بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
اهدنا الصراط المستقیم صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم ولا الضالین

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش زیست محیطی

بررسی اثرات زیست محیطی سد شهید رجائی ساری

نگارش:

سلیمه نودهی

اساتید راهنما:

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر غلامعباس کاظمی

اسفند ۱۳۸۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

سرزمین پهناور ایران در منطقه خشك و نیمه خشك قرار گرفته و توزیع غیر یکنواخت آبهاي سطحي محدودیتهاي عمدهاي را در امر استفاده بهینه از منابع آب به وجود آورده است. قسمت اعظم آبهاي سطحي کشور قبل از این که

مورد استفاده قرار گيرند، از دسترس خارج و به سوي دريا ها، درياچه هاي داخلي و يا كويرها سرازير مي‌گردد و نيز در بسياري از نقاط كشور توسعة كشاورزي به دليل رژيم سيلابي رودخانه ها تنها از طريق احداث سدها و ذخيرة آب ممكن مي‌باشد. لذا مهار سيلاب‌ها و آب‌هاي جاري از طريق احداث سد از امور اساسي و زيربنائي محسوب مي‌شود و براي دستيابي به خودكفائي اقتصادي از اهميت ويژه‌اي برخوردار است. احداث سدها و تشكيل درياچه ها و مخازن بزرگ ذخيرة آب در مسير رودخانه ها حادثه‌اي بزرگ است كه خود باعث تغييرات شگرفي در محيط اطراف خواهد شد. با توجه به ضرورت استفاده از مواهب و منابع طبيعي، بهره‌برداري از منابع آب سطحي يا رودخانه هاي يك منطقه به منظور دستيابي به توسعة پايدار امري ضروري و حياتي مي‌باشد. از طرفي حفاظت از طبيعت و محيط زيست آن، به منظور جلوگيري از هر گونه ناپايداري و عدم تعادل طبيعي بين عوامل مختلف نيز از جمله اهدافي است كه به امر توسعة پايدار ارتباط پيدا مي‌كند. از اين رو شناخت مسائل زيست محيطي سدها از مسائل مهم در يك طرح آبي مي‌باشد. ضرورت تأمين آب از يك طرف و خسارات احتمالي ناشي از احداث سد از طرف ديگر توجه به اثرات زيست محيطي طرح‌هاي سدسازي را الزامي مي‌سازد.

۱-۲- اهداف مطالعه

هدف از انجام اين مطالعه بررسي اثرات زيست محيطي سد شهيد رجائي ساري مي‌باشد. بررسي بخشي از اثرات زيست محيطي (فيزيكي، شيميائي، ژئوفيزيكي، اقتصادي و اجتماعي و...) حاصل از احداث سد شهيد رجائي در مناطق تحت تأثير مستقيم و غير مستقيم در راستاي اهداف از پيش تعيين شده، مهم‌ترين هدف مطالعه پيش رو مي‌باشد. ساير اهداف اين مطالعه به اختصار به شرح ذيل مي‌باشد.

- استفاده از سيستم اطلاعات جغرافيايي (GIS) در بررسي اثرات متقابل سد بر محيط زيست
- تعيين مناطق بحراني و حساس تحت تأثير اثرات احداث سد شهيد رجائي

- ارائه راهکار مناسب در جهت رفع پاره‌اي از مشکلات ناشي از احداث سد شهيد رجائي
- ايجاد انگيزه در جهت تغيير مناسب در طراحي، ساخت و چگونگي بهره‌برداي از سدها در ساير مناطق و کاهش خسارت در شتابزدگي در ساخت سدها بدون مطالعات ارزيابي زيست محيطي

۱-۳- اسناد و مدارک مورد استفاده

براي انجام اين مطالعه در محدودة حوضه تجن و زيرحوضه سد شهيد رجائي، داده‌ها و اطلاعات مختلفي به شرح زير گردآوري شده است.

- نقشه هاي زمين‌شناسي چهارگوش ساري، سمنان و گرگان با مقياس ۱:۲۵۰۰۰۰، تهيه شده توسط سازمان زمين‌شناسي کشور
- نقشه هاي زمين‌شناسي در مقياس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهيه شده توسط سازمان زمين‌شناسي کشور شامل ۸ نقشه با نام هاي ساري، بابل، پل سفيد، کياسر، سمنان، دامغان، بهشهر و گرگان
- نقشة سيماي کاربري فعلي و پوشش گياهي اراضي کشور، تهيه شده از تصوير ماهواره‌اي +ETM سال ۲۰۰۲ ميلادي توسط معاونت آبخيزداري دفتر مطالعات و ارزيابي آبخيزها، (۱۳۸۵)
- نقشة تقسيم‌بندي حوضه هاي داخلي کشور، سازمان تحقيقات منابع آب ايران، (۱۳۸۲)
- نقشة لغزش‌هاي محدودة مخزن سد شهيد رجائي تهيه شده توسط شرکت مهندسي مشاور مهاب قدس، در مقياس ۱:۵۰۰۰، (۱۳۷۴)

-تصاوير ماهواره‌اي Landsat ETM+ سال‌هاي ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ ميلادي تهيه شده از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخيزداري کشور
- تصاوير ماهواره‌اي IRS سال‌هاي ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ ميلادي تهيه شده از طريق سازمان فضايي کشور
- نقشة پوشش گياهي و کاربري اراضي تهيه شده از تصوير ماهواره Landsat ETM+ سال ۱۹۹۸ ميلادي، تهيه شده در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخيزداري کشور

- آمار کامل کمیت و کیفیت آب‌هاي سطحي حوضه تجن و ۴ حوضه مجاور (حوضه رودخانه های نکا، دامغان، تالار و کسیلیان) از سازمان آب منطقه‌اي مازندران و تماب
- آمار کامل چاه‌هاي برداشت و مشاهده‌اي حوضه تجن به همراه آمار کامل ۴ حوضه مجاور با آن از سازمان آب منطقه‌اي مازندران و تماب
- آمار هواشناسي ایستگاه‌هاي باران‌سنجي در حوضه تجن و حوضه های همسایه از تماب و تکمیل بخش‌هایي از آن توسط آمار سازمان آب منطقه‌اي مازندران
- منابع کتابخانه‌اي و گزارشات حوضه‌هاي آبریز و سدها به ویژه استفاده از منابع و گزارشات موسسة تحقیقات آب، مرکز اسناد شرکت مهندسي مشاور مهاب قدس، کتابخانه و مرکز اسناد سازمان آب منطقه‌ای مازندران و مرکز اسناد و آرشیو موجود در محل سد شهید رجائی (کتابخانه و آرشیو در ساختمان مدیریت و بهره‌برداری از سد)

۱-۴- روش مطالعه و نگارش پایان‌نامه

پس از گردآوري و دسته‌بندي اطلاعات ذکر شده، براي پردازش داده‌ها یک سیستم اطلاعات جغرافیایي (GIS) براي منطقه ایجاد گردید و داده‌هاي موجود در این سیستم گنجانده شد. سپس با تقسیم‌بندي اثرات زیست محیطي سد شهید رجائي هر بخش با روش مجزا و مختص به خود مورد بررسي قرار گرفت. برخي از اطلاعات از طریق عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌اي از جمله مرفولوژي رودخانه، لغزش‌هاي محدودة مخزن سد، فرسایش ساحلي و... به دست آمد و در نهایت با مشاهدات صحرایي کنترل و تکمیل گردید و نقشه های مربوط به صورت رقومي تهیه شد.

به منظور بررسي اثر سد بر کیفیت و کمیت آب‌هاي زیرزمیني موقعیت چاه‌هاي مشاهده‌اي در نرم افزار ARC GIS رقومي گردید و اطلاعات و آمار سال‌هاي قبل و بعد از احداث سد به صورت جداول وارد سیستم اطلاعات جغرافیایي شده و بعد از طي مراحل مختلف پردازش منحني‌هاي مربوط به کمیت و کیفیت آب‌هاي زیرزمیني دشت تجن تهیه شده است.

در بررسی تغییرات حاصل در کمیت و کیفیت آب‌هاي سطحي کار به صورت تجزیه و تحلیل آماري و تهیة منحني‌هاي مربوط به آن انجام گردیده است. در بخش اثرات اجتماعي و اقتصادي با مطالعة گزارشات به ویژه منابع موجود در مرکز اسناد و آرشیو سد شهید رجائي واقع در محل سد و آب منطقه‌اي مازندران و با حضور در منطقه بررسي‌هاي لازم انجام گرفته و نتایج آن در پایان‌نامه آورده شده است. علاوه بر این در متن پایان‌نامه نیز در هر بخش خلاصه‌ای از روش‌ها و مراحل انجام کار توضیح داده شده است.

نتایج مطالعات و بررسي‌هاي انجام شده در شش فصل به صورت زیر تنظیم و ارائه گردیده است. در فصل اول به برخي از کلیات و ویژگي‌هاي کلي منطقة مورد مطالعه شامل مشخصات حوضه آبریز رودخانه تجن و زیرحوضه سد شهید رجائي (فیزیوگرافي، شرایط آب و هوایي، زمین‌شناسي و...) پرداخته شده است. در فصل دوم با عنوان اثرات زیست محیطي سدها، مسائل زیست محیطي سدها شامل اثرات فیزیکي، شیمیائي، ژئوفیزیکي، بیولوژیکي و بهداشتي سدها و اثرات متقابل آن‌ها با ذکر نمونه‌هایی از این اثرات در برخی از سدهای مهم جهان و نیز اثرات اجتماعي و اقتصادي ناشي از احداث سدها توضیح داده شده است.

در فصل سوم، به اثرات سد شهید رجائي بر آب‌هاي سطحي و زیرزميني (اثرات فیزیکي و شمیایي) پرداخته شده است. در فصل چهارم، اثرات سد بر ناپایداري شیب‌ها و دامنه‌ها و فرسایش ساحلي (اثرات ژئوفیزیکي) و سپس در ادامه اثرات احداث سد شهید رجائي بر مرفولوژي رودخانه تجن (اثرات ژئومرفولوژي) ارائه گردیده است. در فصل پنجم، اثرات متقابل سد شهید رجائی بر پوشش گیاهی و کاربری اراضی، سیل، فرسایش و رسوب، کیفیت آب مخزن و در ادامه اثرات اقتصادی و اجتماعی سد نیز ارائه گردیده است. نهایتا در فصل ششم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از مطالعات صورت پذیرفت و راهکارهایی جهت

کاهش اثرات مخرب سد شهید رجائی بر محیط زیست ارائه شده است.

۱-۵- مشخصات حوضه آبریز رودخانه تجن و زیرحوضه سد شهید رجائي

۱-۵-۱- موقعیت جغرافیایي و مشخصات عمومي حوضه آبریز تجن

حوضه آبریز رودخانه تجن با وسعتي حدود ۴۰۱۵,۸۸ کیلومترمربع و مختصات جغرافیایي′۵۶ °۵۲ و ′۵۹ °۵۴ طول شرقي و′۵۶ °۳۵ و′۴۹ °۳۶ عرض شمالي در زون 39N سیستم UTM و بیضوي WGS84، در استان مازندران واقع شده است. بیش از ۶۰ درصد حوضه از مناطق کوهستاني، حدود ۲۵ درصد آن از اراضي جلگه‌اي و دشت‌هاي ساحلي و بقیه آن را تراس‌هاي رودخانه‌اي، اراضي کوهپایه‌اي و تپه ماهورها تشکیل مي‌دهند. ویژگي‌هاي عمومي این حوضه مشابه با ویژگي‌هاي کلي حوضه‌هاي شمالي البرز مي‌باشد. ژئومرفولوژي عمومي منطقه، مشابه با سایر مناطق شمال ایران یعني البرز شمالي و سواحل دریاي خزر است. سرشاخه‌هاي حوضه، در کوه‌هاي مرتفع البرز قرار دارد و بخش ساحلي که مسطح است، اغلب به طور ناگهاني آغاز مي‌شود و تا دریا ادامه دارد[۱].

بلندترین نقطه ارتفاعي در محدودة حوضه تجن کوه شاه‌دژ با ارتفاع ۳۲۵۰ متر و پایین‌ترین نقطه بندر فرح آباد با ارتفاع ۲۶- متر در ساحل دریاي خزر مي‌باشد. ارتفاعات این ناحیه از البرز، روند شمال شرقي- جنوب غربي دارند. شکل حوضه به صورت نامتقارن

گسترش یافته است. به تبعیت از گسترش ارتفاعات، بیشتر طول حوضه به سمت شرق گسترش دارد (شاخة زارم‌رود). طول محیط حوضه به دلیل گستردگي و کشیدگي زیاد نزدیک به ۴۱۴ کیلومتر است. شاخه‌بندي رودخانه تجن نیز ترکیبي از شاخه‌بندي دندریتي و موازي مي‌باشد [۱].

در شکل ۱-۱ و ۱-۲ موقعیت حوضه آبریز رودخانه تجن نشان داده شده است.

۱-۵-۲- فیزیوگرافي

به لحاظ فیزیوگرافیک حوضه آبریز تجن به ۵ زیرحوضه به شرح زیر تقسیم مي‌شود. (شکل ۱-۳)

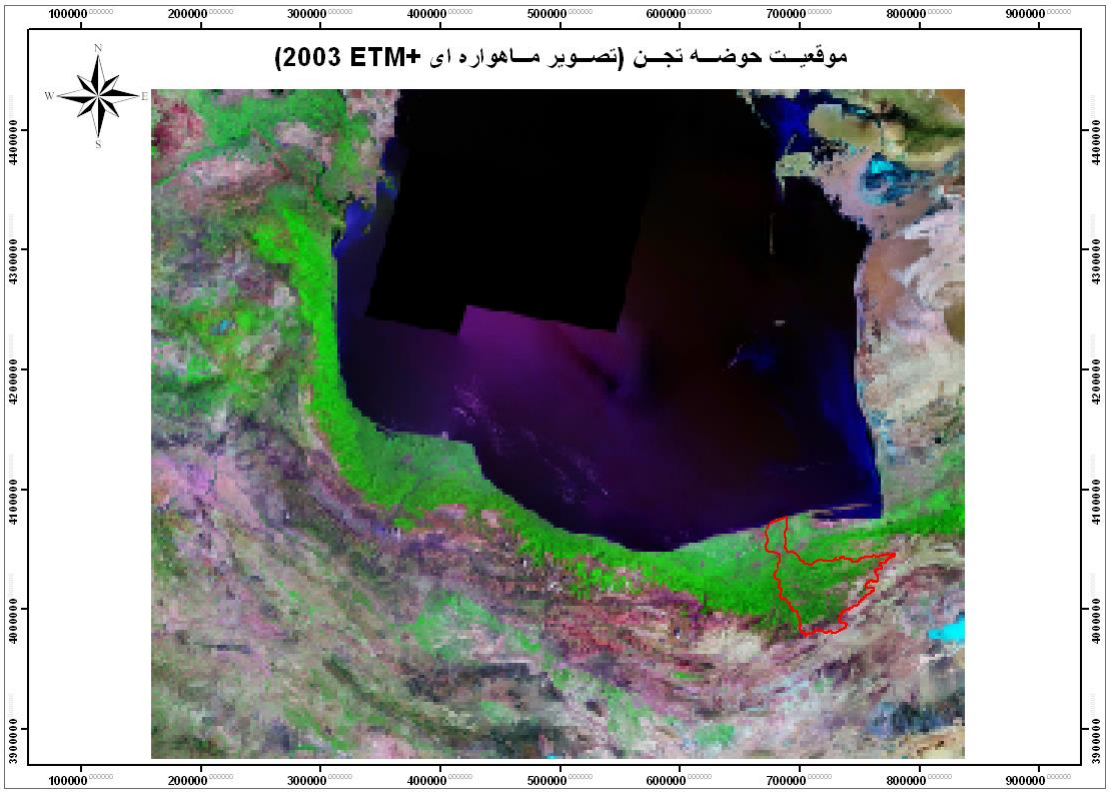
۱-۵-۲-۱- زیرحوضه سفیدرود و شیرین‌رود (زیرحوضه دود انگه)

۱-۵-۲-۲- زیرحوضه چهارد انگه

۱-۵-۲-۳- زیرحوضه لاجیم‌دره

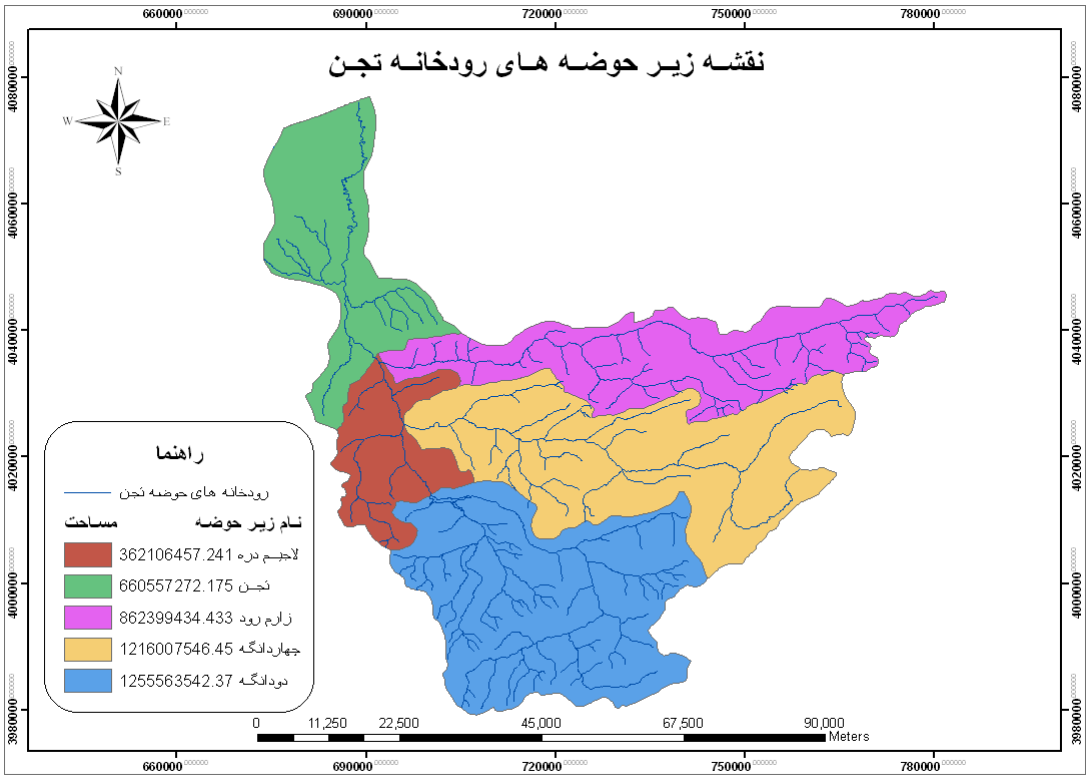
۱-۵-۲-۳- زیرحوضه زارم‌رود

۱-۵-۲-۴- زیرحوضه تجن



شکل ۱-۱: موقعیت حوضه آبریز تجن (تصویر ماهواره‌اي 2003 +ETM)

شکل ۱-۲: موقعیت حوضه آبریز تجن در بین حوضه هاي درجه ۳ ایران



شکل ۱-۳: زیرحوضه هاي رودخانه تجن به همراه مساحت هر یک به هکتار

۱-۵-۳- شکل حوضه

شکل حوضه به تصویر افقي محدودة حوضه بر روي یک صفحه اطلاق مي‌گردد. شکل حوضه نقش بزرگي در زمان تمرکز و شکل هیدروگراف دارد. ضریب گردي[1] cc حوضه رودخانه تجن به روش گراویلوس با مساحت ۴۰۱۵/۸۸ کیلومترمربع و محیطي حدود ۴۱۵ کیلومتر، ۱/۸۳ مي‌باشد [۲۵].

۱-۵-۴- مستطیل معادل

مستطیل معادل یکي از پارامترهاي فیزیوگرافیک حوضه آبریز مي‌باشد و براي تعیین میزان فشردگي یا گردي حوضه مورد استفاده قرار مي‌گیرد. طول مستطیل معادل حوضه برابر با ۱۸۵/۳۳ کیلومتر و عرض آن برابر با ۲۱/۶۴ کیلومتر مي‌باشد [۲۵].

در جدول ۱-۱ مشخصات فیزیوگرافیک حوضه آبریز رودخانه تجن و زیرحوضه هاي آن آورده شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۱-۱ زارم‌رود و چهاردانگه زمان تمرکز طولاني‌تر و کوتاه‌ترین زمان تمرکز مربوط به لاجیم‌دره و شیرین‌رود است.

