

## بررسی تغییرات شوری رودخانه به روش هیدروشیمیایی در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: رودخانه نمکلان، استان ایلام)

مریم موسوی - کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران  
نورالدین رستمی\* - استادیار آبخیزداری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران  
حاجی کریمی - دانشیار زمین‌شناسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

وصول: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹

### چکیده

آب برخی از رودخانه‌های مناطق خشک و بیابانی، ضمن عبور از برخی سازندهای زمین‌شناسی شور شده و کیفیت آن کاهش می‌یابد. پژوهش حاضر به منشأیابی شوری رودخانه نمکلان در ناحیه‌ای گرمسیری در استان ایلام به روش هیدروشیمیایی می‌پردازد. نمونه‌گیری از آب این رودخانه در چهار فصل سال، از شش نقطه در طول مسیر رودخانه نمکلان و از دو نقطه از رودخانه گدارخوش قبل و بعد از تلاقی با رودخانه نمکلان انجام گرفت. تیپ آب رودخانه نمکلان، کلرور سدیمی بوده و به دلیل ماندگاری و عدم تغییر معنی‌دار بیشتر این عناصر در آب، ترکیب شیمیایی آب رودخانه در طول مسیر ثابت است که این موضوع با آزمون آماری  $t$  مستقل در سازندهای گچساران و آغاچاری بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی، میزان املاح و یون‌های مختلف قبل از تلاقی رودخانه نمکلان به گدارخوش، در رودخانه گدارخوش کمتر بوده، اما پس از اینکه رودخانه نمکلان به گدارخوش می‌پیوندد، میزان این املاح و یون‌ها در رودخانه گدارخوش افزایش معنی‌داری می‌یابد. علت این تغییر کیفیت، ورود املاح و یون‌های مختلف از رودخانه نمکلان به رودخانه گدارخوش است. به طوری که حداکثر میزان هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و کربنات سدیم باقی‌مانده در دی‌ماه در رودخانه نمکلان به ترتیب ۳۳۶، ۷۵ و ۲۳ برابر مقادیر آنها در رودخانه گدارخوش است. با توجه به آنالیز نمونه‌ها و تیپ آب رودخانه نمکلان مشخص می‌شود که منشأ شوری رودخانه، افق‌های نم‌دار سازند گچساران در منطقه است که به‌طور عمده در عمق قرار گرفته و در محدوده مورد بررسی رخنمون سطحی ندارند و توسط چشمه مولد رودخانه نمکلان به سطح زمین راه می‌یابد.

واژگان کلیدی: منشأیابی، سازند زمین‌شناسی، کیفیت آب، شوری، نمکلان.

## مقدمه

آب، کلیدی‌ترین منبعی است که برای زیستن در این کرهٔ خاکی مورد نیاز است (دیپاک<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷) و آلودگی آن در دهه‌های اخیر تهدیدی جدی برای انسان و اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌رود، به‌طوری که بررسی تغییرات کیفیت آب، یکی از مباحث مهم استفادهٔ بهینه از آن است (فریادی و همکاران، ۱۳۹۱). آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی، به‌دلیل فراوانی، پایداری و مسمومیت زیست‌محیطی، توجه جهانی را به خود جلب کرده است (اسلام و همکاران، ۲۰۱۵؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۵ الف و ب). پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب بسیار مهم هستند، زیرا تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب دارند (میرمحمد و همکاران، ۲۰۱۶).

رویکرد توسعهٔ پایدار با حفظ و مدیریت منابع سه‌گانهٔ آب، خاک و پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز ممکن می‌شود (مصفايي و همکاران، ۲۰۱۵؛ مصفايي، ۲۰۱۶). افزایش شوری منابع آب آشامیدنی طبیعی به‌عنوان یکی از مشکلات عدیده‌ای گزارش شده که کشورهای کم‌درآمد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما هنوز به‌طور کامل بررسی نشده است (پاولو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). با این وجود، کلرید سدیم به‌عنوان نمک اصلی محلول در آب در اطراف هر سازند تبخیری است (نات و جتیل<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴) و درک خصوصیات شیمیایی آب تشکیل‌شده در حوضه‌های رسوبی برای بسیاری از فرایندهای زمین‌شناختی، مانند تبادل مایعات و مسیرهای انتقال آنها در سنگ‌ها و مکانیسم‌های جذب هیدرو کربن مهم است (زی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۳).

شوری، یکی از پارامترهای اولیهٔ ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌هاست و افزایش آن، پیامدهای نامناسبی روی منابع مصرف و اکوسیستم رودخانه دارد (فکوری دکاهی و همکاران، ۱۳۹۶) و موجب افت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز می‌شود (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۵). از عواملی که در کیفیت و کمیّت منابع آب تأثیر منفی دارند، می‌توان به موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های توپوگرافی و گسترش سازندهای زمین‌شناسی ناتراوا و همچنین تأثیر این تشکیلات روی منابع آب اشاره کرد. از میان عوامل بالا، بیشترین تأثیر را تشکیلات زمین‌شناسی، به‌ویژه تشکیلات گروه فارس (گچساران، میشان و آغاجاری) روی کیفیت آب دارند (بهزاد و حمزه، ۱۳۸۸). وجود لایه‌های ستبر گچ و نمک و دیگر سنگ‌های تبخیری موجود در کوهستان‌های حاشیه‌ای و همچنین گنبد‌های نمکی موجود در برخی از مناطق ساحلی جنوب و دشت مرکزی، افزون بر اینکه نقش بسیار مؤثری در پیدایش بیابان‌های ایران داشته‌اند، به‌دلیل شور کردن آب‌هایی که از مجاور آنها عبور می‌کنند، نقشی فزاینده‌ای در گسترش بیابان‌ها دارند (معمد، ۱۳۷۶: ۵۱). از این رو، باید گفت یکی از عوامل اصلی گسترش مناطق بیابانی، ساختار زمین‌شناسی و سازندهای حسّاس به فرسایش حوضه‌های آبخیز است، زیرا انواع سازندهای تبخیری و ریزدانهٔ دارای املاح مخرب در گسترش بیابان‌ها نقش اساسی دارند (فیض‌نیا، ۱۳۷۶).

