

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره نه، آذرماه ۱۴۰۳ (۱۳۵-۱۱۹)

ارزیابی تغذیه گرایی و مخاطرات محیط زیستی انتقال آب در تونل زاگرس با در نظر گرفتن نشت گاز سولفید هیدروژن

حسین یوزباشی^۱

حسن احمدی^{۲*}

Ha.ahmadi56@yahoo.com

آزیتا بهبهانی نیا^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: تونل زاگرس به عنوان انتقال دهنده اصلی آب سامانه و تامین کننده ۹۷٪ جریان ورودی مخزن سد پایین دست، با مساله نفوذ آب زیرزمینی و نشت گاز سولفید هیدروژن مواجه است و هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان نشت آب زیرزمینی حاوی گاز سولفید هیدروژن به تونل و ارزیابی تغذیه گرایی و مخاطرات زیست محیطی ناشی از آن می باشد.

روش بررسی: در مطالعه حاضر نظر به اقدامات اجرایی برای آب بندی تونل، با مدل سازی سامانه انتقال و جریانات ورودی اثرات نشت از سازند بر کیفیت آب به صورت کمی شبیه سازی گردید. نظر به کیفیت آب ورودی به مخزن در زمان های مختلف، از روش های تجربی تایید شده برای ارزیابی پتانسیل تغذیه گرایی مخزن پایین دست استفاده شد.

یافته ها: بر اساس مدل کیفی استفاده شده، اگرچه EC جریان نشت به تونل بالا و حدود $3000 \mu S/cm$ است، لیکن به دلیل دبی کم و تاثیر محدود بر جریان کلی تونل، شوری جریان نهایی از $700 \mu S/cm$ تجاوز نخواهد کرد و استفاده از آب خروجی برای کشاورزی علی رغم غلظت بالای سولفید هیدروژن در جریان نشت، وجود این گاز در جریان نهایی، محدودیتی ایجاد نمی نماید. البته در سال های با بارندگی زیاد انتظار نشت بیشتر و تنزل کیفیت وجود دارد. بر اساس نتایج، مخزن با TSI حدود ۸۵٪ در شرایط تغذیه گرایی زیاد قرار دارد. **بحث و نتیجه گیری:** به دلیل زمان ماند کوتاه (۱۲ روز)، گفته می شود در مخزن تغذیه گرایی رخ نمی دهد در صورتی که نتایج تحقیق مبین بروز تغذیه گرایی در مخزن است لذا مدیریت کیفی آب ضروری می باشد. با احتمال افزایش مواد مغذی در آینده، پتانسیل تغذیه گرایی نیز تشدید و علاوه بر آن، ورود ترکیبات نیتروژن و فسفر در مخزن، می تواند منجر به تغذیه گرایی زیاد این مخزن کوچک شود.

واژه های کلیدی: تغذیه گرایی، تونل زاگرس، کیفیت آب، مدل تجربی، نشت.

۱- دانشجوی دکتری، عمران- آب، واحد رودهن، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

۲- استادیار گروه عمران، واحد رودهن، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه محیط زیست، واحد رودهن، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

Evaluation of nutrition and environmental risks of water transfer in Zagros tunnel considering hydrogen sulfide gas leakage

Hosein Youzbashi¹

Hasan Ahmadi^{2 *}

Ha.ahmadi56@yahoo.com

Azita Behbahani nia³

Admission Date: September 27, 2023

Date Received: November 8, 2022

Abstract

Background and Objective: Zagros tunnel, as the main water carrier of the system and supplying 97% of the incoming flow of the downstream dam reservoir, is facing the problem of underground water infiltration and hydrogen sulfide gas leakage.

Material and Methodology: In the present study, the effects of leakage from the formation on the water quality were quantitatively simulated by modeling the transmission system and input flows regarding the implementation measures for tunnel sealing. Considering the quality of water entering the reservoir at different times, approved experimental methods were used to evaluate the trophic potential of the downstream reservoir.

Findings: Based on the qualitative model used, although the EC of the leakage flow into the tunnel is high and around 3000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), but due to the low flow rate and limited effect on the overall flow of the tunnel, the final flow salinity is 700 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). It will not be exceeded and the use of outgoing water for agriculture, despite the high concentration of hydrogen sulfide in the leakage flow, the presence of this gas in the final flow does not create any restrictions. Of course, in years with high rainfall, more leakage and quality degradation can be expected. According to the results, the tank with TSI of about 85 is in high trophic conditions.

Discussion and Conclusion: Due to the short retention time (12 days), it is said that trophicisms does not occur in the reservoir, but the research results show that trophicisms occurs in the reservoir and water quality management is necessary. With the possibility of increasing nutrients in the future, the potential of nutritionism is also intensified, and in addition, the entry of nitrogen and phosphorus compounds in the reservoir can lead to nutritionism in this small reservoir.

Keywords: Nutritionism, Zagros Tunnel, Water quality, Experimental model, Leakage.

1- PhD student, Civil Engineering-Water Department, Roudhen Branch, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Roudhen, Iran

2- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Rudhan Branch, Islamic Azad University, Rudehen, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Assistant Professor, Department of Environment, Roudhen Branch, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Roudhen, Iran.

مقدمه

منابع آب سطحی که در رودخانه ها جریان دارد و منابع آب زیرزمینی از منابع مهم تامین آب در بیشتر نقاط جهان هستند که ایران هم از این قاعده مستثنی نیست. جریان آب در پروژه های تونل سازی یکی از مسائلی است که می تواند آثار مخرب فراوانی بر طرح داشته و فعالیت تونلسازی را کاملاً تحت تاثیر قرار دهد. تجربیات گذشته نشان داده است پیش بینی دقیق مقدار نفوذ آب در تونل های حفر شده در سنگ به دلیل عدم در نظر گرفتن تمامی عوامل تاثیر گذار بر جریان آب به خصوص شرایط و خصوصیات ناپیوستگی ها امکان پذیر نیست. از آن طرف بعد از بهره برداری از سامانه های انتقال آب زیرزمینی نیز، بررسی کیفی منابع آب سطحی و ارتباط آن ها با سازندهای زمین شناسی مساله بسیار مهمی است که امخوزه با توجه به انتقال آب های گسترده از طریق تونل ها تحت تاثیر قرار می گیرند.

شوری را می توان به عنوان یک آلاینده در نظر گرفت که تجاوز آن از یک مرز مجاز تعیین شده در استانداردها موجب آلودگی منابع آب و از جمله مخازن سدها که از منابع اصلی تجمع شوری به شمار می روند، خواهد شد. حد مجاز شوری بسته به نوع مصرف در استانداردها معین شده است. در استاندارد ایران و استاندارد EPA^۱ حد مطلوب شوری برای آب شرب برابر با ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و حد مجاز آن برابر با ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر می باشد.

مطالعات بسیاری در زمینه کیفیت منابع آب های زیرزمینی انجام شده است، اما تحقیق حاضر به بررسی تاثیر پذیری جریان آب ایجاد شده به صورت انسان ساخت در داخل سازندهای زمین شناسی است که هم تشابه و تمایز های عوامل مختلفی در کاهش کیفیت آب نقش دارند به طوری که آلودگی در منابع آب به دلیل شهرنشینی و سازندهای زمین شناسی، افزایش جمعیت و همچنین مدیریت ناکارآمد مشهود است (۱) و همچنین تغییرات در کاربری اراضی زمین و پوشش زمین برای شهرنشینی و جنگی زدایی برای کیفیت آب مضر است (۲). یکی از عواملی که بر روی کیفیت منابع آب های زیرزمینی اثر به سزایی می

گذارد سازندهای زمین شناسی می باشد که در اینجا پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مثل DO، BOD، کل جامدات معلق، کل جامدات محلول در فصل گرم و خشک با توجه به شاخص کیفی WQI اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان داد با توجه به کاربری اراضی مثل کشاورزی کیفیت آب به طور قابل توجهی تغییر می کند و تخریب جنگل و توسعه کشاورزی و از جمله این کارها بر روی کیفیت آب های زیرزمینی اثر گذاشته و باعث آلودگی آب شده که توصیه ها و اقدامات لازم از طریق سازمان محیط زیست و مراجع ذی ربط باید ابلاغ شود (۳).

