sup>) بالا بدست آمد. برای نمایه کاتیونی آب مدل چندجمله‌ای درجه دو (رابطه ۶)، برای نمایه کلسیم و منیزیم آب و نمایه کربنات و بی‌کربنات مدل لگاریتمی مناسب تشخیص داده شد (روابط ۷ و ۸).

$$P(Cations) = -0.0003 Cations^2 + 0.0189 Cations + 2.1223 R^2 = 0.99 \quad (6)$$

$$P(Ca+Mg) = -0.4347 \ln(Ca+Mg) + 3.298 R^2 = 1 \quad (7)$$

$$P(CO_3+HCO_3) = -0.4348 \ln(CO_3+HCO_3) + 2.998 R^2 = 1 \quad (8)$$

در گام بعدی، مقادیر شاخص‌ها به کمک روابط بالا محاسبه گردید و با مقادیر جدول ۱ مقایسه شد.

### بررسی منابع آب از نظر مصرف کشاورزی

برای ارزیابی کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور از نظر مقادیر سدیم و هدایت الکتریکی از نمودار ویل کاکس استفاده گردید. در این روش کیفیت شیمیایی آب از نظر شوری و سدیمی بررسی

## نتایج و بحث

نتایج داده‌های بارندگی حاکی از بارش‌های زیاد در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۵ می‌باشد. در همین دو سال مقدار میانگین هدایت الکتریکی کمتر از سال‌های دیگر می‌باشد که دلیل آن همانطور که در قبل ذکر شد وقوع بارندگی خوب بوده است.

## رابطه بین هدایت الکتریکی با سایر پارامترها

در ارتباط با رابطه بین EC و TDS و یا رابطه EC با مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها روابط بسیاری موجود است. و هر کدام از این روابط مخصوص شرایط خاصی می‌باشند. لذا در این تحقیق لازم دیده شد تا این روابط برای آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور محاسبه گردند. همانطور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌گردد رابطه بین هدایت الکتریکی و باقیمانده املاح از همبستگی بسیار قوی برخوردار است. لازم به ذکر است که در منابع ضریب این رابطه برابر ۶۴۰ می‌باشد (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵)، این در حالی است که نتایج حاکی از اختلاف ۱۰ واحدی (کاهش) در ضریب مربوطه می‌باشد. در مقابل ضریب رابطه بین هدایت الکتریکی و مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها به ترتیب با افزایش ۰/۸ و ۰/۹ واحدی روبرو بوده است. ضمن اینکه ضریب تبیین در رابطه بین هدایت الکتریکی با مجموع کاتیون و آنیون‌ها کمتر از ضریب تبیین بین رابطه هدایت الکتریکی و باقیمانده املاح است. شایان ذکر است که این ضریب برای آنیون‌ها بسیار کمتر از دو مورد دیگر است. دلیل این کاهش را می‌توان به نوع سنجش آنیون‌ها نسبت به کاتیون‌ها و همچنین سنجش نشدن تمام آنیون‌ها مربوط دانست به‌طوری‌که سنجش آنیون‌ها بسیار مشکل‌تر و زمان برتر از کاتیون‌ها می‌باشد.

با توجه به تعدد داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور بررسی‌های کیفی بر روی میانگین داده‌های در طی سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ صورت گرفته است. در بخش مواد و روش‌ها اشاره شده که مدل کیفی برای دو حالت مصرف کشاورزی و مصرف در صنعت تهیه می‌گردد. نتایج به‌دست آمده به تفکیک نوع مصرف در ذیل آورده شده است.

## بررسی منابع آب از نظر مصرف کشاورزی

نتایج مربوط به میانگین داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور در جدول ۳ نشان داده شده است (برای جلوگیری از تطویل مقاله تنها نتایج مربوط به سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷ در جدول آورده شده است). همانطور که مشخص است در بین کاتیون‌ها عنصر سدیم دارای بیش‌ترین مقدار است. ازدیاد سدیم در آب و افزایش نسبی آن نسبت به کلسیم و منیزیم باعث متلاشی شدن ذرات خاک در صورت آبیاری با این آب خواهد شد و در نهایت باعث کاهش نفوذپذیری می‌گردد. در بین آنیون‌ها نیز دو عنصر کلر و سولفات دارای بیش‌ترین مقدار بوده و افزایش این دو عنصر به‌ترتیب باعث سوختگی در برگ‌ها (در صورت استفاده از آبیاری بارانی) و همچنین افزایش خاصیت خوردگی آب می‌گردد. لازم به ذکر است که با افزایش دوره مورد مطالعه مقدار شوری و SAR در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نیشابور کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به دلیل تغییر در زمان نمونه‌برداری و یا بارندگی و تغذیه مناسب در دشت باشد. به‌طوری‌که

جدول ۱ - حدود خوردگی و رسوب گذاری (کوبن، ۲۰۰۰)