در پژوهش‌های مختلفی که در زمینهٔ شوری رودخانه‌ها، چشمه‌ها و منشأ این شوری صورت گرفته، به عوامل مختلفی از قبیل سازندهای زمین‌شناسی شور و گنبد‌های نمکی در مسیر و یا سرچشمهٔ این آب‌ها (خسروشاهی و همکاران، ۱۳۹۰)، نفوذ شورابهٔ گنبد نمکی در آبخوان‌های کارستی (زارعی و رئیسی اردکان، ۱۳۹۰)، سازندهای مختلف (فرناندز<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۶)، گنبد‌های نمکی، سازندهای مارنی و معادن گچ و

1- Dipak

2- Paolo

3- Knut &amp; Kjetil

4- Xie

5- Fernández

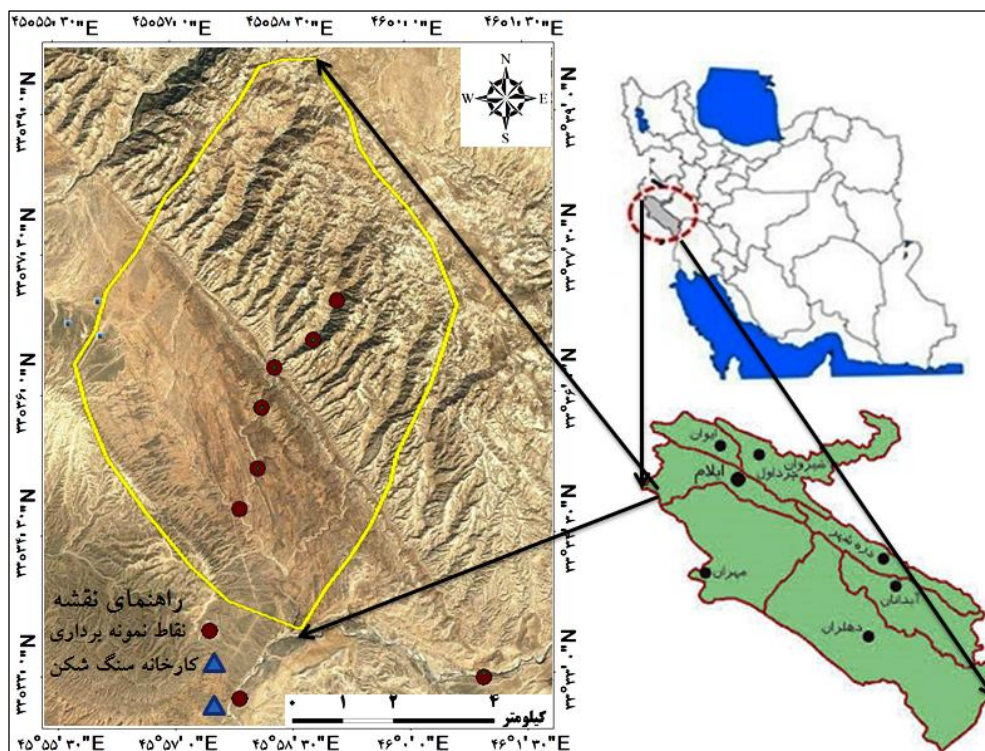
نمک (طهماسبی، ۱۳۷۷: ۱۲۱)، نفوذ آب شور طاقدیس به داخل چشمه‌های کارستی (رئسی و همکاران، ۱۳۷۸)، آبیاری با آب‌هایی که کیفیت آنها به نحوی تحت تأثیر گنبد‌های نمکی قرار گرفته (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۱)، تغییر کاربری زمین (جباری، ۱۳۹۳) و تبخیر آب‌های زیرزمینی شور (کلانتری و محمدی بهزاد، ۱۳۹۲) می‌توان اشاره کرد.

با توجه به اینکه آب‌های سطحی از مهم‌ترین منابع آب در بخش شرب، کشاورزی و صنعت به شمار می‌روند، با بررسی کیفی آنها می‌توان از آلودگی این منابع جلوگیری کرد (نخعی و همکاران، ۱۳۹۰). کیفیت آب، رسوب و فلزات سنگین باید به‌منظور ارزیابی خطر این فلزات، برای حفاظت از محیط‌زیست در مجاورت این رودخانه‌ها مورد بررسی مستمر قرار گیرد. هدف کلی پژوهش حاضر، منشأیابی شوری رودخانه نمکلان با استفاده از روش هیدروشیمیایی، بررسی تغییرات مکانی شوری در مسیر رودخانه و بررسی تأثیر سازند زمین‌شناسی روی شوری آب این رودخانه است؛ از طرفی، در بیشتر مطالعات مشابه، این بررسی‌ها در دو بازه زمانی صورت گرفته، ولی در این پژوهش، تغییرات کیفیت آب در چهار فصل سال و در سازندهای مختلف در طول بازه رودخانه صورت گرفته تا تغییرات فصلی هم لحاظ شود.