ترکیب کانی شناسی سازندهای زمین شناسی تاثیر زیادی بر روی کیفیت آن دارد. این ترکیبات می تواند منجر به تخریب پوشش بتنی تونل های انتقال آب شوند (۴). مطالعه هیدروشیمیایی آب های زیر زمینی معمولاً براساس اطلاعات جامعی که در ضمن برداشت آمار آب های زیرزمینی صورت می گیرد، انجام می شود. این ترکیبات هیدروشیمیایی تحت تاثیر عوامل مختلفی چون زمین شناسی، نوع سنگ و سازند های زمین می باشد (۵). مطالعات مختلفی راجع به ۸ ترکیبات شیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است. در مطالعه ای در منطقه هستیجان، ۱۱ نمونه آب زیرزمینی برداشت شد (۲ نمونه مربوط به چاه، ۴ نمونه مربوط به قنات، ۵ نمونه مربوط به چشمه). پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مثل مس، روی، آهن، کروم و همچنین شاخص های TH، EC (هدایت الکتریکی) و Ph به منظور ارزیابی کیفیت آب های زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد (۶). با بررسی سنگ های اطراف منطقه به وجود سنگ آهک، دولومیت، ماسه سنگ، مارن و شیل پی برده شد. منابع منطقه نشان داد که ۸٪ این آب نسبت به کانی های دولومیت و کلسیت فوق اشباع هستند و نسبت به مواد معدنی سولفات کمتر اشباع شده اند. غلظت آهن بیش از حد استاندارد ۰/۲ ppm که در نیمی از نمونه ها یافت شد، ناشی از ماسه سنگ های آهن دار

بود که درست در بالادست چشمه ها قرار داشتند. این مطالعه نشان می دهد که کیفیت آب های زیرزمینی تحت تاثیر عاملی مانند زمین شناسی محیط اطراف، نوع سنگ، میزان هوادهی سنگ ها و واکنش های هیدروشمیایی هستند. همچنین بررسی واحدهای زمین شناسی از منظر تاثیر آن ها بر آب نشان می دهد که دولومیت ها، شیل ها و ماسه سنگ ها که در میان سازندها پراکنده اند، روی کیفیت آب تاثیر به سزایی دارند. سازندهای زایگون، لالون و دولومیتا کمتامیانی و آهک ها، تاثیر مستقیم بر روی کیفیت آب دارند (۶).

در علم سنگ شناسی، گفته می شود که آب بر شکل گیری سنگ تاثیر می گذارد. حل شدن کاتیون ها و آنیون های مختلف در آب، در نهایت کیفیت آب را تغییر می دهد (۷). در یک پژوهش که به منظور ارزیابی اثرات زمین شناسی و شوری بر روی کیفیت آب در چهار استان فارس، همدان، سمنان و زنجان انجام شد، در هر استان یک ایستگاه تحقیقاتی پخش سیلاب انتخاب شد. نمونه های خاک و آب از سطح خاک، آب های زیرزمینی و رودخانه های مربوطه جمع آوری و شاخص های هدایت الکتریکی، pH، کاتیون ها، آنیون ها و SAR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین سازند رسوبی با توجه به آذین و دگرگونی بودن نقش زیادی در کیفیت آب دارد. نتایج آن ها نشان داد که میسون و سازندهای مارن بر روی کیفیت آب تاثیر گذاشته و غلظت و هدایت الکتریکی را افزایش داده است (۸). رفیعی و همکاران (۹) برای مدل سازی تاثیر خصوصیات ناپیوستگی ها بر روی نرخ جریان آب ورودی به تونل سوم کوه رنگ، از نرم افزار اجزای گسسته ی UDEC استفاده و با تغییر خصوصیات ناپیوستگی های منطقه، نرخ جریان ورودی به تونل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر خصوصیات ناپیوستگی های منطقه، نرخ جریان ورودی به تونل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر خصوصیات ناپیوستگی ها در نرخ جریان پایدار آب در تونل دارای تاثیر به سزایی است و از میان این خصوصیات، میزان بازشدگی درزه، بیش ترین تاثیر را بر نرخ جریان آب ورودی به تونل دارد (۹).

ندرخلانو و همکاران (۱۰) کیفیت آب سد مخزنی گتوند علیا که تحت تاثیر انحلال سازندهای بالادست، رو به شوری گذاشته است

را بررسی کردند. سد گتوند علیا با حجم کل نزدیک به ۴/۴ میلیارد متر مکعب روی رودخانه کارون احداث شده و پایین دست ترین سد از سلسله سدهایی است که بر رودخانه کارون احداث گردیده است. وجود سازندهای نمکی گچساران در این مخزن باعث گردیده بخشی از آب مخزن شور شده و به تبع آن آب کارون در پایین دست سد تحت تاثیر قرار گیرد. با توجه به اینکه مقدار نرخ انحلال مهم ترین پارامتری است که در برآوردهای کمی از میزان انحلال نقش دارد، آنها مقدار نرخ انحلال سازندهای نمکی، براساس لایه بندی شوری درون مخزن سد را واسنجی و صحت سنجی کردند. همچنین امکان پذیری مدیریت کیفی مخزن با توجه به مشکل به وجود آمده مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نتایج مدل سه بعدی راهکارهای مربوطه نیز ارائه شد (۱۰).

قمشی و حق بین (۱۱) آمار و اطلاعات شوری لایه های مختلف مخزن گتوند و میزان شوری ایستگاه های هیدرومتری گتوند و اهواز در مسیر کاروند و ایستگاه هیدرومتری حرمله در رودخانه در را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در فاصله زمانی اسفند ۱۳۹۰ تا بهمن ۱۳۹۱ مقدار وزن نمک تجمع یافته از ۳/۳ میلیون تن به ۸/۷ میلیون تن افزایش یافته است. بررسی روند شوری آب کارون در مقطع اهواز نشان می دهد مقدار EC کارون که متوسط آن در فاصله زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ برابر ۲۰۰۰ میکروموس بوده است در سال ۱۳۹۱ به ۲۴۹۶ افزایش داشته است (۱۱). طاووسی و همکاران (۱۲) اثر انحلال سازند گچساران بر شوری آب مخزن پارسیان را مطالعه کردند. سازند گچساران در قسمت هایی از محدوده دریاچه سد پارسیان رخنمون یافته است که عمدتاً حاوی ترکیبات ژئیس دار CaSO_4 است. نگرانی سازندگان سد پارسیان این بوده است که به علت انحلال پذیری ژئیس در آب احتمال آن وجود دارد تا مقدار املاح محلول آب دریاچه سد پارسیان همزمان با آبیگری مخزن و تشکیل دریاچه یکباره افزایش یافته و کیفیت آب دریاچه به شدت تنزل یابد. در این مطالعه با ساخت پایلوت آزمایشگاهی در محل سد و انجام آزمایش های دوره ای، میزان انحلال پذیری ژئیس در مخزن سد پارسیان برآورد گردید. نتایج به دست آمده از ۲۴ تست، سرعت انحلال سازند گچساران را داخل مخزن بسته به نوع ترکیبات آن و نرخ انحلال سازند، از

منطقه مطالعاتی

حوضه مورد مطالعه شامل حوضه رودخانه سیروان با وسعت ۱۳۹۰۰ کیلومتر مربع است که از شمال و شمال غرب به حوضه های آبریز سفید رود، دریاچه ارومیه و زاب، از جنوب و جنوب شرق به حوضه های آبریز کرخه و رودخانه های مرزی غرب و از شرق به حوضه قره چای و از غرب به کشور عراق محدود می شود (۱۴). رودخانه سیروان در غرب ایران یکی از مهمترین رودخانه های منطقه می باشد که برفاب و باران کوه های منطقه را از طریق آبراهه های سطحی زاگرس در خود جای می دهد.

به منظور استفاده بهینه از منابع آب تولیدی در کشور، جریان رودخانه اصلی با رعایت نیاز مرزی به حوضه های کرخه و گرمسیری منتقل شود. طرح انتقال، اراضی حاشیه نوار مرزی غرب استان های کرمانشاه و ایلام را شامل می شود که این اراضی توسط سامانه انتقال آب از خروجی تونل زاگرس تا دشت موسیان، تحت پوشش قرار می گیرد. آب انتقالی از حوضه اصلی بند هیروی به تونل زاگرس منحرف شده و در محدوده شهر پایین دست وارد حوضه انتقال می شود. بند هیروی به عنوان آخرین سازه بر روی رودخانه اصلی قبل از مرز ایران و عراق، وظیفه انحراف آب به تونل زاگرس را بر عهده دارد. بند تنظیمی هیروی با تنظیم سطح آب مخزن مابین تراز های ۶۴۴ تا ۶۵۰ امکان آبیگری به صورت آزاد توسط سامانه ی آبیگر زاگرس میسر می گردد. متوسط آورد رودخانه در محل بند هیروی ۱۲۵ میلیون متر مکعب است (م م) که حداکثر آن مربوط به فروردین با ۴۴۴ م م و کمترین آن مربوط به آذرماه با ۳۹ م م است. در شکل ۱ شمای کلی مخازن، تونل و رودخانه های تقاطعی نشان داده شده است.

