

## بررسی روند تغییرات زمانی شاخص‌های کیفی آب آبیاری در رودخانه شیرین دره، شمال شرق ایران

مریم تاج بخشیان<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>، محمدحسین محمودی قرائی<sup>۳</sup>، سید رضا موسوی حرمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، maryam.tajbakhshian@mail.um.ac.ir

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، mosaedi@um.ac.ir

۳- استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، mhmgaraie@um.ac.ir, moussavi@um.ac.ir

### چکیده

در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های مختلفی به بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب رودخانه شیرین دره طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۷ (شمال شرق ایران) در محل دو ایستگاه قتلش و قلعه بربر جهت آبیاری زمین با استفاده از شاخص‌های پتانسیل شوری، نسبت جذب سدیم، نسبت *Kelley*، کرنات و بیکرنات سدیم باقیمانده، خطر منیزیم و نمودار *Wilcox* پرداخته شد. شاخص پتانسیل شوری کیفیت خوب تا غیر قابل قبول، شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت *Kelley*، کرنات و بیکرنات سدیم باقیمانده کیفیت خوب، و شاخص خطر منیزیم کیفیت‌های مناسب و نامناسب را در هر دو ایستگاه نشان داد و براساس نمودار *Wilcox* نیز بیشتر نمونه‌های آب در هر دو ایستگاه کیفیت متوسطی جهت آبیاری زمین داشتند. بررسی روند تغییرات شاخص‌های کیفی مورد مطالعه براساس آزمون *Mann-Kendall* نشان داد شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت *Kelley* و کرنات سدیم باقیمانده در طی دوره آماری مورد مطالعه افزایش معنی‌داری داشته که به دلیل افزایش غلظت یون‌های سدیم، کرنات و بیکرنات نسبت به یون‌های کلسیم و منیزیم در نتیجه رهاسازی آن‌ها از سازندهای دربرگیرنده خود می‌باشد. هم‌چنین، شاخص خطر منیزیم کاهش معنی‌داری داشت که عمدتاً به دلیل افزایش غلظت یون کلسیم نسبت به یون منیزیم در طی زمان و در نتیجه واکنش بین آب و سازندهای حاوی این یون می‌باشد. بنابراین، زمین‌شناسی منطقه و نوع سازندهای رخنمون یافته را می‌توان یکی از عوامل زیست محیطی عمده در کنترل نرخ ورود یون‌ها به داخل آب و در نتیجه کیفیت آب برای آبیاری زمین در نظر گرفت.

**کلمات کلیدی:** رودخانه شیرین دره؛ نسبت جذب سدیم؛ خطر منیزیم؛ کشاورزی؛ نمودار *Wilcox*

## ۱. مقدمه

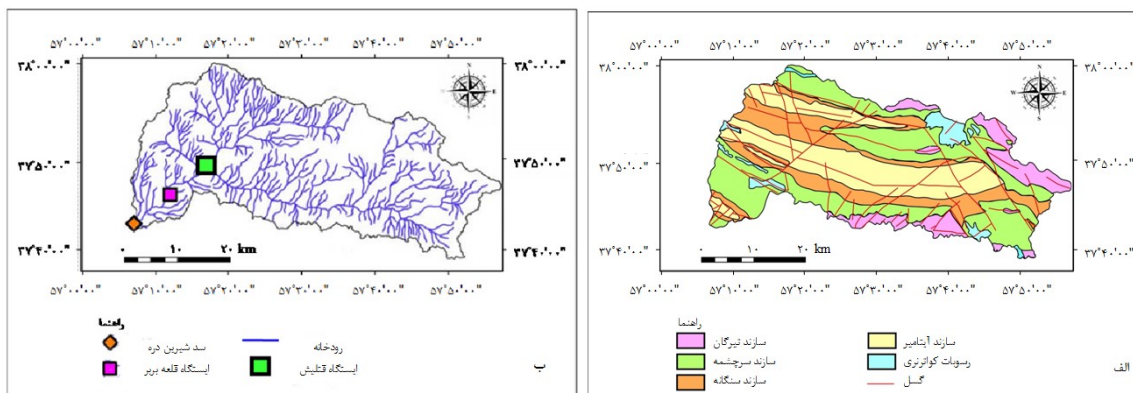
در مباحث کشاورزی، وجود منابع کافی آب با کیفیت بالا و مطلوب یکی از شاخصه‌های ضروری محسوب می‌شود. کیفیت بالای آب در به حداکثر رساندن تولید محصولات کشاورزی و تأمین منابع با کیفیتی از مواد غذایی برای استفاده انسان و سایر موجودات بسیار حیاتی است. کیفیت آب کشاورزی تا حد زیادی به عواملی چون منبع آب، نوع ذخیره و نحوه توزیع آن بستگی دارد (Abdel-Fattah et al., 2020). ذخیره آب در مخازن سدها، به دلیل تبخیر و افزایش غلظت نمک‌های نامحلول منجر به کاهش بسیار مشخصی در کیفیت آب می‌شود. از طرفی چرای دام‌ها و وجود صنایع بالادستی که آب‌های زائد حاصل از فعالیت خود را به داخل آب‌های سطحی و یا زیرزمینی رها می‌کنند نیز می‌تواند به سادگی منجر به کاهش کیفیت آب در پشت سدها شود. مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف با دریافت مقادیر قابل توجهی از مواد آلی، کودهای حیوانی و شیمیایی در معرض خطر جدی کاهش کیفیت آب قرار دارند (Nagy-Kovács et al., 2019). به طور کلی، آبیاری به معنای توزیع آب بر روی زمین جهت نفوذ در خاک برای استفاده گیاهان و تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. با اینکه تنها ۱۵ درصد از زمین‌های کشاورزی در سطح جهان آبیاری می‌شوند و ۸۵ درصد باقیمانده تحت کشت دیم قرار دارند، بیش از نیمی از محصولات کشاورزی مورد استفاده در تأمین مواد غذایی از این زمین‌های آبی به دست می‌آید که خود نشان‌دهنده اهمیت و نقش کیفیت آب آبیاری در بخش کشاورزی است. نزولات آسمانی مانند برف و باران، آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها، مخازن سدها، دریا، دریاچه‌ها و یخچال‌ها، و آب‌های زیرزمینی مانند چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها از منابع عمده تأمین آب آبیاری محسوب می‌شوند. آبیاری اصولی و مدیریت شده زمین‌های کشاورزی منجر به افزایش کمی و کیفی محصولات و افزایش سود حاصل از آن‌ها و همچنین ایجاد فرصت‌های شغلی جدید می‌شود. در صورتی که عملیات آبیاری در منطقه‌ای خارج از چارچوب‌های علمی و اصولی انجام شود تبعاتی مانند فرسایش شدید خاک، شور و قلیایی شدن خاک، باتلاقی شدن زمین‌های کشاورزی و در نهایت تخریب کامل آن‌ها و خسارات جبران‌ناپذیر اقتصادی را به همراه دارد (Wallace, 2000; Osman, Ferrari, & McDonald, 2016).

