



Courtesy Photo



اثرات سازندهای گچی و نمکی در سدها و مسایل مرتبط با آن،
جمع بندی تجربیات نوین مرتبط با اثر سازند گچساران بر کیفیت آب مخزن سد گئوند

پژوهشگر: مسعود صالحی

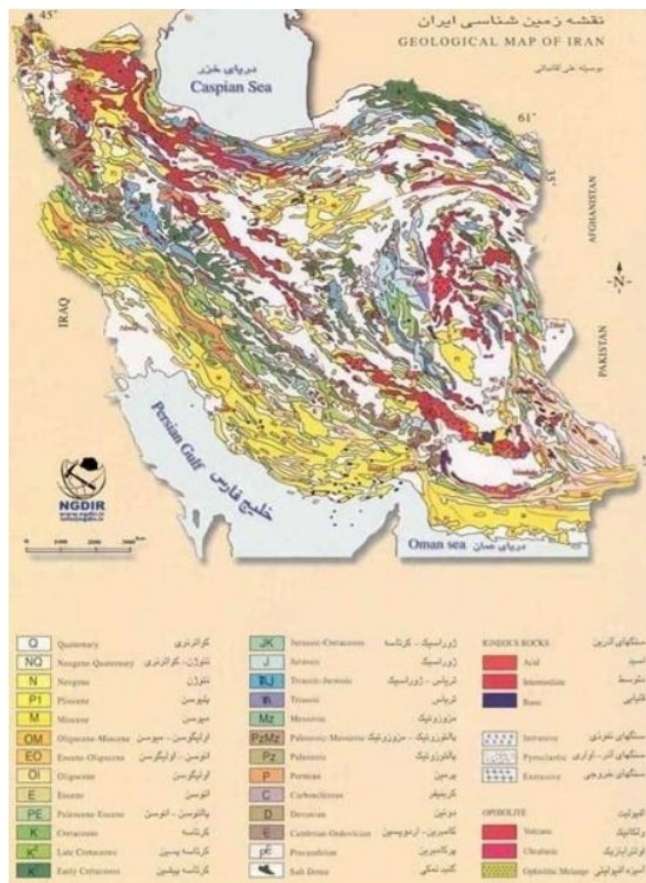


۱- مقدمه :

- مخزن سدها یکی از مهمترین منابع تامین آب در مناطق خشک هستند و نقش مهمی در مدیریت روان آبهای سطحی برای اهداف کشاورزی، داخلی، صنعتی و تولید برق ایفا می کنند هرچند آثار شدید و سوء محیط زیستی مرتبط با سدها، نگرانی هایی جدی و رو به رشد در مدیریت حوزه ابریز رودخانه و برنامه های حفاظت محیط زیستی را به همراه داشته اند.
- یکی از اثرات سوء بسیار مهم و زیست محیطی، کاهش کیفیت آب جمع شده در مخزن با سازندهای زمین شناسی مخزن در زمانی مشخص، سدها است که در این شرایط در نتیجه برهم کنش آب مخزن در تماس کیفیت آب در نتیجه شوری شدت افت می کند.
- شوری و کاهش کیفیت آب در نتیجه افزایش غلظت آب نسبت به کاتیون ها و آنیونهای موجود در سازندهای های گچی حاوی ژپس و انیدریت و سازندهای نمکی حاوی هالیت رخ می دهد. در اثر تماس این کانی ها با آب و رخ دادن انحلال، غلظت آب نسبت به عناصر موجود در این کانی ها افزایش می یابد و در نتیجه این افزایش غلظت، کیفیت آب افت می کند به نحوی که برای مصارف برنامه ریزی شده از جمله آب آشامیدنی و نیاز شهری، مصارف کشاورزی و حتی گاها مصارف صنعتی نامناسب می شود.

مهمترین منابع احتمالی شوری مخازن واقع شده در مناطق خشک شامل موارد زیر است :

- ۱- تبخیر از سطح آب
- ۲- انحلال رخنمون های سازندهای تبخیری در تماس با آب مخزن سد
- ۳- روان آبهای شور ورودی به مخزن
- ۳- نفوذ آب زیرزمینی شور از آبخوان های مجاور از طریق چشمه های زیر آبی یا مناطق مستعد نشت
- ۴- نفوذ رو به بالای آبهای سفره های عمیق به کف مخزن.



شرایط سد گتوند و منطقه مورد مطالعه:

- پروژه سد گتوند در جنوب غرب رشته کوه زاگرس و در شمال جلگه خوزستان واقع شده است.
- رود کارون طولانی ترین رود و بالاترین دبی در ایران است که روان آبهای محدوده گسترده ای از جنوب غرب ایران را زهکشی و پس از عبور از دشت خوزستان به سمت خلیج فارس هدایت می شود.
- از نقطه نظر زمین شناسی مخزن سد گتوند در کمربند زاگرس چین خورده واقع شده است که این زون ساختاری بشرح زیر توصیف شده است:
 - نبود گنبد های نمکی رخنمون یافته پرکامبرین-کامبرین سری هرمز
 - دارا بودن توالی سنوزوییک و نواحی که سازند تبخیری گچساران مربوط به میوسن با بیشترین ضخامت و بیشترین نسبت سنگ نمک

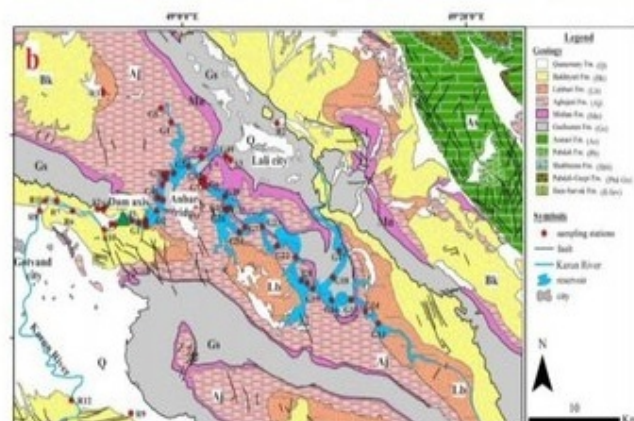


- سد گتوند علیا بر روی رودخانه کارون که بزرگترین و عمیق ترین رودخانه ایران با بالاترین دبی است، احداث شده است.
- سد گتوند با ارتفاع ۱۸۰ متر بلندترین سد خاکریزه ای (Embankment dam) در ایران است.
- این سد دارای ۷۶۰ متر طول تاج است که در ۱۰ کیلومتری شمال شهر گتوند واقع شده است.
- مخزن سد گتوند علیا با حجم آبیگری ۴,۵ میلیارد مترمکعب و با ظرفیت تولید ۴۲۵۰ G/h برق در ۲۰۱۱ آبیگری شد