۴ سانتی متر در سال (برای سرعت صفر در مخزن) تا ۱۲ سانتی متر در سال (برای ماکزیمم سرعت محاسبه شده در مخزن) برآورد کرده است (۱۲). نتایج این تحقیق بیانگر تاثیر سازندهای زمین شناسی انحلال پذیر بر مخازن آب سطحی و افت کیفی آب برای مصارف پایین دست است.

بررسی مطالعات در دسترس نشان می دهد آنچه در این مطالعات مورد توجه قرار گرفته است عمدتاً تاثیر سازندهای انحلال پذیر بر کیفیت آب در مخازن سدها و رودخانه ها بوده است و این موضوع در تونل های بلند انتقال آب کمتر در نظر گرفته شده است. از طرفی در هر پدیده زمین شناسی و هیدرولوژیکی عدم قطعیت های زیادی وجود دارد. از جمله این که انحلال تابعی از درجه حرارت است که نشان می دهد در فصول مختلف می تواند پدیده انحلال و شور شدن آب ها به شکلی متفاوت باشد. به علاوه ورود جریان شور به منابع آب سطحی که در تونل ها در حال انتقال است تابعی از شرایط هیدرولوژیکی و بارندگی است که این هم در فصول مختلف و شرایط خشکسالی و تر سالی متفاوت است (۱۳). پارامتر موثر دیگر حجم سازند انحلال پذیر و سطح در معرض جریان آب است که عدم قطعیت های بسیاری دارد. براساس عدم قطعیت های متعددی که در این تحقیق وجود دارد، مطالعه ورود شوری به تونل انتقال آب و تغییرات زمانی و مکانی آن و اثر نهایی آن بر شوری جریان خروجی از تونل بسیار مهم است. به همین دلیل در این تحقیق به این موضوع مهم پرداخته شده و اثر برخی عدم قطعیت های هیدرولوژیکی بر کیفیت آب خروجی از تونل های انتقال آب بررسی خواهد شد.

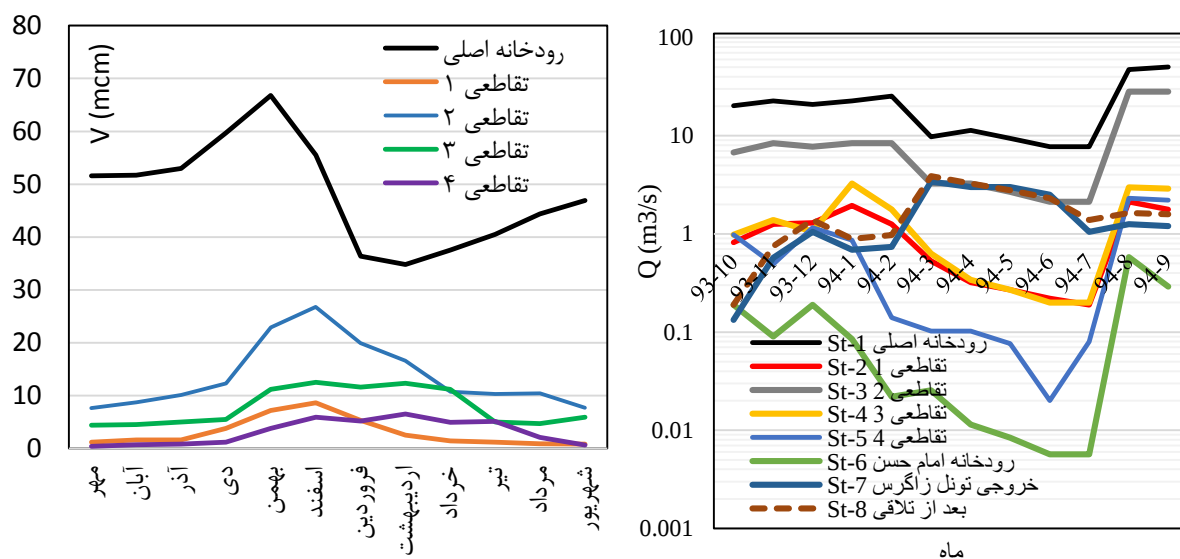


شکل ۱- شمای کلی از اجزای سیستم مطالعاتی از بند هیروی و تونل زاگرس تا سد

Figure 1. Overview of the components of the study system from Hirvi dam and Zagros tunnel to the dam

به همراه آب انتقالی از چهار رودخانه تقاطعی (۱، ۲، ۳ و ۴)، جریان خروجی از تونل زاگرس را تشکیل خواهند داد که پس از خروج از تونل در محل سد پایین دست به حوضه انتقال وارد می‌شود. سد پایین دست بخشی از جریان های نابهنگام خروجی از تونل زاگرس را تنظیم می نماید. این سد با حجم $30/2$ م^۳م و ارتفاع ۵۰ متر به عنوان تنظیم کننده جریان خروجی از تونل زاگرس نیز شناخته می‌شود (۱۵). در شکل ۲ میزان حجم آب انتقالی ماهانه از هر یک از رودخانه های محدوده مطالعاتی به تونل زاگرس نشان داده شده است.

در شکل ۲ الف دبی ماهانه رودخانه های محدوده مطالعاتی، دبی خروجی از تونل زاگرس در نتیجه نشست آب زیرزمینی و دبی رودخانه امام زاده حسن نشان داده شده است. بر اساس اندازه گیری های دبی ماهانه، متوسط دبی سالانه رودخانه های اصلی، تقاطعی ۱، ۲، ۳، ۴، رودخانه امام حسن و جریان نشست به ترتیب برابر $2/2$ ، ۱، $9/1$ ، $1/3$ ، $0/7$ ، $0/1$ و $1/6$ متر مکعب به ثانیه است. لازم به ذکر است که داده های اراوه شده مربوط به دوره قبل از بهره برداری بوده و بنابراین جریان خروجی تونل تنها شامل دبی تراوش از سازند به درون تونل می‌باشد. در زمان بهره برداری آب خروجی از رودخانه اصلی از محل بند هیروی

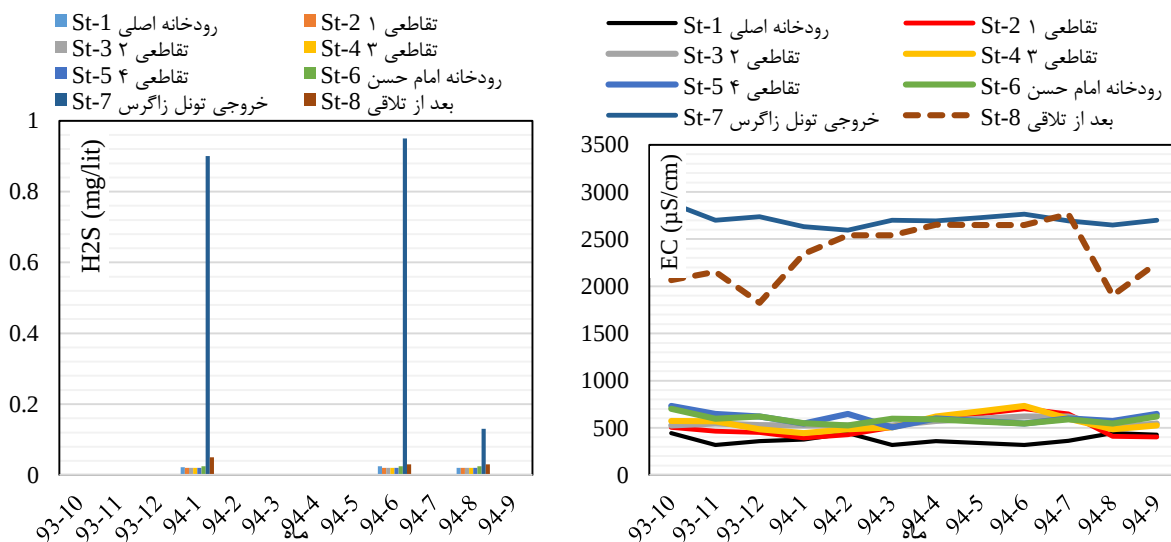


شکل ۲- الف) دبی ماهانه رودخانه‌ها و ب) حجم انتقال آب ماهانه از رودخانه‌های تقاطعی به تونل زاگرس

Figure 2. a) monthly discharge and b) volume of monthly water transfer from the intersecting rivers to the Zagros tunnel

نوع علفی و بوته ای در حواشی رودخانه می باشد. در شکل ۳ تغییرات شوری و میزان غلظت گاز H_2S در رودخانه های مطالعاتی و جریان نشست (خروجی تونل زاگرس) به تونل زاگرس آمده است.