سد شیرین دره در سال ۱۳۸۴ جهت تأمین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی نواحی پایین دست، تأمین آب آشامیدنی شهرستان بجنورد (واقع در ۶۵ کیلومتری جنوب غرب سد) و همچنین کنترل سیلاب‌های ناشی از رودخانه شیرین دره بر روی این رودخانه احداث گردید. در سطح منطقه مورد مطالعه در مجموع ۹۵۷۷ هکتار زمین‌های کشاورزی وجود دارد که ۳۷۷۵ هکتار آن به صورت آبی و بقیه (۵۸۰۲ هکتار) به صورت دیم کشت می‌شوند. فعالیت‌های کشاورزی بر روی زمین‌های زراعی به طور عمده به صورتی است که کشاورزان بر روی زمین خود کار می‌کنند که در حدود ۹۰ درصد کل خانوارهای ساکن در منطقه را تشکیل می‌دهند. همچنین، کشاورزانی نیز هستند که فاقد زمین بوده و بر روی زمین دیگران به صورت اجاره‌ای کار می‌کنند. عمده محصولات زراعی در منطقه مورد مطالعه شامل گندم، جو، پنبه، برنج، حبوبات، جالیز و باغات می‌باشد. عمده کاربری زمین در حوضه آبریز مورد مطالعه نیز شامل زمین‌های کشاورزی است که به دو رده زمین‌های کشاورزی دیم و آبی تقسیم‌بندی می‌شوند. به دلیل غلبه آب و هوای نیمه‌خشک در منطقه مورد مطالعه و عدم وجود منابع آب قابل توجه، عمده زمین‌های کشاورزی به روش دیم کشت می‌شوند و زمین‌های کشاورزی آبی محدود به حاشیه رودخانه‌های اصلی و به ویژه اطراف محل سد می‌باشند. باغ‌ها و تاکستان‌ها نیز وسعت بسیار کمی در منطقه دارند و مانند زمین‌های کشاورزی آبی اطراف رودخانه‌های اصلی محدود شده‌اند. بنابراین، با توجه به اینکه کشاورزی از مهم‌ترین منابع درآمد ساکنین

منطقه بوده، تعیین کیفیت منابع آبی که به مصارف کشاورزی اختصاص یافته‌اند از جهت تأثیر بر بازده محصولات کشاورزی و همچنین سلامتی و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد.

## ۲. روش مطالعه

در این مطالعه به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه شیرین دره برای مصارف کشاورزی از داده‌های کیفی نمونه‌های آب برداشت شده از ایستگاه‌های قتلیش و قلعه بربر (به ترتیب ۱۴۰ و ۱۲۸ نمونه آب برداشت شده در طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۷۴) به ترتیب واقع در ۱۶ و ۸ کیلومتری بالادست سد شیرین دره توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی استفاده شد (شکل ۱-ب). شاخص‌های کیفی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب برداشت شده شامل هدایت الکتریکی، و غلظت یون‌های سولفات، کلراید، کربنات، بیکربنات، سدیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد. از شاخص‌های مختلفی شامل پتانسیل شوری<sup>۱</sup>، نسبت جذب سدیم<sup>۲</sup>، نمودار Wilcox، نسبت Kelley، کربنات و بیکربنات سدیم باقیمانده<sup>۳</sup> و خطر منیزیم<sup>۴</sup> جهت تعیین کیفیت آب آبیاری استفاده شد که در ادامه به شرح مختصری از این شاخص‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۱- (الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه؛ (ب) شبکه آبراهه‌های اصلی و موقعیت سد شیرین دره و ایستگاه‌های قتلیش و قلعه بربر در منطقه مورد مطالعه

## ۲-۱- شاخص‌های کیفیت آب آبیاری

### ۲-۱-۱- پتانسیل شوری

شوری آب به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم بر روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. از اثرات مستقیم شوری بر روی گیاهان می‌توان به کاهش جذب آب اشاره کرد که در شرایط شوری بالا گیاه قادر به جذب آب نخواهد بود در نهایت پژمرده خواهد شد. از دیگر عواقب شوری آب آبیاری سمیت یون‌هایی مانند سدیم، کلراید و بور است که با بروز علائمی مانند کوچک شدن برگ‌ها و سوختگی حاشیه آن‌ها همراه است. اختلال در جذب مواد غذایی و از هم

<sup>۱</sup> Potential salinity (PS)

<sup>۲</sup> Sodium adsorption ratio (SAR)

<sup>۳</sup> Residual sodium carbonate and bicarbonate (RSC and RSBC)

<sup>۴</sup> Magnesium hazard (MH)

پاشیدگی ساختار خاک نیز از جمله اثرات غیر مستقیم شوری بالا در آب آبیاری به شمار می‌رود (Sarkar & Islam, 2019; Wang et al., 2021). بر طبق تعریف، پتانسیل شوری به غلظت یون‌های سولفات و کلراید وابسته است و براساس رابطه ۱ به دست می‌آید که در آن غلظت‌ها براساس میلی اکوی والان بر لیتر است (Ogunfowokan, Obisanya JF, & Ogunkoya, 2013). در جدول ۱ تقسیم بندی نمونه‌های آب مورد مطالعه و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی براساس این شاخص ارائه شده است.