سازندهای زمین شناسی محدوده پروژه دارای
رخنمون در منطقه شامل :

- ۱- سازند مارنی تبخیری گچساران (میوسن اولیه)
- ۲- مارن میشان
- ۳- شیل و آهک (میوسن)
- ۴- مارن و ماسه سنگ آغاچاری (میوسن پسین تا پلیوسن)
- ۵- کنگلومرای بختیاری (پلیوسن پسین- پلیستوسن)
- ۶- رسوبات کواترنری گوناگون هستند.



در میان این واحدهای زمین شناسی، سازند تبخیری
گچساران که در تماس مستقیم با آب مخزن در
چندین موقعیت قرار دارد مستعدترین دلیل افت
هیدروشیمیایی کیفیت آب مخزن سد بوده است.

شرح بحران سد گتوند علیا :



-مدت کوتاهی پس از آگیری سد
در ۱۳۹۰، کیفیت آب بطرز قابل
توجهی کاهش یافت.

TDS به مقدار 200000

mg/L افزایش یافت درحالی که

مقدار میانگین TDS رودخانه تا

قبل از احداث سد 600 mg/L

بود.

- آب مخزن سد در معرض چندین
منبع شورساز از جمله انحلال
رخنمون های تبخیری کف مخزن،
جریان های ورودی سطحی شور از
مناطق پیرامون مخزن و تبخیر شدید
و ورود ناگهانی شورابه های نفتی
صحرائی در تماس قرار گرفته بود.

پیشینه مطالعات صورت گرفته در سد گتوند علیا :

- سد گتوند حدود ۲۰ سال پشتمانه مطالعاتی دارد. در دهه ۴۰ خورشیدی کار مطالعات پتانسیل‌های رودخانه کارون به دو شرکت فرمانفرمایان ایران و مهندسی بین المللی هارزای آمریکا سپرده شد. حاصل مطالعات این دو شرکت به احداث سد و نیروگاه کارون ۱ (شهید عباسپور) منجر شد.
- شرکت هارزای آمریکا به مطالعات حوضه رودخانه‌های کارون و مارون تحت قراردادی با همین نام ادامه داد. پیشنهادات آن زمان شرکت هارزا مبنی بر ساخت سدهای صرفاً جریانی در پایین‌دست سد شهید عباسپور بود. پس از آن شرکت مונنکوی ایران حداقل سد شهید عباسپور تا موقعیت فعلی سد گتوند در سه محور گزینه‌هایی را جهت ساخت سد مطرح کرد.
- شرکت لامایر آلمان مطالعاتی را روی ظرفیت‌های این بخش از رودخانه کارون انجام داد که در جریان این مطالعات یکی از گزینه‌های پیشنهادی شرکت موننکو را رد کرد و سه محور دیگر را برای ساخت سد پیشنهاد کرد.
- در نهایت انجام مطالعات توجیهی و مطالعات مرحله اول سد و نیروگاه گتوند به دو شرکت مشانیر ایران و کاتیک چین واگذار شد در حالی که شرکت لامایر آلمان بر انجام این مطالعات و بررسی نتایج آن نظارت عالییه داشت.
- مشاورین مشانیر - کاتیک با نظارت شرکت لامایر پنج محور را در کیلومترهای ۳۷۷ تا ۳۸۲ رودخانه کارون بررسی کرده و در نهایت محور کیلومتر ۳۸۲.۵ که محل فعلی سد گتوند است به کارفرما پیشنهاد دادند.
- این مطالعات از مرحله شناخت تا تکمیل مطالعات مرحله اول طرح سد و نیروگاه گتوند از سال ۶۸ تا سال ۷۶ به‌طول انجامید. بخشی از این مطالعات را مطالعات ژئوفیزیک و زمین‌شناسی شامل می‌شد و در واقع در همین مطالعات ۸ ساله، وجود سازند گچساران در مخزن سدی که قرار بود ساخته شود، دیده شده بود.
- مجدداً در اوایل سال ۸۱ مطالعات مرحله دوم این طرح کلید خورد. در اواخر سال ۸۱، در حالی که عملیات اجرایی تونل‌های انحراف آب تکمیل شد و قرار بود آب رودخانه منحرف شود، به‌علت اینکه مشاورین مشانیر ایران و کاتیک چین نتوانستند جانمایی جامع طرح را به کارفرما ارائه دهند، همزمان با انحراف آب، مطالعات بازننگری مرحله اول به شرکت‌های مه‌باب قدس ایران و کوئینه بلیه فرانسه واگذار شد. پس از انجام بازننگری به‌روی مطالعات مرحله اول، مطالعات مرحله دوم طرح نیز از سال ۸۳ تا ۸۸ توسط همین دو شرکت ایرانی و فرانسوی انجام شد.
- در این مطالعات وجود سازند گچساران طی سالهای ۶۸ تا ۸۸ و طی ۲۰ سال مطالعه روی انجام این طرح توسط شرکت‌های ایرانی، چینی، فرانسوی و آلمانی دیده شد و راهکارهایی برای آن در مطالعات اندیشیده شده بود. اگرچه در مطالعات مرحله شناخت توسط شرکت‌های مشانیر و کاتیک چندان به موضوع سازند گچساران و بیرون زدگی عنبل پرداخته نشده و تنها اشاره‌ای کوتاه به آن صورت گرفته بود، اما در مراحل بعدی مطالعه به‌ویژه توسط شرکت‌های مه‌باب قدس ایران و کوئینه بلیه فرانسه، این سازند، چگونگی تماس این سازند با رودخانه کارون و راهکارهای اجرایی برای مهار آن دیده شده بود. بطور ویژه از سال ۸۳ تا سال ۸۸ مطالعات متمرکزی روی سازند گچساران انجام شد که بر اساس این مطالعات اعلام شد که وجود "کوه نمکی" یا "گنبد نمکی" در این سازند مطرح نیست، بلکه بحث لنزهای نمکی یا بیرون‌زدگی‌های نمکی مطرح است که در سازند وجود دارد.