جدول ۱-۱: مشخصات فیزیوگرافیک حوضه آبریز رودخانه تجن و زیرحوضه هاي آن [۲۵]

نام زیرحوضه	مساحت (Km^2)	محیط (Km)	طول آبراهه اصلي (Km)	ضریب شکل cc	طول و عرض مستطیل معادل (Km)	ضریب دو شاخه شدن
شیرین‌رود	۳۸۵	۹۲	۲۷/۵	۱/۳۱	۱۱/۰۰ -۳۴/۹	۲/۰۵
سفیدرود	۸۲۷/۳	۱۹۲	۶۵	۱/۸۷	۹/۵۶ -۸۶/۴۷	۱/۸۷
دودانگه	۱۲۷۴	۱۷۵	۳۵/۵	۱/۳۷	۱۸/۵۱ -۶۸/۸	۱/۹
لاجیم‌دره	۱۲۸/۱۳	۶۵	۲۲/۵	۱/۶	۴/۶۲ -۲۷/۸۲	۱/۷۲
چهاردانگه	۱۱۸۹/۵	۲۲۵	۸۵	۱/۸۲	-۱۰۰/۶۳ ۱۱/۸۷	۱/۹
زارم‌رود	۹۱۴/۶۵	۲۲۷/۵	۹۷/۵	۲/۱	-۱۰۴/۶۷ ۸/۷۴	۲/۶۷
کل حوضه	۴۰۱۵/۸۸	۴۱۵	۱۵۵	۱/۸۳	-۱۸۵/۳۳ ۲۱/۶	۲/۱۱

۱-۵-۵- آب و هواي حوضه تجن

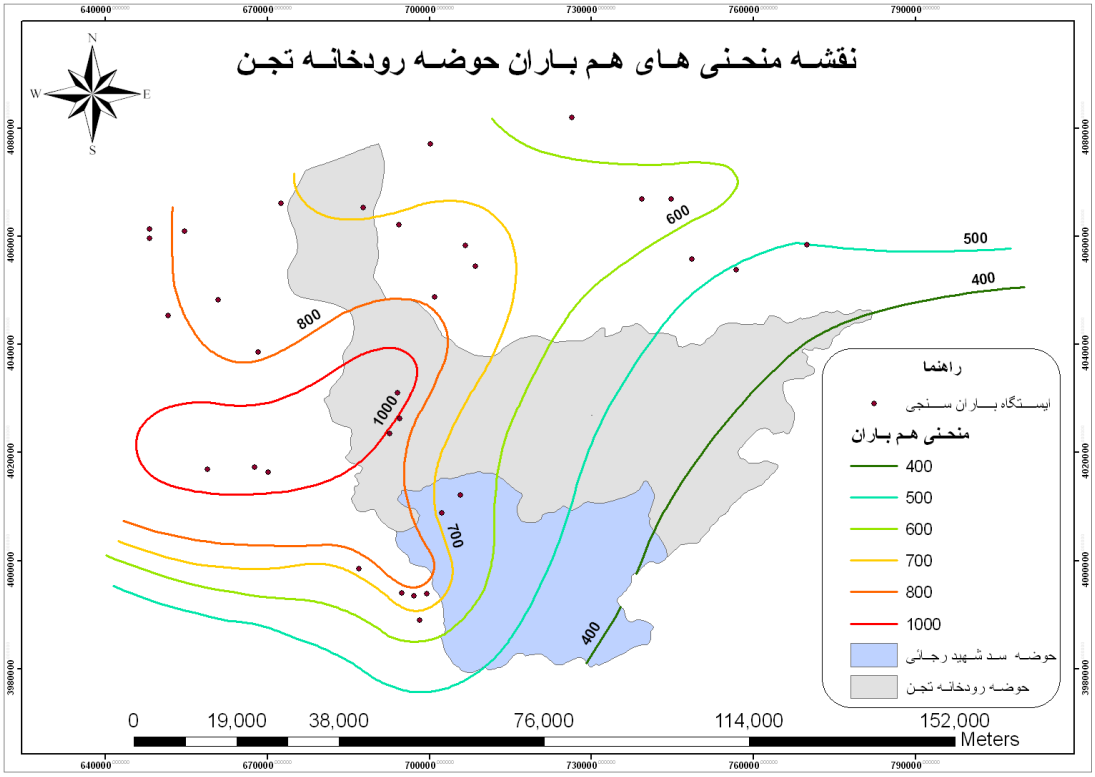
آب و هواي منطقه مازندران را به طور کلي مي‌توان در گروه هاي اقلیمي معتدل سرد تا معتدل گرم و در مجموع

[1]. circuit coefficient

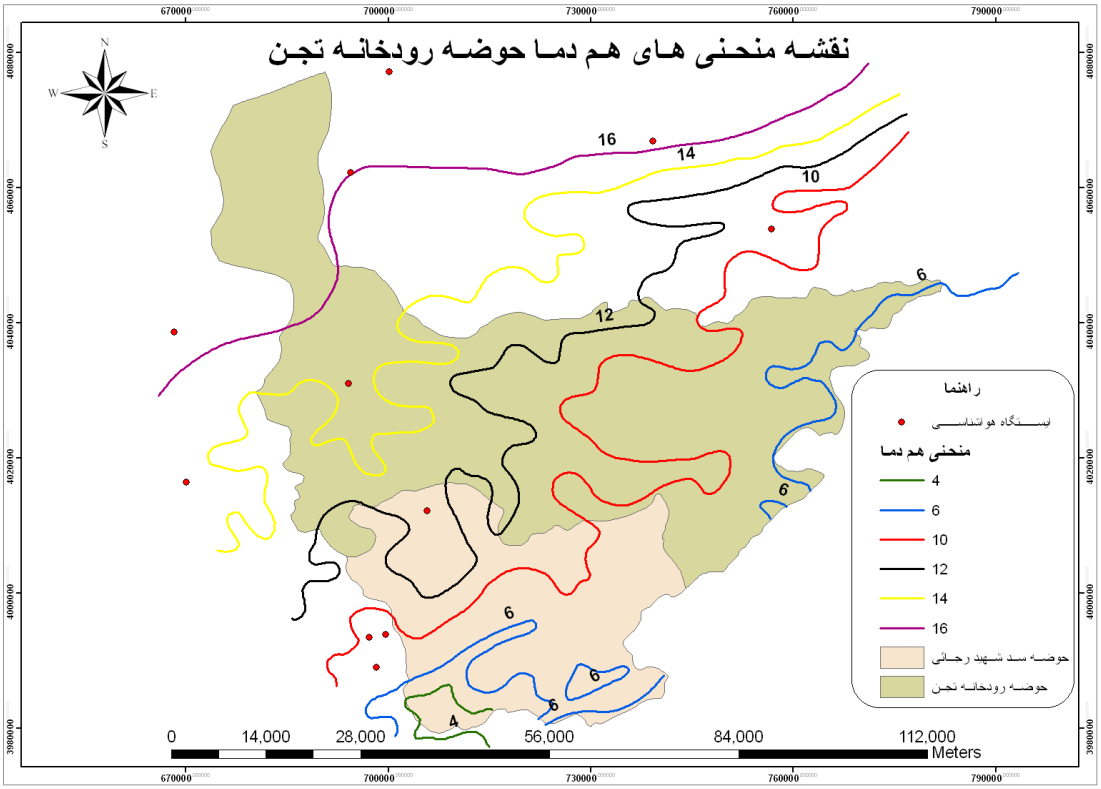
معتدل، طبقه‌بندي نمود. با وجود اينكه در البرز آب و هوا از غرب به شرق، از مرطوب به نيمه مرطوب تغيير مي‌كند در حوضه آبريز رودخانه تجن، آب و هوا تحت تأثير دو عامل ارتفاع و دوري و نزديكي از دريا مي‌باشد. در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر، كه درجة حرارت متوسط سالانه به كمتر از ۵ درجه سانتي‌گراد كاهش مي‌يابد، رطوبت نيز چندان زياد نبوده و از اين جهت، اين مناطق را مي‌توان جزء اقليم‌هاي نيمه مرطوب يا نيمه خشك محسوب نمود. منشأ ريزش‌هاي جوي از يك طرف جبهه‌هاي مرطوب ورودي به منطقه و از طرف ديگر بارش‌هاي كوهستاني ناشي از فيزيوگرافي خاص منطقه و وجود دو عامل سلسله جبال البرز و درياي خزر در مجاورت هم مي‌باشند. يكي از جبهه‌هاي هوا، كه عمدتا در فصول سرد وارد منطقه مي‌شود، جبهه‌هاي مرطوب مديترانه‌اي هستند كه عمدة ريزش‌هاي جوي با طول مدت زياد و قابل توجه از نظر ارتفاع ريزش محصول اين نوع جبهه‌ها است. جبهة ديگر، جبهه‌هاي سرد و خشكي است كه غالبا در فصول سرد از جهت شمال يا شمال شرق (از قطب شمال و سيبري) وارد منطقه مي‌گردد، كه حاصل آن معمولا سرماي خشك براي منطقه است ولي تقارن و يا حتي انطباق بخشي از آن با جبهه‌هاي مرطوب مديترانه‌اي ايجاد ريزش‌هاي سنگين و معمولا از نوع برف مي‌نمايد. باران‌هاي كوهستاني، كه محصول اشباع رطوبت برخاسته از درياي خزر در كوهستان‌هاي البرز مي‌باشد، بخشي از باران‌هاي سالانه را در منطقه تشكيل مي‌دهند. اين نوع ريزش‌ها در سرتاسر فصل پاييز، زمستان و بهار مشاهده مي‌گردند، ولي مركز ثقل زماني آن‌ها اواخر تابستان و اوايل پاييز است. پر باران‌ترين ناحيه در منطقه، حد بين دشت و كوهستان (آهودشت و سركت)، با ريزش سالانه بيش از ۱۳۰۰ ميلي‌متر و كم باران‌ترين ناحيه، سرحد شرقي حوضه تجن (كوه‌هاي سه‌خني و بارمت) در حوضه آبريز زارم‌رود با ۵۰۰ ميلي-متر باران سالانه مي‌باشد. بادهاي عمدة منطقه ناشي از جبهه‌هاي هوايي ورودي مذكور و نيز نسيم بين دريا و كوهستان است. در گروه اول جهت باد از غرب و شمال غرب

(مديترانه اي) يا شمال و شمال شرق (قطب شمال و سيبري)، و در گروه دوم از شمال به جنوب و بالعكس در طي شبانه روز است. باد غالب منطقه ناشي از جبهه هاي هوايي وارده از جهت غرب و شمال غرب (گروه اول) مي-باشد [۱۶].

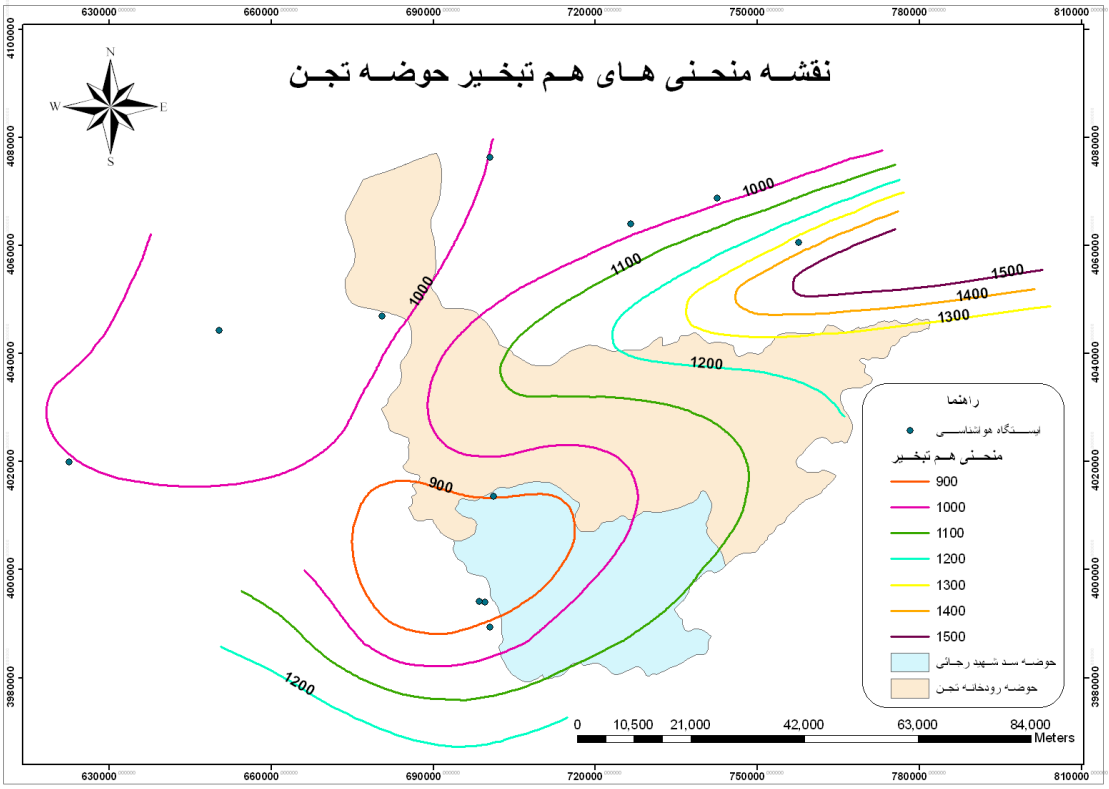
با استفاده از آمار طولاني مدت بارندگي، دما و تبخير حوضه تجن در ايستگاه هاي هواشناسي حوضه تجن و حوضه هاي مجاور نقشه هاي هم باران و هم دما و هم تبخير حوضه رسم شده است. در شكل هاي ۱-۴، ۱-۵ و ۱-۶ نقشة منحني هاي هم باران، هم دما و هم تبخير حوضه نمايش داده شده است.



شكل ۱-۴: نقشه منحني هاي هم باران حوضه تجن



شکل ۱-۵: نقشه منحني ها ي هم دما حوضه تجن



شکل ۱-۶: نقشه منحني ها ي هم تبخير حوضه تجن

۱-۵-۶- وضعيت آبرا هه ها ي اصلي و فرعي حوضه تجن

حوضه تجن بخشي از حوضه تلفيق رودخانه هاي مازندران است. حوضه آبريز رودخانه تجن، از نظر وسعت دومين حوضه آبريز بعد از حوضه آبريز رودخانه هراز است. رودخانه تجن، رودخانه اي نسبتا بزرگ است كه از كوه هاي هزار جريب و چشمه سارهاي متعدد دهستان پشتكوه سرچشمه گرفته و پس از عبور از ساري، در فرح‌آباد به درياي خزر مي‌ريزد. مسير رودخانه از سرچشمه تا ۸ كيلومتري ساري كوهستاني و پس از عبور از اين نقطه جلگه اي مي-گردد. رودخانه تجن از سه شاخة اصلي زارم‌رود در شمال حوضه، شاخة اصلي تجن (چهاردانگه) در مركز و شاخة دودانگه (سفيدرود و شيرين‌رود) در جنوب حوضه واقع شده است[۱۸].

۱-۵-۶-۱- سفيدرود: از شاخه هاي مهم رودخانه دودانگه كه از تلاقي دو شاخة اوليه به نام هاي بورتله و تنگكاورد در دهكدة فينسك به وجود مي‌آيد و در جهت شمال شرقي جريان يافته، و پس از الحاق شاخة سرم به آن به سمت شمال تغيير مسير مي‌دهد. از ميان دره‌اي عميق و تنگ گذشته و دو شاخة گل‌خوران و لنگر به آن اضافه مي‌شوند. رودخانه، از اين نقطه به سمت شمال غرب جريان يافته و در سه كيلومتري بالادست سليمان‌تنگه با شيرين‌رود تلاقي مي‌نمايد. طول اين رودخانه ۶۵ كيلومتر بوده و وسعت حوضه آبريز آن حدود ۸۲۷,۳ كيلومترمربع مي‌باشد. حوضه رودخانه كاملا كوهستاني و بستر آن در تمامي مسير، از درون دره‌هاي تنگ و عميق مي‌گذرد. رودخانه داراي آب دايم بوده و بيشتر حوضه آن از جنگل پوشيده شده است. سد شهيد رجائي در نزديكي روستا هاي پلسك، افراچال و لولت، بعد از محل تلاقي سفيدرود با شيرين‌رود بر روي رودخانه دودانگه احداث شده است[۱۸].

۱-۵-۶-۲- شيرين‌رود: از شاخه هاي مهم دودانگه مي‌باشد كه از كوه تخت‌امير (ارتفاع ۲۳۴۹ متر) واقع در ۶۰ كيلومتري جنوب شرقي ساري سرچشمه مي‌گيرد. در جهت شمال غربي جريان يافته و چند شاخة ديگر مانند الك را دريافت نموده و در غرب روستاي تريا، وارد سفيدرود

مي‌گردد. طول اين رودخانه ۲۷,۵ كيلومتر بوده و مساحت حوضه آبريز آن حدود ۳۸۵ كيلومتر مي‌باشد. بيشترين قسمت آن در مناطق كوهستاني قرار داشته و پوشيده از جنگل مي‌باشد [۲۵].

۱-۵-۶-۳- زارم‌رود: كه به نام‌هاي گرم‌رود، گزررود و جرم‌رود نيز ناميده مي شود كه يكي از سه شاخة مهم تشكيل دهندة رودخانه تجن مي‌باشد. از تلاقي سرشاخه‌هاي خود به نام‌هاي آب سياه‌خاني و بندين در حوالي روستاي تجرخيل تشكيل مي‌شود و به سمت غرب جاري مي‌شود. شاخه‌هايي به نام زروم و علي‌تنگه را در طول مسير دريافت نموده و پس از دريافت شاخة نسبتا مهم ارم، در روستاي بالاكلا وارد رودخانه تجن مي‌گردد. طول اين رودخانه ۹۷,۵ كيلومتر بوده و مساحت حوضه آبريز آن ۹۱۴,۶۵ كيلومترمربع مي‌باشد كه عموما در مناطق كوهستاني واقع بوده و پوشيده از جنگل است[۱۸].

۱-۵-۶-۴- چهاردانگه: اين رودخانه از ارتفاع ۲۲۰۰ متري سرچشمه گرفته و در ابتداي مسير گرمابرود ناميده مي‌شود. اين رودخانه در مسير خود جريان شاخه‌هاي فرعي ببرچشمه، آب تيرجاري و روشن‌آب را دريافت كرده و بالاخره در نزديكي روستاي ورن حوضه فوق به انتها رسيده و كمي پايين‌تر به رودخانه دودانگه ملحق مي‌گردد و از اين به بعد به نام رودخانه تجن جريان مي‌يابد [۱۸].

۱-۵-۷- زمين‌شناسي حوضه تجن

منطقه مورد مطالعه بخش‌هايي از دو زون زمين‌ساختي البرز و گرگان- رشت را در بر مي‌گيرد. گسل البرز حد جدايي اين دو زون مي‌باشد، به نحوي كه در شمال گسل البرز زون گرگان- رشت و در جنوب آن زون البرز واقع شده است. حوضة آبريز رودخانه تجن به طور عمده در نقشة زمين‌شناسي چهارگوش ساري به مقياس ۱:۲۵۰۰۰۰ قرار مي‌گيرد. بخشي از جنوب اين حوضه در چهارگوش سمنان و بخش كوچكتري از آن در چهارگوش گرگان واقع شده است.

۱-۵-۷-۱- واحدهاي پركامبرين و پالئوزوئيک

قديمي‌ترين بيرون‌زدگي‌هاي سنگي در اين حوضه متعلق به پركامبرين بالايي (سازندكاهار) مي‌باشد. كه در سرحد جنوبي حوضه مشاهده مي‌شود، ضمن اينكه بيرون‌زدگي‌هاي قديمي‌ترين در جنوب حوضه (خارج محدوده مورد مطالعه) بين گسل‌هاي ميلاكوه و گيو رخنمون دارند. در ادامه واحدهاي سنگشناسي- چينه‌شناسي منطقه به ترتيب سني، از قديم به جديد، با استفاده از نقشه‌هاي ياد شده و تعيين مرز حوضه با استفاده از نقشة حوضه‌هاي آبريز ايران، معرفي شده‌اند. (شكل ۱-۷)

سازند كاهار (PEK): سن اين سازند پركامبرين بالايي مي‌باشد و از شيل، اسليت، ديابازو كمي دولوميت تشكيل شده است. اين سازند، كه قديمي‌ترين واحد منطقه را نشان مي‌دهد، در جنوب كوه قله شاه‌دژ، سرشاخة رودخانه چهاردانگه و در مرز جنوب- جنوب شرقي حوضه نيز رخنمون دارد. (DC): اين واحد از رسوبات دونين و كرينيفر تفكيك نشده، كه شامل سنگ آهك و شيل مي‌باشد، تشكيل شده است. بيرون‌زدگي‌هاي آن در اطراف ده كياسر و سرچشمه‌هاي شاخة چهاردانگه (گرمابرود)، مشاهده مي‌شود.

سازند خويش ييلاق (Dkh): اين سازند در شمال گسل بادله، به صورت نواري از مركز حوضه تا شرق آن گسترش دارد. سنگ‌هاي تشكيل دهندة آن شامل شيل، سنگ آهك، ماسه‌سنگ و دولوميت مي‌باشد كه سن آن‌ها دونين تعيين شده است.

سازند درود (Pd): اين سازند از ماسه‌سنگ، شيل، سنگ آهك و كوارتزيت تشكيل شده و سن آن پرمين زيرين مي‌باشد. بين اين واحد و واحد زيرين آن يعني سازند مبارك، يك نبود چينه‌شناسي ديده مي‌شود. گسترش آن، به صورت نوار باريكي در شمال گسل بادله و سازند مبارك و نيز به صورت بيرون‌زدگي‌هايي در شرق تاقديس بولا (كوه تخت امير)، و نيز اطراف كوه قله شاه‌دژ ديده مي‌شود.

سازند روته (Pr): سن اين سازند پرمين بالايي بوده و از سنگ آهك فوزولين‌دار و آهك دولوميتي تشكيل شده است. بيشترين گسترش آن در شمال گسل بادله و اطراف ناوديس

ارم مي‌باشد. بيرون‌زدگي‌هاي ديگري از آن اطراف كوه قله شاه‌دژ مشاهده مي‌شود.

۱-۵-۷-۲- واحد هاي مزوزوئيک

سازند اليكا (TRe): اين سازند خود به دو واحد تقسيم مي‌شود، ضمن اينكه معادل‌هاي جانبي نيز براي آن وجود دارد. سن آن تريا‌س پاييني و مياني مي‌باشد.

واحد سنگي تريا‌س پاييني (Tre_1): شامل سنگ آهك نازك لايه با آثار كرم و شيل آهكي، كه سن آن معادل تريا‌س‌پاييني مي‌باشد. اين واحد در امتداد ناوديس ارم و نيز در كوه‌هاي تخت امير و قله شاه‌دژ، بيشترين گسترش خود را دارد. ضمن اينكه در ساير نقاط حوضه نيز مشاهده مي‌شود.

واحد سنگي تريا‌س مياني ($Tre_{2,3}$): به سن تريا‌س مياني بوده و در بخش‌هايي به كار برده مي‌شود، كه با واحد زير قابل تفكيك نباشد.

واحد سنگي دولوميتي (Tre_2): سنگ آهك دولوميتي، اين واحد جوان‌تر از واحد پيشين است و در ستون چينه‌شناسي، بالاتر از آن قرار مي‌گيرد. بيرون‌زدگي‌هاي آن در كوه تخت امير و قله شاه‌دژ مشاهده مي‌شود.

سازند شمشک (Js): سن اين سازند از تريا‌س بالايي تا ژوراسيك پاييني مي‌باشد و متشكل است از شيل، ماسه‌سنگ، سيلتسنگ، گل‌سنگ و مارن و حاوي لايه‌هاي زغال‌دار نيز مي‌باشد. در قسمت‌هاي بالايي آن كنگومراى كوارتزيتي ديده مي‌شود. اين سازند بخش بزرگي از جنوب محدودة مورد مطالعه را در بر مي‌گيرد.

سازند لار: اين سازند با سن ژوراسيك مياني تا كرتاسه خود از سه عضو تشكيل شده است:

JL_1: اين واحد شامل سنگ آهك نازك لايه آمونيتدار است. اين عضو در حاشية شمالي دارابكوه و در جنوب شرقي حوضه مشاهده مي‌شود.

JLs_2: اين واحد شامل سنگ آهك دولوميتي و سنگ آهك است. اين عضو نيز در حاشية شمال دارابكوه و نيز در پيرامون كوه گلگلي ديده مي‌شود.

JKL^3: اين واحد از سنگ آهك روشن و نيز سنگآهك دولوميتي تشكيل شده است. برونزدهاي آن در اطراف كوه گلگلي ديده ميشود. همچنين در حاشية جنوبي قبلهكوه (ما بين دو شاخه سفيدرود و چهاردانگه)، در شمال گسل بادله و به طور پراكنده در ساير بخشهاي جنوبي حوضه مشاهده ميشود.

سازند تيزكوه (Klt): سن اين سازند مربوط به اواخر كرتاسه زيرين بوده و از سنگ آهك اوربيتوليندار تشكيل شده است. اين واحد، مناطق مرتفع و قلل برخي كوهها را ميسازد (قبلهكوه).

واحدهاي كرتاسه فوقاني شامل چند واحد همسن نامگذاري نشده هستند، كه در زير به شرح هر يك پرداخته ميشود.

$K^{ml}{}_2$: اين واحد شامل مارن، مارن سيلتي و سنگ آهك مارني ميباشد كه گستردگي نسبتا وسيعي در بخش ميانی حوضه و به ويژه ما بين رودخانههاي چهاردانگه و سفيدرود و شمال ناوديس ارم دارد.