$$PS = Cl^{-} + \frac{1}{2}SO_4^{2-} \quad (1)$$

### ۲-۱-۲- نسبت جذب سدیم

سدیم از جمله یون‌هایی است که نسبت به سایر یون‌های محلول در آب اهمیت بالاتری در جهت تعیین کیفیت آب آبیاری دارد. آبی با محتوای سدیم بالا نفوذپذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که سدیم جانشین کلسیم و منیزیم جذب شده بر روی سطح کانی‌های رسی خاک شده و موجب از هم پاشیدگی و اختلال در ساختار طبیعی خاک می‌شود (Singh, Tewari, & Kumar, 2020). این موضوع به این دلیل اتفاق می‌افتد که اگر کلسیم و منیزیم کاتیون‌های غالب جذب شده بر روی سطوح تبادل در خاک باشند، خاک به سهولت کشت شده و بارور می‌شود و ساختاری پایدار و دانه‌ای خواهد داشت و با حضور یون‌های سدیم این روند دچار اختلال می‌شود. هنگامی که خاک تجزیه و از هم پاشیده شد در صورت خشک بودن محیط، سخت و فشرده خواهد شد و در نتیجه نرخ نفوذ آب و هوا به داخل خاک کاهش می‌یابد که به شدت بر روی باروری و تولید محصولات کشاورزی اثرگذار است. از دیگر تبعات حضور محتوای سدیم بالا در آب آبیاری می‌توان به ایجاد پوششی بر روی دانه‌ها، اشباع موقتی خاک سطحی، pH بالا، تسریع فرسایش خاک، کمبود اکسیژن در خاک، در دسترس پذیری ناکافی مواد غذایی برای گیاهان و افزایش رشد علف‌های هرز در زمین‌های کشاورزی اشاره نمود (Sheikh et al., 2017). نسبت جذب سدیم غلظت نسبی یون سدیم را در برابر غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم اندازه می‌گیرد و براساس رابطه ۲ به دست می‌آید که در آن غلظت‌ها بر حسب میلی اکوی والان بر لیتر است (Richards, 1954). در جدول ۱ تقسیم بندی نمونه‌های آب مورد مطالعه و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی براساس این شاخص ارائه شده است.

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2)$$

### ۳-۱-۲- نسبت Kelley

این نسبت نیز مانند نسبت جذب سدیم به بررسی خطر حضور یون سدیم در آب کشاورزی می‌پردازد. در این شاخص از نسبت میان غلظت یون سدیم به مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم براساس میلی اکوی والان بر لیتر استفاده شده که معادله آن به صورت رابطه ۳ است (Kelley, 1963). در جدول ۱ تقسیم بندی نمونه‌های آب مورد مطالعه و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی براساس این شاخص ارائه شده است.

$$KR = \frac{Na^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (3)$$

### ۴-۱-۲- کربنات و بی‌کربنات سدیم باقیمانده

وجود غلظت‌های بالایی از یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری باعث کاهش کیفیت آن می‌شود. هنگامی که خاک توسط آبی با محتوای بالای یون‌های کربنات و بی‌کربنات آبیاری شود این یون‌ها به همراه کلسیم و منیزیم به

صورت کربنات کلسیم و یا کربنات منیزیم رسوب خواهند کرد. در نتیجه غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم نسبت به سدیم کاهش یافته، اما نسبت جذب سدیم افزایش می‌یابد. این فرآیند قلیایی شدن خاک نام دارد که افزایش pH خاک یکی از پیامدهای نامطلوب آن است. سدیمی شدن خاک و ایجاد اختلال در جذب عناصر ضروری برای رشد گیاهان مانند آهن و روی نیز از دیگر اثرات مخرب آبیاری زمین با آب‌های با محتوای بالای کربنات و بیکربنات می‌باشد (Naseem, Hamza, & Bashir, 2010). کربنات و بیکربنات سدیم باقیمانده شاخص‌هایی هستند که در آن از غلظت یون‌های کربنات، بیکربنات، کلسیم و منیزیم جهت ارزیابی خطر ناشی از حضور یون‌های کربنات و بیکربنات استفاده می‌شود و براساس روابط ۴ و ۵ به دست می‌آیند که در آن غلظت‌ها بر حسب میلی اکوی والان بر لیتر است (Richards, 1954; Eaton, 1950). در جدول ۱ تقسیم بندی نمونه‌های آب مورد مطالعه و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی براساس این شاخص‌ها ارائه شده است.

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۴)$$

$$RSC = HCO_3^- - Ca^{2+} \quad (۵)$$

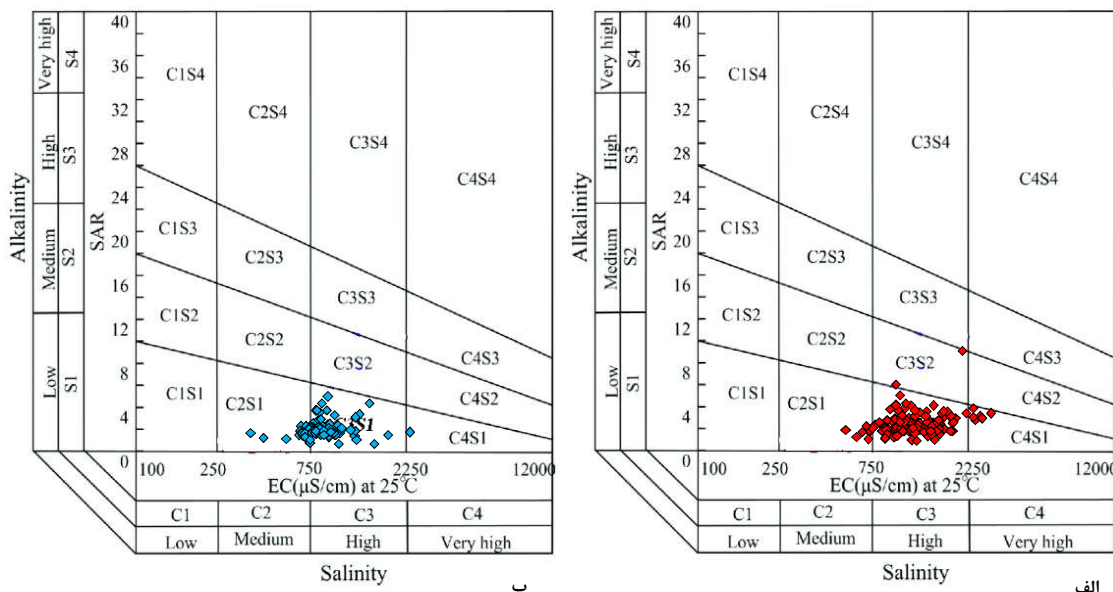
### ۲-۱-۵- خطر منیزیم

یون منیزیم برای رشد گیاهان بسیار حیاتی است اما ممکن است در غلظت‌های بالا سبب کلوخه شدن و شکنندگی ذرات خاک شود. آبی حاوی مقادیر یون منیزیم بیش از ۱۰ میلی اکوی والان بر لیتر برای مصارف کشاورزی مناسب نیست. در واقع استفاده از آبی با محتوای بالای یون منیزیم برای آبیاری گیاهان سبب می‌شود بازده محصولات کشاورزی به طور چشمگیری کاهش یابد که در اثر کمبود کلسیم ناشی از اثرات حضور یون منیزیم می‌باشد (Karakus & Yildiz, 2020). خطر منیزیم کیفیت آب آبیاری را با توجه به غلظت یون منیزیم ارزیابی می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید که در آن غلظت‌ها بر حسب میلی اکوی والان بر لیتر است (Raghnath, 1987). در جدول ۱ تقسیم بندی نمونه‌های آب مورد مطالعه و تعیین کیفیت آن‌ها برای مصارف کشاورزی براساس این شاخص ارائه شده است.