مشخصات سازند گچساران :

- سازند گچساران متشکل از : گچ، نمک، ایندریت، مارن‌های رنگارنگ، سنگ آهک، شیل بیتومین‌دار و ترکیبات سیلویت است.
- رودخانه کارون از محل سد مسجد سلیمان تا محل سد تنظیمی گتوند در ۶ نقطه سازند گچساران را قطع می‌کند.
- سازند گچساران متشکل از ۷ لایه است که معمولاً یک یا دو عدد از این لایه‌ها از نمک تشکیل شده اما لایه‌های نمک همیشه در عمق قرار دارند.
- تنها بخشی از سازند گچساران که لنزهای نمکی در سطح دیده می‌شود مربوط به بیرون‌زدگی عنبل است که در حدود ۴ تا ۴٫۵ کیلومتر بالاتر از محور سد گتوند در حاشیه دریاچه سد قرار دارد.

وضعیت ییرون زدگی عنبل سازند گچساران :

نتیجه بررسی ها و مطالعات نشان می دهد که حدود ۵۰ درصد از سازند گچساران در عنبل از مارن رسی، حدود ۲۶ درصد ایندریت، حدود ۱۸ درصد نمک و ۶ درصد از فضای خالی و... تشکیل شده است.



در ادامه تحقیقات معتبر زیر مرتبط با تاثیر سازند گچساران بر کیفیت آب مخزن سد گتوند مورد بررسی قرار میگیرند :

۱- ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه کارون در پایین دست و بالادست (دریاچه) سد گتوند علیا

- Evaluation of effect factors on water quality of Karun River in downstream and lake of the Gotvand-e-Olya Dam (SW Iran), Applied Water Science Journal, Accepted Date: 16 September 2019

۲- شور سازی منابع در مناطق با سنگهای تبخیری پدیدار. کیس بی مانند سد گتوند علیا، ایران

- Salinization of reservoirs in regions with exposed evaporites. The unique case of Upper Gotvand Dam, *Water Research Journal*, Accepted Date: 7 April 2019

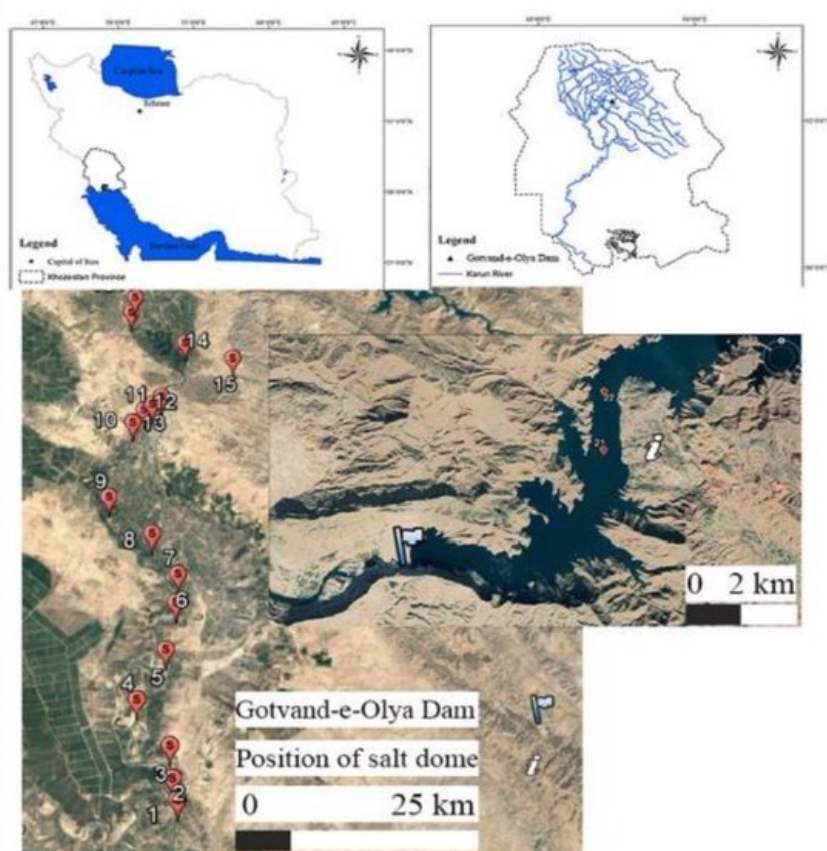
۱- ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه کارون در پایین دست و بالادست (دریاچه) سد گتوند علیا

۱-۱- مقدمه :

- در این پژوهش با استفاده از آنالیز آماری چند متغیری، نسبت های یونی و دیاگرام پایپر، تاثیر انحلال سازند گچساران بر کیفیت آب مورد ارزیابی قرار گرفت.
- بدین منظور دو مرحله نمونه گیری در وقفه ای ۶ ماهه از آب مخزن صورت گرفت :
 - در مرحله اول نمونه گیری، پارامترهای SO_4 و HCO_3 در یک کلاستر (خوشه) قرار میگیرند که نمایانگر افزایش انحلال سازندهای دارای کلسیم می باشند.
 - در مرتبه دوم هم گروهی پارامترهای Ca و SO_4 در یک کلاستر تاثیر انحلال ژپس و آنیدریت روی کیفیت آب را نشان می دهد.
- در هر دو مرتبه نمونه گیری، ایستگاه ها براساس فاصله نسبت به سد گروه بندی شدند به نحوی که ایستگاه های بالادست در یک کلاستر قرار گرفتند