بعد از خروج آب از تونل زاگرس، جریان رودخانه امام حسن نیز به آن می پیوندد و جریان نهایی وارد سد پایین دست می شود. رودخانه امام حسن در محل سرشاخه با دبی کم و عمق متوسط کمتر از ۵۰ سانتی متر دارای پوشش گیاهی عمدتاً از



شکل ۳- تغییرات الف) شوری و ب) H_2S در رودخانه های منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۴

Figure 3. a) Salinity and b) H_2S changes in the rivers of the study area in 2013 to 2014

روش شناسی

در این مطالعه با توجه به نیازهای کشاورزی که در سامانه انتقال و سد پایین دست تعریف شده است، به تفسیر تغییرات کیفیت آب در مسیر بند هیروی تا سد پایین دست پرداخته خواهد شد. در تونل زاگرس به دلیل نشست زیاد، کیفیت آب تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می گیرد که می تواند بر کیفیت آب مخزن سد پایین دست موثر باشد. با توجه به سازندهای زمین شناسی سرباره تونل زاگرس، سناریوهای مختلفی برای میزان نشست به تونل در نظر گرفته می شود و هر بار با برآورد بیلان جرمی، سناریوهای مختلف کیفیت آب خروجی تونل که به سد پایین دست وارد می شود، برآورد می شود. در منطقه مطالعاتی جریان ۵ رودخانه اصلی، تقاطعی ۱، تقاطعی ۲، تقاطعی ۳ و تقاطعی ۴ ($i=1..5$) وارد تونل می شوند. بعلاوه جریان نشست از سازند به تونل و جریان رودخانه امام حسن نیز در نهایت به تونل اضافه می شوند که تاثیر کیفیت آب آنها بر جریان نهایی به صورت معادله (۱) در نظر گرفته می شود (۱۶).

$$\sum_{i=1}^5 Q_i C_i + Q_s C_s + Q_r C_r = Q_{out} C_{out} \quad (1)$$

که در آن Q_i و C_i به ترتیب دبی جریان و کیفیت آب ورودی از رودخانه های مطالعاتی به تونل زاگرس است ($i=1..5$)، Q_s و C_s به ترتیب دبی جریان و کیفیت آب نشست از سازند به تونل زاگرس و Q_{out} و C_{out} نیز به ترتیب دبی جریان و کیفیت آب در انتهای رودخانه که وارد سد پایین دست می شود، است.

بنابراین با توجه به احتمال کاهش کیفیت آب و پتانسیل تغذیه گرای در مخزن، با استفاده از روش های تجربی امکان تغذیه گرای نیز بررسی و تاثیر آن بر کیفیت آب پایین دست نیز ارزیابی می شود. در این بخش روش های مختلف تجربی مورد بحث و بررسی، ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد.

۱- ارزیابی کیفی آب

بر اساس استاندارد کیفیت آبهای ایران مصوب سازمان حفاظت محیط زیست، استانداردهای کیفی آب برای مصارف کشاورزی مطابق با جدول ۱ و جدول ۲ می باشد. لازم به ذکر است منابع مورد استفاده برای حدود مجاز کیفیت میکروبی و بیولوژیکی، از مقادیر حداکثر غلظت مجاز توصیه شده توسط سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی و توصیه های سازمان بهداشت جهانی بوده است.

جدول ۱- استانداردهای پارامترهای کیفی آب برای مصارف کشاورزی و آبیاری (۱۷)

Table 2. Standards of water quality parameters for agricultural and irrigation purposes (17)

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار
۱	هدایت الکتریکی	$\mu S/cm$	۳۰۰۰
۲	نیتروژن نیتراتی	mg/lit	۳۰
۳	سولفید هیدروژن	mg/lit	۳
۴	سولفات	mg/lit	۸۰۰
۵	pH	-	۶/۵-۸/۴

جدول ۲- حدود مجاز کیفیت میکروبی و بیولوژیکی آب برای مصارف کشاورزی و آبیاری (۱۷)

Table 2. Limits of microbial and biological quality of water for agricultural and irrigation purposes (17)

گروه	نوع محصولات	نماتدهای روده ای (میانگین حسابی تعداد در لیتر)	کلیفرم مدفوعی (میانگین هندسی تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)
الف	محصولاتی که خام مصرف می شوند، زمین های ورزشی و پارک های عمومی	<1	<1000
ب	غلات، محصولات صنعتی، علوفه، چراگاه ها و درختان	<1	بدون محدودیت
ج	محصولات گروه ب در صورت عدم مواجهه کارگران و عموم	بدون محدودیت	بدون محدودیت

۲- تغذیه گرای مخزن

جهت پیش بینی وضعیت تغذیه گرای مخزن، روش‌ها و روابط تجربی متفاوتی که با انجام مطالعات متعدد بر روی دریاچه‌های نقاط مختلف دنیا استخراج گردیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. Vollenweider, Kerekes (۱۸) از یک روش گرافیکی استفاده نمود. Vollenweider (۱۹) و Larsen, Mercier (۲۰) با تعریف رابطه تعیین نرخ خالص حذف، Vollenweider, Kerekes (۱۵) با ارائه فرمولی جهت تخمین غلظت فسفر در دریاچه با توجه به بار ورودی از رودخانه، Lorenzen (۲۱) با ارائه روابطی جهت تخمین غلظت متوسط و حداکثر کلروفیل سالانه در مخزن با توجه به مشاهدات میدانی بر روی دریاچه‌ها و مخازن نقاط مختلف دنیا، اقدام به تعیین وضعیت تغذیه گرای مخزن نمودند. ایشان با استخراج پارامترهای فوق برای دریاچه‌های مورد بررسی از طریق جداول تجربی نسبت به پیش بینی وضعیت تغذیه گرای دریاچه‌های مورد مطالعه، اقدام نمودند. این روابط با این پیش فرض که در اغلب موارد فسفر ماده مغذی محدودکننده تولیدات بایومس در آب می‌باشد، ارائه شده است. در عمده روش‌های تجربی با اندازه گیری میزان فسفر ورودی به آب یا میزان فسفر پیکره آبی در حالت کاملاً آمیخته می‌توان تولیدات گیاهی و سطح تغذیه گرای سیستم را ارزیابی نمود. مشخصات هیدرولیکی مخزن جهت برآورد غلظت فسفر حالت آمیخته از روی غلظت ورودی به دریاچه و زمان ماند آن از پارامترهای اولیه مورد نیاز در این روابط می‌باشد. نرخ ترقیق (D) جهت محاسبه زمان ماند فسفر، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D = \frac{1}{T_w} = \frac{Q_{out}}{V} \quad (۲)$$

که در آن V حجم مخزن (m^3)، Q_{out} دبی خروجی از مخزن (m^3/s) و T_w زمان ماند در مخزن است. اگر مقدار T_w از ۱۵ روز کمتر باشد، مخزن از نوع تخلیه سریع، ۱۵ تا یک سال زمان ماند متوسط و مخزن با زمان ماند بیش از یک سال با زمان ماند طولانی طبقه بندی می‌شود. این روابط با توجه به اندازه گیری‌ها

و مشاهدات میدانی تعداد بسیار زیادی از مخازن و دریاچه‌ها، تدوین گشته و طی سالیان گذشته توسط محققان مختلف تکمیل و مورد استفاده قرار گرفته است.