K^{ml}: اين واحد از سنگ آهك مارني، مارن و مارن سيلتي تشكيل شده است. بيشترين گسترش آن به شكل نواري از سوچلما در حوضه آبريز زارمرود تا غرب نوده در شاخة اصلي تجن (بعد از تلاقي سفيدرود با چهاردانگه) ميباشد. بيرونزدگيهاي ديگري از آن در ساير نقاط حوضه به طور پراكنده ديده ميشود.

$K_2{}^{ll}$: سنگ آهك روديستدار كه به ندرت درون لايههاي مارني دارد. اين واحد در شمال ناوديس ارم به طور پراكنده در ساير نقاط حوضه بيرونزدگي دارد.

۱-۵-۷-۳- واحدهاي سنوزوئيک

سازند فجن (pgf^s): شامل ماسهسنگ قرمز تيره ميباشد، اين واحد در كوه گلگلي و دارابكوه ديده ميشود.

pe^{sl}: شامل تناوبي از ماسهسنگ آهكي و سنگ آهك ماسهاي ميباشد. اين واحد در مركز حوضه به شكل چند نوار و بيرونزدگي و در مسير سفيدرود ديده ميشود.

pe^{ml}: شامل مارن، سنگ آهك و مارن سيلتي مى باشد، اين واحد در بخش شمال شرقي حوضه (اطراف ده هيوي) ديده مي‌شود.

سازند كرج (EK): سن اين سازند معادل ائوسن زيرين است و از توف، ماسه‌سنگ و شيل توفيتي به همراه كمي آهك نومولیتي تشكيل شده است. بيشترين گسترش اين واحد در جنوب شرقي حوضه مي‌باشد (بخش اعظمي از اين واحد در خارج از حوضه قرار دارد).

سازند زيارت E_z^l: اين واحد گسترش كم و پراكنده‌اي در حوضه دارد. سن آن ائوسن زيرين مي‌باشد و از سنگ آهك نومولیتدار و سنگ آهك مارني تشكيل شده است.

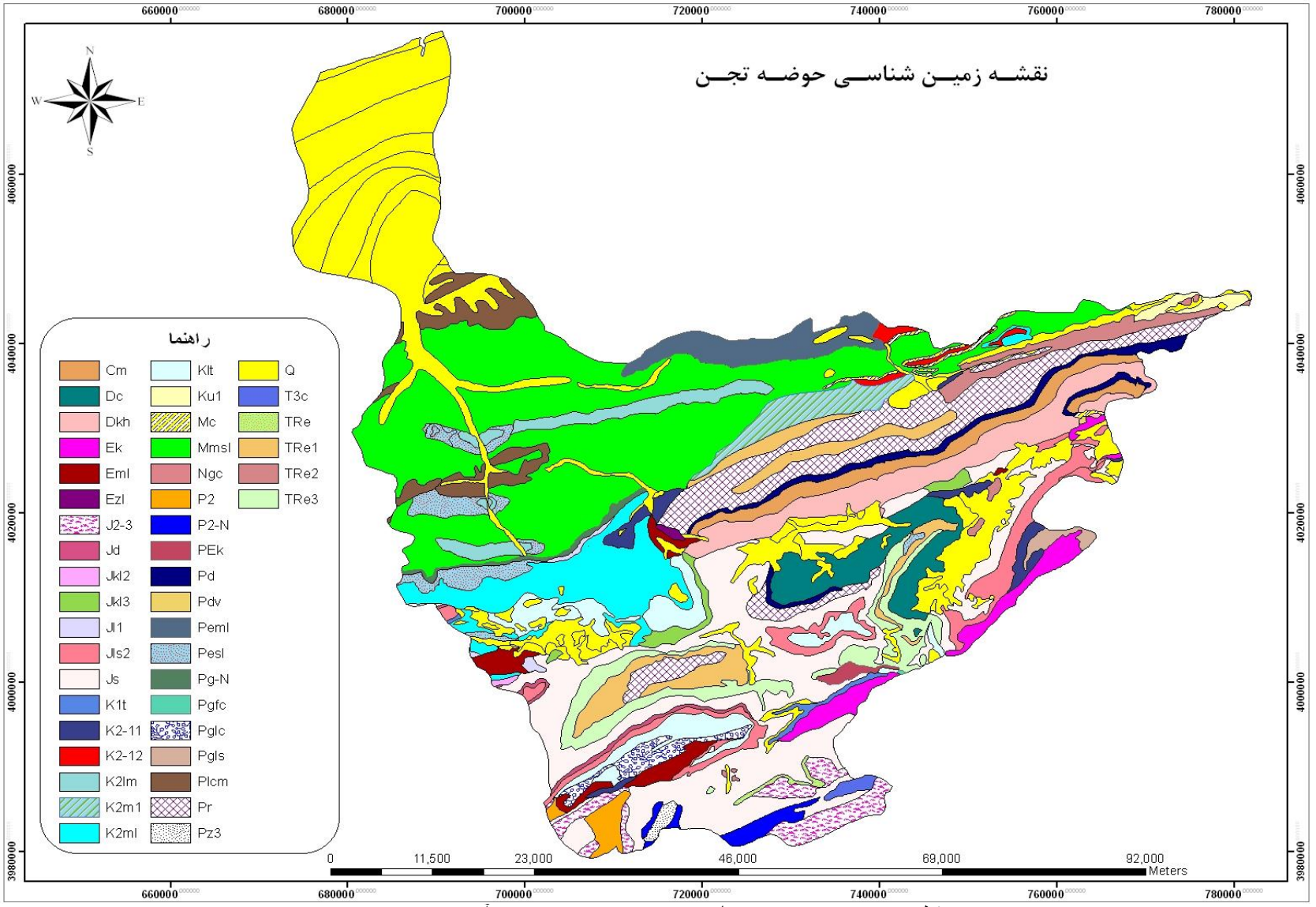
E^{ml}: اين واحد شامل مارن، سنگ آهك و شيل آهكي و با سن ائوسن مياني و بالايي است. در سرشاخه‌هاي شيرين‌رود و در جنوب غربي حوضه بيرون‌زدگي دارد.

NPg: اين واحد از گچ، ماسه‌سنگ، مارن و كمي سنگ آهك تشكيل شده است و در مركز حوضه، و به شكل نواري بسيار باريك بين سفيدرود و چهاردانگه كشيده شده است. سن اين واحد پالئوژن- نئوژن است.

$M^{m,s,L}$: اين واحد بيشترين گسترش را در حوضه، به ويژه در بخش‌هاي شمالي آن دارد و از مارن، ماسه‌سنگ آهكي، سنگ آهك ماسه‌اي و كمي كنگلومرا تشكيل شده است. در مناطقي كه اين واحد گسترش دارد، ارتفاع حوضه متوسط و شيب‌ها نسبتا ملايم هستند. سن اين واحد معادل ميوسن مي‌باشد. ساير واحدهاي معادل آن كه به طور پراكنده در حوضه يافت مي‌شوند عبارتند از $g.M^1, M^c$

$PI^{c,m}$: اين واحد شامل كنگلومرا، مارن و مارن سيلتي و با سن پليوسن بوده و گسترش آن در شمال واحد $M^{m,s,L}$، در پايين‌دست حوضه (جنوب ساري) مي‌باشد. واحدهاي ديگر معادل آن كه شامل PI^c و PI^m مي‌باشند، كه به ترتيب با تركيب مارني و كنگلومرايي مشخص مي‌شوند. همچنين در

محل تقاطع دو شاخه سفيدرود و چهاردانگه، گسترشي از اين واحد ديده مي‌شود.
واحدهاي كواترنر Q كه با نام‌ها و منشأ‌هاي مختلفي كه در راهنماي نقشة زمين‌شناسي شكل ۱-۷ ذكر شده است مشخص مي‌شوند. بيشترين گستردگي آن‌ها مربوط به واحد Qtl با پهنه‌هاي سليت و رسي است، كه تمام بخش ساحلي (شمال ساري) را پوشانده است. واحدهاي مهم ديگر عبارتند از Qal (آبرفت‌هاي سست) كه در مسير رودخانه‌هاي گسترش دارند و QPI^c با تركيب كنگلومرايي و رسوبات انباشته شده در دره‌ها شامل مارن، ماسه‌هاي سست و كنگلومراي گچدار، كه به ويژه در سرشاخه‌هاي زارم‌رود (اطراف ده زارم) و قبله‌كوه و نيز سرشاخه‌هاي سفيدرود مشاهده مي‌شود. ساير واحدها به طور پراكنده در بخش‌هاي مختلف حوضه گسترش دارد (مثل سرشاخه‌هاي گرمابرود).



شکل ۱-۷: زمین‌شناسی عمومی حوضه آبریز تجن

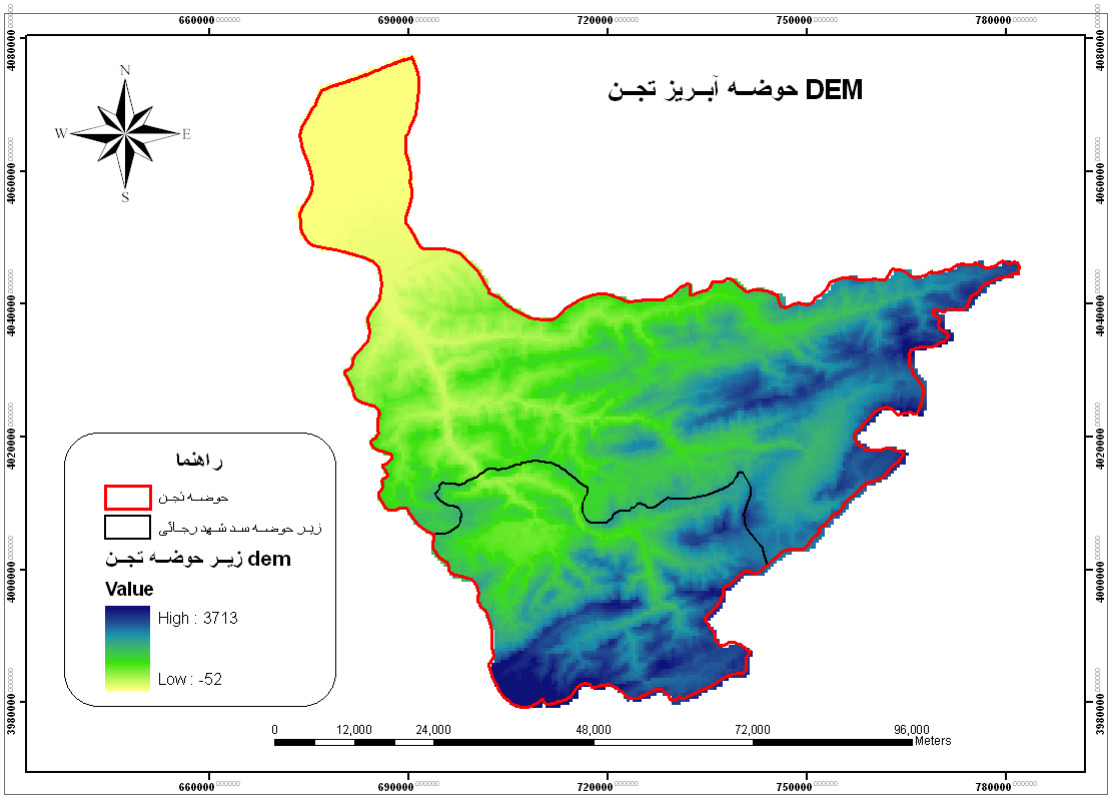
۱-۶- موقعيت جغرافيايي و مشخصات عمومي زيرحوضه سد شهيد رجائي

۱-۶-۱- موقعيت جغرافيايي و مشخصات عمومي سد

سد مخزني شهيد رجائي از نوع بتني دو قوسي است كه در حدود ۴۰ كيلومتري جنوب شهر ساري در محل سليمان‌تنگه با طول جغرافيائي "۰۷ '۱۳ °۵۳ و عرض جغرافيائي "۹۴ '۱۴ °۳۶ بر روي رودخانه تجن احداث شده است. طول تاج سد ۴۲۷ متر و ارتفاع از پي ۱۳۸ متر و حجم كل مخزن ۱۶۲ ميليون متر مكعب و مساحت درياچه سد در رقوم سرريز ۵۲ كيلومترمربع مي‌باشد. عمليات اجرائي سد در سال ۱۳۷۶ پايان يافته و در تاريخ ۱۳۷۷/۱/۱ به بهره‌برداري رسيده است. حوضة آبريز سد شهيد رجائي يكي از زيرحوضه‌هاي رودخانة تجن و با وسعت حدود ۱۲۲۴ كيلومترمربع مي‌باشد. سد در نقطه خروجي اين زيرحوضه، در منطقه‌اي به نام سليمان‌تنگه (رقوم ۳۸۰ متر)، سد مخزني شهيد رجائي احداث شده است[۲].

۱-۶-۲- ارتفاع

با كمک نقشه‌هاي توپوگرافي و DEM حوضه تجن، وضعيت هيپسومتري دو زيرحوضه مهم شيرين‌رود و سفيدرود كه در بالادست سد شهيد رجائي قرار دارند، در جداول ۱- ۲ و ۱- ۳ بدست آمده است.



شکل ۱-۸: DEM حوضه تجن (تهیه شده از DEM کل ایران در نرم افزار ARC GIS)

در مجموع، قسمت اعظم سطح این حوضه ها در ارتفاع ۲۵۰۰ متري و تنها بخش كوچكي در ارتفاع بيش از ۲۵۰۰ متري مي-باشد. لازم به ذكر است كه با افزايش ارتفاع حوضه ميزان بارندگي (در شرايط برابر) افزايش مي‌يابد. رودخانه تجن از قله هايي با ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۲۰۰ متر سرچشمه مي‌گيرد و آب آن حتي از ارتفاع ۱۰۰۰ متري به مصرف آبياري مي-رسد. حوضه آبريز سد شهيد رجائي منطقه اي كوهستاني است كه از ارتفاع ۳۶۰۰ متري شروع و تا به ارتفاع حدود ۳۷۰ متري ختم مي‌شود. شيب توپوگرافي منطقه زياد است به طوري كه بيش از ۸۳% از سطح حوضه را شيب بالاتر از ۲۰ % تشكيل مي‌دهد.

جدول ۱-۲: هيپسومتري رودخانه سفيدرود در حوضه تجن[۲۵]

طبقه ارتفاعی	مساحت (Km^2)	درصد مساحت	درصد تراکمی مساحت	میانگین ارتفاع هر طبقه m
۴۰۰ -۵۰۰	۱/۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۴۵۰
۵۰۰ -۱۰۰۰	۷۰/۷	۹/۲	۹/۴۳	۷۵۰
۱۰۰۰ -۱۵۰۰	۱۲۳	۱۴/۹	۲۳/۳۳	۱۲۵۰
۱۵۰۰ -۲۰۰۰	۱۹۲	۲۳/۱	۴۷/۴۳	۱۷۵۰

۲۰۰۰ -۲۵۰۰	۲۹۸	۳۶/۱	۸۳/۵۳	۲۲۵۰
۲۵۰۰ -۳۰۰۰	۱۰۴	۱۲/۶	۹۶/۳	۲۷۵۰
۳۰۰۰ -۳۵۰۰	۳۱/۹	۳/۹	۱۰۰	۳۲۵۰

جدول ۱-۳: هيپسومتري رودخانه شيرين‌رود در حوضه تجن[۲۵]

طبقه ارتفاعی	مساحت (Km^2)	درصد مساحت	درصدتراکمي مساحت	ميانگين ارتفاع هر طبقه m
۴۰۰ -۵۰۰	۱/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۴۵۰
۵۰۰ -۱۰۰۰	۱۲۶/۲	۳۲/۸	۳۲/۱۲	۷۵۰
۱۰۰۰ -۱۵۰۰	۱۳۸/۷	۳۶	۶۹/۱۲	۱۲۵۰
۱۵۰۰ -۲۰۰۰	۹۱/۸	۲۳/۸۲	۹۲/۹۴	۱۷۵۰
۲۰۰۰ -۲۵۰۰	۲۶/۲	۶/۸۱	۹۹/۷۵	۲۲۵۰
۲۵۰۰ -۳۰۰۰	۰/۹۷	۰/۵۲	۱۰۰	۲۷۵۰

۱-۶-۳- مورفولوژي محل سد

موقعيت محل سد با تنگ شدن ناگهاني درة رودخانه تجن در اثر شيب تند صخره‌هاي سخت و محكم كه عمود بر مسير رودخانه مي‌باشد، مشخص مي‌گردد. رودخانه در محل سد از تنگة عميقي تشكيل شده كه لايه‌هاي سنگ آهك، ماسه‌سنگ و مارن سواحل رودخانه را با شيب حدود ۴۵ درجه مي‌سازند. با توجه به اين كه تنگه به سمت سراب و پاياب عريض‌تر مي‌شود محدوديتي در مورد انتخاب محور سد ايجاد مي‌نمايد. به اين ترتيب، پهناي كف رودخانه متغير است، اما شيب كناره‌ها تغيير نمي‌كند. رقوم كف رودخانه در محل محور سد ۳۷۷ متر است. بالاتر از رقوم ۴۷۰ متر شيب هر دو تكيه‌گاه سد ملايم‌تر مي‌شود. محل سد از لايه‌هاي آهكي و سنگ آهك ماسه‌دار با شيب ۷۰ درجه به سمت پايين-دست متمايل بوده و در برجستگي‌ها به خوبي نمايان است. طبقات بالايي صخره‌ها از جنس مارن و كنگلومراي درشت دانه مي‌باشد. طبقات زيرين از ماسه‌سنگ‌هاي آهكي با لايه-بندي ضعيف تشكيل شده كه تدريجا به ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ مارني و سنگ مارن تغيير مي‌يابد[۱].

۱-۶-۴- آب و هواي زيرحوضه سد شهيد رجائي

با توجه به اينكه درجه حرارت متوسط سالانه زيرحوضه سد شهيد رجائي حدود ۱۲ درجه سانتي‌گراد و متوسط بارندگي حدود ۶۵۰ ميلي‌متر مي‌باشد، بر اساس روش دمارتين آب و

هواي منطقه نيمه‌مرطوب مي‌باشد. بر اساس سيستم آمبرژه، اقليم محدوده از نيمه‌مرطوب معتدل تا مرطوب سرد در ارتفاعات متغير است. محدوده سد شهيد رجائي از نظر ويژگي‌هاي آب و هوايي به طور عام جزء مناطق مرطوب كشور شناخته مي‌شود. مقدار متوسط بارندگي ساليانه و درجه حرارت ساليانه زيرحوضه‌هاي آبريز سد شهيد رجائي بر اساس نقشه هم‌باران در جدول ۱-۴ نشان داده شده است.

جدول ۱-۴: متوسط بارندگي ساليانه و درجه حرارت ساليانه زيرحوضه‌هاي آبريز سد شهيد رجائي

نام زيرحوضه	متوسط بارندگي ساليانه (mm)	درجه حرارت ساليانه (سانتي گراد)
سليمان‌تنگه	۶۷۰	۱۳
شيرين‌رود	۶۸۰	۱۱
فينسک	۶۵۰	۹,۵
لنگر	۵۸۰	۱۰,۵

۱-۶-۵- وضعيت آبراهه‌هاي اصلي و فرعي حوضه سد شهيد رجائي

حوضه آبريز سد شهيد رجائي داراي وسعتي حدود ۱۲۱۲,۳ كيلومتر مربع معادل ۱۲۱۲۳۰ هكتار مي‌باشد. رودهاي جاري داخل حوضه از ارتفاعات سرچشمه گرفته و به رودهاي اصلي مي‌ريزند و تمام آبراهه‌ها نهايتا به رودخانه دودانگه ريخته و توسط اين رود در ارتفاع حدود ۳۶۵ متري از حوضه آبريز رودخانه در منطقه سليمان‌تنگه خارج شده و در پايين‌دست به سرشاخه‌هاي ديگر رودخانه تجن ملحق مي‌گردد[۲۲]. مهم‌ترين شاخه‌هاي رودخانه دودانگه در حوضه آبريز سد شهيد رجائي سفيد-رود و شيرين‌رود مي‌باشد. سفيدرود قسمت شرقي و شيرين-رود بخش غربي حوضه آبريز سد شهيد رجائي را زهكشي مي-نمايند. با پيوستن اين دو شاخة مهم در بالادست سليمان‌تنگه مخزن سد شهيد رجائي تشكيل مي‌گردد.

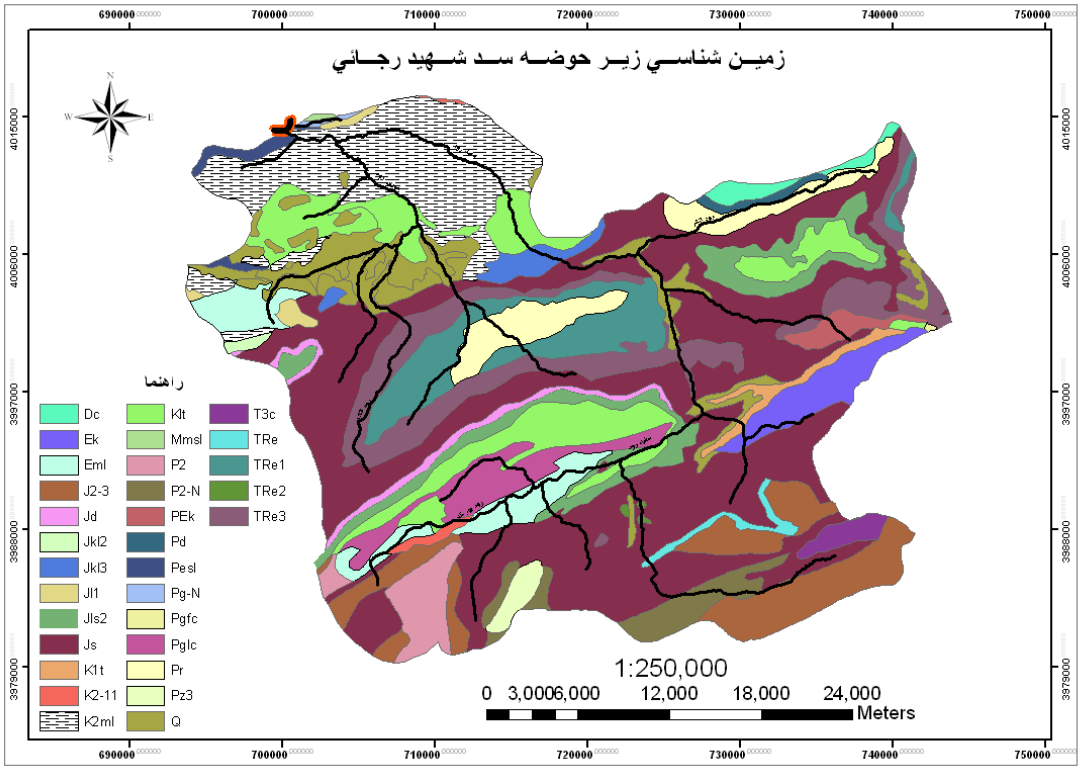
۱-۶-۶- زمين‌شناسي زيرحوضه سد شهيد رجائي

وضعيت كلي سازندهاي موجود در آبريز سد شهيد رجائي كه بر اساس نقشة زمين‌شناسي ۱:۲۵۰۰۰ به دست آمده است، در جدول ۱-۵ نشان داده شده است.