### معرفی منطقه مورد بررسی

حوزه رودخانه نمکلان در جنوب غرب استان ایلام در منطقه‌ای گرمسیری با طول جغرافیایی  $50^{\circ}$  تا  $45^{\circ}$  و  $46^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $35^{\circ}$  تا  $33^{\circ}$  شمالی است. مساحت این حوزه،  $5650$  هکتار و ارتفاع سرچشمه آن،  $528$  متر از سطح دریای آزاد است (شکل ۱). این منطقه، در نزدیکی مرز کشور عراق واقع شده و آب رودخانه نمکلان به رودخانه بزرگ گدارخوش در جنوب آن می‌ریزد. لازم به ذکر است که بخشی از آب شور چشمه در طول مسیر تبخیر شده و حجم فراوانی نمک، به‌ویژه در فصول گرم سال (بهار و تابستان)، بر سطح زمین به شکل‌های خاصی، از محل چشمه تا مسیر رودخانه بر جای گذاشته می‌شود (شکل ۲). اقلیم منطقه نمکلان بر اساس اقلیم نمای آمبرژه، از نوع بیابانی گرم شدید است و جزو مناطق گرمسیری استان به شمار می‌رود. بر اساس آمار ایستگاه باران‌سنجی سرنی که در  $10$  کیلومتری منطقه واقع است، متوسط مقدار بارندگی سالانه،  $333/7$  میلی‌متر است که حداکثر نزولات جوئی در ماه‌های آذر، دی و بهمن بوده و دوره خشکی منطقه حدوداً از اوایل اردیبهشت تا اوّل آذر است. بیشتر نزولات منطقه به‌صورت باران بوده که از پراکنش نامناسب برخوردار است. مقدار متوسط دمای سالانه منطقه برابر با  $15$  درجه سانتی‌گراد است که مردادماه با میانگین  $28/5$  درجه سانتی‌گراد، بالاترین و دی‌ماه با میانگین  $2$  درجه سانتی‌گراد، کمترین دما را دارند. حداکثر درجه حرارت مطلق این منطقه تا  $45$  درجه سانتی‌گراد و یا حتی گاهی بالاتر هم می‌رسد.

پوشش گیاهی این منطقه، از نوع گیاهان مرتعی و معرف مناطق خشک است و در اطراف رودخانه، گیاهان شورپسند دیده می‌شود. در ضمن، رودخانه نمکلان فاقد ایستگاه هیدرومتری و میزان دبی برآوردی در منطقه حدود  $6$  لیتر بر ثانیه است و یک ایستگاه هیدرومتری روی رودخانه گدارخوش و در حدود  $15$  کیلومتر قبل از تلاقی با رودخانه نمکلان است و بر اساس آمار موجود، دبی متوسط سالانه آن حدود  $700$  لیتر بر ثانیه است. بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران، محدوده مورد بررسی در منطقه چین‌خورده زاگرس یا در بخش خارجی زاگرس قرار دارد؛ بنابراین، تابعی از ویژگی‌های زمین‌شناسی این ناحیه خواهد بود. مهم‌ترین سازندهایی که در این ناحیه رخمون دارند، سازندهای گچساران و آغاچاری هستند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



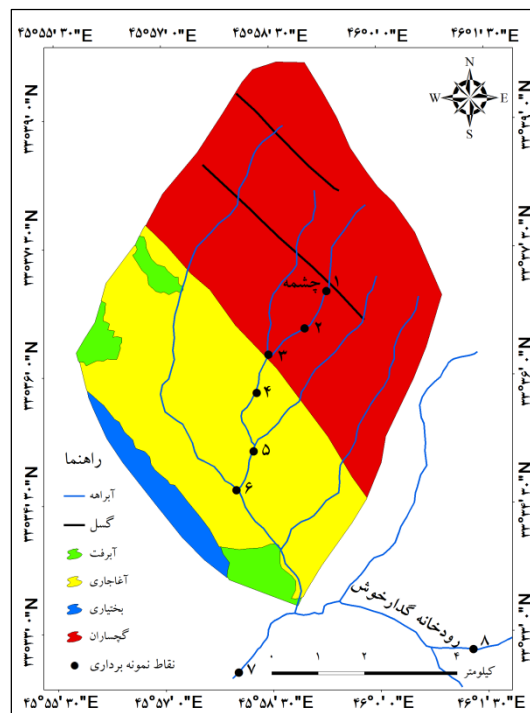
شکل ۲. نمایی از رودخانه نمکلان و رخساره‌های نمکی آن

سازند گچساران از تناوب لایه‌های گچی، گل‌سنگ و مارن به ضخامت بیش از ۱۰۰۰ متر تشکیل شده که در افق‌های تحتانی این سازند، لایه‌های نمکی هم وجود دارد. در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه، معدن نمکی در سازند گچساران مورد بهره‌برداری قرار گرفته که مؤید وجود نمک در اعماق این سازند در ناحیه مورد مطالعه است. سازند آجاجاری نیز با تناوبی از لایه‌های گل‌سنگ، ماسه‌سنگ و مارن و میان لایه‌های آهک مارنی، روی سازند گچساران قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

در ابتدا، نقشه منطقه مورد مطالعه، شبکه آبراهه و سازندهای زمین‌شناسی تهیه و مسیر مورد نظر برای نمونه‌برداری مشخص شد؛ سپس، با مراجعه به منطقه، از آب سرچشمه (نقطه ۱) و ۷ نقطه دیگر به فاصله‌های معین و در چهار فصل سال (شهریور، آذر و اسفند ۱۳۹۳ و خرداد ۱۳۹۴) نمونه‌برداری شد که نقاط ۷ و ۸ روی رودخانه گدارخوش واقع شده ولی نقطه ۸، در بالادست رودخانه نمکلان و نقطه ۷ پس از اتصال رودخانه

نمکلان به گذارخوش است. شش نقطه اول نمونه برداری، روی رودخانه نمکلان واقع شده که سه نقطه اول آن در سازند گچساران و سه نقطه بعدی در سازند آغاچاری واقع شده‌اند (شکل ۳). نقاط مورد نظر در مناطقی انتخاب شد که جریان آب آرام بوده و از تلاطم جریان و ورود مواد رسوبی به نمونه آب در امان باشد و حجم نمونه با توجه به پارامترهای مورد نظر حدود یک لیتر تعیین شد. افزون بر این، در زمان نمونه برداری پارامترهای دما، هدایت الکتریکی و اسیدیته و سختی کل، به وسیله دستگاه سنجش هدایت الکتریکی قابل حمل اندازه گیری شد؛ سپس نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شد و یون‌های کلسیم<sup>۱</sup>، منیزیم<sup>۲</sup>، سدیم<sup>۳</sup>، بیکربنات<sup>۴</sup>، سولفات<sup>۵</sup>، کلر<sup>۶</sup>، نیتрат<sup>۷</sup>، فسفات<sup>۸</sup>، برم<sup>۹</sup>، روی<sup>۱۰</sup>، جیوه<sup>۱۱</sup>، سرب<sup>۱۲</sup>، آرسنیک<sup>۱۳</sup>، منگنز<sup>۱۴</sup>، آهن<sup>۱۵</sup> و آلومینیوم<sup>۱۶</sup> اندازه گیری شد. در نهایت، با بررسی نتیجه آزمایش‌ها و آزمون‌های آماری، میزان و روند تغییرات آنها در نقاط مختلف در سرچشمه تا محل تلاقی با رودخانه اصلی و در فصل‌های مختلف مشخص و عامل شوری رودخانه بر اساس پارامترهای اندازه گیری شده تعیین شد.