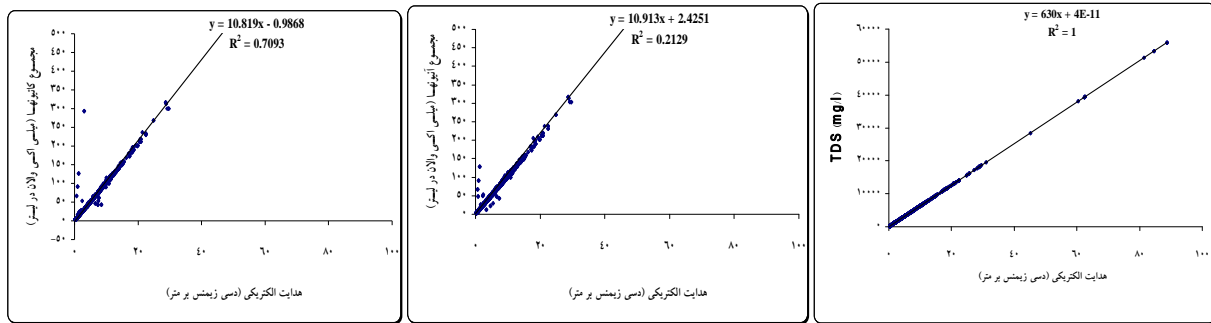
اندیس رایزتر		اندیس لارسون - اسکولد		اندیس لائزیرلر		اندیس پورگریس	
توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار
رسوب‌گذار	RSI < 6	خورنده	LS > 1.2	رسوب‌گذار	LSI > 0	رسوب‌گذار	POR < 6
خورنده	RSI > 6	رسوب‌گذار	LS < 1.2	خورنده	LSI < 0	خورنده	POR > 6

جدول ۲ - محدودیت میزان کلر برای آبیاری

یون	واحد	محدودیت		روش آبیاری
		کم تا متوسط	شدید	
کلر	Meq/l	۴-۱۰	< ۴	سطحی
				> ۲/۸۵

جدول ۳ - میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار مشخصات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور به تفکیک سال

پارامتر سال	SAR	Na%	Kation	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Anion	So <sub>4</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	Hco <sub>3</sub> (mg/l)	Co <sub>3</sub> (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	EC (μmhos/cm)
میانگین	۱۳/۳۵	۶۷/۳۷	۶۲/۰۲	۲/۳۹	۳۹/۲۴	۷/۴۸	۱۲/۸۹	۶۲/۱۲	۱۸/۹۲	۴۱/۰۶	۱/۵۲	۰/۰۶۹	۷/۹۱	۳۷۸۵/۷۵	۶۰۰۹/۱۳
حداکثر	۱۶/۱۴	۷۶/۰۶	۹۴/۲	۷/۷	۵۳	۲۵	۲۵/۴	۹۴/۵	۳۲/۹	۷۲	۴/۵	۰/۸	۸/۷	۵۷۶۴/۵	۹۱۵۰
حداقل	۵/۴۹	۵۲/۷۳	۲۵/۶	۰	۱۳/۵	۳	۲/۳	۲۵/۸	۷/۵	۱۳	۰/۸	۰	۷/۳	۱۵۰۵/۷	۲۳۹۰
انحراف معیار	۵/۵۹	۲۱/۸۴	۵۲/۴۹	۳/۴۶	۲۷/۴۸	۸/۳۱	۱۵/۶۱	۵۳	۷/۵۵	۶۰/۵۵	۱/۷	۰/۵۹	۰/۳۱	۴۰۳۱/۵	۶۳۹۹/۲
میانگین	۱۰/۸	۶۰/۷	۵۰/۷	۲/۱	۲۹/۸	۹/۸۸	۸/۹	۵۱	۱۴/۲	۳۳/۲	۳/۳	۰/۱۳	۷/۹	۳۱۵۱/۴	۵۰۰۲/۲۵
حداکثر	۲۶/۸	۹۶/۰۸	۱۵۹	۱۳/۹	۹۲/۸	۵۱/۸	۵۱/۶	۱۵۹/۸	۵۹/۹	۱۲۸/۸	۹	۶	۱۱/۸	۹۸۲۸	۱۵۶۰۰
حداقل	۰/۰۵	۱/۲۲	۲/۷	۰	۰/۱	۰/۲	۲/۸	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰	۰	۶/۸	۱۵۰/۵۷	۲۳۹
انحراف معیار	۶/۳۵	۲۱/۲۲	۴۲	۳/۲	۲۲/۶	۱۱	۱۰/۱۵	۴۲/۳	۱۰/۵۵	۴۴/۳	۱/۷	۰/۴۶	۰/۴۲	۲۶۰۵	۴۱۳۶



شکل ۲- رابطه بین هدایت الکتریکی با باقیمانده املاح، مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها

### نمودار ویل کاکس

برای سنجش کیفیت آب در کشاورزی به طور معمول از نمودار ویل کاکس استفاده می‌شود. این نمودار بر اساس مقدار SAR و EC، نمونه آب را به ۱۶ گروه تقسیم‌بندی می‌کند. در همین راستا به دلیل حجم بالای داده‌ها تنها درصد نمونه‌های هر کلاس را در سال مورد نظر در جدول ۴ آورده شده است. همانطور که مشخص است با گذشت زمان کیفیت آب‌های دشت نیشابور بدتر شده و درصد مربوط به کلاس C4S4 که بدترین کیفیت را دارد زیاد می‌گردد. لازم به ذکر است که اغلب منابع آبی زیرزمینی دشت نیشابور شوری بالایی داشته و در اغلب موارد در کلاس شوری بالا قرار دارند. ضمن اینکه نتایج نشان داد که شوری در قنات‌ها بیشتر از شوری آب چاه است، که دلیل آن عبور آب از مناطق شور در قنات می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده به دلیل شوری بالای آب‌های زیرزمینی دشت نمی‌توان از سیستم آبیاری بارانی به دلیل سوختگی سطح برگ‌ها در اغلب موارد استفاده نمود. ضمن اینکه برای آبیاری مناسب و جلوگیری از شور شدن خاک باید مقدار بیش‌تری آب برای لحاظ کردن جزء آبشویی در نظر گرفت، که این امر باعث مصرف بیش‌تر منابع آبی می‌گردد.

### شاخص نفوذ پذیری

در آبیاری سطحی آنچه نقش اساسی در طراحی و موفقیت سیستم ایفا می‌کند، تأثیر کیفی آب آبیاری بر نفوذپذیری خاک می‌باشد. از اینرو مقدار شاخص نفوذپذیری برای تمام نمونه‌ها و در طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ محاسبه گردید. محققین بیان داشتند که شوری باعث افزایش نفوذپذیری و مقدار SAR بالا باعث کاهش نفوذپذیری می‌گردد (علیزاده و خیابانی ۱۳۷۵).

بر این اساس روند تغییرات میانگین مقدار شاخص نفوذپذیری، EC و SAR در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است با گذشت زمان (از ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷) مقدار شاخص نفوذپذیری و SAR افزایش یافته است. آنچه مسلم است با گذشت زمان به دلیل افزایش مقدار SAR و سدیمی شدن آب مقدار نفوذپذیری کاهش می‌یابد، این امر به دلیل دیسپرس شدن ذرات خاک توسط سدیم موجود در آب آبیاری می‌باشد. در این شرایط روش‌های اصلاح خاک و یا حتی آب از طریق اضافه کردن گچ قابل توصیه است.

جدول ۴ - درصد نمونه‌های موجود در هر کلاس شوری و سدیم بر اساس نمودار ویل کاکس

سال	کلاس شوری و سدیم	درصد نمونه‌های این کلاس	سال	کلاس شوری و سدیم	درصد نمونه‌های این کلاس
۱۳۸۱	C4S1	۹۵	۱۳۸۵	C2S1	۲۰/۱۳
	C4S2	۰/۵		C2S2	۰/۶۴
	C2S1	۶/۷۶		C3S1	۱۴/۳۷
	C3S1	۱۲/۷۸		C3S2	۴/۶
۱۳۸۲	C3S2	۱/۵	۱۳۸۶	C4S1	۷/۳۴
	C4S2	۷۰/۶۷		C4S2	۴۸/۵
	C4S1	۴/۵		C4S4	۲/۵۵
	C4S4	۳/۷۶		C2S1	۴/۷
۱۳۸۳	C2S1	۱۷/۴۶	۱۳۸۷	C3S1	۳/۵
	C3S1	۱۲/۶۹		C3S2	۷/۰۵
	C3S2	۴/۹۸		C4S1	۶/۴۷
	C4S2	۴۱/۰۴		C4S2	۷۲/۹
	C4S1	۲۲		C4S4	۵/۳
	C4S4	۱/۸۱		C1S1	۰/۸۹
۱۳۸۴	C2S1	۱۷/۹۳	۱۳۹۱	C2S1	۱۴/۸
	C3S1	۱۵/۸۶		C3S1	۱۵/۲۴
	C3S2	۱/۳۸		C3S2	۷/۱۷
	C4S1	۷/۵۸		C4S1	۷/۶۲
	C4S2	۵۱/۷		C4S2	۵۰/۶۷
	C4S4	۵/۵۱		C4S4	۳/۱۳