جدول ۱-۵: وضعيت كلي سازندهاي موجود در زيرحوضه آبريز سد شهيد رجائي

دوران زمين-شناسي	دور- دوره	نام سازند	ليتولوژي	درصد مساحت	
سنوزوئيك	كواترنري	Qal- Qt- Qplc	رسوبات آبرفتي- واريزه‌اي- رودخانه‌اي	۵/۲	۵/۱۲
	ترشيري	Mc- Eml- Pgfc- Pesl-كرج- زيارت	ماسه‌سنگ و كنگلومرا- شيل و شيل‌توفي - آهك نومولايتي و مارن	۷/۳	
مزوزوئيك	كرتاسه	K2ml- K2ll- تيزكوه	مارن و آهك- مارن آهكي	۲۰	۸۱
	ژوراسيك	لار- دليچاي- شمشك	آهك تا دولوميت- مارن و آهك- شيل و ماسه‌سنگ- رگه‌هاي زغال	۴۳	
	تريياس	اليكا Tre	سنگ‌هاي آهكي- آهك دولوميتي- دولوميت و شيل آهكي	۱۸	
پالئوزوئيك	پرمين	روته- درود	سنگ آهك- آهك دولوميتي- ماسه‌سنگ و شيل	۴/۰۶	۵/۳
	كربونيفر	مبارك	شيل- سنگ آهك و كوارتزيت	۱/۲۴	
پركامبرين	_ _ _	كاهار- باروت- زايگون	شيل و ماسه‌سنگ- سنگ آهك تا دولوميت	۱/۲	۱/۲

بخش اعظم محدودة مخزن سد و اطراف آن از واحد K2ml (كرتاسه بالايي) تشكيل شده است كه اين واحد سنگي به صورت مجموعه‌اي از سنگ‌هاي مارني، مارن آهكي، مارن سيلتي و آهك مارني و آهك تشكيل شده است. اين واحد در زير پوشش جنگلي واقع شده و در بعضي از مناطق فاقد پوشش و شيب‌هاي تند دامنه‌ها و ترانشه‌هاي كنار جاده خودنمايي مي‌كند. ليتولوژي و خصوصيات زمين‌شناسي خاص منطقه و محدودة اطراف مخزن، پارامتر مستعد كننده براي حركات توده‌اي به ويژه لغزش مي‌باشد. در شكل ۱-۹ نقشه زمين‌شناسي زيرحوضه سد شهيد رجائي نشان داده شده است. برخي از علامت‌هاي اختصاري در راهنماي نقشه، در جدول بالا و برخي از آن‌ها نيز در توضيحات بخش زمين‌شناسي حوضه تجن با شرح كامل آورده شده است.



شكل ۱-۹: نقشه زمين‌شناسي زيرحوضه سد شهيد رجائي

۱-۶-۷- زمين‌شناسي ساختماني زيرحوضه سد شهيد رجائي

۱-۶-۷-۱- گسل هاي اصلي

گسل هاي زيرحوضه سد شهيد رجائي را مي‌توان به دو گروه گسل هاي اصلي و گسل هاي فرعي تقسيم‌بندي نمود، كه نام و مشخصات هر يک به شرح ذيل مي‌باشد.

- **گسل البرز شمالي:** اين گسل به طول حدود ۴۰۰ كيلومتر از لاهيجان تا گرگان گسترش شده شيب آن به سمت جنوب مي‌باشد. بعضي از زمين‌شناسان آن را گسلي رورانده و بعضي آن را گسلي معكوس مي‌دانند و در نقشه هاي مختلف به هر دو صورت نشان داده شده است. اين گسل در حدود ۲/۵ كيلومتري جنوب محل سد قرار دارد و رودخانه سفيدرود در قسمتي از مسير خود از اين گسل مي‌گذرد.
- **گسل خزر:** گسل خزر هم‌راستا با رشته كوه البرز به موازات ساحل درياچه خزر و تقريبا در حد كوه و دشت، با طول حدود ۶۰۰ كيلومتر كشيده شده است. گسل خزر از گسل هاي بسيار مهم و از نظر تكتونيكي نيز بسيار فعال مي‌باشد، بر طبق نظر بربريان حركات معكوس در طول گسل خزر عامل اساسي در وجود

گسستگي توپوگرافي بين البرز شمالي و درياي خزر مي‌باشد. گسل خزر نقش عمده و مهمي در لرزه‌خيزي منطقه دارد[۱].

۱-۶-۷-۲- گسل‌هاي فرعي

- **گسل شاهرود- فيروزكوه- آبيك:** طول اين گسل حدود ۴۰۰ كيلومتر بوده كه در قسمتي از طول خود به صورت نرمال و در بخشي ديگر به صورت گسلي رو رانده مي‌باشد و در ۱۵ كيلومتري مرز جنوبي حوضه آبريز سد شهيد رجائي واقع شده است[۱].
- **گسل هيكوه:** روند آن شمال شرقي جنوب غربي و گسلي نرمال با طول حدود ۳۰ كيلومتر مي‌باشد و از نزديكي جنوب روستاي هيكوه مي‌گذرد[۱].
- **گسل چهارنو:** گسلي نرمال با طول بيش از ۵۰ كيلومتر و امتداد كلي شمال شرقي جنوب غربي در فاصله‌اي در حدود ۵ كيلومتري جنوب بندين گذشته است[۱].
- **گسل بادله:** به طول حدود ۱۳۰ كيلومتر كه در ۷ كيلومتري شمال حوضه سد شهيد رجائي قرار دارد.
- **گسل آستانه:** به طول حداقل ۴۰ كيلومتر كه در جنوبي‌ترين قسمت حوضه سد شهيد رجائي قرار دارد.
- **گسل صبور:** به طول حداقل ۴۰ كيلومتر كه در حدود ۵ كيلومتري جنوب حوضه سد قرار دارد[۱].

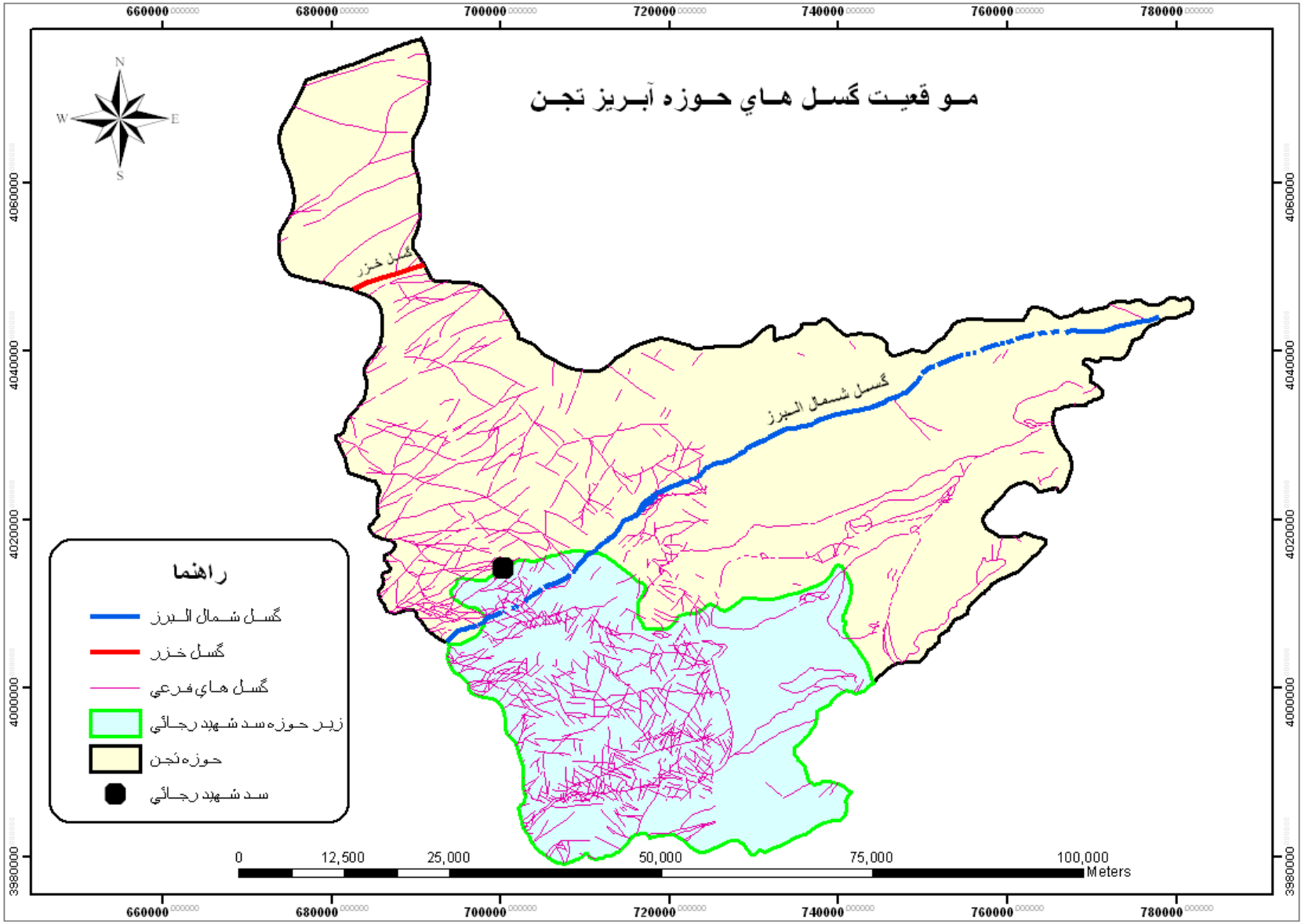
اهميت گسل‌هاي فرعي در اين است كه گسل‌هاي اصلي منطقه را به هم مرتبط ساخته و اگر چنانچه يكي از گسل‌هاي اصلي فعال شود لرزش ناشي از آن به سهولت توسط اين گسل‌هاي فرعي به گسل‌هاي اصلي ديگر منتقل شده و وسعت و دامنة لرزش و تخريب افزايش پيدا مي‌كند.

در شكل ۱-۱۰: وضعيت گسل‌هاي حوضه آبريز رودخانه تجن و زيرحوضه سد نشان داده شده است.

۱-۶-۷-۳- تاقديس‌ها و ناوديس‌هاي زيرحوضه سد شهيد رجائي

روند كلي تاقديس‌ها و ناوديس‌هاي منطقه عموما شرقي- غربي است كه از جمله آن‌ها مي‌توان از تاقديس‌هاي ورامي، نوده، لارما، لولت، سركت و ناوديس‌هاي برنجستانك، ارم، شاهدژ، چهارنو و هيكوه نام برد.

تأثير اوليه و مشخص گسل‌هاي اصلي و تاقديس و ناوديس هاي مذكور ايجاد مورفولوژي خاص كوه‌ها و تپه‌ها در محدودة حوضه آبريز سد شهيد رجائي با كشيدگي شرقي- غربي است كه بين آن‌ها دره‌ها و آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند. تأثير ديگري كه عوامل زمين ساخت بر حوضه دارند، كنترل آب‌هاي سطحي و زيرزميني در اثر تشكيل دره‌هاي گسلي و درز و شكاف‌هاي عميق مي‌باشد كه در نتيجه آن از ايجاد سيلاب‌هاي ويرانگر به نحو مؤثري كاسته شده و حفظ ذخيره آب در حوضه افزايش پيدا مي‌كند [۱].



شکل ۱-۱۰: وضعیت گسل های حوضه آبریز تجن و زیرحوضه سد شهید رجائی

فصل دوم

اثرات زیست محیطی سد ها

۲-۱- مقدمه

امروزه به خوبي اهميت مهار و كنترل جريان‌هاي سطحي جهت تامين آب آشكار گشته است و حجم سرمايه‌گذاري و اختصاص نيروي انساني در رسيدن به اين هدف نيز شاهدي بر اين مدعا مي‌باشد. از طرفي ديگر اهميت مسائل زيست

محيطي چنان مشهود گشته كه ايجاد هرگونه سازة آبي نظير سد بدون توجه به اين قبيل مسائل، اهداف اصلي طرح و احداث سد را به زير سؤال خواهد برد. در بسياري از سدها پيامدهاي حاصل از صدمات، خطرات و ضايعات ناشي از احداث يک سد بدون توجه به مسائل زيست محيطي چنان شديد است كه سرمايه ملي را ضايع كرده و پيامدها و تنشهاي حاد اجتماعي، اقتصادي و در نهايت سياسي را نيز براي يک ناحيه، كشور و يا در سطح بين‌المللي به وجود آورده است. در اين فصل به توصيف و طبقه‌بندي مسائل زيست محيطي سدها پرداخته مي‌شود تا بررسي آيندة اين عوامل براي سد شهيد رجائي ساده‌تر انجام شود.

۲-۲- تعريف و طبقه‌بندي سد ها

سدها موانع مصنوعي هستند كه در بستر رودخانه با هدف كنترل، مهار، انحراف و ذخيرة جريان رودخانه ساخته مي شوند. كاركرد اصلي سد در چرخة هيدرولوژيكي تطبيق زمان جريان سيلاب‌ها با زمان مصرف و نياز به آب مي باشد. معيارهاي متعددي جهت طبقه‌بندي سد ارائه شده است كه از آن جمله مي‌توان به طبقه‌بندي بر اساس اندازه، هدف و نوع مصالح ساخت سد اشاره نمود. كميسيون بين‌المللي سدهاي بزرگ[۱] طبقه‌بندي زير را بر اساس اندازة سدها ارائه نموده است[۳۴].

- سدهاي بلند و بزرگ[۲] با ارتفاع بيش از ۱۵ متر
- سدهاي كوچك[۳] با ارتفاع كمتر از ۱۵ متر
- در صورتي كه ظرفيت سرريز سد زياد باشد و يا طول تاج بيشتر از ۵۰۰ متر و يا ظرفيت سد بيش از يك ميليون متر مكعب باشد، سدهاي با ارتفاع بين ۱۰ تا ۱۵ متر نيز جزء سدهاي بزرگ محسوب مي‌شوند. در طبقه‌بندي ديگر علاوه بر سدهاي بزرگ و كوچك از سدهاي كوتاه[۴] نيز ياد مي‌شود كه داراي ارتفاع كمتر از ۱۰ متر مي‌باشد.

---

۱. ICOLD

۲. Large Dams

۳. Small Dams

۴. Low Dams

يكي ديگر از انواع طبقه‌بندي سدها، دسته‌بندي آن‌ها بر اساس اهداف ساخت سد مي‌باشد. عمدتا منظور و هدف از ساخت سدها را مي‌توان به شرح زير برشمرد:
- تأمين آب (كشاورزي، شرب، صنعتي و...)
- توليد الكتريسيته
- كنترل سيلاب
- ايجاد اماكن تفريحي، ماهيگيري و ورزش‌هاي آبي
- كنترل كيفيت آب
- ايجاد محيط مناسب براي حمل و نقل آبي يا كشتيراني

در صورتي كه يك سد فقط براي يكي از اهداف فوق طراحي گردد، سد را يك منظوره[1] و اگر چندين هدف را دنبال كند، سد از نوع چند منظوره[2] تلقي مي‌شود. سدهاي چند منظوره از نقطه نظر بهره‌وري و اقتصادي از ارجحيت بيشتري برخوردارند، اما به دليل اثرات متفاوت زيستي اين قبيل اهداف، پيچيدگي آن بيشتر خواهد شد. در سدهاي يك منظوره تشخيص اثرات مناسب و نامناسب طرح ساده‌تر و قابل پيش‌بيني خواهد بود[۳۴].

يكي ديگر از طبقه‌بندي معمول سدها بر تنوع مصالح مصرفي در ساخت بدنه سد قرار گرفته است. اصولا مصالح مصرفي ساخت سدها شامل خاك، سنگ، سنگريزه، بتن و ساير مصالح مي‌باشد.

با افزايش حجم، ذخيره آب، ارتفاع سد و تنوع در اهداف سد مسائل فيزيكي و شيميائي، اكولوژيكي، اجتماعي و اقتصادي نيز دستخوش تغييرات شديد مي‌شود و لذا اثرات زيست محيطي اين قبيل سدها از هر جهت افزايش مي‌يابد.

۲-۳- مسائل زيست محيطي سدها

اغلب هر گونه صحبتي از مسائل زيست محيطي بلافاصله اثرات منفي را تداعي مي‌نمايد. در صورتي كه اثرات متقابل سدها بر محيط زيست را مي‌توان در دو گروه، اثرات مثبت و نتايج منفي جستجو نمود. در عمل دامنه

---

[1]. Single Purpose project

[2]. Multi Purpose Project

اثرات زيست محيطي سدها گسترده و مطالعة آن امري بسيار پيچيده است. از اين رو نمي‌توان بحث در موارد مختلف را به طور صريح و مطلق به صورت اثرات منفي و مثبت تشريح نمود، بلكه بسته به موقعيت زماني و مكاني، اثرات متقابل سد و محيط زيست متفاوت خواهد بود. اثرات زيست‌محيطي را مي‌توان در دو بعد مكاني و زماني نيز مورد سنجش و ارزيابي قرار داد. از لحاظ مكاني گاهي اوقات اين اثرات داراي ابعاد بسيار محدود و در پاره‌اي از مواقع در سطح ناحيه، منطقه، قاره و يا به صورت جهاني ظاهر مي‌شود. به طور نمونه سد آتاتورك در تركيه نه تنها براي مردم تركيه مهم است، بلكه اثرات نامناسب آن بر كشورهاي پايين‌دست رودخانه نظير سوريه و عراق قابل پيش‌بيني است. سدهاي تري گرجز[1] در چين تنها به كشور چين مربوط نمي‌شود بلكه بخش بزرگي از آسيا را دستخوش تغييرات مي‌كند[۱۱]. از لحاظ بعد زماني نيز اثرات زيست محيطي متفاوت است و ممكن است اين اثرات لحظه‌اي يا آني باشد و يا در مدت زمان كوتاهي اثرات سازه آبي ظاهر گردد و يا در پاره‌اي از مواقع بايد سال‌ها بگذرد تا اثرات آن آشكار گردد. براي نمونه در يك سد كوچك اثرات آلودگي بسيار سريع ظاهر مي‌شود، اما در يك سد با حجم چند ميلياردي چندين سال طول مي‌كشد تا اثرات نامناسب آن در يك سطح وسيع ظاهر شود. شكسته شدن يك سد اثر سريع و ناگهاني دارد، ولي مغذي شدن آب مخزن بزرگ يك سد در طولاني مدت ظاهر مي‌گردد. گاهي اوقات اثرات زيست محيطي در طول زمان و مكان‌هاي مختلف ظاهر مي‌شود. براي مثال توليد مواد غذايي از آب سدي كه داراي عناصر محلول مضر مي‌باشد و صادرات اين مواد به ساير كشورها و قاره‌ها موجب آلودگي و بيماري در مردمي خواهد شد كه حتي نام آن كشور را نيز نشنيده‌اند. در مطالعه زيست محيط سدها در مجموع به مسائل زيست محيطي

---

[1]. Three Gorges

و عملكرد و واكنش زيست محيط پرداخته مي‌شود. از اين‌رو مي‌توان اثرات زيست محيطي سدها را به شرح زير برشمرد:

۲-۳-۱- اثرات فيزيكي و شيميائي سدها بر محيط زيست

۲-۳-۲- اثرات ژئوفيزيكي سدها بر محيط زيست

۲-۳-۳- اثرات بيولوژيكي و بهداشتي سدها

۲-۳-۴- اثرات اجتماعي، اقتصادي و سياسي ناشي از احداث سدها

۲-۳-۱- اثرات فيزيكي و شيميائي سدها بر محيط زيست

سد به عنوان يك مانع در بستر رودخانه خصوصيات فيزيكي و شيميائي متفاوتي در محل سد، سراب و پاياب آن ايجاد مي‌كند. اثرات فيزيكي و شيميائي يك سد مي‌تواند در مرحله طرح مطالعاتي، مرحله اجرايي و ساخت و ساز (اجراي سازه سد) و يا در زمان بهره‌برداري مشكلات عديده‌اي را فراهم سازد و منافع اصلي احداث سد را به طور نسبي و يا به طور كامل از بين ببرد.

۲-۳-۱-۱- رسوب

يكي از مسائل مهم و عمده در احداث سدها رسوب و رسوب گذاري است، در واقع سد همان طور كه مانعي در سر راه حركت آب مي‌باشد از جابجائي و انتقال رسوب نيز ممانعت مي‌نمايد و مقادير زيادي از رسوبات در پشت سد باقي مي مانند. اثرات تجمع رسوب را مي‌توان از ابعاد مختلفي مورد بررسي قرار داد.

الف- كاهش عمر سد: بديهي‌ترين اثر تجمع رسوب در داخل مخزن به صورت كاهش حجم مخزن درياچة سد ظاهر مي‌شود، گرچه در سدهاي بزرگ براي تجمع رسوب در داخل مخزن حجم مرده در نظر گرفته مي‌شود، اما اغلب به علت برآورد دست پايين مقدار رسوب و يا پيش‌بيني غير واقعي رسوب-زايي حوضه مخزن سد پيش از زمان مقرر با رسوب پر مي-شود. لازم به ذكر است كه در برنامه‌ريزي‌هاي اولية سدها عمليات كنترل رسوب نظير آبخيزداري و سدهاي رسوبگير پيش‌بيني مي‌گردد، اما در غالب موارد پروژه‌هاي فوق به اجرا در نمي‌آيد و يا با تأخير زياد انجام مي‌شود و عملا حجم رسوب ورودي به مخزن بيشتر از برآورد اوليه مي‌باشد. با پر شدن حجم

مرده سد، عمر مفيد سد كاهش مي‌يابد و اثر مستقيم اين امر در اقتصاد طرح، به صورت از بين رفتن سرمايه ملي و مشكلات اجتماعي ظاهر مي‌شود. براي جلوگيري از اثرات تجمع رسوب در مخازن سدها روش‌هاي زير قابل توصيه مي‌باشد.

- افزايش حجم مرده سد با محاسبة دقيق و همه جانبة مقدار رسوب ورودي به مخزن سد
- تخلية رسوب از مخزن
- كاهش رسوب ورودي به درياچه سد (عمليات آبخيزداري)

ب- كاهش مواد مغذي در پايين‌دست سدها: همواره در جريان‌هاي طبيعي رودخانه مقادير زيادي عناصر شامل فسفر، ازت و ساير عناصر مورد نياز گياهان با رسوبات جريان رودخانه حمل مي‌شود و به پايين‌دست مي‌رسد. در مواقع سيلابي و انحراف طبيعي جريان‌ها به اراضي و تراس‌هاي رودخانه، مقداري رسوب ته‌نشيني مي‌شود كه همراه با آن مواد غذايي به خاك افزوده مي‌گردد و به اين ترتيب بافت خاك اصلاح شده و عناصر مغذي مصرف شده توسط گياهان جبران مي‌شود. پس از احداث سد اين طغيان‌ها و جريان‌هاي حاوي رسوب كنترل و اراضي پايين‌دست از مواد غذايي طبيعي هر ساله محروم مي‌گردند[۱۱].

ج- فرايند فرسايش در پايين‌دست: در يك شيب و دبي ثابت توانايي فرايند فرسايش جريان رودخانه با كاهش غلظت مواد معلق افزايش مي‌يابد. چون جريان رها شده از سدها معمولا صاف و زلال و غلظت مواد معلق آن پايين است، لذا توانايي زيادي براي ايجاد فرسايش و حمل رسوب در پايين‌دست را دارد[۱۱].