شکل ۳. نقشه شبکه آبراهه، زمین‌شناسی و نقاط نمونه برداری

- 1- Ca
- 2- Mg
- 3- Na
- 4- HCO<sub>3</sub>
- 5- SO<sub>4</sub>
- 6- CL
- 7- NO<sub>3</sub>
- 8- PO<sub>4</sub>
- 9- Br
- 10- Zn
- 11- Hg
- 12- Pb
- 13- As
- 14- Mn
- 15- Fe
- 16- Al

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن و همگنی آنها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> و لون<sup>۲</sup> بررسی شد؛ سپس به منظور بررسی اختلاف بین دو گروه، فاصله‌های نزدیک و دور از سرچشمه (سازندهای گچساران و آجاجاری) از نظر خصوصیات شیمیایی آب رودخانه، از آزمون تی مستقل استفاده شد و میانگین خصوصیات عواملی که بر این اساس معنی‌دار شد، ترسیم گردید. تجزیه و تحلیل آماری نیز با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس<sup>۳</sup> انجام شد.

## نتایج

با انجام تجزیه و تحلیل روی خصوصیات کیفی آب رودخانه، از جمله شوری، سختی، قلیابیت و غیره، می‌توان غلظت املاح را برآورد کرد (ژائو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). پس از واکاوی نمونه‌های آب، مقادیر پارامترهای درصد سدیم، نسبت جذب سدیم<sup>۵</sup>، هدایت الکتریکی<sup>۶</sup> و کربنات سدیم باقی‌مانده<sup>۷</sup> در نقاط نمونه‌برداری مختلف در چهار فصل سال برای طبقه‌بندی ویلکوکس<sup>۸</sup> (۱۹۵۵) و تعیین کلاس‌های مختلف آب اندازه‌گیری شد که مقادیر این پارامترها، در دی‌ماه ۱۳۹۳ در ادامه ارائه شده است (جدول ۱). بر اساس این جدول، کیفیت آب بر اساس نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی در نقاط ۱ تا ۶ در کلاس C4-S4 (خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب)، در نقطه ۷ در کلاس C4-S3 (خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب) و در نقطه ۸ در کلاس C3-S2 (شور - قابل استفاده برای کشاورزی) قرار می‌گیرد. کیفیت آب بر اساس درصد سدیم در نقاط ۱ تا ۶ بد، در نقطه ۷ در کلاس مشکوک و در نقطه ۸ در کلاس قابل قبول قرار می‌گیرد؛ همچنین کیفیت آب بر اساس کربنات سدیم باقی‌مانده در تمام نقاط مناسب است (جدول ۱).

در ادامه، تواتر یونی بر اساس غلظت آنیون‌ها یا کاتیون‌ها برحسب میلی‌اکی والان در لیتر محاسبه و سپس تیپ (آنیون غالب) و رخساره آب (کاتیون غالب) تعیین شد (اکبری و لونی و همکاران، ۱۳۹۶). این مراحل، برای نمونه‌های تهیه‌شده در فصول مختلف انجام شد که در اینجا فقط داده‌های مربوط به دی‌ماه سال ۱۳۹۳ آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۱. مقدار پارامترهای مختلف در دی‌ماه ۱۳۹۳ جهت تعیین کلاس کیفیت آب

محل نمونه‌برداری	نوع سازند زمین‌شناسی	درصد سدیم	نسبت جذب سدیم (میلی اکی والان بر لیتر)	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	کربنات سدیم باقی‌مانده (میلی اکی والان بر لیتر)	سختی کل (میلی گرم بر لیتر)
نقطه ۱	گچساران	۹۶/۹۴	۵۸۰/۶۵	۵۵۰/۲۲۵	-۱۶۶/۷۷	۸۰۰۵/۸۱
نقطه ۲	گچساران	۹۷/۲۹	۶۲۹/۰۷	۵۶۹/۶۱۳	-۱۵۲/۲۷	۷۳۴۹/۳۳
نقطه ۳	گچساران	۹۶/۸۳	۵۷۷/۵۹	۵۲۳/۵۵۳	-۱۶۵/۰۲	۷۹۵۸
نقطه ۴	آجاجاری	۹۷/۰۷	۵۸۳/۲۷	۵۱۱/۷۰۴	-۱۵۳/۳۷	۷۳۷۵/۰۱
نقطه ۵	آجاجاری	۹۷/۱۸	۶۲۶/۲۶	۵۶۱/۸۴	-۱۶۴/۰۷	۸۱۱۷/۹۶
نقطه ۶	آجاجاری	۹۷/۸۳	۷۱۱/۰۳	۵۷۴/۰۹۸	-۱۲۲/۷	۵۹۵۲/۱
نقطه ۷	گچساران	۶۸/۵۷	۹/۵۳	۳۷۲۹	-۷/۲	۴۵۰/۱۹
نقطه ۸	گچساران	۵۰/۰۸	۵/۱۹	۱۷۰۸	-۱۰/۵	۶۳۵/۹۲