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (۶)$$

علاوه بر شاخص‌هایی که به آن‌ها اشاره شد از نمودار Wilcox نیز که یکی از روش‌های ترسیمی تعیین کیفیت آب کشاورزی به شمار می‌رود به وفور در مطالعات مرتبط با این موضوع استفاده می‌شود. Wilcox در سال ۱۹۴۸ با تلفیق دو شاخص هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم نموداری را ارائه داد که براساس آن می‌توان به کیفیت آب کشاورزی پی برد (Wilcox, 1948) (شکل ۲). در این نمودار میزان هدایت الکتریکی آب کشاورزی در چهار رده شوری کم (C1)، شوری متوسط (C2)، شوری زیاد (C3) و شوری خیلی زیاد (C4) تقسیم شده که با در نظر گرفتن میزان نسبت جذب سدیم، ۱۶ رده مختلف از منابع آبی ارائه می‌شود. آب‌های خیلی خوب در رده CIS1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب مربوط به یکی از رده‌های C2S1، C2S2 و C1S2 هستند. آب‌هایی با کیفیت متوسط در یکی از رده‌های C2S3، C3S1، C3S2، C3S3 و C1S3 قرار می‌گیرند. آب‌هایی با کیفیت نامناسب نیز مربوط به یکی از رده‌های C2S4، C3S4، C4S1، C4S2، C4S3 و C1S4 می‌شوند. این نمودار برای منابع آبی مورد مطالعه ترسیم و در شکل ۲ نشان داده شده است.





شکل ۲- نمودار Wilcox ترسیم شده برای نمونه‌های آب مورد مطالعه؛ (الف) ایستگاه قتلش، (ب) ایستگاه قلعه بربر

## ۲-۲- بررسی روند زمانی تغییرات شاخص‌های کیفیت آب آبیاری

در مطالعه حاضر جهت تشخیص تغییرات زمانی شاخص‌های کیفیت آب آبیاری که با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۶ برای منابع آب مورد مطالعه به دست آمد از آزمون Mann-Kendall استفاده شد (Mann, 1945; Kendall, 1975). اساس این آزمون بر محاسبه آماره آزمون  $Z_s$  قرار دارد، به طوری که اگر این آماره مقداری مثبت داشته باشد روندی افزایشی و اگر مقداری منفی داشته باشد روندی کاهشی را در طی زمان می‌توان برای شاخص‌های مورد مطالعه در نظر گرفت. در این مطالعه از ماکرواکسل MAKESENS جهت انجام آزمون Mann-Kendall استفاده شد. برای سال‌هایی که چندین اندازه‌گیری کیفی برای نمونه‌های آب انجام شده بود میانگین هر شاخص مورد مطالعه در نظر گرفته شد. علاوه بر تعیین روند شاخص‌های کیفی آب آبیاری با استفاده از آزمون Mann-Kendall، روند این شاخص‌ها در طی دوره آماری مورد مطالعه با روش ساده و با استفاده از ضریب تعیین  $(R^2)$  در محیط نرم افزار 2019 Excel نیز انجام شد و نتایج آن با نتایج حاصل از آزمون Mann-Kendall مقایسه گردید.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های کیفی آب آبیاری در دو ایستگاه قتلش و قلعه بربر در جدول ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های آب ایستگاه قتلش از نظر پتانسیل شوری و خطر شوری بالا در آب کشاورزی در محدوده مضر تا غیر قابل قبول قرار دارند به طوری که بیشترین درصد (۴۲/۰۲ درصد) این نمونه‌های آب در این رده طبقه‌بندی شده‌اند. برای ایستگاه قلعه بربر بیشتر نمونه‌های آب از نظر شاخص پتانسیل شوری در محدوده خوب تا مضر (۶۸/۷۵ درصد) طبقه بندی شده‌اند. شاخص نسبت جذب سدیم و نسبت Kelley که به بررسی خطرات ناشی از حضور مقادیر بالای یون سدیم در آب کشاورزی می‌پردازند در درصد بالایی از نمونه‌های آب مورد مطالعه در هر دو ایستگاه به ترتیب در محدوده‌های عالی و مناسب قرار دارند. حضور یون‌های کربنات و بی‌کربنات در

آب کشاورزی که یکی از شاخص‌های تعیین کننده کیفیت آب می‌باشد خطر جدی محسوب نمی‌شود و در هر دو ایستگاه بیشتر نمونه‌های آب در رده خوب قرار دارند. خطر منیزیم در ایستگاه قتلش هر دو رده مناسب و نامناسب را در درصدهای تقریباً مساوی از نمونه‌های آب نشان داده و در ایستگاه قلعه بربر در هر دو رده ۵۰ درصد از نمونه‌های آب به طور مساوی از نظر خطر حضور یون منیزیم قرار دارند.