د- رسوب و سيستم هاي كنترل: گاهي اوقات رسوبات و ساير موادي كه توسط رودخانه حمل مي‌شوند موجب اختلال در عملكرد سيستم‌ها و تأسيسات سدها مي‌شوند. ورود موادي نظير شن و ماسه و يا آشغال به درون لوله آببر توربين‌ها، تجمع رسوب در پشت دريچه‌هاي تخليه كننده تحتاني و تجمع مواد ريز دانه در شيارهاي سازه‌اي كه با تيغة دريچه‌ها و شيرهاي كنترل در تماس هست، موجب مي‌گردد كه

عملكرد آن‌ها دچار اختلال گردد. از اين رو در برخي مواقع حتي آشغال‌گيرها هم براي ورود رسوب به لوله آب-بر توربين، تونل‌ها و يا مجاري تخليه مسمر ثمر واقع نمي‌شود. رسوباتي نظير شن و ماسه سيليسي در برخورد با لبه تيغة دريچه‌ها و مؤلفه‌هاي داخل شير و بدنة لوله‌ها و تونل‌هاي تخليه كننده، سبب فرسوده شدن و خوردگي مي‌گردد. بنابراين مي‌بايست سازندگان تأسيسات با استفاده از مواد و مصالح مختلف استحكام و دوام لازم را در مقابل پديده خوردگي و فرسودگي فراهم سازند.

هـ- رسوب و آببندي مخزن: اگر چه طراح نبايستي از رسوبات دانه ريزي كه در مخزن ته‌نشين مي‌شوند به عنوان يك وسيله قطعي براي جلوگيري از نشت آب استفاده نمايد، اما در واقع اين قبيل رسوبات مي‌توانند به صورت يك لاية غير قابل نفوذ، يكي از مشكلات سدسازي را كه همان آببندي كامل سد مي‌باشد، حل نمايند.

و- اثرات جريان‌هاي گل آلود بر پاياب سد: ساخت سد و تغيير در مقدار رسوب اثرات گسترده‌اي دارد كه گاهي اوقات تا چند صد كيلومتر اثرات نامناسب زيست محيطي ظاهر مي‌گردد. كاهش مقدار رسوب ورودي از رودخانه به دريا، نظم و تعادل بين فرسايش ساحلي و مقدار رسوب را به هم مي‌زند، در نتيجه امواج موجب تخريب ساحل مي‌گردند. به منظور افزايش عمر مفيد سد و حاصلخيز نمودن و غني ساختن اراضي كشاورزي مي‌توان به روش‌هاي مختلف جريان-هاي حاوي مقادير زيادي رسوب را از مخزن خارج نمود. اما توجه به اين نكته الزامي است كه جريان‌هاي گل آلود خود مي‌توانند اثرات نامناسب زيست محيطي در بر داشته باشند. اثرات نامناسب اين رسوبات شامل خسارات ناشي از آن به سد و مؤلفه‌هاي مربوط به آن و نيز مشكلات زيست محيطي در پايين‌دست مي‌باشد. در هنگام رهاسازي جريان‌هاي گل آلود، سرعت جريان زياد است ولي پس از رسيدن به مجراي اصلي رودخانه در مقاطع مختلف مسير سرعت جريان تغيير مي‌يابد به ويژه در برخي از مناطق عريض و كم شيب رودخانه سرعت جريان به طور قابل ملاحظه‌اي كاهش مي‌يابد و رسوبگذاري مواد معلق به

مقدار زياد اتفاق مي‌افتد. نشست رسوبات در كنار پايه‌هاي پل‌ها موجب كاهش سطح مقطع و بالا آمدن آب رودخانه نسبت به مجاري آزاد پل مي‌شود. افزايش ناگهاني غلظت مواد معلق موجب خفگي ماهي‌ها و آبزيان خواهد شد. اگر رهاسازي چنين طغيان‌هايي در فصول نامناسب انجام گردد، مواد رسوبي روي تخم ماهي‌ها و آبزيان را مي‌پوشانند و از بارو شدن آن‌ها جلوگيري مي‌نمايند و اين امر موجب كاهش تعداد ماهي‌ها و ساير آبزيان پايين‌دست مي‌گردد.

۲-۳-۱-۲- مغذي شدن آب درياچة سد

مغذي شدن يا اوتريفيكاسيون[۱] فرايندي است كه در نتيجه تجمع بيش از حد مواد غذايي و فعاليت ميكروارگانيسم ها اتفاق مي افتد و موجب كاهش كيفيت آب مي‌شود. پيكره‌هاي آبي ممكن است با گذشت زمان درصدي از مواد مغذي ورودي به سيستم را در خود ذخيره نمايند. افزايش تدريجي مواد مغذي منجر به افزايش توان توليد بيولوژيكي شده و در اغلب موارد منجر به اثرات نامطلوبي مثل شكوفايي جلبكي مي‌گردد. رشد گياهان در مخازن سدها مهم ارزيابي مي‌شود، چرا كه سبب پيري زودرس مخازن مي‌شود. با رشد گياهان، مواد آلي و رسوبات در مخزن افزايش مي‌يابد. با تجمع قطعات ريز سنگ، خاک و گياهان در درياچه محيط بسيار مناسبي براي تله‌اندازي مواد معلق ايجاد شده كه آن هم به سهم خود رشد گياهان و درختان را تشديد مي‌كند. اين عمل از حجم مفيد مخزن سريعا مي‌كاهد. در دهه‌های اخير شسته شدن كودهاي شيميايي و مواد پاک كننده و رهاسازي فاضلاب‌هاي صنعتي، شهري و روستايي به رودخانه‌ها، موجب افزايش مواد غذايي نظير فسفر و ازت در آب درياچه سدها گرديده است. احداث سد ممكن است به پيشرفت و توسعه شهر-ها، كشاورزي و صنعت در سراب سد منجر گردد، از اين رو اين امر خود به افزايش فضولات كشاورزي، شهري و صنعتي كمک نموده و در نهايت اين پسماندهای حاوی عناصر مغذی وارد درياچة سد مي‌شوند. آبگيري سدها به خصوص در نقاط

---

۱. Euthryphication

جنگلي كه مخزن يا درياچه سد از گياهان و مواد آبي پاک و تميز نشده است، همواره با افزايش سطح مواد غذايي همراه است. در نتيجه يک محيط مغذي و فعال را براي فعاليت‌هاي زيستي ميكروارگانيسم ها ايجاد مي‌نمايد و از طرف ديگر اثرات منفي آن موجب كاهش كيفيت آب مخزن سد مي‌گردد [۳۴].

وضعيت تغذيه گرايي مخزن سد و عوامل اصلي ايجاد كننده آن از دو جهت مورد بررسي قرار مي‌گيرند:

الف- منابع برون مخزني: عامل اصلي مغذي شدن مخزن، مواد آلي ورودي به مخزن با جريان آب مي‌باشد، در اين حالت نقش اصلي را حوضه سد و منابع نقطه‌اي و گسترده توليد كننده مواد آلي به عهده دارند [۸].

ب- منابع درون مخزني: عوامل اصلي مغذي شدن و توليدات مواد آلي در درون مخزن مي‌باشد. در اين حالت رفتار مخزن خود نقش تعيين كننده‌اي در شرايط مغذي شدن آب خواهد داشت [۸].

آنچه كه امروزه به عنوان تغذيه‌گرايي معروف است در واقع پاسخ بيولوژيک درياچه به بالا بودن مواد مغذي است. بالا بودن مواد مغذي در درياچه عملا باعث افزايش و تحريک رشد موجودات سبزينه‌دار مي‌گردد. افزايش ميزان فيتوپلانكتون‌ها نيز به سهم خود باعث افزايش جمعيت بخش-هاي بالايي زنجيره غذايي مانند زئوپلانكتون‌ها و ماهي‌ها مي‌گردد.

بر اساس شدت تغذيه‌گرايي، درياچه‌ها به صورت زير نام-گذاري مي‌گردند:

الف- درياچه‌هاي شاداب[1]: درياچه‌هايي با فرآوري اندكي بيوماس و غلظت پايين مواد مغذي (نيتروژن و فسفر) مي‌باشد. سطح شفافيت ستون آب بسيار بالا و كمبود اكسيژن محلول در لايه-هاي پاييني اندک است و عملا محدوديت اكسيژن وجود ندارد [۳۱].

ب- درياچه‌هاي بينابيني[2]: اين درياچه‌ها به لحاظ تغذيه-گرايي در وضعيتي انتقالي ما بين حالت‌هاي شاداب و

---

[1]. Oligotrophic
[2]. Mesotrophic

مغذي مي‌باشند. در اين نوع درياچه‌ها تا حدي غلظت مواد مغذي محسوس است. شفافيت ستون آب كاهش يافته و ميزان كمبود اكسيژن محلول در لايه‌هاي پاييني مشهود است[۳۱].

ج- درياچه‌هاي مغذي[1]: بالا بودن غلظت مواد مغذي و فرآوري بيوماس از ويژگي‌هاي بارز اين نوع درياچه‌هاست. مصارف آب اين نوع درياچه‌ها با محدوديت‌هايي رو به رو است. شفافيت ستون آب به شدت كاهش يافته و اكسيژن محلول در برخي از فصول به مقدار قابل توجهي افت كرده و كمبود اكسيژن محلول كاملا مشهود است[۳۱].

د- درياچه‌هاي فوق‌مغذي[2] اين نوع درياچه بحراني‌ترين وضعيت تغذيه‌گرايي هستند و داراي غلظت‌هاي بسيار بالاي مواد غذايي و بيوماس مي‌باشد. شفافيت ستون آب به حد اقل مقدار خود مي‌رسد و ميزان اكسيژن محلول در لايه‌هاي تحتاني مخزن تا حد صفر نيز كاهش مي‌يابد[۳۱].

و- درياچه‌هاي آلوده: اين نوع درياچه‌ها غني از مواد آلي (اسيد هوميک و فالويک) بوده كه از منابع خارجي وارد درياچه مي‌شوند[۳۱].

تغذيه‌گرايي اثرات زيان‌آوري را بر پيكره‌هاي آبي وارد مي‌سازد كه مي‌توان به موارد زير اشاره نمود:

الف- اثرات كمي: رشد فزاينده گياهان شناور، روشني و وضوح آب را كم مي‌كند و بعضي گياهان بدمنظر در آب شكل مي‌گيرند، گياهان شناور سطحي مي‌توانند باعث مسدود شدن صافي‌ها درتصفيه خانه‌هاي آب شوند و رشد فزاينده آن‌ها مي‌تواند باعث بروز مشكلاتي در كشتيراني و تفريحات آبي شود.

ب- اثرات شيميايي: رشد گياهان و تنفس آن‌ها مي‌تواند شيمي آب را تحت تأثير قرار دهد. مقدار اكسيژن و دي اكسيد كربن به طور قابل ملاحظه‌اي از حجم فعاليت گياهان متأثر است. عموما آب‌هاي لايه‌هاي زيرين در سيستم لايه‌بندي شده حرارتي مي‌توانند به علت تجزيه

---

[1]. Eutrophic
[2]. Hypertrophi

گیاهان مرده، کاملا تهي از اکسیژن شود. دي اکسید کربن و اکسیژن محلول، pH آب را تحت تأثیر قرار مي‌دهند.

- روش‌هاي تخفیف و کاهش پدیده مغذي شدن عبارتند از:

- تمیز نمودن مخزن سد از مواد آلي، درختان و درختچه-ها و علف‌ها و بوته‌ها قبل از آبگیري سد
- جلوگیري از رهاسازي فاضلاب‌هاي شهري، روستایي و صنعتي به رودخانه‌هاي منتهي به مخزن سد
- کاهش مصرف کودهاي شیمیایي و سموم و یا استفاده حداقل از این قبیل مواد و جلوگیري از شسته‌شدن این مواد به آب رودخانه‌هاي تغذیه کنندة مخزن سد[۱۱]
- جلوگیري از ورود مواد آلي و پوسیده گیاهان به مخزن[۱۱]
- کنترل زمان ماند آب در دریاچة سد***[۸]***
- استفاده از تخلیه کننده‌هاي تحتاني براي رهاسازي آب-هاي آلوده***[۸]***
- تزریق هوا به اعماق آب دریاچه براي جلوگیري از تکمیل فرایندهاي غیر هوازي***[۸]***
- افزودن مواد خنثي کننده به دریاچه جهت کاهش اسیدیته و افزایش pH آب***[۸]***
- قطع علف‌هاي هرز، نیزارهاي بستر در سواحل کناري دریاچه***[۱۱]***
- استفاده از گونه‌هاي ماهي علفخوار [۱۱]
- جلوگیري از دفع زباله‌هاي شهري و روستایي و ضایعات در مسیر رودخانه‌ها و بالادست حوضه
- استفاده از برخي مواد شیمیایي که سبب نابودي و کاهش مواد آلي مي‌گردد[۱۱].

۲-۳-۱-۳- مواد محلول در آب دریاچة سد

عدم توجه به مقدار مواد محلول در آب دریاچه، لایه‌بندي نمک، مکانیسم‌هاي اکسیداسیون و احیا و عدم تعادل تبادلي در آب دریاچة سدها موجب زیان‌هاي جبران‌ناپذیري در محیط زیست مي‌شود. در برخي از سدها، به دلیل تشدید این مسائل، بهره‌برداري از آب دریاچة سد غیرممکن و

غير اقتصادي مي‌گردد. مقدار املاح در آب درياچة سد به عوامل زير بستگي دارد:

- دبي رودخانه[۱۱]
- سرعت جريان[۱۱]
- مساحت حوضه[۱۱]
- اقليم (به ويژه دماي آب و شدت تبخير)[۱۱]
- حلاليت سنگ‌ها و كاني‌ها[۱۱]
- مساحت درياچه[۱۱]
- زمان ماند آب مخزن[۸]
- ساير منابع ورودي املاح مانند چشمه هاي آب گرم[۱۱]

به طور معمول در دبي‌هاي كم در فصل تابستان جريان رودخانه‌ها حاوي حداكثر مقدار نمک محلول است و در فصول طغياني اين مقدار به حداقل خود مي‌رسد. اصولا در جريان‌هاي سريع و سيلابي مقدار كمتري املاح و نمک وجود دارد. در اغلب سيلاب‌هاي بزرگ، غلظت نمک كم ولي در فصل تابستان با دبي پايه كم و سرعت جريان پايين مقدار نمک در آب افزايش يافته و چون تمامي جريان رودخانه ذخيره مي‌گردد، بر مقدار متوسط نمک آب درياچه مي‌افزايد. در فصول گرم سال مقدار غلظت نمک در سطوح فوقاني درياچه بيشتر و در فصل زمستان اين امر برعكس است (غلظت نمک محلول با دما رابطه مستقيم دارد)***[۱۱]***. تنوع سازندها در حوضه هاي آبريز و انحلال‌پذيري بالاي آن‌ها موجب افزايش غلظت املاح در آب درياچه‌ها مي‌گردد. در سدهاي تنظيم چند ساله، در طي سال‌هاي مختلف به تدريج به مقدار نمک محلول آب درياچه‌ها افزوده مي‌شود. به خصوص اگر تخليه كنندة تحتاني در سد تعبيه نشده باشد، لايه هاي زيرين درياچه پس از مدتي كاملا شور مي‌گردد.

- روش‌هاي كاهش اثرات سوء شوري آب درياچه سدها:

الف- انتخاب ساختگاه مناسب براي سد از نظر زمين‌شناسي مخزن و استقرار مؤلفه‌هاي طرح كه داراي حداقل سطح درياچه باشد ***[۸]***.

ب- طراحي مناسب سد و مؤلفه‌هاي آن چون ارتفاع دهانه-هاي آبگير، تخليه كننده‌هاي تحتاني و نيمه‌تحتاني تا به نحوي مقتضي تصميم‌گيري نمايد. تا با رهاسازي جريان غليظ نمک از مخزن به كاهش شوري آب درياچه كمک كرده و از طرفي براي آبياري كشاورزي از سطح تراز آب معيني كه حداقل غلظت نمک را دارد، استفاده نمايد [۱۱].
ج- استفاده از روش‌هاي مناسب در بهره‌برداري از منابع آب، براي نمونه مخزن سد در مواقع طغياني خالي باشد تا از آب شيرين سيلاب‌ها به مقدار بيشتري در سد ذخيره گردد، در پاره‌اي از مواقع با پيش‌بيني سيلاب‌ها، سعي گردد تا از تخليه كننده‌هاي تحتاني آب شور از سد خارج تا محلي براي ذخيرة سيلاب شيرين باشد.
د- با استفاده از روش‌هاي نوين آبياري و رعايت اصول زهكشي در اراضي پايين‌دست سعي گردد تا نمک اضافي خاک شستشو و اراضي مناسبتر گردد.
و- كنترل چشمه‌هاي آب گرم حاوي مقادير املاح و نمک از طريق انحراف مسير چشمه‌ها، قطع ارتباط چشمه‌ها با درياچه سد و يا ايجاد حوضچه‌هاي تبخيري در محل چشمه‌ها كه نه تنها از شوري آب درياچه جلوگيري مي‌كند، بلكه از نمک و ساير املاح اين حوضچه‌ها نيز بهره‌برداري نمود [۱۱].
و بسياري از موارد ديگر كه براي رفع اين گونه مشكلات زيست محيطي سد، بايستي در طراحي هزينه‌هاي ناشي از احداث سازه‌ها، راه‌ها، كانال كشتيراني، نردبان ماهي براي عبور و مرور آزادانه ماهي‌ها، تونل و جاده‌هاي ارتباطي جديد براي جوامع انساني دو طرف سد در نظر گرفته شود، تا با انجام برخي اقدامات پاره‌اي از مشكلات زيست محيطي و اجتماعي منطقه برطرف گردد.

۲-۳-۱-٤- اثرات احداث سد بر آب‌هاي زيرزميني

بهره‌برداري از آب ذخيره شده در مخازن سدها اغلب به دو صورت زير انجام مي‌پذيرد.
الف- استفاده از آب درياچه سد براي همان حوضه
ب- انتقال آب درياچه سد از يک حوضه به حوضه‌اي ديگر

با توجه به نوع بهره‌برداري از آب ذخيره شده، اثرات بر سفره-هاي آب زيرزميني را مي توان در حالات زير برشمرد:
الف- استفاده از آب ذخيره شده جهت اراضي زير كشت در پايين‌دست همان حوضه، موجب بالا آمدن سطح سفره آب زيرزميني خواهد شد.
ب- تمركز و تجمع املاح و نمک در آب درياچه سدها و آبياري با آب حاوي نمک، كيفيت آب زيرزميني در مناطق نفوذي را كاهش مي‌دهد.
ج- با احداث سد و انتقال آب به حوضه ديگر و قطع جريان رودخانه به سفره پايين‌دست سد، احتمال افت شديد سطح آب زيرزميني وجود دارد، مثل دشت كرج و شهريار[۱۱].
د- بالا آمدن زياد سطح سفره آب زيرزميني در نواحي مزروعي موجب مردابي، شور و قليايي شدن اراضي كشاورزي و كاهش تدريجي مقدار محصول در واحد سطح مي‌گردد. كاهش شديد عمق آب زيرزميني در برخي از مناطق در پايين‌دست موجب گسترش مناطق تبخيري خواهد شد.

۲-۳-۱-۵- لايه‌بندي و تغييرات دمايي در مخزن سد

لايه‌بندي به معني ايجاد لايه‌هايي از جرم‌هاي سيال مي‌باشد كه در اثر اختلاف در دانسيته يا درجه حرارت و يا مواد محلول و معلق ايجاد مي‌گردد. در مخازن عميق اختلاف درجه حرارت بين لايه‌هاي بالا و پايين ممكن است به بيش از ۱۵ درجه سانتي‌گراد نيز برسد[۸]. در اغلب مخازن و درياچه‌ها، لايه‌بندي نتيجه موازنه حرارتي بين آب مهار شده و ساير ورودي‌ها به مخزن مي‌باشد. حرارت ورودي شامل تشعشع اتمسفري و خورشيدي، تبادل حرارتي بين آب و اتمسفر و حرارت حاصل از جريان‌هاي ورودي به مخزن مي‌باشد. حرارت آب مي‌تواند در اثر تشعشع سطحي از آب، تبخير، انتقال گرما و دبي خروجي از دست برود. اغلب فرايندهاي گرم و سرد شدن در يک لايه سطحي نسبتا نازک رخ مي‌دهد. بنابراين اگر اختلاط عمودي براي برابر كردن گراديان سطحي كافي نباشد، لايه‌بندي حرارتي شكل مي‌گيرد ***[۱۱]***.

- در زمان لايه بندي سه لايه مشخص زير در مخزن به وجود مي‌آيد :

الف- رولايه يا لايه فوقاني[1]: منطقه بالاتر، گرمتر و با دانسيته كمتر است. اين لايه يک لايه نازک، گرم و به طور كلي لايه نسبتا تازه و با درجه حرارت تقريبا ثابت و زياد مي‌باشد. ضخامت رولايه از درياچه‌اي به درياچه ديگر و از فصلي تا فصل ديگر متفاوت است. در درياچه-هاي كوچک اين لايه ممكن است فقط در حدود يک متر باشد. در صورتي كه در درياچه‌هاي بزرگ ممكن است از ۲۰ متر هم تجاوز كند[۸].

ب- زيرلايه يا لايه تحتاني[2]: منطقه پايين‌تر، سردتر و با دانسيته بيشتر است. اين لايه با شوري بيشتر و گراديان حرارتي كمتر در كف مخزن قرار دارد[۸].

ج- ميان لايه يا لايه انتقالي[3]: اين لايه منطقه‌اي بين رولايه و زيرلايه مي‌باشد. در ميان لايه پروفيل دما در عمق به شدت تغيير مي‌كند كه اين پديده انتقال عمودي گرما و مواد داخل درياچه را محدود مي‌كند. از اين رو باعث جدايي مشخصه‌هاي هيدروليكي، دمايي و اكولوژيكي در دو لايه درياچه مي‌شود. عمق اين لايه به دليل وزش باد و ايجاد اختلاط و تبادل حرارتي در سطح درياچه متغير است. در درياچه‌هاي واقع در عرض جغرافيايي ميان، عمق مفيد ميان لايه بين ۵ تا ۱۵ متر و اختلاف دما در آن بين ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتي‌گراد مي‌باشد. منطقه ميان لايه را Mesolimion و Metalimion و Termocline نيز مي‌نمايد. اگر شرايط محيطي امكان لايه‌بندي مخزن را ندهد، آنگاه تمام مخزن تنها شامل رولايه با يک دما ثابت در تمام عمق مخزن خواهد بود[۸].

وجود شرايط لايه‌بندي شده و يا عدم وجود آن، كيفيت آب مخزن و آب خروجي از آن را شديدا تحت تأثير قرار مي-دهد. به عنوان مثال، آب خارج شده از يک مخزن لايه‌بندي نشده، بدون توجه به تراز آبگيري، معمولا به صورت آب

---

[1]. Epilimion
[2]. Hypolimion
[3]. Termocline

گرم مي‌باشد. در حالي كه آب خارج شده از سطوح پايين‌ي مخزن در يک مخزن لايه‌بندي شده، سردتر مي‌باشد. گرما و سرماي آب خروجي از مخزن، نسبت به دماي جريان ورودي به مخزن، سنجيده مي‌شود.