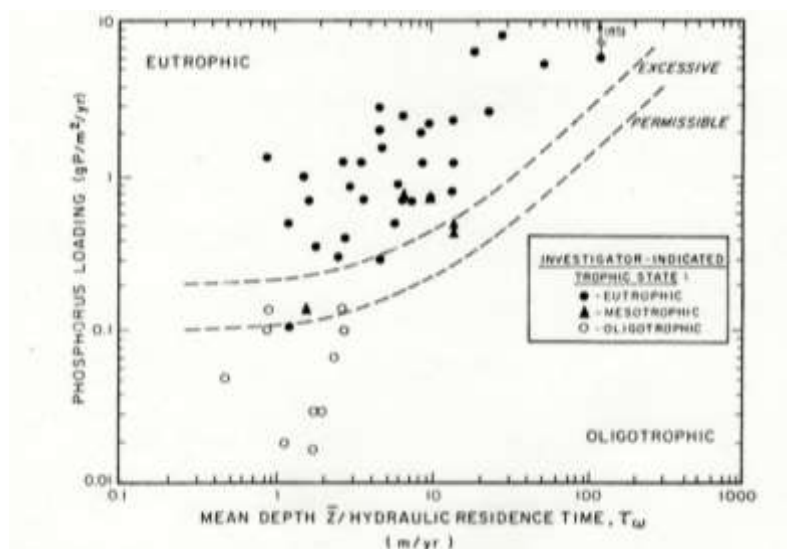
گراف تجربی Vollenweider

Kerekes, Vollenweider (۱۸) با مطالعه بر روی ۴۹ دریاچه امریکا، گرافی را برای تشخیص تغذیه گرای در مخازن بدست آورد. در این گراف وضعیت غذایی یک پیکره آبی از روی بار فسفر ورودی و زمان ماند آب در دریاچه تعیین می‌شود. با محاسبه دو پارامتر "عمق متوسط مخزن ($\bar{Z}$)" تقسیم به زمان ماند آب در مخزن بر حسب سال "و" "میزان فسفر مخزن در طول سال (P)" تقسیم بر مساحت دریاچه^۲ (LP) طبق روابط زیر وضعیت تغذیه گرای پیکره آبی را در یکی از سه حالت شاداب (Oligotrophic)، مغذی (Eutrophice) و بینابینی (Mesotrophic) از روی گراف شکل ۴ قابل تعیین است. پارامترهای گراف تجربی Vollenweider عبارتند از L_p و q_s که به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$q_s = \frac{\bar{Z}}{T_w} \quad (۳)$$

$$L_p = \bar{Z}P(K + D) \quad (۴)$$

که در آن K نرخ خالص حذف ($K = \sqrt{D}$) است (۱۹).



شکل ۴- گراف تجربی Vollenweider برای بررسی تغذیه گرای مخزن (۱۸)

Figure 4. Vollenweider's experimental graph to check the feeding of the reservoir

Lorenzen (۲۱) با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از دریاچه‌های نقاط مختلف دنیا رابطه‌ای جهت تخمین غلظت میانگین و پیک کروفیل ($Chl\ a$) در دریاچه‌ها و مخازن پیشنهاد نمود که توسط Kerekes, Vollenweider (۱۸) مورد بازنگری قرار گرفته است. در صورتی که سطح کلروفیل اندازه گیری نشده باشد از روابط زیر می‌توان غلظت میانگین و پیک کلروفیل را به صورت تابعی از غلظت میانگین فسفر در دریاچه محاسبه نمود:

$$Chl\ a = 0.27P^{0.99} \quad (۶)$$

$$Peak\ Chl\ a = 0.58P^{1.07} \quad (۷)$$

با تعیین غلظت فسفر در مخزن طبق روابط فوق میزان تولیدات گیاهی ناشی از آن برآورد می‌گردد. به این ترتیب تنها با تعیین مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی مخزن و میزان غلظت فسفر در دریاچه (P) یا غلظت فسفر جریانات ورودی (PI) با محاسبه مقادیر $Chlorophyll\ a$ و $Peak\ Chlorophyll\ a$ ، وضعیت تغذیه گرای پیکره آبی تعیین می‌گردد. اطلاعات فوق در فازهای اولیه مطالعات احداث مخازن و سدها با هزینه منطقی قابل حصول بوده و با تعیین آنها، وضعیت کلی تغذیه گرای سیستم را تعیین خواهد نمود.

با تحلیل های رگرسیونی بر روی ۸۷ دریاچه و بر اساس معادلات تعادل جرمی با در نظر گرفتن زمان ماند فسفر جهت یافتن غلظت کاملاً آمیخته فسفر در توده آب، (۱۹) معادله زیر را براساس غلظت فسفر ورودی (PI) و پارامتر D پیشنهاد نمودند:

$$P = PI / (I + \sqrt{D}) \quad (۵)$$

این رابطه تخمین غلظت فسفر در مخزن با توجه به بار ورودی از رودخانه‌ها را ممکن می‌سازد. بعد از محاسبه این پارامترها، وضعیت تغذیه گرای مخزن از گراف شکل ۴ قابل استخراج است.

روش Kerekes, Vollenweider

در بسیاری از دریاچه‌ها و مخازن در حال بهره برداری غلظت فسفر با فرض اختلاط کامل کل دریاچه یا اختلاط کامل در سطوح فوقانی آن توسط اندازه‌گیری مستقیم تخمین زده شده و مقیاس عمل در تعیین وضعیت تغذیه گرای سیستم می‌گردد. در بررسی وضعیت تغذیه گرای یک پیکره آبی، روابط تخمین زنده تولیدات گیاهی و میزان جلبک در آب به منظور تخمین کیفیت آب از مهمترین پارامترها تلقی می‌شوند. در این زمینه روابط تجربی متفاوتی جهت تخمین مقادیر متوسط $Chlorophyll\ a$ و $Peak\ Chlorophyll\ a$ از روی میزان غلظت فسفر در حالت کاملاً آمیخته، ارائه شده است.

جدول ۳- معیار والن وایدر جهت بررسی وضعیت تغذیه گرای مخزن سد

Table 3. Wallen-Wider's criterion to check the trophic state of the dam reservoir

پارامتر کیفی	الیگوتروفیک		مزوتروفیک		یوتروفیک	
TP (µg/lit)	۸	۱۸-۳	۲۷	۹۶-۱۱	۸۴	۳۹۰-۱۶
TN (µg/lit)	۶۶۰	۱۶۰۰-۳۱۰	۷۵۰	۱۴۰۰-۳۶۰	۱۹۰۰	۶۱۰۰-۳۹۰
Chl a (µg/lit)	۱/۷	۰/۴-۳/۵	۴/۷	۱۱-۳	۱۴	۷۸-۲,۷
Peak.Chl a (µg/lit)	۴/۲	۱۱-۱,۳	۱۶	۵۰-۵	۴۳	۲۸۰-۱۰
Secchi depth (m)	۹/۹	۵/۲۸-۴	۴/۲	۱/۸-۵/۱	۲/۴	۰/۷-۸

شاخص کارلسون TSI

پارامترهای استفاده شده در این شاخص فسفر کل، غلظت کلروفیل a و عمق دیسک سکی می باشد. جهت بررسی تغذیه گرای بر حسب نیتروژن کل، فسفر کل و کلروفیل a، شاخص TSI به صورت ذیل محاسبه می شود:

$$\text{TSI (TN)} = 14.43 \ln (\text{TN}) + 54.45 \quad \text{mg/lit} \quad \text{بر حسب نیتروژن کل بر حسب} \quad (۷)$$

$$\text{TSI (TP)} = 14.42 \ln (\text{TP}) + 4.15 \quad \mu\text{g/lit} \quad \text{بر حسب فسفر کل بر حسب} \quad (۸)$$

$$\text{TSI (Chl a)} = 9.81 \ln (\text{Chl a}) + 30.6 \quad \mu\text{g/lit} \quad \text{بر حسب کلروفیل a بر حسب} \quad (۹)$$

در جدول ۴ طبقه بندی وضعیت کیفی مخزن بر اساس شاخص

TSI ارائه شده است.