### تغییرات شاخص کلر

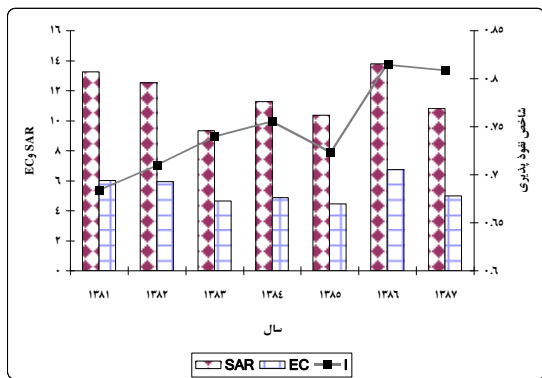
مقدار کلر موجود در آب آبیاری از لحاظ ایجاد سوختگی در برگ‌ها در صورت استفاده از سیستم آبیاری بارانی بسیار مهم است. چنانچه مقدار آن بیش‌تر از حد استاندارد باشد استفاده از سیستم بارانی منطقی نیست. شکل ۴ روند تغییرات میانگین مقدار کلر را در طی سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ در سطح آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور نشان می‌دهد. بر اساس استانداردهای موجود در جدول ۵ کیفیت آب از لحاظ کلر در آبیاری سطحی مشکلی ندارد. در مقابل کیفیت آب از لحاظ کلر برای گیاهان در آبیاری بارانی بیش از حد استاندارد است. لذا استفاده از سیستم آبیاری بارانی برای گیاهان حساس به کلر در دشت نیشابور قابل توصیه نیست.

### بررسی کیفیت آب‌ها از نظر استفاده در صنعت

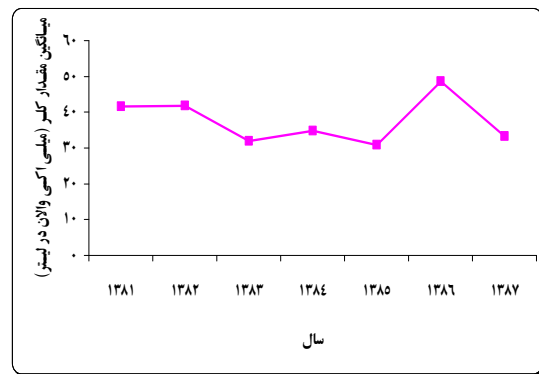
مقایسه هر چهار شاخص لانتزیلر، رایزنر، پوکوریوس و لارسون - اسکولد نشان می‌دهد تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با غالبیت رسوب‌گذاری وجود دارد (شکل ۵). ضمن اینکه رسوب‌گذاری در بستر لوله‌های انتقال آب به عنوان عامل منفی در کاهش سطح مقطع عمل می‌کند. در بررسی اولیه نتایج شاخص‌ها مشاهده گردید که تفاوت آشکاری بین نتایج حاصله از دو شاخص لانتزیلر و رایزنر با نتایج شاخص پوکوریوس وجود دارد. این

تفاوت آشکار ناشی از سرعت حرکت آب می‌باشد زیرا روش تعیین شاخص لانتزیلر وقتی اعتبار کامل دارد که آب ساکن بوده، یا سرعت آن حداکثر ۰/۶ متر در ثانیه باشد (پیشنمازی، ۱۳۷۷). با توجه به محدوده سرعت مجاز ۱-۲ متر در ثانیه در مجاری انتقال آب شاخص لانتزیلر برای ارزیابی خوردگی و رسوب‌گذاری مناسب نمی‌باشد. در این شرایط شاخص پوکوریوس و رایزنر (در pH کمتر از ۸) کاملاً مناسب می‌باشند. با توجه به مقادیر شاخص پوکوریوس بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب‌گذاری به ترتیب در چشمه‌ها و قنوات مشاهده می‌شود. با توجه به خوردگی بالا در نمونه‌ی آب قنات و رسوب‌گذاری در آب چشمه این منابع به ترتیب مناسب استفاده در صنعت و سیستم‌های آبیاری نمی‌باشند. نکته قابل توجه در نتایج حاصله، کمتر بودن نسبی مشکل رسوب‌گذاری در قنوات نسبت به سایر منابع است. به نظر می‌رسد سایر منابع آبی در مسیر حرکت خود به سمت محل برداشت، سبب حلالیت املاح خورنده و رسوب‌گذار می‌شوند. در حالی که در قنوات بخشی از مسیر جریان با نقب زدن به عنوان کوره قنات حذف می‌شود. با توجه به این موضوع طبیعی است که میزان املاح در قنوات کمتر از سایر منابع باشد. میانگین درصد خوردگی و رسوب‌گذاری محاسبه شده‌ی نمونه‌های آب زیرزمینی توسط شاخص‌های مورد بحث به تفکیک سال مورد بررسی در شکل ۶ آورده شده است.