- عوامل موثر بر لايه‌بندي حرارتي در درياچه‌هاي سد عبارتند از:

- ابعاد فيزيكي مخزن (شرايط هيدروليكي و ريختشناسي مخزن)[۸]
- اقليم و عرض جغرافيائي[۸]
- نحوة بهره‌برداري از مخزن (سازه‌هاي خروجي و بهره-برداري از سد)[۸]
- زمان ماند آب در مخزن و دبي جريان خروجي[۸]
- ويژگي سيلاب ورودي (دما، دانسيته، دبي و...)[۸]

۲-۳-۱-٦- مواد سمي در آب درياچة سد

اگر پيش‌بيني مقدار عناصر سمي و فلزات سنگين در آب درياچه سد از حد مجاز استانداردهاي معتبر بيشتر نباشد، ايجاد سد و درياچه ذخيره با مشكلي رو به رو نخواهد بود. اما در صورتي كه پيش‌بيني‌ها نشان دهد كه وجود عناصر سمي و فلزات سنگين در آب درياچه مي‌تواند مخاطره آميز باشد، بايستي در احداث سد شک و ترديد نمود و تا زماني كه راه حل مناسبي براي حذف مواد سمي يافت نشده است، از اجراي چنين طرحي صرف نظر شود. در ارزيابي اقتصادي سد لازم است هزينه‌هاي حذف مواد سمي در نظر گرفته شود. اگر مشكل آلودگي آب درياچه ناشي از فاضلاب‌هاي صنعتي باشد، مي‌بايست پس از تصفيه كامل پساب‌ها و زدودن مواد و فلزات سنگين وارد جريان آب رودخانه گردد. در بسياري از موارد شاهد آن هستيم كه به علت هزينة سنگين تصفيه، عدم مسئوليت مديران كارخانجات دولتي و خصوصي، خرابي موقت و يا دائمي سيستم تصفيه‌خانه‌ها و افزايش بار فاضلاب كه خارج از ظرفيت تصفيه‌خانه مي‌باشد، موجب مي‌گردد كه مواد سمي و فلزات سنگين به رودخانه راه يابند و وارد درياچة سد شوند. اثرات سموم آلي حاوي مواد فسفره و كلره و

كودهاي شيميايي كه در حوضه آبريز مصرف مي‌شوند، نيز در اين مقوله گنجانيده مي‌شود و مي‌بايست مقدار آن در حوضه كنترل و كاهش يابد. منابع مواد سمي و فلزات سنگين به طور خلاصه عبارتند از:

الف- زمين‌شناسي حوضه آبريز

ب- معادن سرب، مس، روي، آلومينيم، جيوه، منگنز، طلا، چشمه‌هاي آب راديو اكتيو، فاضلاب‌ها و...

ج- پساب كارخانجات صنعتي

د- پساب كشاورزي (كودهاي آلي و شيميايي و سموم دفع آفات نباتي)

لازم است كه همواره استخراج معادن و پسماند آن‌ها را در يک حوضه آبريز كنترل كرد تا مواد سمي از معادن و يا از پسماندهاي كارخانجات تصفيه و تغليظ كاني‌ها به آب‌هاي سطحي و زيرزميني راه نيابد. نتيجه اينكه بايد توجه داشت كه اگر فلزات سنگين و ساير موارد سمي وارد زنجيره غذايي شوند، در سطح وسيعي گسترده مي‌شوند و حتي مردمي كه در مناطق بسيار دور و ساير كشورها از محصولات آن ناحيه مصرف مي‌كنند، دچار مشكلاتي خواهند شد.

۲-۳-۱-۷- اثر سد بر اقليم منطقه

با احداث يک سد حجم زيادي آب در يک منطقه ذخيره مي‌شود كه شايد در طي هزاران و ميليون‌ها سال گذشته در آن محل چنين درياچه‌اي به وجود نيامده است و لذا ذخيره ناگهاني حجم عظيمي آب همراه با ذخيره انرژي گرمايي موجب تغيير در خصوصيات فيزيكي طبيعت آن ناحيه خواهد شد.

اثرات درياچه‌هاي بزرگ بر اقليم را مي‌توان به شرح ذيل خلاصه نمود:

- كاهش ضريب بازتاب تشعشعي[۱] ناحيه و افزايش جذب انرژي حاصل از تابش خورشيد ***[۱۱]***
- واكنش تبادل دمايي بين آب درياچه سد و جو مجاور ***[۱۱]***
- تغييرات در مقدار بارش، مه، باد، تبخير و تعرق ناحيه ***[۱۱]***

---

۱. Albedo

عوامل مهم اقليمي شامل بارندگي، باد، مه، نم نسبي و تبخير بر اساس بزرگي و كوچكي درياچه سد دستخوش تغييراتي خواهند شد. بديهي است كه تغييرات فوق مي-تواند در تداوم حيات گونه هاي حيواني، انساني و نباتي موثر واقع شود.

از اين رو به شرح مختصري از عوامل اقليمي در ارتباط با سد مي‌پردازيم.

الف- بارندگي: با بررسي درياچه سدهايي كه در مناطق معتدل قرار دارند، مشاهده شده كه اين مخازن آبي بر مقدار بارندگي و تعداد رگبارهاي محل مؤثر بوده است. در پاره‌اي از مناطق در مقدار بارش فصول مختلف نيز تغييراتي حاصل شده است. براي نمونه مقدار بارندگي در فصل بهار و تابستان افزايش و مقدار آن در فصل پاييز كاهش نشان مي‌دهد. اين امر به نحوة تشكيل مهاجرت و حركت ابرها بستگي دارد. تأثير بارندگي در حجم آب مخزن به صورت تغييرات موضعي و ناچيز گزارش شده است.

تجربه نشان داده است كه پس از احداث سد اسوان در مصر، مقدار بارش در محل افزايش يافته است و يا در كشور غنا تغييراتي در مقدار بارندگي بر روي درياچة ولتا مشاهده گرديده است. حتي مقدار بيشينه بارندگي ماهانه از يک ماه به ماه ديگر منتقل شده است. اين قبيل نتايج از سدهاي ديگر نظير سدهايي كه بر روي رودخانه هاي پاكستان، درياچه هاي بزرگي نظير لمان[1]، بورگات[2] و انسي[3] و يا در درياچه هاي سدهاي ايتاليا نيز ثابت شده است. به طور كلي نبايد انتظار داشت كه اين تغييرات موجب دگرگوني شديد بارش در منطقه مي‌شوند، بلكه اثر درياچة سدها بر بارندگي به صورت محلي و موضعي است[۳۵].

ب- دما: با توجه به ذخيرة انرژي گرمايي در آب درياچة سدها، گاهي اوقات اين امر موجب مي‌شود كه در انواع اقليم هاي آب و هوايي دامنة تغييرات دمايي در منطقه كاهش يابد.

---

[1]. Leman
[2]. Bourget
[3]. Annecy

- پاره اي از تغييرات دمايي در اثر ايجاد درياچة سدها عبارتند از:

- درياچة سدها به دليل ذخيرة انرژي گرمايي موجب تعادل حرارتي محيط اطراف مي‌شود[۱۱].
- محفوظ و مصون ماندن گونه‌هاي گياهي و حيواني كه نسبت به سرما و گرما و تغييرات شديد آن حساسيت بيشتري دارند.
- در نواحي شمالي و سرد جهان تغييرات دمايي موجب مي‌شود كه در بهار ذوب يخ جلوتر و از طرف ديگر يخبندان در پاييز به تأخير افتد[۱۱].
- در برخي از نواحي سيبري به علت وجود يخ در درياچه، مناطق اطراف مخازن بهار سردتري داشته اند[۳۵].
- در طول تابستان به علت پايداري جو كه در نتيجه وجود درياچه ايجاد مي‌شود، جابجائي هوا كاهش مي‌يابد، اما در طول زمستان به علت از بين رفتن اين پايداري، جابجائي هوا افزايش مي‌يابد[۱۱].

با توجه به اين تجربيات، تغييرات محلي دما در اطراف درياچه مسلم گشته است. اثرات كاهش يا افزايش دما حتي اگر در ميانگين ساليانه تغيير محسوسي مشاهده نگردد، مي‌تواند اثرات بالقوه‌اي از جنبه‌هاي حياتي داشته باشد.

ج- تبخير: در هريک از انواع رژيم اقليمي، با افزايش سطح تبخير، مقدار تبخير ساليانه افزايش مي‌يابد. اما مقدار كل تبخير از سطح درياچه‌ها با عمق آب نسبت عكس دارد. لذا تغييرات فصلي در درياچه‌هاي كم‌عمق شديدتر بوده و در درياچه‌هاي عميق زمان كمينه و بيشينه تبخير به تعويق مي‌افتد[۱۱].

اصولا در نواحي گرمسيري مقدار تبخير از سطح درياچه سد زياد است و گاهي اوقات شدت تبخير چنان زياد است كه مقدار نمک به جا مانده از اين فرايند سبب كاهش كيفيت آب درياچه مي‌شود. ولي اگر باد نوزد، قسمت اعظم آب تبخير در لايه‌هاي مجاور سطح درياچه باقي مي‌ماند و به علت اشباع لايه مجاور در سطح آب، از ميزان تبخير آب درياچه كاسته مي‌شود. از اين رو بيشترين مقدار تبخير

در نواحي خشک و در هنگامي اتفاق مي‌افتد که توسط جريان باد، بخار حاصل از تبخير آب درياچه از سطح آب درياچه به کنار مي‌رود و سطح آب مجددا در معرض تبخير قرار مي-گيرد و فرار مولکول‌هاي آب از محيط سيال به جو تشديد مي‌شود. شدت تبخير در سطح درياچة سدها تحت تأثير خصوصيات منطقه و اقليم (دما، تابش خورشيد، و وزش‌باد و...) و مشخصات و ويژگي‌هاي مخزن (مساحت درياچه، عمق و...)
مي‌باشد. ارقام مربوط به مقدار تبخير ساليانه از درياچة سدهايي که در جهان ساخته شده بسيار خيره کننده است و به اين ترتيب هر سال حجم عظيمي از آب شيرين درياچه‌ها تلف مي‌شود.
د- نم نسبي و مه: مشاهدات صحرايي نشان مي‌دهد که نم نسبي در مجاورت درياچة سدها از نواحي خشک اطراف آن به مراتب بيشتر است. به طور مثال مقدار نم نسبي در سد تاربلاي پاکستان تا حدود ۱۰- ۵ درصد بيشتر از نم نسبي در فاصلة ۱۵ کيلومتري اطراف درياچه آن مي‌باشد، افزايش روزهاي مه آلود در پاره‌اي از سدها نيز گزارش شده است***[۱۱]***.
گرچه تشکيل مه و بالا رفتن نم نسبي نمي‌تواند تغييرات عمده‌اي را ايجاد نمايد، اما پوشش گياهي در بالادست سطح مخزن از اين رطوبت برخوردار مي‌شوند. گاهي اوقات مه يخ-زده به سطح جاده‌ها و سازه‌ها و تأسيسات الکتريکي و گياهان صدمه فراوان مي‌زند. افزايش روزهاي مه‌آلود و وجود مه ممکن است حرکت و عبور و مرور وسايل نقليه در راه‌هاي مجاور به سد را کند و يا خطرناک نمايد. افزايش نم نسبي در وضعيت تنفس و پوست انسان اثرگذار است (افزايش نم نسبي از خشکي پوست جلوگيري مي‌کند).
و- باد: مخازن بزرگ آبي يک سطح صاف و بدون افت قابل ملاحظه‌اي را در مقابل وزش باد ايجاد مي‌کنند، لذا انتظار مي‌رود که سرعت باد در سطح آب افزايش يابد. تجربيات پاره‌اي از سدهاي ساخته شده نشان مي‌دهد که تناوب وزش در حدود ۳ تا ۲۵ برابر در روز و شب افزايش يافته است. به

علاوه حداكثر سرعت باد به مقدار قابل ملاحظه اي نسبت به زمان پيش از احداث سد افزايش نشان مي‌دهد [۱۱].

- اثرات ناشي از افزايش سرعت باد عبارتند از:

- افزايش تبخير از سطح آب درياچه
- افزايش ارتفاع امواج و تشديد فرسايش سواحل درياچه
- در نواحي سرد موجب ضخيم شدن لايه يخ در سطح درياچه

از بررسي نتايج به دست آمده چنين استنباط مي‌شود كه در اثر ايجاد مخازن آبي، ممكن است پاره‌اي از تغييرات آب و هوايي در مقياس خرد[1] و گاهي اوقات در مقياس متوسط[2] مشاهده شود. اما بيشترين تغييرات در درياچه‌هاي بزرگ نواحي خشک اتفاق مي‌افتد. در برخي از مواقع تغييرات آب و هوايي ناشي از احداث سد با تغييرات ساليانه چنان تركيب مي‌شود كه تفكيک آن‌ها از يكديگر مشكل خواهد بود.

- نتايج حاصل از اثرات احداث سدها بر اقليم منطقه:

- گرچه تغييرات اقليمي ناشي از احداث سد و ايجاد يک مخزن آبي نسبتا اندک و محدود است، اما پيش‌بيني آن براي مخازن كوچک و بزرگ آبي، براي تعيين اثرات زيست محيطي آن لازم و ضروري است.
- استفاده از وسايل اندازه‌گيري دقيق، سيستم پايش جديد منطقه و نيز استفاده از مدل‌هاي عددي و رياضي براي پيش‌بيني تغييرات بزرگ مقياس يک ناحيه ضروري است[۳۴].
- اثرات خرد اقليمي اغلب در فواصل نزديک مخازن حداكثر در فاصله ۵۰ كيلومتر و در شرايط خيلي شديد در فواصل بيشتر از ۵۰ كيلومتر ظاهر شده است. اثرات ساليانه و فصلي مخازن كوچک آبي در تغيير دما و بارندگي در شعاع بيش از ۲۰ كيلومتر بي‌اهميت است[۱۱].

٤- مخازن آبي با مساحت ۲۰۰۰- ٦۰۰ كيلومتر مربع موجب تغييراتي در سرعت باد و دماي ناحيه اطراف و نزديک مخزن خواهد شد. مخازن آبي بزرگ با مساحتي بيش از ٤۵۰۰ كيلومتر مربع و بيشتر از آن، حداكثر تا فاصله

---

[1]. Microclimate
[2]. Mesoclimate

۵۰- ٤٠ كيلومتري در مقدار بارش و باد موثر واقع مي-شود [۱۱].

۲-۳-۱-۸- كيفيت آب درياچة سد ها

هدف اصلي از ايجاد سد در تأمين آب با كميت و كيفيت معين خلاصه مي‌شود. گرچه عواملي كه در كاهش كيفيت آب درياچة سد مؤثرند بسيار زيادند، اما اين عوامل شامل پارامترهاي فيزيكي، شيميايي و بيولوژيكي مي‌باشد.

الف- پارامترهاي فيزيكي: رنگ، بو و طعم، كدورت، دما، كل مواد جامد و هدايت الكتريكي (EC)

ب- پارامترهاي شيميايي: ***pH***، اسيديته، قليائيت، خاصيت خورندگي، كاتيون‌هاي و آنيون‌هاي آب، مواد آلي (سموم دفع آفات نباتي، تركيبات فنل، هالومتان‌ها و...)، مواد پاك كننده، گازهاي محلول (اكسيژن)، عناصر سمي (آرسنيك، سيانيد، آفت كش و...) و عناصر كمياب (آلومينيم، مس، فلوئور، يد و..) **ج- پارامترهاي بيولوژيكي و ميكروبيولوژيكي:** به دو دسته كلي ماكرو و ميكرو تقسيم-بندي

مي‌شوند كه ماكروبيولوژيكي شامل كرم‌هاي حلقوي، لوله‌اي يا نماتودها، انگل‌ها، بندپايان و شاخكداران و... و ميكروبيولوژي شامل پروتزئرها، باكتري‌ها، قارچ‌ها و جلبك‌هاي تكسلولي و... مي‌باشد كه هر كدام از اين شاخه-ها دسته‌بندي‌ها و زيرگروه‌هاي ديگري دارد ***[۸]***.

د- پارامترهاي راديولوژيكي: منابع تأمين مواد راديو-اكتيو در آب درياچه به دو صورت طبيعي (ذخيره‌هاي معدني، چشمه‌ها و...) و مصنوعي (فعاليت‌هاي هسته‌اي بشر، استخراج معادن و عملكرد صنعتي هسته‌اي و...) مي‌باشد ***[۸]***.

۲-۳-۲- اثرات ژئوفيزيكي سد ها

شناخت عوامل ژئوفيزيكي در محدوده و محل ساختگاه سد مي‌تواند كمك شايان توجهي به طراحان سد، مجريان عمليات اجرائي و مديران بهره‌برداري از سد بنمايد. با شناخت عوامل نامناسب ژئوفيزيكي كه مي‌تواند تغييرات زيادي در محدودة مخزن، ساختگاه سد و حتي در ماوراي مرزهاي محدوده سد، در نواحي سراب و پاياب آن به وجود

آورد و يا اثرات متقابل محيط بر سد و درياچه، دست طراحان را براي اعمال تمهيداتي مناسب باز ميگذارد. از جمله تعيين محل، ارتفاع و حجم سد و يا سازههاي جنبي و مرتبط با آن نظير آبگيرها، تونلها، سرريزها و نيروگاه از نقطه نظر محل، موقعيت مكاني و ارتفاع دستخوش تغييراتي خواهد شد. فرايندهاي خاص ژئوفيزيكي در ناحيهاي كه سد ساخته ميشود، شامل موارد اصلي ذيل ميباشد:

۲-۳-۲-۱- پايداري شيب ها مشرف به مخزن سد

۲-۳-۲-۲- پايداري و حفاظت خط ساحلي درياچة سد

۲-۳-۲-۳- زلزلههاي القائي

۲-۳-۲-٤- شكست سد

۲-۳-۲-۱- پايداري شيبهاي مشرف به مخزن سد

يكي از فرايندهاي طبيعي كه پس از احداث يک سد اتفاق ميافتد، نفوذ آب درياچه به داخل لايههاي زمين اطراف است. در صورت وجود لايهبندي نامناسب سازندهاي مختلف از قبيل لايههاي مارن، شيل و سنگ آهک و... و در مواردي كه لايهها شيب تندي به طرف مخزن سد دارند، در نتيجه نفوذ آب اصطكاک بين لايهها كاهش يافته و پايداري شيب طبيعي به هم ميخورد و رانش زمين و لغزندگي تودهاي خاک و سنگ اتفاق ميافتد. حذف درختان يا حذف عامل تثبيت بيولوژيكي، بهرهبرداري نامناسب از حاشية مخزن براي مصالح قرضه و افزايش شيبهاي مشرف به مخزن، ميتواند به بروز لغزش در شيبها كمک كند. از اين رو در برخي از نواحي كه در شرايط عادي شيب اطراف رودخانه پايدار به نظر ميرسد، پس از احداث سد و تغيير محيط از نظر پوشش گياهي و نفوذ آب به داخل لايههاي مختلف، پايداري شيب جناحين و اطراف مخزن سد مختل ميگردد و تودههاي سنگ و خاک به داخل مخزن ميريزند. لغزش شيب ميتواند حتي پس از يک بارش طولاني مدت و سنگين نيز اتفاق بيافتد. به طور كلي لغزش و تخريب در شيبهاي اطراف درياچه را ميتوان در چند وضعيت مختلف مورد توجه قرار داد.

الف- لغزش در ترازي بالاتر از سطح تراز آب مخزن: ايجاد سد و درياچه در وقوع لغزش در تراز بالای سطح آب نقشي ندارد، بلكه خصوصيات زمين‌شناسي و ژئوتكنيكي و ساير شرايط منطقه مانند توپوگرافي، اقليم، سطح آب زيرزميني و... بر وقوع لغزش حاكم است. در وقوع اين نوع حركات و لغزش‌ها سد و تشكيل درياچه هيچ نقشی ندارد و روند طبيعي منطقه عامل اصلی محسوب می‌گردد. حال آنكه اگر پس از لغزش توده هاي خاک و سنگ به درون درياچه سد بريزند، موجب ايجاد خسارت و كاهش حجم مخزن می‌باشد.

ب- لغزش در ترازي برابر با سطح تراز آب مخزن: در اين نوع لغزش‌ها ايجاد مخزن خود عامل اصلي و باعث عدم تعادل شيب‌هاي ساحلي است و موجب وقوع زمين‌لغزه به داخل مخزن سد و ريزش لايه هاي خاک و سنگ شيب‌ها و دامنه-های مجاور سطح آب به مخزن می‌شود. در اين حالت عدم پايداري شيب‌ها پس از كاهش سطح آب درياچة سد كه سبب كاهش اصطكاک و تزلزل لايه‌بندي سنگ‌ها می‌گردد اتفاق مي-افتد. تغييرات شديد سطح آب و تخلية سريع مخزن موجب افزايش احتمال اين لغزش‌ها می‌شود.

ج- لغزش در ترازي پايين‌تر از سطح تراز آب مخزن: برخي از اين لغزش‌ها قبل از احداث سد وجود داشته‌اند و تعدادي از آن‌ها هم ممكن است بعد از احداث در پايين‌تر از سطح تراز آب مخزن رخ دهند. اگر چه وقوع چنين لغزش-هايي در كاهش حجم مخزن تأثيري ندارند ولي حركت آن‌ها تا حدي از ديدگاه به وجود آوردن ضربات هيدروديناميكي بر بدنة سد اهميت خواهد داشت.

د- لغزش در خارج از محدودة مخزن: اين گروه از لغزش‌ها در اثر احداث جاده، تردد وسايل نقليه و برداشت مصالح ساختماني رخ می‌دهند. ايجاد سازه‌هاي مهمي چون سد موجب بهبود وضعيت جاده‌هاي ارتباطي و احداث جاده‌هاي مواصلاتي جديد می‌شود. در اين صورت احداث سد، به طور غير مستقيم در بروز لغزش‌ها موثر است. براي احداث سد و ساير سازه‌هاي همراه با آن، نياز به مصالح قرضه مي-باشد كه برداشت غيراصولي مصالح قرضه در برخي از

مناطق موجب افزايش شيب دامنه ها و ناپايداري دامنه ها و بروز لغزش مي‌گردد.
به طور كلي عدم پايداري شيب جناحين و ديواره‌هاي اطراف مخزن سد، مي‌تواند خطرات بالقوه را در سدها ايجاد نمايد و مسائل زيست محيطي عمده‌اي را پديد آورد كه ازجمله مي-توان به موارد ذيل اشاره نمود:
- كاهش حجم مفيد مخزن سد در نتيجه انباشت خاک و سنگ در داخل مخزن سد
- اثرات رسوب در مسدود كردن سيستم هاي آبگير، تخريب دريچه ها و آشغالگيرها
- ايجاد امواج بلند در سطح درياچه سد، خطر لبريزي و فشار شديد به بدنة سد
پس از احداث سد بايد با بازديدهاي صحرايي منظم در مواقع مختلف و كنترل پايداري شيب با وسايل و ابزار لازم به كمک مشاهدات عيني، كلية حركات احتمالي زمين مورد توجه قرار گيرد و در صورت احتمال بروز حادثه، سريعا به تخلية سد و جابجايي مردم پايين‌دست اقدام شود تا خسارات زيست محيطي حاصله به حداقل خود برسد.