روش های آنالیز در این پژوهش:

- روش های چند متغیری (multivariate statistical method) راه حل های مناسبی برای آزمودن همزمان پارامترهای زیست شناسی، شیمیایی و فیزیکی و منشأ منابع شان هستند. این روش ها متغیرها را به چندین گروه دسته بندی و همبستگی بین متغیرها را تشریح می کنند. این روش های آماری چند متغیری شامل موارد زیر هستند:
- آنالیز کلاستر (cluster analysis)
- آنالیز اجزا (principal component analysis)
- نسبتهای یونی (Ionic ratios) شاخص های مناسبی برای ارزیابی شیمی منابع آب هستند و استفاده از آنها جهت تعیین منشأ نمک خیلی مفید است. نسبت های یونی متنوع ترکیب شیمیایی آب بوسیله ترکیب شیمیایی و مقدار کانی های انحلال پذیر تحت تاثیر قرار میگیرند.
- در این پژوهش از نسبت های TDS و $CL/(HCO_3+CO_3)$ جهت اثبات اثر انحلال رخنمون سازندهای تبخیری در نواحی دریاچه سد بر کیفیت آب استفاده شده است.



نحوه نمونه گیری :

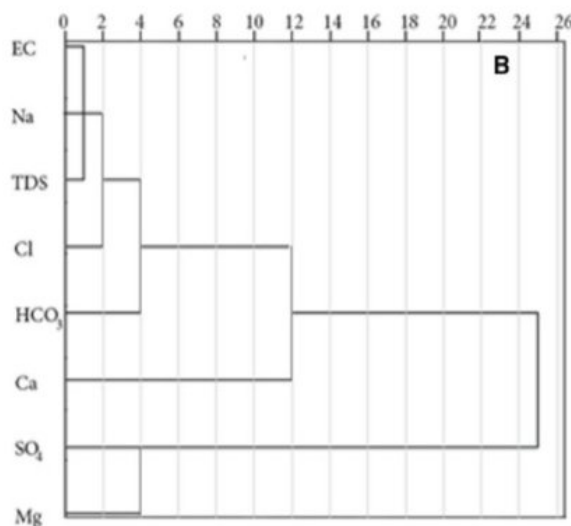
مجموعاً ۲۵ نمونه از ۲۵ ایستگاه نمونه گیری که بصورت رندوم انتخاب شدند، شامل ۲۰ نمونه در پایین دست و ۵ نمونه در دریاچه سد تهیه شد. موقعیت محل های نمونه گیری در تصویر روبرو نشان داده شده اند :

نمونه گیری در دو موقعیت زمانی در سال آبی، با اختلاف زمانی ۶ ماهه در انتهای نوامبر ۲۰۱۵ و در انتهای جون ۲۰۱۶، انجام گرفت. بارندگی در ناحیه از آبان ماه شروع میشود و تا اردیبهشت ادامه می یابد.

همانطور که در جدول زیر نشان داده شده، کاتیون سدیم در هر دو مرحله نمونه گیری دارای بیشترین میانه بوده است. آنیون کلرید دارای بالاترین میانگین برای هر دو نمونه گیری بوده است. همچنین، غلظت آنیون سولفات در هر دو مرتبه نمونه گیری بالا بوده است. این شرایط اثر سازند زمین شناسی و بویژه انحلال سازند تبخیری گچساران بر کیفیت آب را نشان می دهد :

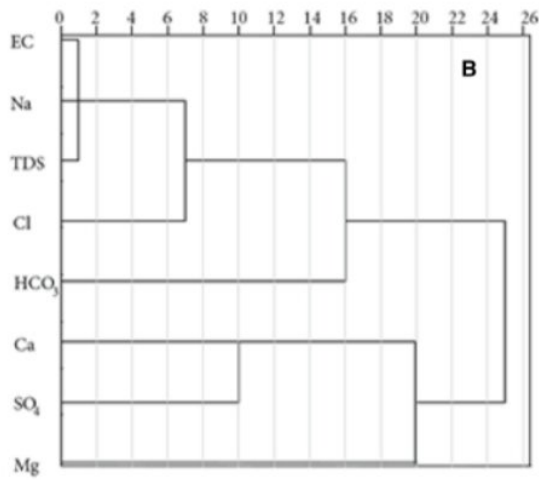
Parameters (unit)		EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	pH (-)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	K (meq/l)	HCO_3 (meq/l)	CO_3 (meq/l)	Cl (meq/l)	SO_4 (meq/l)
First-time sampling	Mean	1589.26	1062.08	8.25	133.05	14.98	188.76	1.35	153.85	3.90	340.39	184.55
	Standard deviation	465.59	319.81	0.09	31.97	3.62	79.74	0.64	24.59	2.22	135.36	78.13
	Min	695.00	467.00	8.00	79.40	9.80	32.43	0.39	87.84	2.40	78.46	46.06
	Max	1938.0	1428.0	8.40	175.6	23.9	252.31	2.5	179.34	12.0	546.7	301.92
Second-time sampling	Mean	1299.05	869.41	8.14	119.45	26.73	126.97	1.15	161.68	0.00	208.27	224.9
	Standard deviation	505.21	307.99	0.15	33.68	9.47	71.48	0.39	30.53	0.00	110.56	113.5
	Min	650.0	465.00	7.80	80.00	13.80	42.55	0.39	85.4	0.00	78.10	105.12
	Max	3210.0	2054.0	8.36	251.8	50.16	388.7	1.95	204.96	0.00	605.99	642.24

نمونه ای از آنالیز آماری چند متغیره بر روی نمونه گیری های مرتبه اول در دندرو گرام زیر نشان داده شده است :



همانطور که در دندرو گرام روبرو ملاحظه میشود : پارامترهای EC, Na و TDS جهت آنالیز در یک کلاستر گذاشته شده اند و کلرین در دو سطح به این کلاستر اضافه میشود که نمایانگر اثر انحلال سنگ های تبخیری بر کیفیت آب است :