شکل ۴ - میانگین کلردر سطح دشت

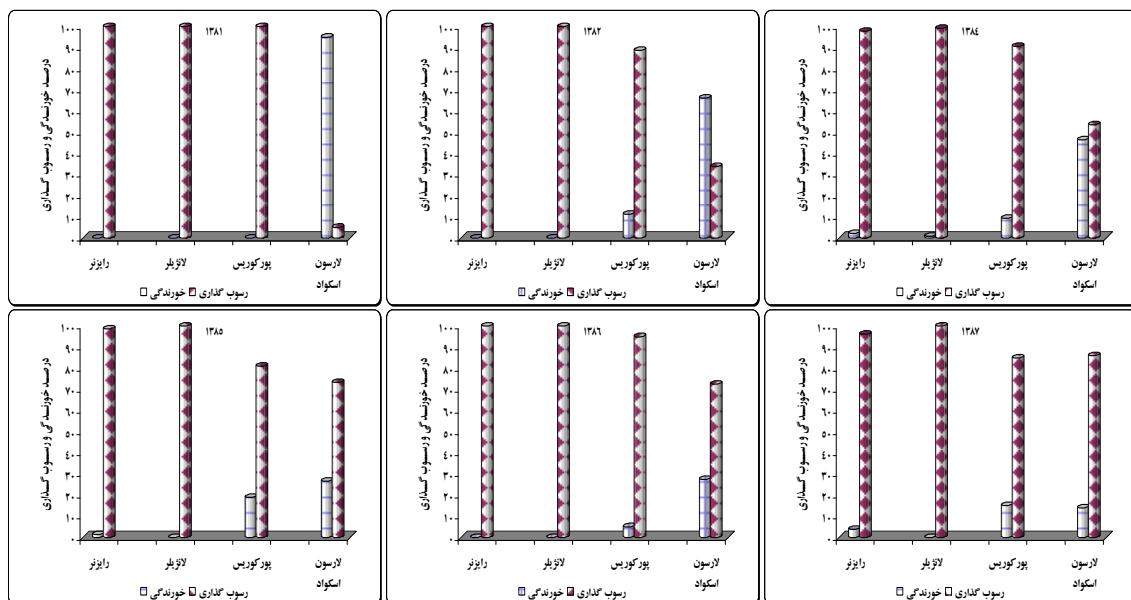


شکل ۳- شاخص نفوذپذیری، SAR و EC در سال‌های مورد مطالعه

بر اساس محدوده‌های توصیفی کوین (Kevin, 2000) منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور در محدوده توصیفی رسوب‌گذاری متوسط تا شدید به همراه خوردگی کم قرار دارد که خوردگی در واقع سبب شستشوی املاح رسوبی در بستر جریان می‌شود و مشکلی از نظر سوراخ کردن مسیر ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر این خوردگی با توجه به رسوب‌گذاری، مشکل خاصی را برای سیستم آبرسانی در کوتاه مدت ایجاد نمی‌کند.

یون‌هایی مثل کربنات، قادرند با تشکیل رسوب کربنات کلسیم، سرعت خوردگی را کاهش دهند (سید رضی، ۱۳۷۶). در این بین تأثیر میزان باقیمانده املاح (TDS) و بی‌کربنات کلسیم ( $HCO_3$ ) در رسوب‌گذاری از دیگر عوامل ایجاد رسوب بیشتر می‌باشد (نجفی‌مود و همکاران، ۱۳۸۵ و نادری، ۱۳۸۵).

نکته قابل تأمل در این شکل متفاوت بودن نتایج شاخص رایزنر با نتایج حاصل از شاخص پوکوریوس می‌باشد که این تفاوت ناشی از مقادیر بالای pH نمونه آب مورد مطالعه می‌باشد زیرا که عمده‌ترین دلیل آن، ناکارآمدی شاخص رایزنر در pH های بالا است. آب در pH بالاتر از ۸ یک حالت بافری پیدا می‌کند، که در این حالت رابطه صحیحی با قلیائیت نداشته و لذا در این شرایط شاخص رایزنر از اعتبار بالایی برخوردار نمی‌باشد (Shelden & Pukorius, 1984). بر اساس شاخص پوکوریوس در تمام سال‌ها به جز سال ۱۳۸۱ حدود ۱۳ درصد از نمونه‌ها مقدار اندیس پوکوریوس بیش‌تر از ۶ بوده که دارای پتانسیل خوردگی است (شکل ۵). همچنین بر اساس شاخص رایزنر و لانژیلر در ۱۰۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی تمایل به رسوب‌گذاری مشاهده گردید (شکل ۵).



شکل ۵ - درصد خوردگی و رسوب‌گذاری در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نیشابور