1- Kolmogorov-Smirnov

2- Leven

3- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

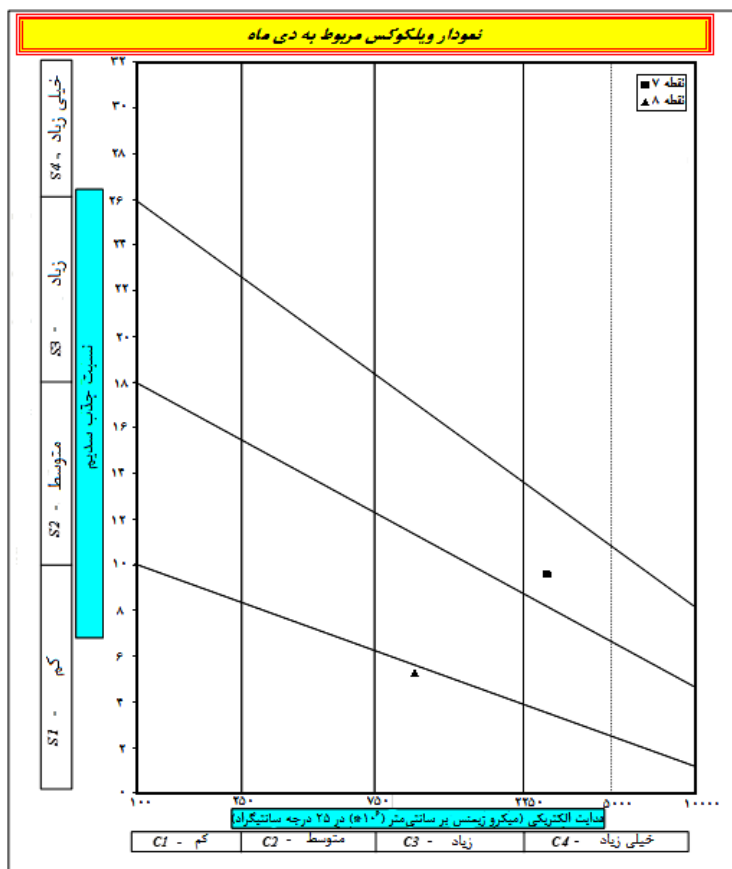
4- Zhao

5- Sodium Adsorption Ratio (SAR)

6- Electrical Conductivity (EC)

7- Residual Sodium Carbonate (RSC)

8- Wilcox



شکل ۴. نمودار ویلکوکس مربوط به نقاط نمونه برداری در دی ماه ۱۳۹۳

بر اساس این جدول، تیپ آب در نقاط ۱ تا ۶ از نوع کلروره و در نقاط ۷ و ۸ از نوع سولفات است. رخساره آب در تمام نقاط نمونه برداری از نوع سدیک است. فراوانی یون‌ها نشانگر آن است که از نقاط ۱ تا ۶ که مربوط به رودخانه نمکلان است، فراوانی یون کلر به دلیل انحلال نمک در اعماق سازند گچساران توسط آب‌های نفوذی است. وجود نمک در افق‌های پایین سازند گچساران در منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی و برونزد لایه‌های ضخیم نمکی در محل چین خوردگی‌ها به اثبات رسیده است؛ اما نقاط ۷ و ۸ که متعلق به رودخانه گذارخوش در قبل و بعد از تلاقی رودخانه نمکلان است، تیپ آب اساساً سولفات بوده و این کیفیت به دلیل جریان یافتن آب این رودخانه و تماس با افق‌های گچی (سطحی) سازند گچساران است. در مسیر رودخانه گذارخوش که روی سطح سازند گچساران در جریان است، افق‌های نمکی که باعث کاهش کیفیت رودخانه شود وجود ندارد.

جدول ۲. تواتر یونی، تیپ و رخساره آب در دی ماه

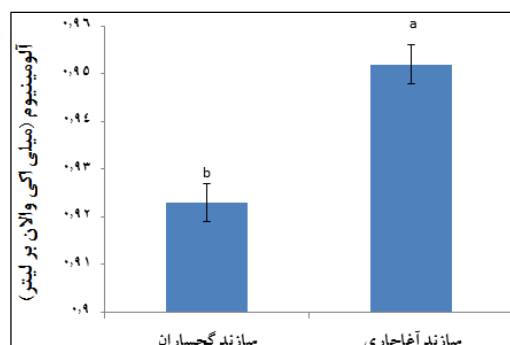
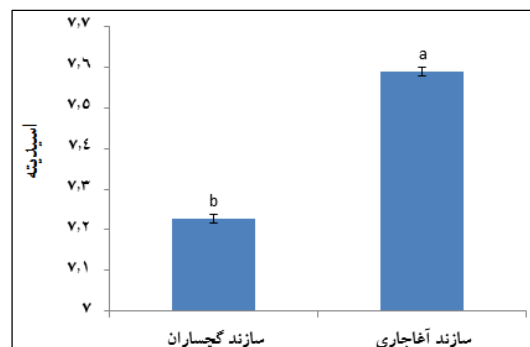
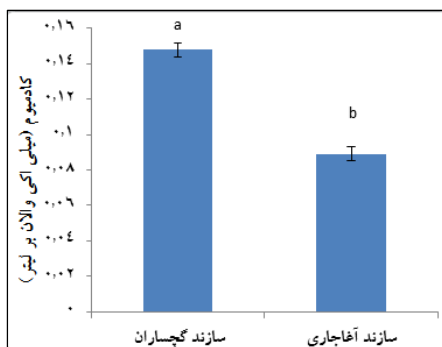
محل نمونه برداری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ آب	رخساره آب
نقطه ۱	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۲	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۳	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۴	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۵	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۶	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	کلروره	سدیک
نقطه ۷	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	سولفات	سدیک
نقطه ۸	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$	سولفات	سدیک

به منظور بررسی آماری تغییرات این پارامترها در طول رودخانه و سازندهای گچساران و آغاچاری، از آزمون تی مستقل بین دو گروه نمونه فاصله نزدیک به سرچشمه (سازند گچساران) و دور از سرچشمه (سازند آغاچاری) از نظر اسیدیته، آلومینیوم و کادمیوم اختلاف معنی داری وجود دارد. طبق مقایسه میانگین (جدول ۳ و شکل ۵)، میزان اسیدیته و آلومینیوم در سازند گچساران بیشتر از سازند آغاچاری بود و در مورد کادمیوم حالت عکس مشاهده شد.