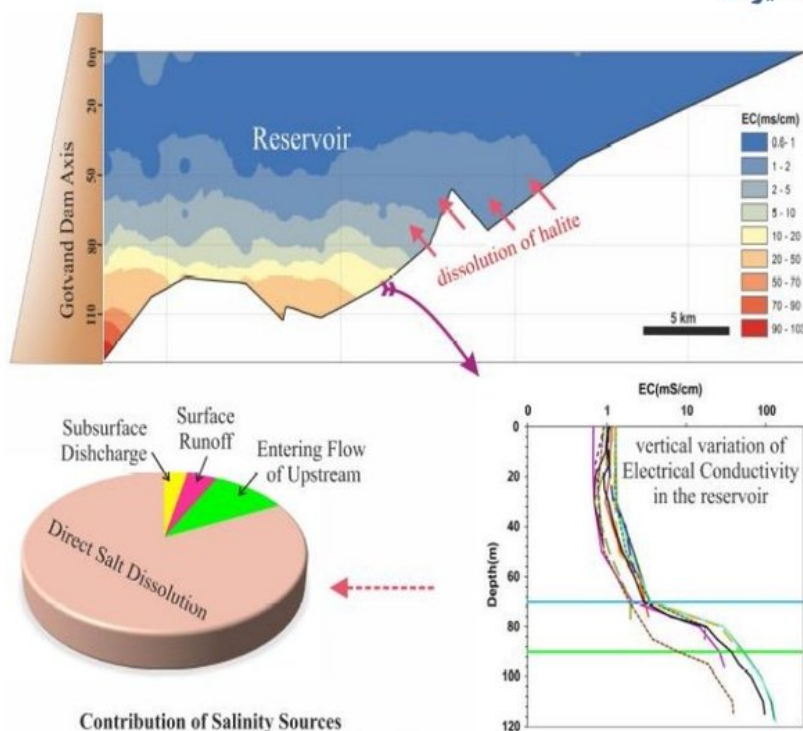
نمونه ای از آنالیز آماری چند متغیره بر روی نمونه گیری
های مرتبه دوم در دندروگرام زیر نشان داده شده است :



همانطور که در دندروگرام روبرو نشان
داده شده، پارامترهای EC، TDS و
Na در سطح یکم باهم مجتمع شده
اند و یک کلاستر را تشکیل داده اند
در حالیکه در تراز سوم پارامتر Cl به
این کلاستر اضافه شد. این نوع خوشه
بندی شبیه اولین مرتبه نمونه گیری
اثر انحلال سنگ های تبخیری روی
کیفیت آب را نشان می دهد.

۲- شور سازی منابع در مناطق با سنگهای تبخیری پدیدار، کیس بی مانند سد گتوند علیا، ایران

۱-۲- مقدمه :



نتایج نشان داده اند انحلال نمک در سازند گچساران عامل اصلی شوری مخزن سد گتوند بوده است و حدود ۸۶٪ نمک انباشته شده در مخزن سد در طی بیش از دو سال پس از زمان آبیگری سد از ۱۳۹۰ ناشی از انحلال رخ داده در سازند گچساران بوده است. اهداف اصلی این پژوهش شامل توصیف شوری مخزن سد گتوند و لایه بندی آن، شناسایی منابع اصلی شوری و ارزیابی همکاری نسبی برای شورسازی آب های مخزن می باشد.

روش های شناسایی منابع شوری :

- غلظت اجزا سازنده و برخی از نسبتها معمولاً جهت تعیین و ارزیابی منابع شوری استفاده میشوند.
- از نسبت Na/Cl جهت شناسایی انحلال نمک استفاده میشود. سدیم و کلرید موجود در نمک در تعادل غلظت مولار (i.e., $\text{Na/Cl} \approx 1$) قرار دارند
- برومید و لیتیوم در ترکیب با کلرید بعنوان ردیاب های مفید جهت تعیین ویژگی های منابع شور سازی پیشنهاد میشود.
- لیتیوم یونی محافظ کار در پروسه تبخیر است. نسبت Li/Cl عمدتاً با انحلال نمک هالیت دچار تغییر میشود که در نتیجه نسبت Li/Cl خیلی پایین تری نسبت به آبهای سازند تبخیری و تازه به عنوان منابع دیگر شوری ایجاد میکند.
- تکنیک های ایزوتوپی برای شناسایی منابع شوری مناسب اند. اکسیژن ۱۸ و دوتریوم جهت ردیابی منشأ آبها و در نتیجه علل شوری بکار می روند.
- امضا ایزوتوپی کلرین جهت توصیف فرایندهای هیدروژیوشیمیایی و ژئوشیمیایی کنترل کننده شیمی آب و شناسایی منابع شوری شامل طرح اختلاط با آب سفره های عمیق و شورابه های نفتی-صحرایی انحلال تبخیری و تبخیر بکار برده میشود. با استفاده از $\delta^{37}\text{Cl}$ میتوان منبع شوری در آبهای سازندی شامل انحلال نمک و تبخیر آب دریا را ارزیابی کرد.