۲-۳-۲-۲- پايداري و حفاظت خط ساحلي درياچة سد

با شروع ذخيره آب در مخزن سد تغييراتي در دامنه هاي اطراف مخزن ايجاد مي‌گردد. با نوسانات سطح آب شيب‌هاي منتهي به درياچه در فاصله بين سطح تراز حداقل و حداكثر در معرض امواج و آب درياچه قرار مي‌گيرند، كه اين امر موجب فرسايش دائمي در اين نواحي مي‌شود.. تشديد اين امر منجر به وارد آمدن خساراتي مي‌گردد كه مهم‌ترين آن كاهش حجم مخزن مي‌باشد. با توجه به اشكالاتي كه فرسايش ساحلي ايجاد مي‌كند، براي جلوگيري از تخريب اراضي كشاورزي، ايمني پل‌ها، تأسيسات و ساختمان‌ها و حفظ منظرة طبيعي سواحل درياچه و امكان استفاده مناسب از درياچه به عنوان وسيله‌اي براي تفريحات سالم، عمليات مربوط به كنترل فرسايش ساحلي

ضروري است. براي حفاظت خط ساحلي درياچة سد راه‌هاي زيادي وجود دارد، كه با توجه به روش و محدودة كار ممكن است هزينه‌هاي كم يا زيادي بر طرح تحميل نمايد، از جمله مي‌توان به راه‌حل هاي زير اشاره نمود:

- استفاده از سنگچين و گابيون در حفاظت ساحلي[۱۱]
- استفاده از مواد مصنوعي نظير آسفالت و بلوك‌هاي سيماني[۱۱]
- ايجاد دايک براي جلوگيري از باتلاقي شدن ساحل[۱۱]
- كشت گياهان، درختان، درختچه‌ها و گونه‌های علفي مقاوم به فرسايش
- تراسبندي و كاهش شيب، در صورتي كه جريان آب سطحي خسارت وارد نكند، مي‌تواند در كنترل فرسايش سطحي مفيد واقع شود.

از بين روش‌هاي مختلف، ايجاد كمربند سبز در اطراف مخزن براي حفظ خط ساحلي درياچه‌ها، طرفداران زيادي دارد. زيرا علاوه بر مزايائي كه جهت كنترل فرسايش ساحلي دارد، منظره مناسبي را نيز در اطراف درياچه فراهم مي-آورد و به صورت مركز تفريحي و گردشگاه مردم در خواهد آمد و پناهگاهي براي حيوانات و پرندگان نيز خواهد بود. علاوه بر اين كمربند سبز به صورت بادشكن در كاهش تبخير از سطح درياچه كمک مي‌نمايد، از طرفي با كنترل روانابهاي مشرف به سد از ايجاد فرسايش خندقي و جويبارهاي ساحلي جلوگيري مي‌كند. اما در صورتي كه رشد گياهان به آلودگي بيانجامد و عملكرد درياچه و آبگيرها مختل شود، بايستي اقدام لازم براي كاهش جمعيت آن‌ها صورت بگيرد. در صورتي كه فرسايش طبيعي بتواند سريعا به حد تعادل برسد، بهتر است از هزينه‌هاي اضافي خودداري شود و اين امر به طبيعت واگذار گردد، از جمله روندهای طبيعی مي‌توان به رشد و نمو گياهان و ... اشاره نمود.

۲-۳-۲-۳- زلزله‌هاي القائي

با احداث و ايجاد يک مخزن آب، چند ميليون يا حتي ميليارد تن بار جديد بر سنگ كف مخزن وارد مي‌آيد كه

قبل از ساخت سد تحمل چنين نيرويي در محل تجربه نشده است. اولين سوالي كه ممكن است در اين مورد مطرح شود، امكان وقوع زلزلة القائي پس از آبگيري و ذخيره حجم آب در پشت سد مي‌باشد. گرچه ارتباط ايجاد زلزله با اين امر كاملا روشن نيست، اما شواهد زيادي وجود دارد كه نمايانگر وقوع زمين لرزه به علت آبگيري سد مي‌باشد. گزارش‌هايي كه از نقاط مختلف جهان مي‌رسد نيز نشان مي‌دهد كه وقوع زلزله در هنگام آبگيري سد و يا پس از اتمام آبگيري محتمل به نظر مي‌رسد. در نتيجه بار اضافي ناشي از ارتفاع ستون آب بر لايه‌هاي زمين و نفوذ آب در داخل بستر درياچه سد، در خطوط يا نقاطي از لايه‌هاي زمين كه از پيش تحت تنش قرار گرفته‌اند احتمال وقوع زلزله‌هاي القائي وجود خواهد داشت. بديهي است كه احتمال وقوع زمين لرزه‌ها به فعاليت‌هاي تكتونيكي در محل، گسل‌ها، فاصله از مراكز زلزله‌هاي قبلي، سابقة زمين لرزه محل و همچنين ارتفاع و حجم ذخيره آب در مخزن بستگي دارد. بر اساس تجربيات گذشته، پديده لرزه‌خيزي القائي كه در مجاورت مخازن بزرگ ايجاد شده به سه دسته تقسيم‌بندي مي‌شود.

الف- پاره‌اي از نواحي كه سدهاي بزرگ و مخازن عظيم ايجاد شده است، هيچ گونه لرزه‌اي رخ نداده است. اين مناطق در نواحي آرام و فاقد فعاليت تكتونيكي بوده و از نقطه نظر زلزله القائي بي‌اهميت هستند [۱۱].

ب- در برخي از مناطق در محل ساختگاه و درياچه سد زمين لرزه‌هايي در حد كوچک اتفاق افتاده است. تناوب وقوع اين زمين لرزه‌ها با بالا آمدن سطح تراز آب افزايش يافته و پس از آنكه سطح آب به حداكثر ارتفاع خود رسيد، تعداد توالي زمين لرزه‌ها و شدت آن افزايش يافته است [۱۱].

ج- در حالت سوم پس از آبگيري سد، زمين لرزه‌هاي كوچک اتفاق مي‌افتد و تناوب و شدت آن‌ها با افزايش عمق آب شديدا افزايش مي‌يابد تا به يک حد خاص برسد. معمولا هنگامي كه ارتفاع آب به بيش از ۱۰۰ متر و يا حجم آب

ذخیره شده در حدود یک میلیارد مترمکعب باشد، یک زلزله شدیدتر به وقوع میپیوندد. شدت این زمین لرزه‌ها در حدود ۳ تا ۵ ریشتر و در موارد نادري به بیش از ۵ ریشتر میرسد. پس از آن مرحله، زمین لرزه‌هاي خفیف اتفاق میافتد و نهایتا قطع میشود. این گونه زلزله‌هاي القائي از اهمیت خاصي برخوردارند و در محاسبات پایداري سد بایستي به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند [۱۱].

- خصوصیات زمین لرزه‌هاي القائي را میتوان به اختصار به شرح زیر بیان نمود:

- احتمال وقوع زمین لرزه هاي القائي در فواصل نزدیک به مخزن دریاچه سد بیشتر است.
- عمق کانوني زمین لرزه‌هاي القایي کم است.
- تناوب زمین لرزه‌هاي کوچک به مراتب از زمین لرزه‌هاي بزرگ بیشتر است.
- احتمال وقوع چنین زلزله هایي در محل گسل‌ها و خردگسل‌ها بیشتر است.
- تقریبا جهت حرکت اولیه با جهت زلزله‌هاي طبیعي هماهنگي دارد.
- حداکثر شدت زمین لرزه در نقاطي که ارتفاع سد و حجم مخزن زیاد است، اتفاق میافتد.
- زلزله‌هاي القایي میتوانند در فاصلة چند روز و پس از ذخیره‌سازي کامل و در مواردي پس از یک یا چند سال اتفاق بیافتد. اگر آبگیري سد در طي یک دوره زمان طولاني صورت بگیرد، این احتمال وجود دارد که از شدت چنین زلزله هایي کاسته شود.
- هر زمین لرزه‌اي که در ساختگاه یا مجاورت سد رخ دهد، لزوما در نتیجه اثر بار ناشي از آب مخزن دریاچه بر سد و سنگ بستر سد و زلزله القائي نیست.
- زلزله‌هاي القائي ممکن است موجب به جلو انداختن زلزله‌هاي طبیعي و یا به تشدید آن‌ها منجر شود. بررسي زلزله‌هاي القائي در مخازني که بیش از یک میلیارد متر-مکعب ظرفیت دارند، ضروري میباشد. علاوه بر این طراحان

سد بايستي مطالعات لازم را در مورد وضعيت تكتونيكي، تنش‌ها در سنگ پي و لايه هاي عميق و تشكيلات زمين‌شناسي منطقه انجام دهند.

۲-۳-۲-٤- شكست سد

عدم ايمني يا ناپايداري اين فراسازه خطرات بالقوه و غير قابل انكاري را در پي دارد و عواقب زيست محيطي آن بسيار شديد مي‌باشد. لذا به طور معمول شكست سد در قالب ايمني سدها مطرح و مورد بحث قرار مي-گيرد و روش‌هايي نظير تحليل ريسک[۱] و يا روش احتمالي جديد[۲] براي ايمني و قابليت اعتماد به كار مي‌رود. به طور طبيعي با بالا بردن ايمني هر سازه‌اي، نظير سدها، هزينه هاي احداث سازه و بهره‌برداري آن افزايش مي‌يابد. اگر ايمني سد در درجه اول اهميت قرار گيرد و احتمال شكست آن بسيار كم باشد، ممكن است هزينه هاي اضافي براي تأمين اين ايمني، طرح را به كلي غير اقتصادي و ناممكن سازد. لذا بايد توجه داشت كه بين ايمني سازه و صرفه‌جوئي اقتصادي طرح توازن برقرار گردد.

كميته بين المللي سدهاي بزرگ[۳] نيز تحت عنوان درس‌هايي از حوادث سدها[٤] به شكست و تخريب تعداد بي‌شماري از سدها در اكناف جهان اشاره مي‌كند. از اين رو بايد اذعان كرد كه شكست سد يک واقعه و يا حادثه غيرممكن و بسيار نادر نيست و مي‌تواند در هر كشور و در هر حوضه آبريز و در هر ارتفاع و حجم و براي انواع سدها كه از مصالح مختلف ساخته شده اند اتفاق بيافتد *[۳۶]*.

در كشور ايران نيز سدهايي چون سد شهيد عباسپور، كرخه، دز، زاينده‌رود، اميركبير، لتيان، مهاباد، استقلال، مارون، شهيد رجائي (تجن)، پاشاكلا، منجيل و دهها سد ديگر با احجام نسبتا بالا در بالادست شهرها، روستاها، اراضي كشاورزي و تأسيسات صنعتي ساخته شده اند كه شكست هر كدام مي‌تواند به عنوان يک ضايعه زيست محيطي و ملي تلقي شود.

---

۱. Risk analys

۲. Modern probabilistic method

۳. Icold

٤. Lessons from dam incidents

شکست پاره‌اي از سدها مي‌تواند به از بين رفتن سرمايه ملي و کمبود آب کشاورزي منجر و تنش‌هاي اجتماعي را پيش آورد و نه تنها اقتصاد محلي بلکه تبعات آن اقتصاد کشور را تحت تأثير قرار مي‌دهد. بايد توجه داشت که شکست يک طرح عمراني نظير سد ممکن است به دو گونه شکست فيزيکي سد (تخريب بدنه سد) و عدم کارايي سد و بلا استفاده شدن آن (پر شدن با رسوب، نشت و فرار زياد آب و...) تعبير شود. نتايج هر دو شکست از نقطه نظر اقتصادي يکسان است. به عبارت ديگر سرمايه اوليه از بين رفته و اهداف سد منتفي شده است. اما گاهي تبعات آن‌ها متفاوت مي‌باشد. به طور مثال شکست اقتصادي طرح لار به از بين رفتن شهرها و روستاها، اراضي پايين‌دست و تلفات انساني منجر نشده است. عوامل اصلي تخريب سدها در جدول ۲-۱ آورده شده است.

جدول ۲-۱: عوامل اصلي تخريب سدها

عوامل تخريب سد	
الف- مسائل سازه‌اي	**ب- مسائل هيدروليکي**
- شکست سد به دليل رفتار سازه يا بدنه سد	- لبريزي يا سرريزي آب از بدنه سد در مقابل سيلاب‌ها
- مصالح نامناسب و با مقاومت کم در مقابل شرايط طرح	- فرسايش داخلي بدنه سد، نشست و ايجاد رگاب
- فرسودگي و پيري مصالح	- فرار آب از پي و بدنه
- وقوع زلزله و عدم تحمل بار	- روانگرائي
- نشست بدنه	- افزايش بيش از اندازه زير فشار

برخي از عوامل جانبي ديگر و يا برخي واکنش‌هاي عوامل محيطي بر سد که موجب عدم استفاده از سد به عنوان يک مخزن ذخيره مي‌شود عبارتند از:

- بهره‌برداري نامناسب از سد
- تغييرات کيفي آب در نتيجه تأثير عوامل محيطي
- فروريزي ناگهاني توده‌هاي خاک و سنگ در داخل مخزن
- مسائل اجتماعي و اقتصادي، حقوقي، سياسي و تغيير اهداف سد

به منظور تامين ايمني در برابر تخريب و شکست طرح سد بايستي طي مراحل مختلف ملاحظات ايمني خاص آن مرحله را رعايت نمود. رعايت ملاحظات ايمني در سه مرحله ذيل الزامي است.

الف- ملاحظات ايمني در طراحي

- انتخاب ساختگاه مناسب

- استفاده از سيل‌هاي با احتمال وقوع بسيار كم
- استفاده از پرده آببند موثر
- تقويت پي و كمک به پايداري آن در مقابل نيروهاي خارجي
- استفاده از مصالح مرغوب با ويژگي‌هاي ژئومكانيكي مناسب
- طرح نصب ابزار دقيق در بدنه، پي و جناحين مخزن براي رفتار سنجي سد
- احداث تخليه كننده با ظرفيت مناسب براي تخلية سد در مواقع اضطراري
- استفاده از سرريزهاي كمكي براي قبول ريسک مطلوب سيلاب
- بررسي زلزله‌های القائي در احجام ذخيره بالا
- انتخاب پارامترهاي ايمني، ضريب ايمنی[1] مناسب با توجه به اهميت سد، يا مقدار خسارات ناشي از شكست مانند خسارات مادي، انساني، اكولوژيكي و...

ب- ملاحظات ايمني در مرحله ساخت

- استفاده از منابع قرضه به صورت علمي (كنترل كيفي ساير مصالح)
- نظارت و بازرسي كامل بر كار احداث ساختمان سد
- كنترل كيفيت كار پيمانكار توسط نظارت كامل در انجام عمليات خاكبرداري، خاكريزي، انفجار، بتن‌ريزي، تزريق، ترميم پي، آببندي، نصب ابزار دقيق، دقت در مسائل هيدرومكانيک، و مسائل نيروگاهي،...
- رعايت در حفظ ايمني كارگاه در هنگام عمليات اجرائي (نيروي انساني، ماشين آلات و...)

ج- ملاحظات ايمني در مرحله بهره‌برداري

- اختصاص بودجه و تيم كاردان مربوط به بازرسي و كنترل پايداري سد
- بررسي متناوب از ابزار دقيق و بررسی مسائل هيدرومكانيكي و...

---

[1]. Safety Factor

- اصلاح روش بهره‌برداري و استفاده از روش‌هاي بهره-برداري پيشرفته براي حداكثر استفاده از آب درياچه سد و كاهش خطرات احتمالي شكست سد
- جمع‌آوري اندازه‌گيري‌ها و مشاهدات براي استفاده درتحليل
- استفاده از سيستم‌هاي هشدار به مردم پايين‌دست در مواقع اضطراري براي تخليه مردم در محدوده خسارت
- بازديدهاي منظم از سازه‌ها، زهكش‌ها و... براي تشخيص نواقص احتمالي
- مراقبت بهداشتي و زيست محيطي نظير آلودگي‌هاي فيزيكي، شيميايي، بيولوژيكي، رسوب، وضعيت حيات وحش و گياهان و...

بايد توجه داشت كه روش‌هاي بازرسي و رفتارسنجي در هنگام بهره‌برداري مي‌تواند خطر شكست سد را تا حد زيادي منتفي سازد. زيرا آگاهي كامل به عيب و نقص و ترميم سريع سد به پايداري و ايمني آن كمك موثري مي-نمايد.

۲-۳-۳- اثرات بيولوژيكي سدها بر محيط زيست

معمولا اثرات بيولوژيكي سد بر محيط زيست در قالب مسائل عمده‌اي خلاصه مي‌شود كه مي‌توان به شرح زير آن‌ها را نام برد:

۲-۳-۳-۱- اثر سد و درياچه آن بر جامعه گياهي

۲-۳-۳-۲- اثر سد و درياچه آن بر جامعه حيواني و انساني

۲-۳-۳-۳- اثر سد بر بهداشت عمومي منطقه و شيوع بيماري‌هاي مختلف

۲-۳-۳-۱- اثر سد و درياچه بر گونه‌هاي گياهي

به طور معمول جامعه گياهي در بالادست سدها كمتر در معرض تغييرات شديدي بيولوژيک قرار مي‌گيرد، مگر آنكه قطع درختان جنگلي به علت ازدياد جمعيت انساني در محدوده سد افزايش يابد. در غير اين صورت اثرات مخرب سد بر جامعه نباتي بالادست ناچيز است.

بنابراين با تأكيد بيشتر بر تغييرات جامعه گياهي در محدوده مخزن و درياچه سد و پايين‌دست سد مي‌پردازيم.

- پاره‌اي از تغييرات در محل درياچه سد عبارتند از:

- قطع درختان، درختچه‌ها و بوته‌زارها و حذف مواد آلي داخل مخزن براى آماده‌سازي سد جهت آبگيري
- استخراج مصالح قرضه موجب تخريب بخشي از جنگل، مراتع، زمين‌هاي كشاورزي خواهد شد.
- چشم‌پوشي از اراضي حاصلخيز كشاورزي، شاليزارها و گندم‌زارها به خاطر ايجاد مخزن سد
- انهدام سطح وسيعي از پوشش نباتي جهت احداث جاده‌هاي كوهستاني و جاده‌هاي دسترسي به محل سد، كارگاه، منابع مصالح قرضه، رفت و آمد نيروي انساني و...
- رشد گياهان آبزي در درياچه سد و انتقال بذر آن‌ها كانال‌هاي انتقال آب و مزارع كشاورزي و گسترش علف‌هاي هرز
- رويش گياهان و علف‌هاي هرز ناخواسته در درياچه و كمک به تغذيه‌گرايي و باتلاقي شدن حاشيه درياچه سد
- تعديل دمايي در حواشي درياچه سد و ايجاد محيط مناسب براي رشد گياهان حساس
- افزايش رطوبت و نم در اطراف درياچه و افزايش پوشش گياهي
- انقراض پاره‌اي از گياهان و گونه‌هاي بومي و جايگزيني آن‌ها توسط ساير گونه‌ها

اثر سد و درياچه آن در توسعه پوشش گياهي در پايين-دست تا اندازه زيادي به اهداف سد مربوط مي‌شود. در صورتي كه منظور از احداث سد تأمين آب كشاورزي باشد، به طور مسلم پوشش گياهي از انواعي كه از پيش در طرح تعيين شده و يا محصولات خاص كشاورزي توسعه پيدا مي‌كنند. چون اهداف اقتصادي طرح نيز مدنظر است، لذا امكان دارد كه گونه‌هاي جديد نباتي جاي گونه‌هاي قديمي را بگيرد. در برخي از مواقع اين جابجائي گونه‌ها مفيد و در بعضي از مواقع مضر است. اگر هدف از احداث سد انتقال آب از يک حوضه به حوضه ديگر

باشد، پوشش گياهي پايين‌دست كاهش مي‌يابد. از جمله اين طرح‌ها مي توان به سد اميركبير و انتقال آب به تهران موجب نابودي پوشش گياهي در پايين‌دست شده است.

۲-۳-۳-۲- اثر سد و درياچه بر گونه‌هاي حيواني و انسان

الف- **اثر سد و درياچه بر گونه‌هاي حيواني**

اثر درياچه سد بر گونه‌هاي حيواني را مي‌توان در دو دسته جانوران خشكي‌زي و آبزيان، به صورت متمايز از هم بررسي نمود. در نواحي خشک ايجاد سد و فراهم شدن آب موجب افزايش مواد غذايي و بهبود كيفي و كمي زندگي حيوانات وحش خواهد شد. اما گونه‌هاي بومي كه بيشتر با محيط جديد سازگار شوند، شانس حيات و افزايش جمعيت آن-ها بيشتر خواهد بود.

- برخي از اثرات مخزن و درياچه بر جامعه حيواني به شرح ذيل مي‌باشد:

- مخازن سدها مي تواند جايگاه مناسبي براي پرندگان مهاجر باشد.
- با آبگيري درياچه سد، حياتوحش از نظر تأمين آب بخصوص در فصل تابستان مشكلي نخواهد داشت.
- افزايش مهاجرت پرندگان شكاري، گاهي موجب كاهش برخي از گونه‌هاي جانوري خواهد شد.
- توسعه حيات آبزيان و پرورش ماهي در درياچه مخزن سد
- افزايش بيولوژيک جامعه گياهان آبي در حاشيه مخزن، تعداد پرندگان و جانوران را نيز افزايش مي‌دهد.
- تلفات برخي از ماهيان و آبزيان در دهانه ورودي لوله آببر توربين و دريچه‌هاي خروجي

در پايين‌دست نيز شرايط اكولوژيكي جديد، تغييراتي در جامعه حيواني به وجود مي‌آورد. معمولا با ايجاد يک سد، رودخانه پايين‌دست از يک رودخانه فصلي به رودخانه دائمي تبديل مي‌شود، زيرا همواره مقداري از ظرفيت آبي سد جهت تداوم و بهبود محيط زيست به پايين‌دست رها مي-گردد و اين امر نسبت افزايش رطوبت در پايين‌دست سد خواهد شد. افزايش رطوبت همواره با افزايش جوامع حيواني و نباتي همراه است. اما پاره‌اي از عوامل به تخريب محيط

پرداخته و مشکلات عمده‌اي را در پاياب ايجاد مي‌نمايند. از جمله مي توان به فرايندي مغذي شدن آب درياچه اشاره کرد که با کاهش اکسيژن و توليد گازهاي سمي نيز ورود فلزات سنگين و مواد سمي به آب درياچه، سبب نابودي ماهي‌ها و ساير آبزيان درياچه مي‌شود. در اين شرايط رهاسازي جريان فاقد اکسيژن از تخليه کننده‌هاي تحتاني منجر به نابودي ماهي‌ها در پايين‌دست مي‌گردد. خروج جريان حاوي مقادير زيادي رسوب نيز موجب آسيب به آبزيان پايين‌دست مي‌گردد. خروج آب از سرريزهاي آزاد سد و اختلاط با ازت هوا اثرات منفي بر آبزيان پايين‌دست دارد. ورود فاضلاب‌هاي انساني، صنعتي کودها و سموم کشاورزي نيز اثرات جبران ناپذيري بر آبزيان درياچه سد و پايين‌دست آن خواهد داشت.