جدول ۳. آزمون تی مستقل خصوصیات آب در دو فاصله نزدیک و دور از سرچشمه

متغیر	واحد اندازه گیری	T	F	سطح معنی داری
فسفات	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۰/۱۸۴
سولفات	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۸۵۸	۴/۳۴۴	۰/۴
کلر	میلی اکی والان بر لیتر	-۰/۳۲	۵/۲۹۲	۰/۹۷۵
بیکربنات	میلی اکی والان بر لیتر	-۰/۹۸۲	۳/۸	۰/۳۳۷
منیزیم	میلی اکی والان بر لیتر	۱/۱۴۷	۰/۹۳۳	۰/۲۶۴
کلسیم	میلی اکی والان بر لیتر	-۱/۴۰۴	۸/۴۰۳	۰/۱۷۴
سدیم	میلی اکی والان بر لیتر	-۰/۷۸۸	۱/۵۰۸	۰/۴۳۹
آهن	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۱۰۸	۰/۹۴۶	۰/۹۱۵
آلومینیوم	میلی اکی والان بر لیتر	-۴/۹۴۲	۰/۸۰۴	**۰/۰۰
روی	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۰۶۸	۰/۰۱۳	۰/۹۴۶
سرب	میلی اکی والان بر لیتر	۰/۳۰۷	۰/۰۳۱	۰/۷۶۱
منگنز	میلی اکی والان بر لیتر	۱/۷۳	۱۳/۱۸۶	۰/۰۹۸
کادمیوم	میلی اکی والان بر لیتر	۳/۵۲۳	۲/۴۷۵	**۰/۰۰۲
مجموع کل بار محلول	میلی گرم در لیتر	-۰/۲۴	۰/۵۱	۰/۸۱۳
هدایت الکتریکی	میکرو موس بر سانتی متر	-۰/۹۱	۰/۵۹۲	۰/۳۷۳
سختی کل	میلی گرم بر لیتر	۱/۵۱۲	۱۲/۶۸۸	۰/۱۴۵
اسیدیته	---	-۲/۹۶۵	۰/۷	**۰/۰۰۷

\*\* معنی دار بودن در سطح ۵٪



شکل ۵. مقایسه میانگین خصوصیات آب بین دو گروه نمونه (سازندهای گچساران و آغاچاری)



## بحث

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که اختلاف بین بیشتر یون‌ها و پارامترها در دو گروه نمونه آب (سازندهای گچساران و آغاچاری) معنی‌دار نیست که نشان می‌دهد منشأ اصلی شوری رودخانه، مربوط به سازندهای سطح زمین نیست و از سرچشمه وجود داشته است و تنها در مورد آلومینیوم، کادمیوم و اسیدیته این اختلاف معنی‌دار شد، به طوری که از سرچشمه به سمت پایین اسیدیته و آلومینیوم افزایش یافته و کادمیوم کاهش یافته است که این موارد، مربوط به تغییرات خاک سطحی است؛ ولی یکی از یون‌هایی که در سازند گچساران وجود دارد و سختی آب این رودخانه از آن متأثر شده، کربنات کلسیم است که بر اساس جدول ۱، میزان سختی آب در تمام نقاط نمونه‌برداری خیلی زیاد است.

نقاط نمونه‌برداری ۱ تا ۷، در منطقه بسیار شور بوده و دارای املاح فراوان است؛ بنابراین، همچنان‌که پیش‌تر نیز ثابت شده (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۵؛ جواناندام<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ ابیفونا و شریف‌آ، ۲۰۱۱)، آب این رودخانه برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی نامناسب است و غلظت املاح موجود در رودخانه گذارخوش پس از پیوستن رودخانه نمکلان به آن، زیاد شده، در نتیجه کیفیت آب رودخانه گذارخوش کاهش یافته است. ثابت بودن دبی آب چشمه و همچنین یون‌ها، نشانگر نفوذ گسترده آب در بخش‌های مختلف سازند گچساران و تخلیه تدریجی آنها از محل چشمه نمکلان است.

به طور کلی، در تفسیر نمودارهای ویلکوکس می‌توان گفت که نمونه‌های نقاط ۱ تا ۶، به علت شوری و نسبت جذب سدیم بالا خارج از نمودار قرار گرفته‌اند و تنها نمونه‌های نقاط ۷ و ۸ در محدوده نمودار قرار دارند؛ همچنین بر اساس نتایج به دست آمده در دی‌ماه ۱۳۹۳، تیپ آب تا نقطه ۶ کلروره و در نقاط ۷ و ۸ سولفاته بوده و رخساره آب در تمامی نقاط نمونه‌برداری سدیک است. در نقاط ۱ تا ۶، به علت متأثر بودن از سازند گچساران و یا به دلیل جریان یافتن آب روی سازند گچساران که حاوی گچ و نمک چه در اعماق و چه در سطح زمین است و همچنین فرایند تبخیر، بخش قابل توجهی از نمک را به ویژه در فصول گرم سال در حاشیه رودخانه رسوب می‌دهد؛ بنابراین، نمک از حالت محلول خارج و سولفات در انتها جایگزین آن می‌شود. از طرفی، در طول مسیر سولفات در آب حل شده و به نقاط انتهایی حمل می‌شود؛ بنابراین، در ۶ نقطه اول، میزان کلر زیاد و در دو نقطه آخر، میزان سولفات بیشتر و میزان کلر کمتر است؛ بنابراین، از نقاط ۱ تا ۶ تیپ آب کلروره و در نقاط ۷ و ۸ تیپ آب سولفاته و رخساره آب در تمامی نقاط سدیک است. در نقاط ۱ تا ۷ غلظت کاتیون کلسیم از منیزیم بیشتر و در نقطه ۸، منیزیم از کلسیم بیشتر است؛ چون کلسیم در کناره رودخانه رسوب کرده و در نقاط انتهایی میزان آن کم شده و در عوض در نقاط انتهایی میزان منیزیم که با آب حمل شده بیشتر است. کیم<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان می‌دارند که تأثیر کلی مواد شیمیایی آزادشده از رسوبات بر کیفیت آب، بسته به تغییرات زمانی و مکانی شوری متفاوت است.