جدول ۴- طبقه بندی وضعیت تغذیه گرای مخزن بر اساس شاخص TSI

Table 4. Classification of the nutritional state of the reservoir based on the TSI index

وضعیت تغذیه گرای مخزن	کیفیت آب	شاخص TSI	ردیف
الیگوتروفیک	آب پاک	<۳۰	۱
مزوتروفیک	متوسط	۵۰-۳۰	۲
یوتروفیک	بد	۷۰-۵۰	۳
هیپرتروفیک	خیلی بد	>۷۰	۴

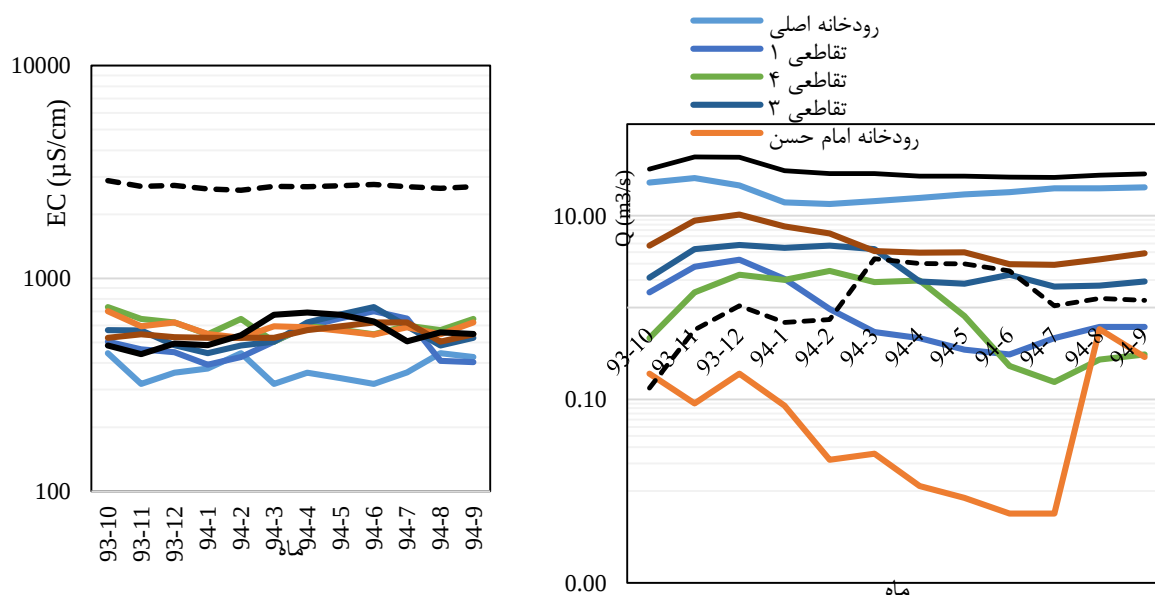
مطابق شکل ۲ حدود ۶۴٪ از منابع آب تونل زاگرس از رودخانه اصلی تامین می شود، ۱۰٪ از رودخانه تقاطع ۲ و به طور مساوی ۸٪ باقیمانده از رودخانه های تقاطع ۳ و تقاطع ۴. در انتها نیز قبل از سد پایین دست، جریان رودخانه امام حسن به خروجی تونل اضافه می شود. براساس اندازه گیری های انجام شده، میزان نشت از سازند به تونل زاگرس در ماه های مختلف بین ۰/۱ تا ۲/۵ می باشد که بنا به گزارش های موجود امکان افزایش تا ۳/۵ متر مکعب به ثانیه نیز دارا می باشد. بر این

در این مقاله سطح تغذیه گرای مخزن سد پایین دست با استفاده از جداول تجربی Kerekes, Vollenweider و Meybeck, Helmer و شاخص کارلسون براساس غلظت فسفر Peak Chl a, Chl a, P برآورد می گردد.

نتایج و بحث

کیفیت آب ورودی مخزن سد پایین دست

در شکل ۵ ب و شکل ۶ کیفیت آب در رودخانه های محدوده مطالعاتی، کیفیت آب نشتی به تونل و رودخانه امام حسن نشان داده شده است. از طرفی براساس برنامه ریزی های انجام شده در بهره برداری از تونل زاگرس، حجم آب و دبی ورودی به تونل زاگرس، دبی نشت و دبی رودخانه امام حسن، در اختیار است. با استفاده از معادله (۱) کیفیت آب خروجی تونل زاگرس از داده های میدانی برداشت شده در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، از نمودار شکل ۲ و شکل ۳ به صورت وزنی از معادله (۱) استفاده می شود. در شکل ۵ ب هدایت الکتریکی جریان ورودی به سد پایین دست محاسبه و نشان داده شده است. مطابق شکل اگر چه شوری جریان نشت به تونل بالا و حدود ۳۰۰۰ $(\mu S/cm)$ است، لیکن به دلیل دبی کم و تاثیر محدودی که بر جریان کلی تونل دارد، شور جریان نهایی از ۷۰۰ $(\mu S/cm)$ تجاوز نمی نماید. لذا با توجه به جدول ۱، از نظر شوری آب کیفیت مناسبی برای کشاورزی وجود خواهد داشت.



شکل ۵- الف) دبی ورودی به سد و سهم هر یک از رودخانه ها و جریان نشت تونل در آن و ب)

هدایت الکتریکی جریان ورودی به سد پایین دست و سهم هر یک از رودخانه ها و جریان نشت تونل در آن

Figure 5. Electrical conductivity of the incoming flow to the downstream dam and the contribution of each river and tunnel leakage flow in it

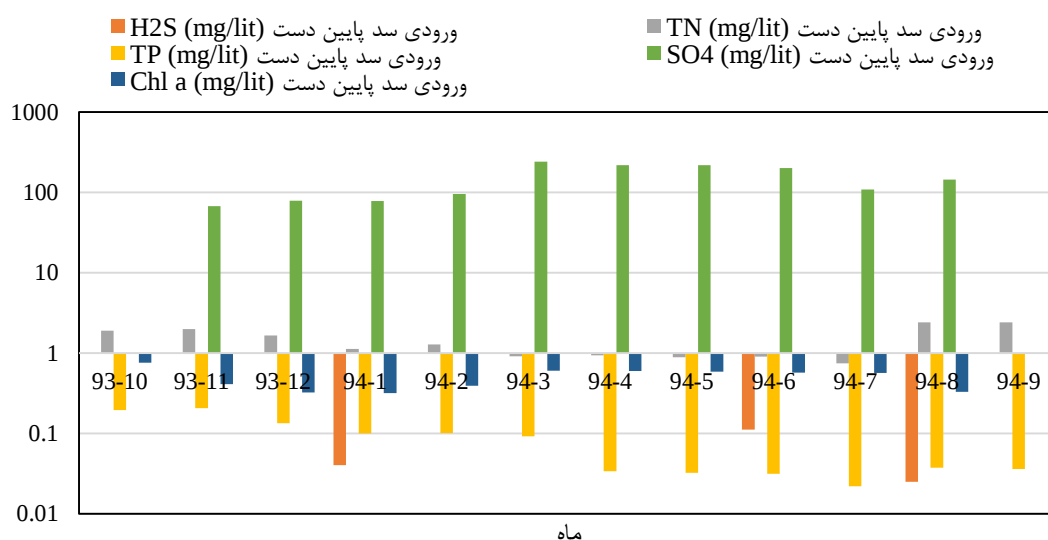
خردادماه است. اگر چه در ماه های اردیبهشت تا شهریور بیشترین غلظت یون سولفات وجود دارد، اما با توجه به جدول ۱، برای آبیاری در بخش کشاورزی منعی وجود ندارد. به علاوه

اساس جریان نشت نیز به خروجی تونل اضافه می گردد. دبی نشت، در نمودار شکل ۱، تحت عنوان خروجی تونل نشان داده شده است. با در نظر گرفتن سهم هر یک از رودخانه ها در تامین آب سد پایین دست، دبی نهایی ورودی به مخزن محاسبه و در شکل ۵ الف نشان داده شده است. مطابق شکل جریان نشت در ماه های اردیبهشت تا شهریور به حداکثر خود می رسد. در ماه های مهر تا دی این جریان در حداقل خود بوده و با آغاز بارش ها در بهمن و اسفند، جریان نشت به مرور شروع به افزایش می نماید. در نهایت دبی کل بین ۲۰ تا ۴۶ متر مکعب در ثانیه برآورد می شود. برای مدل سازی کیفیت آب تونل زاگرس پس از بهره برداری و اثر آن بر کیفیت آب سد پایین دست، از یک معادله جرمی ساده که ارتباط کیفیت آب ورودی و خروجی را به صورت ساده با یک معادله جرمی معرفی می نماید، استفاده می شود (معادله ۱).