جدول ۱- نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های کیفی آب کشاورزی برای نمونه‌های آب مورد مطالعه

درصد نمونه‌های آب در هر رده		کیفیت آب کشاورزی	طبقه بندی	شاخص کیفی
ایستگاه قلعه بربر	ایستگاه قتلش			
۲۰/۳۱	۵/۳۱	عالی تا خوب	۳ <	پتانسیل شوری
۶۸/۷۵	۳۶/۷۱	خوب تا مضر	۳-۵	
۱۰/۹۴	۴۲/۰۲	مضر تا غیر قابل قبول	۵ >	
۳/۸	۶/۲۶	میانگین		
۱۰۰	۱۰۰	عالی	۱۰ <	نسبت جذب سدیم
۰	۰	خوب	۱۰-۱۸	
۰	۰	مشکوک	۱۸-۲۶	
۰	۰	نامناسب	۲۶ >	
۱/۷۷	۲/۳۹	میانگین		
۹۶/۸۸	۹۵/۶۶	مناسب	۱ ≤	نسبت Kelley
۳/۱۲	۴/۳۴	نامناسب	۱ >	
۰/۵	۰/۵۸	میانگین		
۱۰۰	۱۰۰	خوب	۱/۲۵ <	کربنات سدیم باقیمانده
۰	۰	مشکوک	۱/۲۵-۲/۵	
۰	۰	نامناسب	۲/۵ >	
-۲/۵۶	-۴/۸۹	میانگین		
۶۴/۰۶	۷۷/۳	خوب	۱/۲۵ <	بیکربنات سدیم باقیمانده
۳۰/۴۶	۱۸/۸۴	مشکوک	۱/۲۵-۲/۵	
۵/۴۸	۳/۸۶	نامناسب	۲/۵ >	
۰/۸۱	-۰/۱۱	میانگین		
۵۰	۴۳/۴۷	مناسب	۵۰ <	خطر منیزیم
۵۰	۵۶/۵۳	نامناسب	۵۰ ≥	
۵۲/۲۳	۵۴/۲۴	میانگین		

براساس نمودار Wilcox (شکل ۲) درصد بالایی از نمونه‌های آب مورد مطالعه در هر دو ایستگاه در رده C3S1 و پس از آن به ترتیب در رده‌های C2S1 و C4S1 قرار می‌گیرند. این موضوع نشان می‌دهد که نمونه‌های آب از نظر میزان قلیائیت که با شاخص SAR در این نمودار مورد سنجش قرار می‌گیرد کیفیت بسیار خوبی دارند که منجر به قرارگیری تمام نمونه‌های آب در رده S1 شده است. اما آنچه کیفیت خوب تا متوسطی را برای نمونه‌های آب مورد مطالعه نشان می‌دهد مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در آن‌ها می‌باشد. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقدار هدایت الکتریکی در بیشتر نمونه‌ها بیشتر از  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$  است که منجر به قرارگیری بیشتر آن‌ها در رده C3 می‌شود. بنابراین، درصد بالایی از نمونه‌های آب در رده C3S1 که نشان دهنده کیفیت متوسطی برای آب کشاورزی می‌باشد قرار می‌گیرند.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون Mann-Kendall برای نمونه‌های آب مورد مطالعه

ایستگاه قلعه بربر		ایستگاه قتلش		شاخص کیفی
سطح اطمینان (درصد)	$Z_s$	سطح اطمینان (درصد)	$Z_s$	
-	۰/۹۹	-	۰/۵۷	پتانسیل شوری
-	-۰/۰۲	۹۵/۰۰	۲/۵۵	نسبت جذب سدیم
-	-۰/۱۷	۹۹/۰۰	۲/۸۵	نسبت Kelley
-	۰/۰۵	۹۰/۰۰	۱/۹۱	کربنات سدیم باقیمانده
-	-۱/۵۱	-	-۰/۴۷	بیکربنات سدیم باقیمانده
۹۵/۰۰	-۲/۴۶	۹۹/۹۰	-۴/۱۴	خطر منیزیم

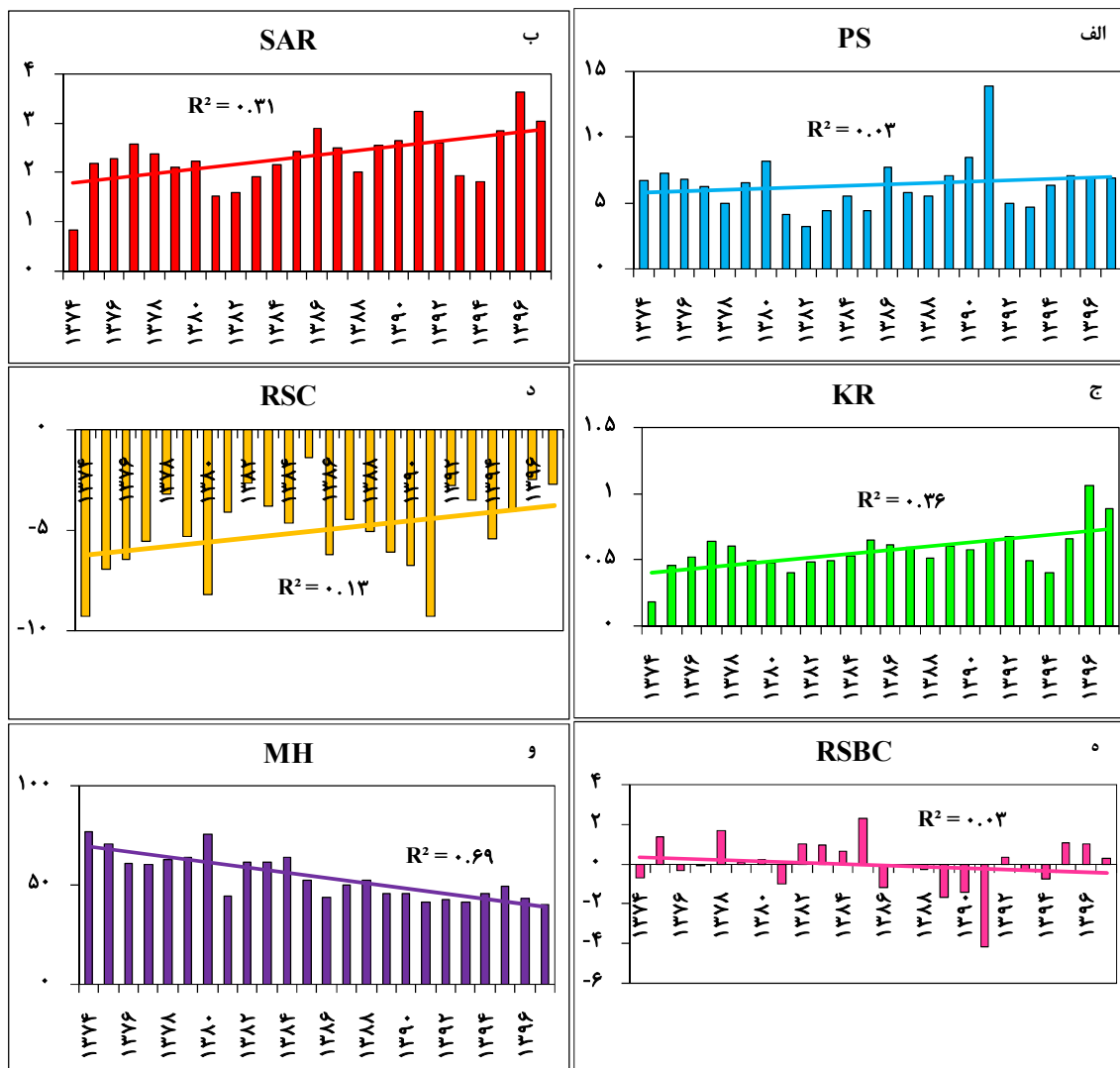
همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در ایستگاه قتلش روند تغییرات شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت Kelley و کربنات سدیم باقیمانده روندی صعودی و رو به افزایش به ترتیب در سطوح اطمینان ۹۵، ۹۹ و ۹۰ درصد می‌باشد. برای خطر منیزیم روندی نزولی و در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد تشخیص داده شد و برای بیکربنات سدیم باقیمانده نیز روندی مشاهده نشد. در ایستگاه قلعه بربر برای هیچ یک از شاخص‌های کیفی آب آبیاری روندی معنی‌دار مشاهده نشد و تنها برای خطر منیزیم روندی نزولی و رو به کاهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد به دست آمد. بنابراین، با توجه به اینکه در ایستگاه قتلش شاخص‌هایی با روندهای معنی‌دار بیشتری نسبت به ایستگاه قلعه بربر مشاهده می‌شود می‌توان از روندهای تشخیص داده شده برای ایستگاه قتلش جهت تفسیر نتایج استفاده نمود. با توجه روابط مربوط به محاسبه شاخص‌های نسبت جذب سدیم و نسبت Kelley (روابط ۲ و ۳) افزایش مقدار این شاخص‌ها را در طول زمان می‌توان به آزادسازی یون سدیم و افزایش غلظت آن نسبت به یون‌های کلسیم و منیزیم در نظر گرفت. یون سدیم یکی از تشکیل دهندگان اساسی در کانی‌های فلدسپاتی در سازندهای شیلی و ماسه سنگی و همچنین کانی‌های تبخیری مانند هالیت در سازندهای مازنی محسوب می‌شود. بنابراین، تماس مداوم و پیوسته آب با چنین سازندهایی زمینه ورود یون سدیم را به داخل آب‌های زیرزمینی و سپس آب‌های سطحی فراهم