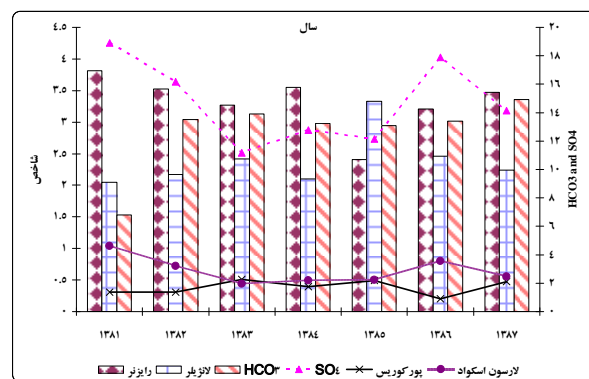
شاخص‌های رایزنر و پوکوریوس در pH بالای ۸ نمونه‌ی آب متفاوت از یکدیگر می‌باشد چنین نتیجه‌ای نیز از سوی پاکشیر و همکاران (۱۳۸۳) گزارش شده است. آنالیزهای شیمیایی نمونه آب زیرزمینی نیشابور نشان می‌دهد که نتایج شاخص پوکوریوس نسبت به دو شاخص لانژیلر و رایزنر دقیق‌تر است. رسوب‌گذاری در مسیر جریان کاهش سطح مقطع لوله‌ها را به دنبال دارد. این مساله ضمن افزایش افت، موجب اختلال در انتقال آب درون شبکه و لوله‌ها می‌شود. با توجه به آنالیزهای شیمیایی، آب قنات و چشمه به ترتیب مناسب استفاده در صنعت و سیستم‌های آبیاری نمی‌باشند. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور در محدوده متوسط تا شدید رسوب‌گذاری و خوردگی کم قرار دارد. لیکن رسوب‌گذاری در سیستم آبرسانی نسبت به خوردگی محسوس‌تر است که سبب کاهش سطح مقطع جریان شده و افت‌های مسیر را در پی دارد. کاهش سطح مقطع ناشی از رسوب‌گذاری و یا سوراخ شدن ناشی از خوردگی سبب افزایش هزینه‌های پمپاژ، انرژی و تعویض لوله‌های انتقال آب می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

همانگونه که اشاره شد در بین کاتیون‌ها عنصر سدیم دارای بیش‌ترین مقدار است، که ازدیاد آن در نهایت باعث کاهش نفوذپذیری می‌گردد. در بین آنیون‌ها نیز دو عنصر کلر و سولفات دارای بیش‌ترین مقدار بوده که می‌تواند اثرات نامطلوبی بر گیاه در صورت استفاده از سیستم آبیاری بارانی و همچنین افزایش خاصیت خوردگی آب می‌گردد. لازم به ذکر است که با افزایش دوره مورد مطالعه مقدار شوری و SAR در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت نیشابور کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به دلیل تغییر در زمان نمونه‌برداری و یا بارندگی و تغذیه مناسب در دشت باشد. به‌طوریکه نتایج داده‌های بارندگی حاکی از بارش‌های زیاد در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۵ می‌باشد. در همین دو سال مقدار میانگین هدایت الکتریکی کمتر از سال‌های دیگر می‌باشد که دلیل آن همانطور که در قبل ذکر شد وقوع بارندگی خوب بوده است. نتایج نشان داد که رابطه بین هدایت الکتریکی و باقیمانده املاح از همبستگی بسیار قوی برخوردار است. ضمن اینکه ضریب تبیین در رابطه بین هدایت الکتریکی با مجموع کاتیون و آنیون‌ها کمتر از ضریب تبیین بین رابطه هدایت الکتریکی و باقیمانده املاح است. شایان ذکر است که این ضریب برای آنیون‌ها بسیار کمتر از دو مورد دیگر است. دلیل این کاهش را می‌توان به نوع سنجش آنیون‌ها نسبت به کاتیون‌ها و همچنین سنجش نشدن تمام آنیون‌ها مربوط دانست به‌طوریکه سنجش آنیون‌ها بسیار مشکل‌تر و زمان‌برتر از کاتیون‌ها می‌باشد.

نتایج نشان داد که شوری در قنات‌ها بیش‌تر از شوری آب چاه

با توجه به اینکه تأثیر عوامل ایجاد خوردگی در مقابل اثر سولفات در ایجاد پتانسیل خوردگی نمونه آب بسیار ناچیز است (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵). به همین منظور برای ارزیابی نتیجه به دست آمده که مبنی بر رسوب‌گذاری و خوردگی آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با غالبیت رسوب‌گذاری می‌باشد، مقادیر شاخص‌های مورد بحث در مقایسه با مقادیر  $\text{SO}_4$  و  $\text{HCO}_3$  آب‌های زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ در شکل ۶ آورده شده است. نتایج حاصل از شکل-۶ های ذیل گویای همخوانی مقدار  $\text{SO}_4$  و  $\text{HCO}_3$  با میزان خوردگی رسوب‌گذاری است. با توجه به شکل ۶ شاخص پوکوریوس نسبت به شاخص رایزنر همخوانی بهتری با مقادیر TDS و  $\text{HCO}_3$  دارد. با توجه به شکل زیر مقادیر شاخص پوکوریوس دارای نسبت عکس با مقادیر  $\text{SO}_4$  می‌باشد. شکل زیر بیانگر درستی نتایج محاسبه شاخص پوکوریوس و تا حدودی شاخص لارسون اسکولد می‌باشد.