سازند گچساران یکی از مهم‌ترین سازندهای پهنه زاگرس چین‌خورده است. ویژگی‌های منحصر به فرد این سازند، از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی، زمین‌شناسی، مهندسی، آب‌شناسی و چینه‌شناسی مکانیکی به آن جایگاه ویژه‌ای داده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به تشابه ترکیب عناصری که در آب رودخانه نمکلان و همچنین سازند گچساران وجود دارند، نتیجه گرفته می‌شود که منشأ شوری چشمه به خاطر سازند

1- Jeevanandam  
2- Obiefuna & Sheriff  
3- Kim

زمین‌شناسی منطقه بوده و همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است، سرچشمه رودخانه نمکلان یک چشمه گسلی است که در فاصله کمی از یک گسل واقع شده و آب‌های زیرزمینی را زهکشی می‌کند و مکانیسم شور شدن آب چشمه نیز که با نفوذ آب و ترکیب آن با لایه زیرین سازند گچساران است همچنان که پیش‌تر نیز ثابت شده است (معیری و احمدی‌نژاد، ۱۳۸۵؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۸۸؛ فروغی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ویسی و همکاران، ۱۳۸۹) نشان می‌دهد که شوری رودخانه به خاطر سازند زمین‌شناسی است.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و بازدیدهای میدانی و آزمون آماری نتایج، منشأ اصلی شوری رودخانه نمکلان از محل چشمه این رودخانه بوده و در طول مسیر تغییرات زیادی نداشته است و با توجه به اینکه این چشمه از نوع گسلی بوده و در سازند گچساران واقع شده و لایه‌های ضخیم نمک از ترکیبات سازند گچساران است، با اطمینان می‌توان گفت منشأ شوری رودخانه نمکلان، سازند گچساران است؛ بنابراین، با توجه به اینکه ۳ نقطه اول نمونه‌برداری، نزدیک به سرچشمه رودخانه نمکلان در سازند گچساران واقع شده‌اند، می‌توان در موقعیت نقطه نمونه‌برداری شماره ۳، با احداث حوضچه‌های تبخیر و یا هر روش ممکن دیگر نمک موجود را بهره‌برداری کرد و بنابر استانداردهای موجود، از نمک استفاده نمود تا از این راه، هم از نمک موجود استفاده مناسب شده باشد و هم از شور شدن زمین‌های پایین‌دست و کاهش کیفیت آب رودخانه گذار خوش جلوگیری شود.

### منابع

- احمدی، طیبه؛ رحیمی چاکدل، عزیز؛ برجسته، آرش (۱۳۹۰) نقش سامانه شکستگی سازند تبخیری گچساران در الگوی آبراهه‌های ناحیه لالی-گتوند در شمال استان خوزستان، **مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین**، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اکبری ولنی، هوشنگ؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ اسکندری دامنه، حامد (۱۳۹۶) آنالیز و بررسی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با کمک نمودارهای کالینز و شعاعی، **چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست**، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران.
- بهرامی، مهدی؛ معاضد، هادی؛ زارعی، حیدر؛ صادقی لاری، عدنان (۱۳۸۸) بررسی تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب رودخانه زهره در کهکیلویه و بویراحمد، **هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه**، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- بهزاد، اردوان؛ حمزه، فرهاد (۱۳۸۸) بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب آبخوان دهدشت غربی، **جغرافیا**، ۳ (۱۱)، صص. ۹۳-۱۱۲.
- ثروتی، محمدرضا؛ موغلی، مرضیه؛ شافعی، راحله؛ کسرائیان، علی (۱۳۹۱) تأثیر گنبد نمکی کنارسیاه بر منابع آب و خاک دشت کنارسیاه (فیروزآباد - استان فارس)، **جغرافیای طبیعی**، ۵ (۱۶)، صص. ۷۷-۸۸.
- جباری، ایرج (۱۳۹۳) نقش ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی در آلودگی رودخانه سیروان، **جغرافیا و پایداری محیط**، ۴ (۱۲)، صص. ۲۷-۴۲.
- خسروشاهی، محمد؛ محمودی، فرج‌اله؛ کاشکی، محمدتقی (۱۳۹۰) محدوده‌های بیابانی ایران با تأکید بر نقش عوامل زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل آنها، **علوم زمین**، ۲۰ (۸۰)، صص. ۱۵-۲۲.
- رئیزی، عزت‌اله؛ زارع، محمد؛ رضایی، محسن (۱۳۷۸) استفاده از ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در تعیین منشأ شوری

چشمه‌های کارستی رحمت، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز. زارعی، مهدی؛ رئیسی اردکان، عزت‌اله (۱۳۹۰) منشأ شوری آبخوان‌های کارستی و آبرفتی منطقه کنارسیاه به روش هیدروشیمیایی و ایزوتوپی، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران. طهماسبی، اصغر (۱۳۷۷) بررسی عوامل مؤثر در شور شدن آب‌و خاک و گسترش بیابان در حوضه رودخانه شور اشتهارد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته بیابان‌زدایی، استاد راهنما: دکتر سادات فیض‌نیا، دانشگاه تهران.

فروغی، عبدالمجید؛ ارشم، عزیز؛ خسروی‌نیا، احسان؛ اصغری پوردشت بزرگ، نظام (۱۳۸۹) بررسی عوامل افزایش شوری آب کارون در حوزه آبخیز کارون میانی (مطالعه موردی: ایستگاه سد کارون تا گذارلندر)، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مهندسی آب.