می‌سازد. بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه توسط سازندهای شیلی، ماسه سنگی و مارنی (سازندهای سنگانه، آیتامیر و سرچشمه) پوشیده شده است (شکل ۱-الف) که می‌توانند در ورود یون سدیم به داخل آب نقش بسیار پررنگی داشته باشند. در محاسبه شاخص کربنات سدیم باقیمانده اگر مجموع غلظت یون‌های کربنات و بیکربنات نسبت به کلسیم و منیزیم بیشتر باشد شاخص عددی مثبت خواهد داشت (رابطه ۴) و افزایش مقدار آن در طی زمان نشان دهنده افزایش غلظت یون‌های کربنات و بیکربنات نسبت به یون‌های کلسیم و منیزیم است. بنابراین، افزایش معنی‌دار مقدار شاخص کربنات سدیم باقیمانده در طی زمان در ایستگاه قتلش گویای این مطلب است که آب‌های زیرزمینی در تماس با منبع این یون‌ها بوده که زمینه ورود آن‌ها را به داخل منابع آب فراهم نموده است. سازند مارنی سرچشمه منبعی طبیعی از یون‌های کربنات و بیکربنات در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود که با وسعت قابل توجه خود می‌تواند در تماس با آب حجم بالایی از یون‌های کربنات و بیکربنات را به داخل آب رها سازد.

شاخص خطر منیزیم غلظت یون منیزیم را نسبت به مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم محاسبه می‌کند (رابطه ۶). بنابراین کاهش این شاخص در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد در طی زمان نشان‌دهنده افزایش غلظت یون کلسیم نسبت به منیزیم است. همانگونه که اشاره شد در منطقه مورد مطالعه سازندهای مارنی که درصد بالایی از کانی‌های کربناته مانند کلسیت و آراگونیت را در خود جای داده‌اند، گسترش قابل توجهی دارند. علاوه بر این، سازند آهکی تیرگان نیز در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۱-الف) که اگرچه رخنمون قابل توجهی نشان نمی‌دهد اما می‌تواند نقش آبخوان‌های آب زیرزمینی را ایفا کند که در این صورت با واکنش بین آب و سنگ مقادیر بالایی از یون کلسیم وارد آب می‌شود. بنابراین کاهش تقریبی شاخص خطر منیزیم در طی دوره آماری مورد مطالعه می‌تواند ناشی از انحلال رو به افزایش سازندهای حاوی یون کلسیم باشد.