۲-۲- روش های نمونه گیری و آنالیز

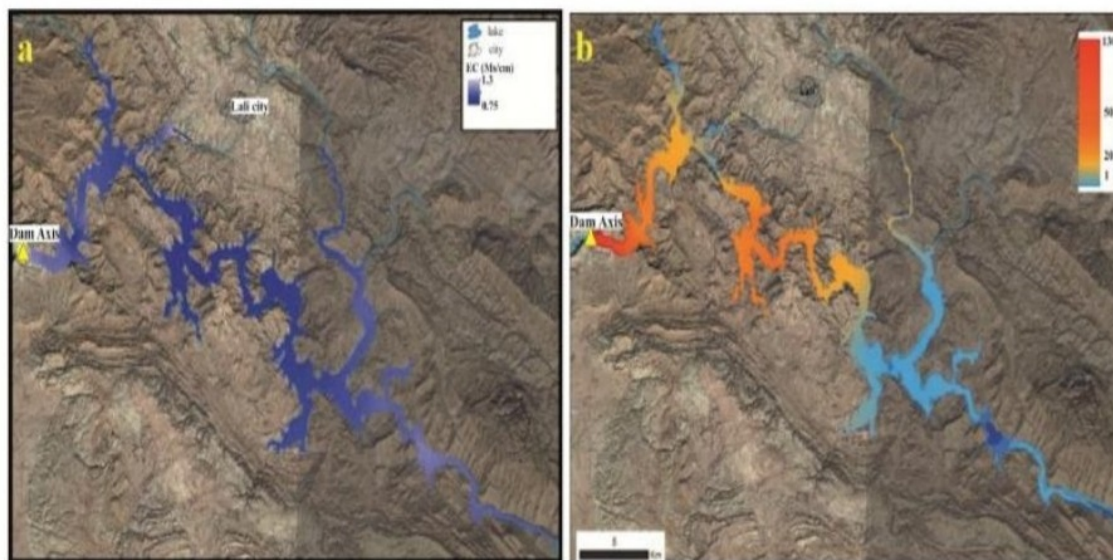
- برای سنجش ویژگی های هیدروشیمیایی و شوری مخزن سد گتوند در امتداد قائم و در طول مخزن، سنجش های قایم پیوسته دمای آب (C)، EC و PH در ۵۸ ایستگاه در امتداد مخزن، طبق روشهای استاندارد (APHA, 2005) و با استفاده از پروب چند پارامتری قابل حمل (Aqua-master AMEL)، صورت گرفت.
- ۱۰۸ نمونه آب از ایستگاه های نمونه گیری در مهرماه ۱۳۹۳ تهیه شد.
- در ایستگاه های واقع شده در مناطق عمیق به سه طریق نمونه گیری صورت گرفت:
 - نمونه سطحی
 - نمونه تحتانی از کف ستون آب
 - نمونه انتقالی جمع آوری شده از مخلوط آب از بخش تحتانی تا فوقانی مخزن.

۲-۳- تغییرات شوری در مخزن سد گتوند

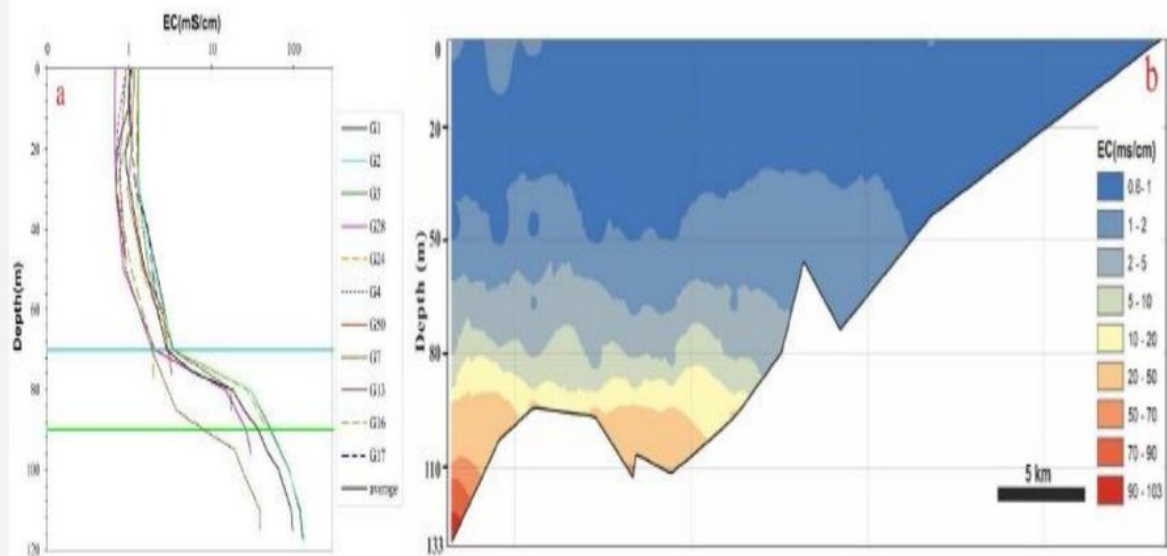
Samples	N	Min	Max	Mean	Std.
Surface samples	41	0.51	1.18	0.88	0.09
Bottom samples	17	0.81	134.2	37.48	47.94
Total	58	0.51	134.2	11.60	30.45

هدایت الکتریکی (EC) و جامدات انحلال یافته کل (TDS) در صحرا و آزمایشگاه، بر روی نمونه های آب تهیه شده در ۵۸ ایستگاه در مخزن سد اندازه گیری شدند. جدول روبرو مقادیر EC اندازه گیری شده در نمونه های کف و سطح را گرد آوری کرده است. هدایت الکتریکی (EC) در مخزن از 0.51 تا 134.2 mS/cm در تغییر است.

شوری آب در کف مخزن بسیار بیش از مقدار آن در عمق کم نشان دهنده وجود لایه بندی شوری است. مقادیر EC اندازه گیری شده در نمونه های آب از سطح مخزن (نمونه های سطحی) از 0.51 تا 1.18 mS/cm در نوسان است که مقدار میانگین آن 0.88 است. در مقایسه، EC نمونه های کف از 0.81 تا 134.2 mS/cm با مقدار میانگین 37.48 در نوسان است که حدود 40 برابر مقدار EC نمونه های سطحی است. همانطور که در تصویر زیر ملاحظه میشود شوری از بالادست مخزن بسمت محور سد افزایش می یابد (سمت چپ کف مخزن، سمت راست سطح مخزن).