در شکل ۶ پارامترهای کیفی آب ورودی به مخزن سد پایین دست نشان داده شده است. تغییرات غلظت یون سولفات نشان می دهد که حداکثر آن با غلظت ۲۴۰ mg/lit مربوط به

جدول ۱، حداکثر غلظت مجاز H_2S در آب آبیاری mg/lit^2 است که در مدل سازی انجام شده مشاهده می شود که فاصله زیادی بین پیش بینی انجام شده و حد استاندارد وجود دارد، لذا از این حیث نیز مشکلی وجود نخواهد داشت. لیکن غلظت های پیش بینی شده حاکی از آن است که وجود H_2S می تواند بر بوی آب تاثیرگذار باشد. در نهایت غلظت $CHl a$ نیز به حدود 0.6μ می رسد که می تواند بر تغذیه گرایی مخزن تاثیر زیادی داشته باشد.

اگر چه نیتروژن کل از نظر استاندارد آب آبیاری در محدوده مطلوبی قرار دارد، لیکن با توجه به جدول ۳ و غلظت های بیش از $2 mg/lit$ می تواند منجر به تغذیه گرایی در مخزن شود که در بخش بعد مورد بحث قرار می گیرد. به همین ترتیب در مورد فسفر کل نیز مشکل کیفیت آب آبیاری در جریان ورودی به مخزن نیست لیکن از آنجا که غلظت فسفر در ماه های دی تا خرداد بیش از $0.1 mg/lit$ است، پتانسیل تغذیه گرایی بالایی در مخزن سد پایین دست وجود دارد. علاوه بر این بر اساس



شکل ۶- کیفیت آب ورودی به سد پایین دست و سهم هر یک از رودخانه ها و جریان نشت تونل در آن

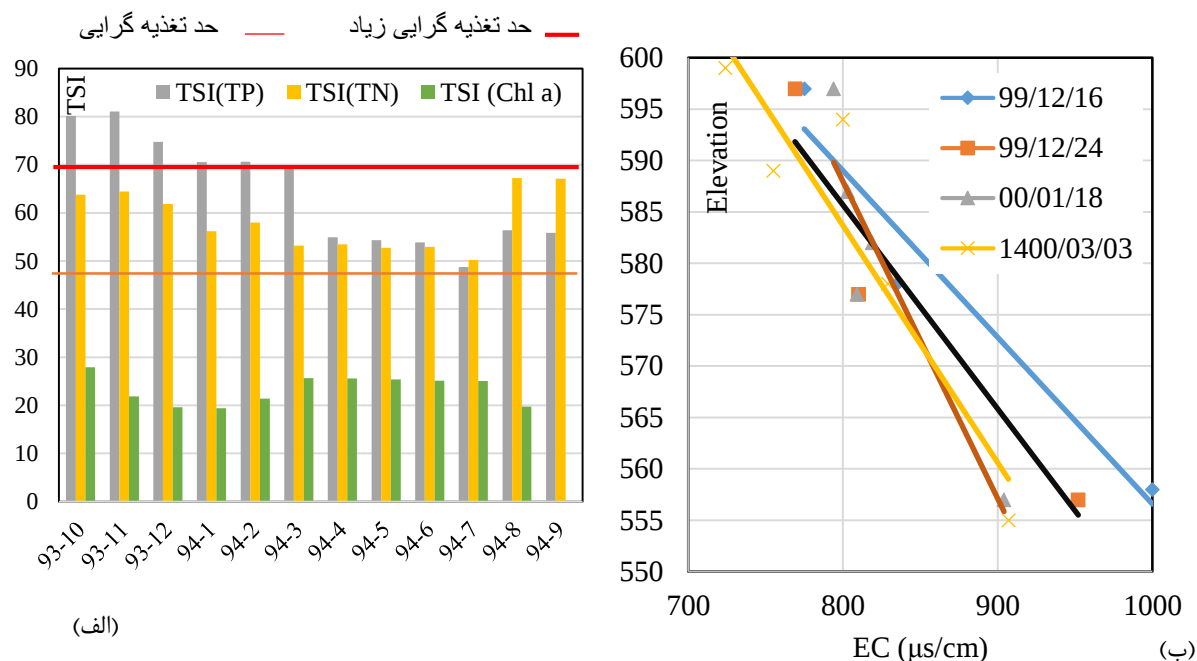
Figure 6. Water quality of the incoming flow to the downstream dam and the contribution of each river and tunnel leakage flow in it

بوده است. با توجه به اختلافی که با برنامه ریزی ها وجود دارد، تاثیر جریان نشت و دبی رودخانه امام زاده حسن، بر کیفیت آب تاثیر خود را بیشتر نشان داده است. در هر صورت چه با مدل پیش بینی و چه با اندازه گیری های انجام شده، با توجه به شرایط کیفیت آب در مخزن سد پایین دست، شرایط مطلوبی از نظر شوری در مخزن وجود دارد.

صحت سنجی مدل و بررسی تغذیه گرایی در مخزن سد

پایین دست

براساس داده های اندازه گیری شده در سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مخزن سد پایین دست (شکل ۷ الف)، میزان هدایت الکتریکی در سد پایین دست گفتنی است در زمان اندازه گیری این پارامتر، دبی انتقال از بند هیروی حدود ۲۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۷- الف) هدایت الکتریکی اندازه گیری شده در مخزن سد و ب) محاسبه TSI در جریان ورودی به مخزن سد

Figure 7. a) Electrical conductivity measured in the dam reservoir and b) Calculation of TSI in the inflow to the dam reservoir

نیتروژن کل و فسفر کل در مخزن، بروز تغذیه گرایبی متوسط در مخزن وجود دارد. براساس مدل پیش بینی و با استفاده از معادلات (۷) تا (۹)، مقدار TSI محاسبه و در شکل ۷ ب نشان داده شده است. به علاوه در این شکل، حد مربوط به تغذیه گرایبی متوسط و تغذیه گرایبی زیاد نیز نشان داده شده است. براساس این شکل از نظر TSI(TP) در ماه های دی تا اردیبهشت در مخزن پتانسیل تغذیه گرایبی بسیار زیاد است و در بقیه ماه ها به جز مهرماه، پتانسیل تغذیه گرایبی زیاد وجود دارد. براساس شاخص TSI(TN) نیز در تمام ماه ها پتانسیل تغذیه گرایبی زیادی وجود دارد. اما از نظر شاخص TSI(chl a)، پتانسیل تغذیه گرایبی متوسطی در مخزن وجود دارد. با افزایش غلظت فسفر کل ورودی به تونل، شرایط برای بروز پدیده تغذیه گرایبی با شدت بیشتر وجود دارد. با توجه به این که غلظت نیتروژن به ۱/۶۸ و غلظت فسفر در این شرایط به ۰/۰۳۲ میلی گرم در لیتر می رسد، بنابراین TSI(TN) و TSI(TP) به ترتیب برابر ۶۲ و ۵۴ خواهد شد که معرف تغذیه گرایبی زیاد است.

با در نظر گرفتن گراف تجربی Vollenweider نیز اگر عمق متوسط مخزن را ۳۰ متر در نظر بگیریم، با زمان ماند ۱۲ روز،

با توجه به فرمول (۱)، زمان ماند آب در مخزن سد پایین دست ۱۲ روز است ($T_w = 12 \text{ day}$). مقدار متوسط نیتروژن کل در مخزن با نمونه برداری برابر 1.28 mg/lit بدست آمده است. نتایج مدل پیش بینی (شکل ۶) نیز نشان می دهد که مقدار نیتروژن کل بین ۰/۸ تا ۲/۴ میلی گرم در لیتر متغیر خواهد بود. بنابراین مقایسه نتایج مدل و مقدار مشاهداتی، حاکی از صحت مدل مورد استفاده است. با در نظر گرفتن $TN = 1.28 \text{ mg/lit}$ و با استفاده از معادله (۷)، شاخص TSI برابر ۸۵ خواهد بود. با توجه به جدول ۴ این مقدار TSI نشان دهنده شرایط تغذیه گرایبی بوتروفیک (تغذیه گرایبی زیاد) می باشد. البته بالا بودن مقادیر نیتروژن کل لزوماً به معنای بروز بلوم جلبکی در مخزن نمی باشد و بررسی شرایط دیگر از جمله فسفر کل و زمان ماند بدین منظور لازم است. اما فسفر کل نیز مقادیر این پارامتر عمده در طول سال و در ستون آب برابر 0.11 mg/lit است. در مدل پیش بینی این مقدار بین ۰/۰۲ تا 0.2 mg/lit متغیر است (شکل ۶). غلظت $TP = 0.011 \text{ mg/lit}$ معادل $38/7$ می باشد. این مقدار شاخص نشان دهنده شرایط مزوتروفیک (تغذیه گرایبی متوسط) در مخزن سد پایین دست می باشد. بنابراین با توجه به شرایط