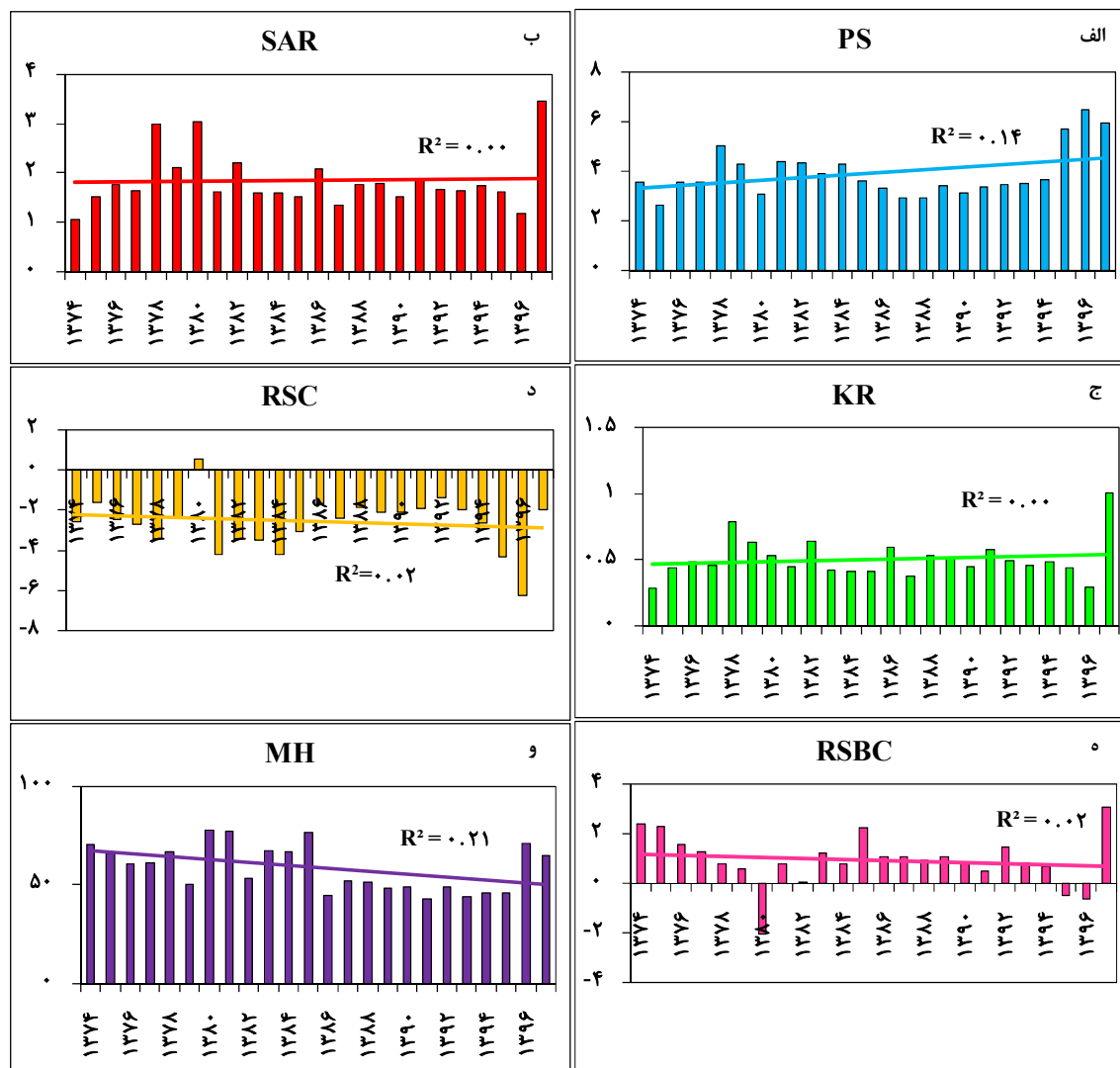
در شکل‌های ۳ و ۴ تغییرات روند شاخص‌های کیفی آب آبیاری به روش ساده و به همراه ضریب تعیین آن‌ها ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در ایستگاه قتلش تعداد شاخص‌هایی که دارای روندی با ضریب تعیین بالا باشند نسبت به ایستگاه قلعه بربر بیشتر است، به طوری که در ایستگاه قلعه بربر تنها شاخص خطر منیزیم با روندی نزولی دارای تغییراتی با ضریب تعیین بیشتر نسبت به سایر شاخص‌ها می‌باشد. در ایستگاه قتلش نیز شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت Kelley، و کربنات سدیم باقیمانده دارای روندی صعودی و با ضریب تعیین بیشتری نسبت به شاخص بیکربنات سدیم باقیمانده هستند. بیشترین ضریب تعیین با روندی نزولی برای شاخص خطر منیزیم در این ایستگاه به دست آمد. بنابراین، با مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ با جدول ۲ که نتایج تعیین روند تغییرات شاخص‌های کیفی آب آبیاری را براساس آزمون Mann-Kendall نشان می‌دهد، این موضوع مشخص می‌شود که نمونه‌های آب برداشت شده از ایستگاه قتلش دارای شاخص‌های کیفی بیشتری هستند که روندهای معنی‌دار کاهشی و یا افزایشی را نشان می‌دهند. علاوه بر این، در ایستگاه قتلش شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت Kelley و کربنات سدیم باقیمانده دارای روندی افزایشی و معنی‌دار بوده و شاخص خطر منیزیم دارای روندی کاهشی و معنی‌دار است که تطابق نتایج آزمون Mann-Kendall را با تعیین روند ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۳- روند تغییرات شاخص‌های کیفی آب آبیاری در طی دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه قتلیش

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از داده‌های کیفی ثبت شده در نمونه‌های آب برداشت شده از ایستگاه‌های قتلیش و قلعه بربر واقع در حوضه آبریز سد شیرین دره به بررسی شاخص‌های کیفی آب کشاورزی پرداخته شد. شاخص‌هایی از جمله نسبت جذب سدیم و کربنات سدیم باقیمانده در تمام نمونه‌های آب برداشت شده دارای کیفیت مناسبی برای کشاورزی و تولید محصول بودند. شاخص‌های پتانسیل شوری، نسبت Kelley و بیکربنات سدیم باقیمانده نیز در درصد بالایی از نمونه‌های آب کیفیت مناسبی را جهت اهداف کشاورزی و آبیاری زمین‌آرزیابی کردند. شاخص خطر منیزیم که به بررسی تعیین خطرات ناشی از حضور یون منیزیم در آب کشاورزی می‌پردازد کیفیت مناسب و نامناسب آب کشاورزی را در نمونه‌های آب مورد مطالعه به میزان مساوی در دو ایستگاه تعیین نمود. براساس نمودار Wilcox نیز بیشتر نمونه‌های آب در رده آب‌هایی با کیفیت متوسط برای مقاصد کشاورزی قرار گرفتند.



شکل ۴- روند تغییرات شاخص‌های کیفی آب آبیاری در طی دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه قلعه بربر

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که آب رودخانه شیرین دره در محل دو ایستگاه مورد مطالعه در بیشتر موارد دارای کیفیتی مناسب و مطلوب برای کشاورزی و تولید محصول می‌باشد و آنچه موجب کیفیت متوسط آن برای اینگونه مقاصد می‌شود حضور املاح محلول بالا و در نتیجه میزان هدایت الکتریکی بالا در آب می‌باشد. نتایج آزمون Mann-Kendall و تعیین روند ساده برای تشخیص تغییرات شاخص‌های کیفی آب آبیاری در هر دو ایستگاه با یکدیگر تطابق داشت، به طوری که در ایستگاه قتلش شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت Kelley و کربنات سدیم باقیمانده روندی افزایشی و شاخص خطر منیزیم روندی کاهشی نشان داد. در ایستگاه قلعه بربر نیز تنها شاخص خطر منیزیم روندی کاهشی داشت. حضور سازندهای حاوی کانی‌هایی با انحلال پذیری بالا مانند هالیت، ژیبس، انیدریت، کلسیت و آراگونیت موجب شده است تا غلظت یون‌های سدیم، کربنات و بی‌کربنات در طی زمان در رودخانه شیرین دره افزایش یابد و در نتیجه شاخص‌های نسبت جذب سدیم، نسبت Kelley و کربنات سدیم باقیمانده روندی افزایشی را نشان دهند. همچنین، کاهش غلظت منیزیم نسبت به کلسیم در اثر رهاسازی یون

کلسیم حاصل از انحلال سازندهای آهکی و مارنی باعث شده است خطر حضور یون منیزیم در رودخانه شیرین دره روندی کاهشی داشته باشد.