شکل ۶- روند تغییرات شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری در مقابل تغییرات  $\text{HCO}_3$  و  $\text{SO}_4$

باید متذکر شد که برای ارائه تصویر روشن‌تر از همبستگی بین پارامترها و شاخص‌ها مقدار ضریب همبستگی بین آن‌ها در جدول ۴-۴ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۵ نیز مشخص است بیش‌ترین ضریب همبستگی بین شاخص‌ها مربوط به لانژیلر و رایزنر (۰/۹۸) و لارسون اسکولد با پوکوریوس (۰/۷۷) است. در همین راستا بیش‌ترین ضریب همبستگی بین پارامترها ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ) و شاخص-ها (لانژیلر، پوکوریوس، رایزنر و لارسون) به ترتیب مربوط به پارامتر  $\text{SO}_4$  با شاخص‌های لارسون و پوکوریوس است. در مقابل کم‌ترین ضریب همبستگی نیز مربوط به شاخص رایزنر و پارامتر  $\text{HCO}_3$  می‌باشد. بر پایه‌ی بررسی‌های انجام شده در سطح آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب‌گذاری بر اساس شاخص پوکوریوس به ترتیب در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۵ مشاهده شد. تحقیقات نشان می‌دهد تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با غالبیت رسوب‌گذاری وجود دارد. نتایج حاصل از

مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.

حسینیان، م. ۱۳۶۷. روش‌های تعیین کیفیت خوردگی و رسوب‌گذاری. اولین کنگره ملی خوردگی ایران. دانشکده فنی. دانشگاه تهران

رضائی، پ. ۱۳۸۰. بررسی خوردگی و رسوب‌دهندگی آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت. فصل‌نامه آب و فاضلاب. شماره ۳۸. صص ۴۵-۴۱.

زارعی، ق.، نخجوانی مقدم، م. و ذالفقاران، ا. ۱۳۸۵. بررسی علل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در شرایط اقلیمی ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.

سواری، ج.، جعفرزاده، ن.، حسنی، ا.ح. و شمس خرم‌آبادی، ق. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات اندیس‌های خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز. دومین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.

علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۵۰ صفحه

علیزاده، ا. و خیابانی، ح. ۱۳۷۵. آبیاری قطره‌ای، چاپ سوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۵ صفحه.

غلام‌علی زاده، ه. ۱۳۸۶. کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری، چاپ دوم، انتشارات علوم کشاورزی، ۱۱۵ صفحه.

سیدرضی، س.م. ۱۳۷۶. کنترل خوردگی در صنایع، جلد اول، چاپ دوم، انجمن خوردگی ایران

کریم، م.، تکدستان، ا.، مسلم، ز. و جعفری گل، ف. ۱۳۸۷. بررسی خاصیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی اهواز با استفاده از ضریب لانتزیرلر و رایزنر. دومین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.

محو، ا. و اسلامی، ا. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت کیفی منابع تأمین و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان از نظر خوردگی و تشکیل رسوب در سال ۱۳۸۳. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۲۸، صص ۹۵-۹۰.

نادری، ن. ۱۳۸۵. سنجش تأثیر کیفیت آب بر کارایی سیستم خرد آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.

نجفی‌مود، م.ح.، منتظر، ع.ا. و بهدانی، م.ع. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در خراسان جنوبی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره اول، فروردین-اردیبهشت ۱۳۸۶. صص ۲۴-۱۱.

ولایتی، س. ۱۳۷۹. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات کیفی آب‌خانه

است، که دلیل آن عبور آب از مناطق شور در قنوات می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده به دلیل شوری بالای آب‌های زیرزمینی دشت نمی‌توان از سیستم آبیاری بارانی به دلیل سوختگی سطح برگ‌ها در اغلب موارد استفاده نمود. ضمن اینکه برای آبیاری مناسب و جلوگیری از شور شدن خاک باید مقدار بیش‌تری آب برای لحاظ کردن جزء آبشویی در نظر گرفت، که این امر باعث مصرف بیش‌تر منابع آبی می‌گردد. بر پایه‌ی بررسی‌های انجام شده در سطح آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب‌گذاری بر اساس شاخص پوکوریوس به ترتیب در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۵ مشاهده شد. تحقیقات نشان می‌دهد تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور با غلبه رسوب‌گذاری وجود دارد. آنالیزهای شیمیایی نمونه آب زیرزمینی نیشابور نشان می‌دهد که نتایج شاخص پوکوریوس نسبت به دو شاخص لانتزیرلر و رایزنر دقیق‌تر است. رسوب‌گذاری در مسیر جریان کاهش سطح مقطع لوله‌ها را به دنبال دارد. این مساله ضمن افزایش افت، موجب اختلال در انتقال آب درون شبکه و لوله‌ها می‌شود. با توجه به آنالیزهای شیمیایی، آب قنات و چشمه به ترتیب مناسب استفاده در صنعت و سیستم‌های آبیاری نمی‌باشند. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور در محدوده متوسط تا شدید رسوب‌گذاری و خوردگی کم قرار دارد. لیکن رسوب‌گذاری در سیستم آبرسانی نسبت به خوردگی محسوس‌تر است.