تصویر a: تغییرات EC در امتداد قایم مخزن در ایستگاه های متفاوت پراکنده در سراسر مخزن که خطوط آبی و سبز عمق ۷۰ و ۹۰ متر را نشان می دهند بترتیب. (خط مشکی میانگین EC در عمق را نشان می دهد). (b) تغییرات فضایی هدایت الکتریکی نسبت به عمق و در امتداد مخزن



جدول زیر پراکندگی عمق کلاس های شوری مختلف و همچنین حجم آنها درون آب لایه بندی شده مخزن را نشان می دهد:

class	TDS (g/L)	Depth (m)	Level (m a.s.l)	Volume (MCM)	Volumetric percentage
non saline	<0.5	0-30	213-183	1687	52.5
slightly saline	0.5-1.5	30-60	183-153	940	29.3
moderately saline	1.5-7	60-90	153-123	427	13.3
highly saline	7-15	90-100	123-113	72	2.2
very highly saline	15-35	100-115	113-98	64	2
brine	>45	115-133	98-80	22	0.7

آمار توصیفی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و غلظت های یونی (mg/L) همه نمونه های آب جمع آوری شده در مخزن سد گتوند :

Parameter	No.	Min	Max	Mean	St.d.
EC (mS/cm)	108	0.34	197.8	5.4	23.2
TDS(g/L)	108	0.08	344.3	6.2	36.2
pH	108	6.8	8.9	7.6	0.3
Ca	108	45.2	1888	158.4	251.2
Mg	108	9.72	486	26.8	53.5
Na	108	5.06	91990	1730	1005
K	108	0.78	348	8.2	40.7
HCO ₃	108	91.5	183	148.8	15.3
Cl	108	6.7	126500	2654	14910
SO ₄	108	15.36	5021	352.3	686.9
T(°C)	108	15.4	33	21.95	2.4

منابع شناسایی شده شوری :

- انحلال سازند تبخیری گچساران حاوی نمک هالیت
- نفوذ ناگهانی شورابه های نفتی-صحرائی
- تبخیر از سطح مخزن
- جریان داخلی آب شور از چشمه ها و انشعابات نمکی به مخزن

جهت شناسایی و ارزیابی منابع عمده شوری مخزن گتوند از روش های متداول شناسایی منابع شوری شامل موارد زیر استفاده شد :

۱- شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی

۲- شواهد هیدروشیمیایی

۳- امضای ایزوتوپی

۱- شواهد ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی ۴ منبع مستعد شورسازی در منطقه تحت بررسی را مشخص می کنند :

۱-۱- تبخیر از سطح مخزن : میانگین پتانسیل تبخیر سالیانه در منطقه گتوند حدود ۳۰۲۰ میلیمتر می باشد. تبخیر از سطح مخزنی با مساحت ۹۹۴ کیلومتر مربع در حین دوره مطالعات بعنوان یکی از عوامل شورسازی مخزن گتوند لحاظ گردیده است اما حجم سالیانه تبخیر حدود ۳ میلیون متر مکعب است که حدود ۰.۱٪ از حجم کل مخزن (حدود ۴۵۰۰ میلیون مترمکعب) را نشان می دهد. در نتیجه اثر تبخیر بر روی شوری مخزن قابل توجه نیست.

۲-۱- انحلال نمک سازند گچساران: آب مخزن سد گتوند در تماس مستقیم با رخنمون های وسیعی از سازند گچساران قرار دارد. آب مخزن سد در ۶ موقعیت با رخنمون های سازند گچساران در تماس قرار دارد بطور ویژه در بیرون زدگی عنبل.

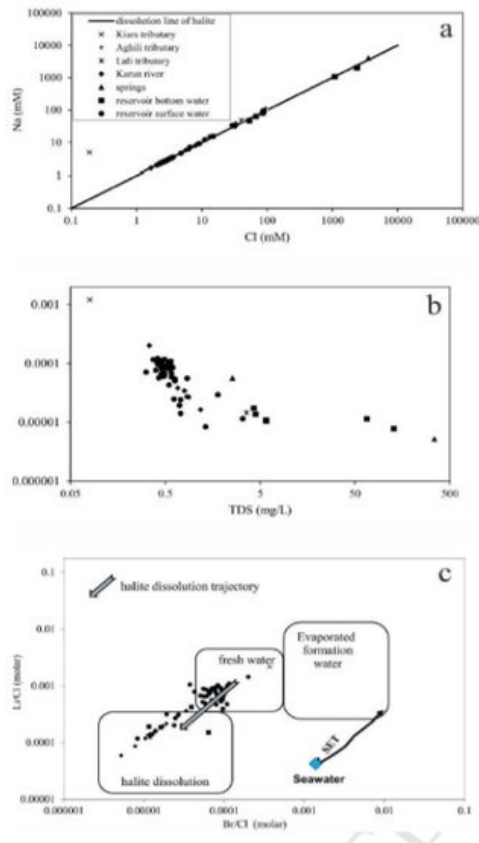
۳-۱- جریان داخلی آبهای سطحی : رودهای لالی، گله شور و کیارس از رودهای فرعی تغذیه کننده مخزن سد گتوند هستند. رود کیارس با $EC\ 0.35\text{mS/cm}$ و سرعت جریان کمتر از 50L/s به مخزن اضافه می شود. در مقابل، کیفیت آب رود لالی (با دبی متوسط $4.5\text{ m}^3/\text{s}$) و رود گله شور در اثر تماس با سازند گچساران افت کیفیت آب قابل توجهی بدست می آورند و EC آنها پیش از ورود به مخزن، بترتیب به ۶ و 2.9 mS/cm می رسد. برای مقایسه EC رودخانه کارون پیش از رسیدن به مخزن حدود 0.65 mS/cm است.

۴-۱- نفوذ ناگهانی شورابه های نفتی-صحرایی : مخزن سد گتوند بطور محلی با مناطق نفتی لالی و زیلویی احاطه شده است. وجود یک چاه نفت فعال در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر و انحلال قابل توجه و فرایند فروریزش در سازند گچساران که بعنوان لایه آب بند مخزن نفت (سازند اسماری) عمل می کند شواهد زمین شناسی جهت نشت شوراب نفتی به مخزن سد فراهم می کند.