با توجه به اینکه تعیین کیفیت آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه رابطه تنگاتنگی با تولید محصولات کشاورزی مرغوب و همچنین حفاظت از محیط زیست منطقه دارد پیشنهاد می‌شود آب ذخیره شده در مخزن سد شیرین دره و همچنین سایر منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه از نظر کیفیت آب کشاورزی مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین، برنامه‌های طولانی مدت پایش کیفی منابع آب موجود در منطقه با توجه به شاخص‌های کیفی آب کشاورزی کمک بسیار موثری در افزایش بازده محصولات کشاورزی و در نتیجه پایداری اکوسیستم‌های پایین دست سد و تدوین برنامه‌های درازمدت حفاظت از محیط زیست خواهد بود.

### قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی که همکاری صمیمانه‌ای در تهیه اطلاعات مورد نیاز جهت تدوین مقاله داشتند تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

### منابع

Abdel-Fattah, M.K., Abd-Elmabod, S.K., Aldosari, A.A., Elrys, A.S., & Mohamed, E.S. (2020). Multivariate Analysis for Assessing Irrigation Water Quality: A Case Study of the Bahr Mouse Canal, Eastern Nile Delta. *Water*, 12(2537), 200-223.

Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonate irrigation water. *Soil Science*; 69(2), 123-133.

Karakus, C.B., & Yildiz, S. (2020). Evaluation for irrigation water purposes of groundwater quality in the vicinity of Sivas city center (Turkey) by using GIS and an Irrigation Water Quality Index. *Irrigation and Drainage*, 69(1), 121-137.

Kelley, W.P. (1963). Use of saline irrigation water. *Soil Sciences*, 95(4), 355–391.

Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*, 4<sup>rd</sup> ed. London: Charles Griffin.

Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(2):245–259.

Nagy-Kovács, Z., Davidesz, J., Czihat-Mártonné, K., & Grischek, T. (2019). Water quality changes during riverbank filtration in Budapest, Hungary. *Water*, 11(302), 336-348

Naseem, S., Hamza, S., & Bashir, E. (2010). Groundwater geochemistry of Winder agricultural farms, Balochistan, Pakistan and assessment of irrigation water quality. *European Water*, 31(2), 21-32.

Ogunfowokan, A.O., Obisanya, J.F., & Ogunkoya, O.O. (2013). Salinity and sodium hazards of three streams of different agricultural land use systems in Ile-Ife, Nigeria. *Applied Water Science*, 3(35), 19-28.

Osman, R., Ferrari, E., & McDonald, S. (2016). Water scarcity and irrigation efficiency in Egypt. *Water Economical Policy*, 2(1650009), 1207-1219.

Raghunath, H.M. (1987). *Groundwater*. Wiley Eastern Ltd.

Richards, L.A. (United States Salinity Laboratory). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*, Handbook No.60. United States Department of Agriculture (USDA).

Sarkar, B., & Islam, A. (2019). Assessing the suitability of water for irrigation using major physical parameters and ion chemistry: A study of the Churni River, India. *Arabian Journal of Geoscience*, 12(637), 205-215.

Sheikh, M.A., Azad, C., Mukherjee, S., & Kumari, R. (2017). An assessment of groundwater salinization Haryana state in India using hydrochemical tools in association with GIS. *Environmental Earth Sciences*, 76(37), 465-479.

Singh, K.K., Tewari, G., & Kumar, S. (2020). Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Journal of Chemistry*, 27(3), 265-280.

Wallace, J.S. (2000). Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agricultural Ecosystems Environment*; 82(5), 105–119.

Wang, L., Xie, J., Luo, Z., Niu, Y., Coulter, J.A., Zhang, R., & Lingling, L. (2021). Fodage yield, water use efficiency and soil fertility response to alfalfa growing age in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 27(2), 337-356.

Wilcox, L.V. (1948). *The quality of Water for Irrigation Use*. United States Department of Agriculture (USDA).



## Study the temporal trends of irrigation water quality indices in Shirin Darreh River, NE Iran

Maryam Tajbakhshian<sup>1</sup>, Abolfazl Mosaedi<sup>2\*</sup>, Mohamad Hosein Mahmudy Gharaie<sup>3</sup>,  
Sayyed Reza Moussavi Harami<sup>3</sup>

1- Ph.D candidate, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad  
maryam.tajbakhshian@mail.um.ac.ir

2\*- Professor, Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, mosaedi@um.ac.ir

3- Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, mhmgharaie@um.ac.ir,  
moussavi@um.ac.ir

### Abstract

*In this study, the Shirin Darreh (NE Iran) water quality for irrigation in Qatlish and Qaleh-Barbar gauging sites (during 1995-2019) purposes was evaluated by PS, KR, RSC, RSBC, MH, and Wilcox diagram. The PS specified the good to unacceptable quality, and the SAR, KR, RSC and RSBC determined the good quality, and the MH outlined the suitable and unsuitable quality for to sites, and the fair quality for irrigation water was observed based on the Wilcox diagram in two sites. The trend analysis revealed that the SAR, KR and RSC had upward trend that was due to increase in  $Na^+$ ,  $CO_3^{2-}$  and  $HCO_3^-$  compared to  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  mainly originating from the bearing rocks and formations. Also, the MH had downward trend which was a result of increase in  $Ca^{2+}$  to  $Mg^{2+}$  concentration and interaction between water and rocks. Therefore, the geology of the area and lithology of outcropped rocks can be considered as the main environmental factors controlling the ions discharge into the water and irrigation water quality.*

**Keywords:** Shirin Darreh River; Sodium adsorption ration; Magnesium hazard; Wilcox diagram