استانداردهای مختلف کیفیت آب برای آبیاری، یک ارزیابی کلی از وضعیت کیفی آب انجام شد. نتایج نشان داد که کیفیت آب از نظر آلاینده‌های سولفات، نیتروژن، فسفر و سولفید سدیم و مقدار شوری، در وضعیت مطلوبی برای کشاورزی وجود دارد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار دبی نشت در مقابل دبی عبوری از تونل زاگرس بسیار کم بوده و نمی‌تواند اثر معنی داری بر کیفیت آب داشته باشد. اگر چه وجود گاز سولفید گوگرد، بر بوی آب موثر خواهد بود. اما مقادیر بالای نیتروژن و فسفر، احتمال تغذیه گرایی در مخزن را نشان می‌داد. با استفاده از معادلات تجربی موجود، امکان وقوع پدیده تغذیه گرایی در مخزن نیز بررسی گردید و نتایج به دست آمده نشان داد که مخزن با پدیده تغذیه گرایی مواجه خواهد بود؛ اگرچه در بررسی اولیه ذکر شده که مخزن سد پایین دست به دلیل ظرفیت پایین (۳۰ میلیون مترمکعب) و جریان ورودی بالا از تونل زاگرس (۹۱۰ م.م)، دارای زمان ماند خیلی پایین بوده و بنابراین فاقد پتانسیل تغذیه گرایی می‌باشد. لذا مطالعات حاضر نشان داد که مطالعات اولیه صحیح نبوده و پدیده تغذیه گرایی در مخزن غالب خواهد بود.

References

1. Afroz, R. Rahman, A. 2017. Health impact of river water pollution in Malaysia. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 4(5), 78-85.
2. Hua, A.K. 2017. Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics. Journal of Environmental and Public Health, 2017, 7515130.
3. Meybeck, M., Helmer, R. 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution, Global and Planetary Change 1, 283-309.
4. Ghobadi, M.H., Osmanpour, A., Abbasi, A. A. 2020. The Effect of Geological Formations on the Drinking

مقدار q_s برابر 912 m/yr خواهد بود. غلظت متوسط سالانه فسفر در مخزن حدود 0.08 mg/lit است که از 0.02 تا 0.2 در ماه‌های مختلف متغیر است. براساس این مقادیر شاخص LP در مخزن برابر $98 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ خواهد بود که با توجه به شکل ۴ به معنی وضعیت یوتروفیک یا تغذیه گرایی است. قطعاً با افزایش غلظت فسفر در ماه‌های مختلف به 0.2 mg/lit مخزن با افزایش تغذیه گرایی روبرو خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که برخلاف مطالعات قبلی که بیانگر عدم وقوع پدیده تغذیه گرایی در مخزن سد پایین دست بوده اند (شرکت مهند سین مشاور مهاب قدس، ۱۳۸۷)، مخزن بسیار تغذیه گرا است. یکی از عوامل موثر بر تغذیه گرایی بالای مخزن، پایین افتادن کیفیت آب مخزن در نتیجه ورود جریان نشت تونل به مخزن سد است که در مطالعات قبلی به دلیل ناشناخته بودن پدیده نشت و نبود اطلاعات کیفی دقیق از وضعیت آن، منجر به نتایج نه چندان رضایت بخش در زمینه تغذیه گرایی مخزن شده است. البته ذکر این نکته مهم است که در مطالعات پیشین، علت اصلی عدم تغذیه گرا بودن مخزن، کوچک بودن، جریان ورودی بالا و زمان ماند پایین مخزن ذکر شده است که نتایج ما نشان می‌دهد این دلایل نمی‌تواند عامل کلی و تام تغذیه گرا بودن یک مخزن باشد.

نتیجه گیری

تونل زاگرس به عنوان انتقال دهنده اصلی آب سامانه انتقال و تامین کننده ۹۷٪ جریان ورودی مخزن سد پایین دست، با مساله نفوذ آب زیرزمینی و نشت گاز سولفید هیدروژن مواجه است. از طرفی رودخانه‌های ورودی به تونل در ماه‌های مختلف شرایط کیفی مختلف را از نظر آلاینده‌هایی مثل سولفات، نیتروژن، فسفر کلروفیل a و شاخص شوری تجربه می‌کنند. در این مطالعه با توجه به برنامه ریزی‌های انجام شده برای انتقال آب از رودخانه‌های مختلف به تونل زاگرس و میزان جریان نشت احتمالی از سازند به تونل، میزان جریان ماهانه و در ماه‌های مختلف محاسبه گردید. به علاوه با استفاده از یک معادله جرمی، کیفیت آب خروجی نیز شبیه سازی شد و با توجه به

- Environment, 43(2), 251-265. (In Persian)
11. Qomshi, M. Haqbin, A. 2012. Analysis of salinity in Upper Gatund Dam and its effect on Karun River. The 4th National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahvaz, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian)
 12. Tavossi, N., Farrukhnia, A. Hooshyaripor, F. 2017. Investigating the effect of soluble Gachsaran formation on the amount of dissolved solutes in water of Parsian dam reservoir. The 8th International Conference on Sustainable Development, Construction and Urban Regeneration, December 21-23, 2017 in the hall of Qom Municipality International Conferences, Iran. (In Persian)
 13. Joghtaei, H., Dabiri, R., Muslimpour, M., 2014, study of the impact of ophiolitic rock units on the quality of water resources of Jogtai Plain (northwest of Sabzevar), 6th National Conference on Environmental Geology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, May 2014. (In Persian)
 14. Ayman Sazan Consulting Engineers, 2015. Supplementary Geological Report, Hydroclimatology, Hydrogeology, Periodic Statistics of Boreholes and Underground Water Sources along the Zagros Water Transfer Tunnel. (In Persian)
 15. Lar Consulting Engineers, 2018. Hydrogeology report of the second section of the Zagros Tunnel. (In Persian)
 - Quality of Groundwater Resources of Arandan Rural Complex, Sanandaj, Iran. Environment and Water Quality, 6(2), 173-184. (In Persian)
 5. Güler, C., Thyne, G.D. 2004. Hydrologic and geologic factors controlling surface and Groundwater chemistry in Indian wells—Owens Valley area, southeastern California, USA. Journal of Hydrology, 285, 177-198.
 6. Mokhtari M, Derakhshan Z, Raeisi Z, et al. Quantitative and qualitative investigation of Yazd dental center waste, Avicenna. Journal of Environmental Health Engineering. 2015, 2(2), e4788. (In Persian)
 7. Al Battashi, N. M., Syed Rashid, A. 1998. Artificial recharge schemes in water resources development in Oman. Artificial Recharge of Ground water, A.A. Balkema Rotterdam, the netherland, pp 257-261.
 8. Tavassoli Rad, H., Yeganeh Khaksar, R. 2019. Numerical investigation on the effect of geotextile and soil properties on the soil bearing capacity, 11th National Congress on Civil Engineering. (In Persian)
 9. Rafiei, R., Ramzanzadeh, A., Saresghi, F., Mohdinejad, A. 2012. Investigating the effect of the properties of joints on the stable flow of water entering the tunnel, a case study: the third tunnel of Kohrang. Journal of tunnel engineering and underground spaces. Volume two, number two. (In Persian)
 10. Naderkhanlou, V., Mazaheri, M., Mohammadoli Samani, J. 2016. Investigating and modeling the challenge of the upper Gatund dam (hydrodynamics and reservoir salinity) and providing management solutions.

19. Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Inst. Ital. Idrobiol. Bott. Marco de Marchi, 33:53-83.
20. Larsen, D.P., Mercier. H.T. 1976. Phosphorus Retention Capacity Of Lakes. J. Fish. Res. Board Can. 33, 1731-1750.
21. Lorenzen, H.U. 1978. Phosphorus Models and Eutrophication. In press.
16. Chapra S. C. 1997. Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill, New York.
17. Iran Water Quality Standard, 2015. Environmental Protection Organization, Water and Soil Office, Human Environment Deputy. (In Persian)
18. Vollenweider, R.A. and Kerekes, J.J. 1981. Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In: restoration of lakes and inland waters. EPA/440/5-81-010. p. 25-36.