فریادی، سعید؛ شاهدی، کاکا؛ نباتپور، محدثه (۱۳۹۱) مطالعه پارامترهای کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳ (۶)، صص. ۹۲-۷۵. فکوری دکاهی، بهمن؛ مظاهری، مهدی؛ محمدولی سامانی، جمال (۱۳۹۶) ارزیابی راه‌کارهای کاهش شوری آب رودخانه کارون با استفاده از سناریوهای مدیریتی، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۰ (۲)، صص. ۲۵۶-۲۴۵.

فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۶) بیابان‌زایی ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی ایران، مطالعه موردی: گنبد‌های نمکی، مجله بیابان، ۲ (۴-۱)، صص. ۵۸-۴۷.

قاسمی، علی؛ چراغی، سعید؛ فکری، حسن (۱۳۸۵) بررسی اثرات ذخایر نمکی بر آلودگی منابع آبی (گنبد نمکی نازی در استان چهارمحال و بختیاری)، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در معادن و صنایع معدنی محیط‌زیست، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو تهران.

کلانتری، نصرت‌اله؛ محمدی بهزاد، حمیدرضا (۱۳۹۲) بررسی منابع تغذیه چشمه‌های کارستی سبزآب و بی‌بی تلخون با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم، نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، دانشگاه فردوسی، مشهد.

محمدی بهزاد، حمیدرضا؛ کلانتری، نصراله؛ بیگلری، بابک؛ ترابی کاوه، مهدی (۱۳۹۵) بررسی منشأ شوری آب رودخانه زهره در پایین‌دست سد چم‌شیر و قابلیت آن برای مصارف کشاورزی، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۶ (۲۱)، صص. ۸۳-۷۴.

معتمد، احمد (۱۳۷۶) کواترنر (زمین‌شناسی دوران چهارم)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

معیری، مسعود؛ احمدی‌نژاد، یعقوب (۱۳۸۵) پدیده دی‌پایریسم و تأثیر آن بر آلودگی رودخانه شور دهرم، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸ (۱)، صص. ۴۵-۳۳.

نخعی، محمد؛ موسائی، فیروز؛ رضائی، اکبر؛ امیری، وهاب (۱۳۹۰) ارزیابی کیفی رودخانه کارون و سرشاخه‌های آن در استان چهارمحال و بختیاری، زمین‌شناسی ایران، ۵ (۲۰)، صص. ۷۲-۵۹.

ویسی، شادمان؛ هوشمند، عبدالرحیم؛ پناهی، مصطفی (۱۳۸۹) بررسی منشأ شوری منابع آب زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی دشت گتوند عقیلی)، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

Ahmed, M. K., Baki, M. A., Islam, M. S., Kundu, G. K., Sarkar, S. K., Hossain, M. M. (2015 a). Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Tropical fish and Shell fish Collected

- from the River Buriganga, Bangladesh, **Environmental Science and Pollution Research**, 22 (20), pp. 15880-15890.
- Ahmed, M. K., Shaheen, N., Islam, M. S., Al-Mamun, M. H., Islam, S., Banu, C. P. (2015 b). Trace Elements in Two Staple Cereals (Rice and Wheat) and Associated Health Risk Implications in Bangladesh. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187 (6), pp. 326-336.
- Dipak, P. (2017) Research on Heavy Metal Pollution of River Ganga: A Review, **Annals of Agrarian Science**, 15 (2), pp. 278-286.
- Fernández, A. C., Fernández, A. M., Domínguez, C. T., Santos, B. L. (2006) Hydrochemistry of Northwest Spain Ponds and Relationships to Groundwaters, **The Ecology of the Iberian Inland Waters: Homage to Ramon Margalef**, 25 (1-2), pp. 433-452.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Hoque, M. F. (2015) Preliminary Assessment of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments from a River in Bangladesh, **Environmental Earth Sciences**, 73 (4), pp. 1837-1848.
- Jeevanandam, M., Kannan, R., Srinivasalu, S., Rammohan, V. (2007) Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment of Lower Part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore district, South India, **Environmental Monitoring and Assessment**, 132 (1-3), pp. 263-274.
- Kim, T. H., Kang, J. H., Kim, S. H., Choi, I. S., Chang, K. H., Oh, J. M., Kim, K. H. (2017) Impact of Salinity Change on Water Quality Variables from the Sediment of an Artificial Lake under Anaerobic Conditions, **Sustainability**, 9 (8), pp. 1-8.
- Knut, B., Kjetil, G. (1994) Salinity Variations in North Sea Formation Waters: Implications for Large-Scale Fluid Movements, **Marine and Petroleum Geology**, 11 (1), pp. 5-9.
- Mir Mohammad, A., Mohammad Lokman, A., Md. Saiful, I., Md. Zillur, R. (2016) Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh, **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, 5, pp. 27-35.
- Mosaffaie, J. (2016) Application of Artificial Neural Network, Multiple-Regression and Index-Flood Techniques in Regional Flood Frequency Estimation, **International Journal of Water**, 10 (4), 328-342.
- Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M. R., Dastorani, M. T., Azimzadeh, H. R., Zare Chahuki, M. A. (2015) Temporal and spatial variation of the water erosion rate, **Arabian Journal of Geosciences**, 8 (8), 5971-5979.
- Obiefuna, G. I., Sheriff, A. (2011) Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes, **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, 3 (2), pp. 131-141.
- Paolo, V., Queenie, C., Aneire, K. (2011) Climate Change Impacts on Water Salinity and Health, **Epidemiology and Global Health**, 1 (1), pp. 5-10.
- Wilcox, L. V. (1955) **Classification and use of irrigation waters**, US Department of Agriculture, Circ. 969. Washington, DC.
- Xie, X., Jiu, J. J., Li, S., Cheng, J. (2003) Salinity Variation of Formation Water and Diagenesis Reaction in Abnormal Pressure Environments, **Science in China Series D: Earth Sciences**, 46 (3), pp. 269-284.
- Zhao, C., Shen, B., Guan, D., Wang, X. (2004) Groundwater Chemical Test in Hotan Subproject Area and Counter Measures for Exploitation, **Proceedings 7<sup>th</sup> International Regional conference on Environment and water**, China, 2, pp. 1028-1032.