## منابع

ایزدی، ع. ۱۳۸۷. کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت نیشابور)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

پاکشیر، م.، معلم، ع.، نظربلند، ع.ع. و عباسی، ش. ۱۳۸۳. محدودیت‌های شاخص‌های میزان خوردگی و رسوب‌گذاری آب در سیستم‌های صنعتی. فصل‌نامه آب و فاضلاب. شماره ۵۱. صص ۶۵-۶۰.

پورزمانی، ح. و همکاران. ۱۳۸۴. بررسی کیفیت منابع آب شرب از نظر خورنده بودن در شهرک صنعتی اشترجان اصفهان همایش بهداشت محیط کشور، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

پیش‌نمازی، س.ا. ۱۳۷۷. نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع. انتشارات اردکان اصفهان.

توسلی، م. ۱۳۷۹. تامین آب شرب شهر اصفهان، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، ۱۷۰ص.

جعفرزاده، ن.، سواری، ج.، حسنی، ا.ح. و شمس خرم‌آبادی، ق. ۱۳۸۷. تعیین خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز با کاربرد شاخص (EPA) قانون سرب و مس. اولین همایش تخصص

- protozoa and performance of drip irrigation. Transactions of the ASAE. 48(2): 519-527.
- Freeze, R. A. and J. A. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA, 604p.
- Horfar, A. 1996. Principal of corrosion technology. Center of University Publication.
- Kevin, R. 2000, Scaling in geothermal heat pump systems, PP 11-15.
- Nakayama, F.S and Bucks, D.A. 1991. Water quality in drip, trickle irrigation: A review. J. Irri. Drain. Eng. 12,4: 187-192.
- Puchorius, P.R and Broke, J.M. 1991. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower system. Corrosion. 47,4:280-284.
- Shelden and Pukorius. 1984. Cooling Water Treatment for Control of Scaling Fouling Corrosion. Power pup.
- You, S.H., Tseng, D.H and Guo, G.L. 2001. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry Resources. Conservation and Recycling J. 32(1): 73-81.
- Valenza, A., Grillot, J.C and Dazy, J. 2000. Influence of groundwater on the degradation of irrigation soils in a semi-arid region, the inner delta of the Niger River, Mali. Hydrogeology Journal, 8:417-429.
- دشت نیشابور. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۵
- یزدانی، و. بانژاد، ح و میرزایی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی آب‌های زیرزمینی دشت بهار-همدان از نظر خوردگی و رسوب‌گذاری. مجله مهندسی منابع آب، سال دوم، ۵۷-۶۸.
- یزدانی، و. بانژاد، ح. ۱۳۸۸. سنجش امکان استفاده از آب‌های سطحی در کشاورزی و صنعت (مطالعه موردی ساوه)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.
- American Society for testing and Materials. 1995. Annual book of ASTM standard. Water and environmental technology. Public Editor. Vol. 1102. Philadelphia.
- Ayers R.S. and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1. FAO, Rome. 174pp
- I-Rawajfeh, A.E and Al-Shamaileh, E.M. 2007. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. Desalination J. 206,1-3: 322-332.
- Al-Rawajfeh, A.E., Glade, H and Ulrich, J. 2005. Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO<sub>2</sub> release. Desalination J. 182,1-3: 209-219.
- Dehghanisani, H., Yamamoto, T., Ould Ahmad, B., Fujiyama, H and Miyamoto, K. 2005. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and

## Investigation of Groundwater Resource Quality Change on Agriculture and Technology (Case study: The Plain of Neyshabour)

A.Hoseinsarbazy<sup>1</sup>, K.Esmaili<sup>2</sup>

Received: Sep.4,2013 Accepted: Feb.26,2014

### Abstract

Since 99% of the freshwater resources of intense groundwater, these are necessary to understand and optimize utilization of them. On this basis because of the importance of water resources, the quality of groundwater in the plain of Nishabur during 1381 to 1387 was evaluated. The results show that Na, Cl, and sulfate, respectively, the highest rates are among the cations and anions and water quality gradually decreases. Percentage of  $CaSO_4$  class that has the worst quality also increases. It should be noted that most of the groundwater has a high salt plains Nishabur and often have high salinity class. The results showed that the salinity of water aqueduct is higher than wells water and sprinkler system cannot be used in most cases due to leaf blight. Also minimum and maximum sedimentation base on Puchorius scale Index have been done in 2002 and 2007 year respectively. There is the dominant sedimentation in aquifer Neyshabur. As it that shows the Puchorius index is more accurate than Langlier and Raisener.

**Keyword:** water quantity, groundwater Resource, Langlier and Raisener index

---

1- Master Science Graduated in Hydraulic Structure, Azad University

2- Associate Professor, water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

(\*-Corresponding Author Email: Esmaili@Ferdowsi.um.ac.ir)