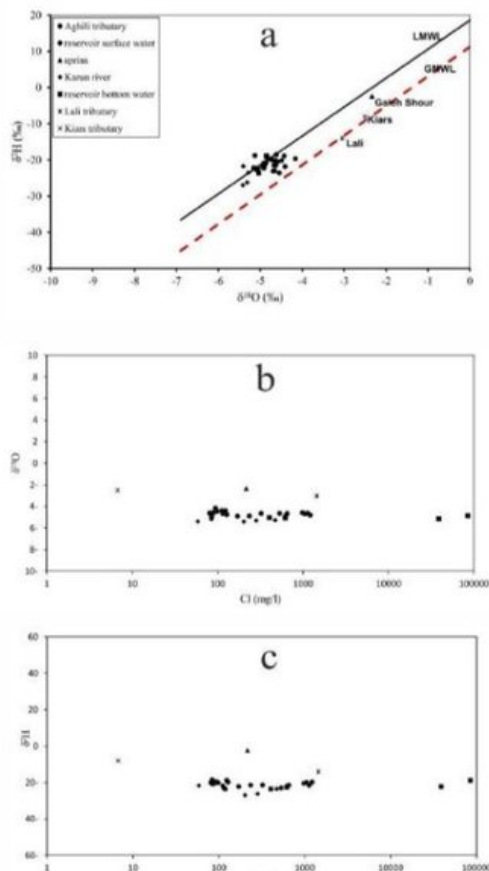
شواهد زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی نمایانگر منابع مستعد شوری، (a) رخنمون های نمک هالیت سازند گچساران در تماس مستقیم با رودخانه کارون در بیرون زدگی عنبل، (b) سینک هول ایجاد شده در اثر انحلال نمک هالیت، (c) ته نشست ثانویه نمک هالیت در حفرات منطقه، (d&e) معبرهای انحلالی و چشمه های نمکی، (f) استخراج نفت در مجاورت مخزن سد

۲- شواهد هیدروشیمیایی



- تکنیک های هیدروشیمیایی کلاسیک جهت شناسایی منابع شوری و برهم کنش های آب و سنگ استفاده میشوند.
- در مناطق با حدود بالای غلظت های یونی، نسبت های یونی جهت ارزیابی رفتار هیدروشیمیایی آب مناسب تر هستند. شکل روبرو غلظت کلرید و سدیم در نمونه های آب مخزن سد گتوند را نشان می دهد.
- اکثریت نمونه های آب جمع اوری شده از سطح و کف مخزن گتوند نسبت های Na/Cl بین ۰٫۹ تا ۱٫۱ دارند درحالیکه این نسبت در نمونه های جمع اوری شده از بالادست مخزن و در رودهای فرعی رودخانه کارون بیش از ۱٫۱ است.
- برومید یک یون محافظ کار است که در پیوستگی با کلرید بعنوان یک شاخص قابل اعتماد برای شناسایی منابع شوری بشدت استفاده میشود. آبهای ناشی از انحلال نمک هالیت دارای نسبت Br/Cl کمتر از 4×10^{-4} هستند
- نسبت های Br/Cl و Li/Cl بطور گسترده ای برای شناسایی منابع شوری آب استفاده میشوند
- محلول ناشی از انحلال نمک هالیت نسبت به آبهای تازه و آبهای سازندهای تبخیری مقدار خیلی کمتری نسبت های Br/Cl و Li/Cl ایجاد می کند

۳- شواهد ایزوتوپی



- از امضای ایزوتوپی آب در ترکیب با ویژگی های هیدروشیمیایی اش برای شناسایی منشأ آب و منبع شوری استفاده میشود.
- جهت ارزیابی منابع شوری مخزن گتوند، نتایج آنالیز ایزوتوپ بر روی ۳۵ نمونه آب مخزن، رودخانه کارون و برخی از رودهای فرعی انجام و بر روی دیاگرام δ^2H - $\delta^{18}O$ ترسیم شد.
- بررسی شواهد ایزوتوپی آشکار می سازد که تبخیر اثر محدودی بر شیمی آب مخزن سد گتوند داشته است.
- جهت ارزیابی اینکه چگونه ترکیب ایزوتوپی با شوری تغییر می کند، $\delta^{18}O$ و δ^2H نسبت به غلظت کلرید نمونه های آب مخزن گتوند ترسیم شدند (شکل های 8b&c). ترکیب ایزوتوپی ($\delta^{18}O$ and δ^2H) نمونه های آب عملاً ثابت می ماند درحالیکه بصورت همزمان شوری از ۸۵ تا ۸۵۱۰۰ mg/L افزایش می یابد که این یافته سهم ناچیز اثر تبخیر بر شوری سازی مخزن را تایید می کند و این تئوری که شوری آب مخزن بیشتر ناشی از انحلال نمک هالیت سازند گچساران است را تایید می کند.

اقدامات صورت گرفته جهت علاج بخشی :

- ۱- راهکار های کوتاه مدت اجرا شده :
 - آبیگری به صورت مرحله ای
 - پر کردن فروچاله ها با استفاده از مخلوط آب و خاک رس جهت کاهش نفوذپذیری سازند گچساران و جلوگیری از انحلال بخش های داخلی آن
 - پوشاندن بیرون زدگی های نمکی با پتوی رسی همراه با یک لایه ریپ رپ برای کاهش نرخ انحلال نمک و پر کردن فروچاله ها که پتوی رسی مذکور بسرعت پس از آبیگری از بین رفت.
- ۲- راهکار میان مدت اجرا شده :
 - خروج آب از لایه های مختلف مخزن سد با استفاده از دریچه های تحتانی و فوقانی جهت کاستن تدریجی مقدار نمک انباشته شده در کف مخزن
- ۳- راهکار بلندمدت:
 - انتقال نمک تجمع یافته در مخزن به محل پذیرنده مناسب با استفاده از لوله گذاری یا روش های دیگر

نتیجه گیری :

- شواهد زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی نشان دادند که انحلال هالیت دلیل عمده انباشت ۶۶,۵ میلیون تن نمک حل شده در مخزن است.
- اضافه بر آن نتایج این پژوهش پیش بینی های اولیه ای که سهمی ناچیزی از شوری مخزن را ناشی از انحلال نمک موجود در سازند گچساران میدانستند، رد می کند.