ب- اثرات بهداشتي درياچه سد (اثرات بر انسان)

با ايجاد و پيدايش درياچه سد، محيط مناسبي براي رشد ميکروارگانيسم‌ها و انگل‌ها و... فراهم مي‌شود که ممکن است، سلامت جامعه را به خطر اندازد. بسياري از ميکروارگانيسم‌ها، عوامل بيماريزا و انگل‌ها در آب شيرين ادامه حيات مي‌دهند و اگر چه ممکن است قبل از احداث سد و تشکيل مخزن در منطقه وجود داشته باشند اما پس از احداث سد و ايجاد درياچه ممکن است اين بيماري‌ها همه‌گير و تشديد شوند.

مهم‌ترين بيماري‌هايي که از اين طريق انتشار مي‌يابند عبارتند از:

- بيماري مالاريا (انتقال توسط پشه آنوفل به انسان)
- بيماري سالک[1]
- بيماري وبا (عفونت روده‌اي)
- بيماري تيفوئيد[2]
- بيماري سل
- بيماري فلج اطفال
- امراض پوستي و جلدي

[1]. Laishmaniosis
[2]. Typhoid

وجود كلي‌فرم در آب ناشي از تخليه فاضلاب انساني در رودخانه‌ها موجب بسياري از انواع بيماري‌ها مي‌گردد. امراض جلدي و بسياري از بيماري‌ها كه با ميزبان و يا بدون ميزبان به انسان منتقل مي‌شوند، نيز از مشكلات درياچه سدها مي‌باشد، كه مي‌بايست با تمهيدات ويژه‌اي آن را به حداقل رساند.

۲-۳-٤- اثرات اجتماعي اقتصادي سدها

اولين ملاك و معيار براي توجيه يک طرح، اقتصادي بودن آن است، كه مسلما پيامدهاي اجتماعي را نيز به همراه خواهد داشت. در بسياري از كشورها به خصوص كشورهاي فقير و در حال توسعه، عامل اقتصادي از اهميت زيادي برخوردار است و در بسياري از موارد اقتصاد طرح حرف اول را مي‌زند. با وجود تمامي اثرات سودمندي كه از يک طرح آبي نظير سد به دست مي‌آيد مشكلات و پيچيدگي‌هاي اكولوژيكي، سياسي، اجتماعي و اقتصادي و هزينه‌هاي ناخواسته مرتبط با اين مشكلات در رفع و رجوع آن‌ها ممكن است، توسعه نهايي را كند و يا حتي متوقف كند.

خلاصه‌اي از اثرات اقتصادي اجتماعي سدها به شرح ذيل مي‌باشد:

۲-۳-٤-۱- جابجايي مردم

يكي از اقدامات و آثار اوليه احداث سد، احتمال جابجائي جوامع مردمي است كه در محل مخزن و يا محدود ودرياچه سد زندگي مي‌كنند. در كليه كشورهاي جهان ساختمان سدها با جابجائي تعدادي از مردم صورت مي‌گيرد كه بيشتر آن‌ها، روستائيان و كشاورزان و دامپروران هستند. جابجائي مردمی كه ساليان طولاني در يک منطقه زندگي كرده‌اند، همواره با مشكلات زيادي از قبيل تنش‌هاي اجتماعي و سرگرداني مردم رو به رو است. در برخي از كشورها مسئله جابجائي مردم همانند طرح سد بدست جمعي از مشاوران، جامعه‌شناسان، اقتصاددانان و با كمک سازمان‌ها و وزارتخانه‌هاي دولتي مانند وزارت مسكن، وزارت راه، بهداشت و آموزش و پرورش و... و با اجراي يک طرح جامع عملي مي شود. اما در بسياري از كشورها زماني صحبت از جابجائي مردم مي‌شود

كه صداي ماشين آلات سنگين براي ساخت سد در پيچ و خم دره و كوهستان‌ها پيچيده است. در اين گونه مواقع دولت‌ها براي جلوگيري از به هم خوردن نظم عمومي و بالا گرفتن تنش‌هاي اجتماعي كه ممكن است به تدريج به تنش‌هاي سياسي مبدل شود با برنامه‌هاي شتابزده به راضي نمودن مردم براي تخليه منطقه مي‌پردازند. در طرح‌هاي آبي بزرگ بهتر است، به زندگي مردم ساكن در محدوده سد توجه بيشتري گردد و سعي شود با برنامه-ريزي علمي، جابجايي مردم صورت بگيرد تا كمترين مسائل اجتماعي و زيست محيطي را در برداشته باشد. بديهي است كه اين امر در راستاي بهبود يک جامعه بزرگتر در پايين‌دست سد قابل توجيه خواهد بود.
جهت كاهش اثرات سوء جابجائي مردم رعايت نكات زير را بايستي مورد توجه بيشتر قرار داد:
- جابجايي مردم بايستي به گونه‌اي باشد كه تا حد امكان مردم ناحيه در بخشي از منافع سد شريک باشند و موجب بروز مشكلات حاد براي زندگي مردم جابجا شده و جوامع مجاور نگردد.
- آموزش جوانان روستائي و استفاده از نيروي كار منطقه در امر سدسازي تا با علاقه‌مندي به سرزمين خود از منافع مادي طرح نيز برخوردار گردند.
- جلوگيري از هجوم كارگراني كه تفاوت فرهنگي و سنت‌ها و آيين‌هاي آن‌ها با مردم بومي زياد است، تا ساير اثرات سوء اجتماعي و فرهنگي به حداقل برسد.
- در بحث جابجائي مردم از هرگونه شتابزدگي، روش‌هاي غيراصولي و مقطعي پرهيز گردد.

۲-۳-٤-۲- آثار تخريبي سدها بر تأسيسات

احداث سدها ممكن است با تخريب راه‌هاي روستايي، جاده-ها، تأسيسات ساختماني نظير پل‌ها و ... همراه باشد. ازجمله آثار تخريبي سدها مي‌توان به آثار باستاني نظير بناهاي تاريخي، معابد، مساجد، كليساها، امامزاده‌ها، گورستان‌ها و مقابر مشاهير و بزرگان و ... اشاره نمود.

- بررسي كلي نتايج اجتماعي و اقتصادي سدها

طرح و اجراي يک سازه مهم چون سد اثرات اجتماعي و اقتصادي گستردهاي را به همراه دارد که اين اثرات به صورت مثبت و منفي ظاهر ميگردد. اثرات اقتصادي اجتماعي مثبت و منفي يک سد را ميتوان در موارد زير خلاصه نمود (جدول ۲-۲).

جدول ۲-۲: اثرات اجتماعي و اقتصادي سدها

اثرات اقتصادي و اجتماعي سدها	
اثرات مثبت اقتصادي و اجتماعي	**اثرات منفي اقتصادي و اجتماعي**
تأمين آب کشاورزي، شرب و صنعت	جابجايي مردم ساکن در محل درياچه
جلوگيري از خسارات سيل	از دست رفتن اراضي کشاورزي در محدوده مخزن سد
پايداري بيشتر جوامع انساني پاييندست	احتمال از بين رفتن آثار باستاني، تأسيسات مهم ساختماني و صنعتي
توليد غذا، کالاهاي صنعتي و تأمين انرژي سالم	به زير آب رفتن راهها و پلها و حتي پارکهايملي و مناطق توريستي
ايجاد مشاغل در قطبهاي کشاورزي و صنعتي	زهدار شدن اراضي اراضي پاييندست به علت مصرف بيرويه آب
ايجاد راههاي ارتباطي جديد	کاهش آب در پاييندست در اثر انتقال آب از يک حوضه به حوضه ديگر
بهبود کيفي زندگي مردم	احتمال شيوع بيماريهاي ناشي از آلودگي آب
پيشرفت اقتصادي و اجتماعي در ابعاد محلي و ملي ايجاد مناظر زيبا و تفريحات سالم جهت جلب توريست	تأثيرات نامطلوب ناشي از کيفيت نامناسب آب درياچه بر آبزيان و اراضي کشاورزي در پايين دست
عدم مهاجرت به علت کمبود منابع آب	گراني منزل، مواد غذايي و خدمات ناشي از مصرف پول کارگران و مهندسين براي خريد مايحتاج در منطقه

برخی از اقدامات در جهت کاهش اثرات نامناسب اجتماعي و اقتصادي ساخت سدها عبارتند از:

- شناخت کامل و دقيق مسائل اجتماعي و اقتصادي مردمي که در بالادست و پاييندست سد قرار دارند. در سدهاي بزرگ اين تأثير در خارج از حوضه و در سطح ملي نيز مطرح است.

- برآورد صحيح و دقيق خسارات حاصل از مخزن، (از بين رفتن اراضي كشاورزي، جنگلي، جاده‌ها، تأسيسات و...) و پرداخت خسارات به نحو عادلانه
- افزايش سطح آگاهي و آموزش مردم بومي در خصوص طرح و مشاركت و همياري روستاييان در كارهاي ساختماني، بهره-برداري و نگهداري از سدها
- جابجايي آثار تاريخي و خارج نمودن آثار قديمي و باستاني از محدوده مخزن و سد قبل از آبگيري و يا حفاظت‌هاي بعد از احداث سد
- خروج و حفاظت انواع گونه‌هاي گياهي و جانوري نادر كه به عنوان گنجينه‌هاي ژنتيكي محسوب مي‌شوند، از محل غرقابي درياچه و پرورش در مناطق مجاور
- جلوگيري از توسعه اجتماعي و جامعه انساني در مجاورت محل سد و درياچه كه موجب بالا رفتن خسارات به مخزن مي‌گردد.
- پيگيري وضع رواني، درماني و بهداشت مردم پس از جابجائي
- در صورتي كه منافع سد به خارج از محدوده طرح و حوضه مي‌رسد و مردم محلي از منافع آن بهره‌مند نمي‌شوند و حتي برخي خسارات را متحمل مي‌شوند، مي‌بايست بخشي از منافع اقتصادي طرح به احياي اقتصادي محل تخصيص داده شود.
- ايجاد يكپارچگي اراضي پايين‌دست، ايجاد شركت‌هاي تعاوني براي اداره اراضي، ايجاد الگوي كشت مناسب براي توليد انبوه با كيفيت بالا موجب بالا رفتن سطح اقتصادي محل مي‌گردد.

اقدامات فوق به همراه بسياری از عملكردهای موثر و مفيد ديگر به كاهش اثرات سوء اجتماعي و اقتصادي كمک مي‌نمايند.

فصل سوم

اثرات احداث سد شهید رجائی بر

- ✓ آب‌های سطحی و زیرزمینی

۳-۱- مقدمه

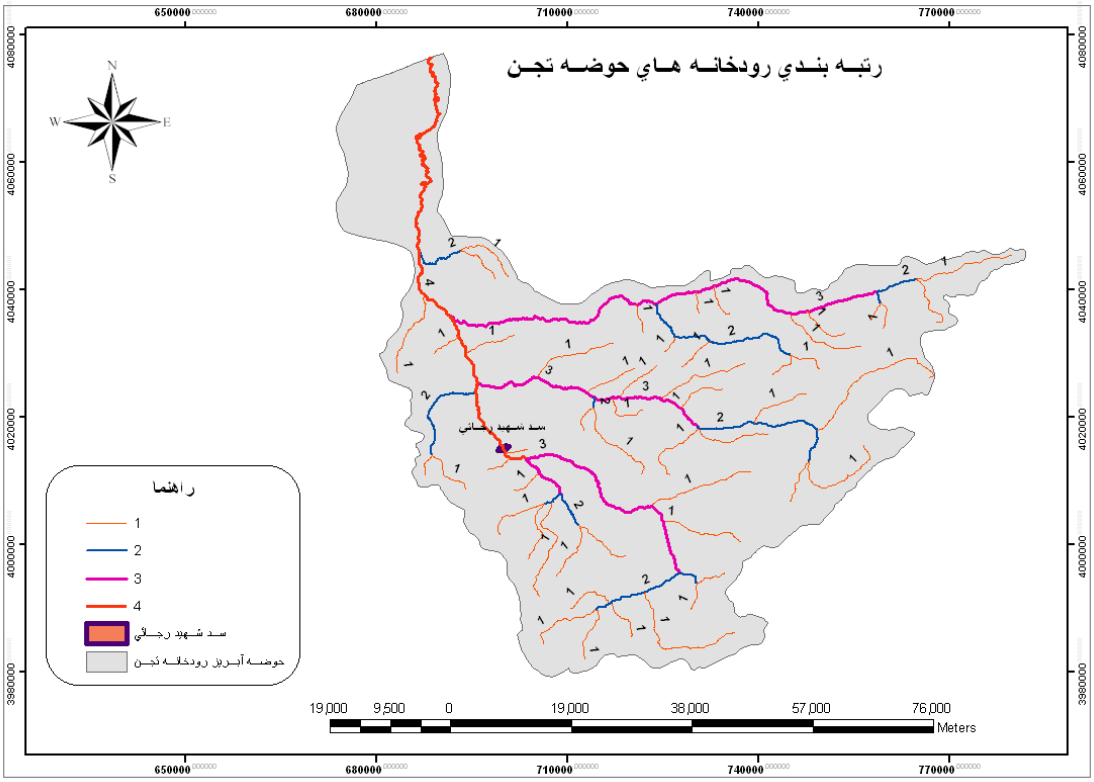
اجراي طرح‌هاي توسعه منابع آب به ويژه به شكل احداث سدهاي مخزني و شبكه‌هاي آبياري و زهكشي، اثرات

چشمگيري بر روي آب‌هاي سطحي و آبخوان‌هاي آبرفتي اراضي آبخور آن‌ها ايجاد مي‌نمايد. اين اثرات معمولا به‌گونه‌اي است كه رفتار گذشته آب‌هاي سطحي و آبخوان را در چارچوب روندهاي حاكم در منطقه، به كلي تغيير مي‌دهد. در اين فصل اثرات شبكه آبياري سد مخزني شهيد رجائي بر آب‌هاي سطحي در پايين‌دست و آبخوان آبرفتي دشت ساري - نكا (دشت تجن) از شرق سياهرود تا غرب نكارود مورد بررسي قرار گرفته است.

۳-۲- آب‌هاي سطحي

۳-۲-۱- رده‌بندی شبکه آبراهه های رودخانه تجن

رودخانه تجن رودخانة نسبتا بزرگي است كه از سه شاخه اصلي زارم‌رود، چهاردانگه و دودانگه تشكيل يافته است. اين رودخانه شامل ۵ زيرحوضه دودانگه (سفيدرود، شيرين‌رود)، چهاردانگه، لاجيم‌دره، زارم‌رود و در نهايت تجن مي‌باشد. مسير رودخانه از سرچشمه تا ۸ كيلومتري ساري كوهستاني و پس از عبور از اين نقطه جلگه‌اي مي‌گردد. رتبه‌بندي، رودخانه تجن بر اساس تقسيم‌بندي‌هاي تماب داراي رتبه ۴ مي‌باشد. شاخه‌بندي و رتبه‌بندي رودخانه تجن به صورت دندريتي و موازي است كه در شكل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: رده‌بندی شبکهٔ آبراهه های رودخانه تجن

۳-۲-۲- شبکة هيدرومتري حوضه تجن

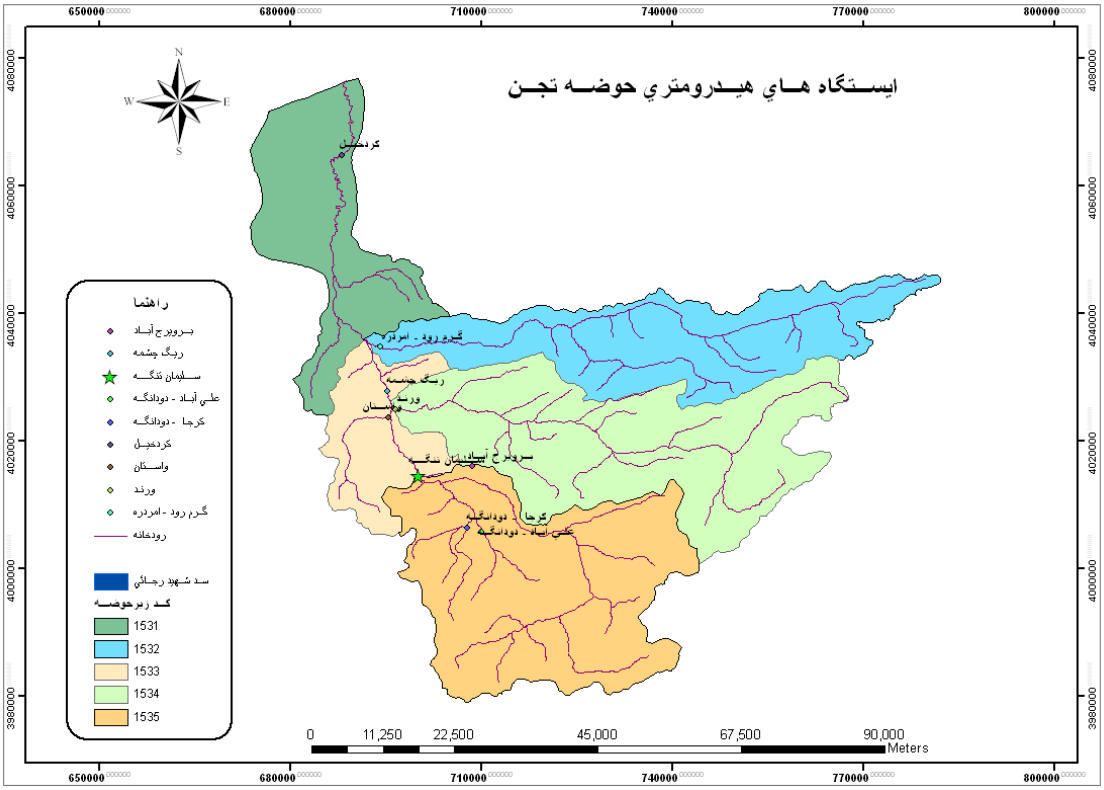
حوضه آبريز رودخانه تجن در مجموع داراي ۹ ايستگاه آبسنجي مي‌باشد كه مهم‌ترين آن‌ها عبارتند از:

۳-۲-۲-۱- ايستگاه هيدرومتری سليمان‌تنگه: در دره تنگه-سليمان و در فاصله ۳ كيلومتري پايين‌دست محل تلاقي شيرين‌رود و سفيدرود قرار دارد و نزديكترين ايستگاه به سد مي‌باشد. و داده‌هاي آن به عنوان خروجي زيرحوضه دودانگه (سد شهيد رجائي، كد ۱۵۳۵) در نظر گرفته مي‌شود.

۳-۲-۲-۲- ايستگاه هيدرومتری ريگچشمه: در فاصله ۳ كيلومتري پايين‌دست تلاقي رودخانه دودانگه و چهاردانگه واقع شده‌است. آمار هيدرومتري در اين ايستگاه مجموع خروجي ۳ زيرحوضه دودانگه (سد شهيد رجائي، كد ۱۵۳۵)، لاجيم‌دره (كد ۱۵۳۳) و چهاردانگه (كد ۱۵۳۴) مي‌باشد.

۳-۲-۲-۳- ايستگاه هيدرومتری كردخيل: در فاصله ۱۰ كيلومتري از محل ورود رودخانه تجن به دريا ست، آبدهي

در این محل به عنوان خروجي حوضه آبریز تجن در نظر گرفته مي‌شود .
موقعیت ایستگاه‌هاي هیدرومتري حوضه تجن در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲: موقعیت ایستگاه‌هاي هیدرومتري حوضه تجن

۳-۲-۳- کیفیت آب‌هاي سطحي

۳-۲-۳-۱- بررسي کیفیت آب رودخانه تجن جهت مصارف کشاورزي

بر اساس نتایج حاصل از بررسي‌هاي بعمل آمده و داده‌ها و آمار طولاني مدت در ایستگاه‌هاي هیدرومتري مختلف که شامل غلظت املاح محلول (TDS)، هدایت الکتریکي (pH, EC)، آنیون‌ها و کاتیون‌هاي اصلي موجود در آب رودخانه تجن، مي‌توان آب رودخانه تجن را بر اساس دیاگرام ویلکاکس جدول ۳-۱ مورد بررسی قرار می‌گیرد . در جدول ۳-۲ کیفیت شیمایي آب رودخانه تجن در ایستگاه‌هاي هیدرومتري مختلف جهت مصارف کشاورزی در طول دوره آماري نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: طبقه‌بندي كيفي آب از نظر EC, SAR جهت مصارف كشاورزي (دياگرام ويلكاكس) [۸]

SAR حدود تغييرات عامل قليائي ليتر /ميلي گرم	كلاس قليائيت	حدود تغييرات عامل شوري سانتي‌متر / ميكرو-موس	كلاس شوري
۰ -۱۰	S1	۱۰۰ -۲۵۰	C1
۱۰ -۱۸	S2	۲۵۰ -۷۵۰	C2
۱۸ -۲۶	S3	۷۵۰ -۲۲۵۰	C3
>۲۶	S4	>۲۲۵۰	C4

جدول ۳-۲: كيفيت شيمايي اب رودخانه تجن جهت مصارف كشاورزي در طول دوره آماري

كلاس كيفي آب جهت مصارف كشاورزي	كيفيت آب SAR	از نظر مصارف كشاورزي EC	ايستگاه هاي هيدرومتري
خوب	S1	C2	سليمان‌تنگه (محل سد)
خوب	S1	C2	ريگ چشمه
خوب	S1	C2	زرام‌رود (گرم‌رود)
قابل قبول	S1	C3	كرد خيل

كيفيت شيميايي آب رودخانه تجن از نظر مصارف كشاورزي، بر اساس تغييرات حداقل و حداكثر ميانگين مقادير دو عامل ضريب جذب سديم SAR و همچنين هدايت الكتريكي EC مطابق با طبقه‌بندي ويلكاكس در تمامي مسير اين رودخانه در حد خوب C2S1 ولي در منطقه پاياب، همان‌گونه كه در جدول نشان داده شده است، تحت تأثير ورود املاح مختلف موجود در پسابها و آبهاي برگشتي كشاورزي و نيز پيشروي آب لبشور[۱] درياي خزر با محدوديت نسبي مواجه است. به طوري كه در ايستگاه كردخيل در حد قابل قبول C3S1 مي‌باشد. ميانگين TDS در مناطق بالادست و حوضه مياني رودخانه قبل از ورود به دشت كمتر و حتي در روزهاي كم آبي نيز از ۵۰۰ ميلي‌گرم در ليتر، كمتر است، در حالي كه در مناطق انتهايي دشت به دليل اينكه رودخانه تجن، آبهاي زيرزميني منطقه را زهكشي مي‌نمايد، ميانگين غلظت املاح محلول آب افزايش مي‌يابد.

۳-۲-۳-۲- بررسي آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب

۱. Brackish water

بررسي آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب از جمله پارامترهاي مهم از نظر مصارف شرب، تغييرات ميزان سختي كل TH و غلظت مواد محلول TDS مي‌باشد، كه مطابق طبقه‌بندي شولر جدول ۳-۳ مورد بررسي قرار مي‌گيرد. در جدول ۳-۴ كيفيت شيمايي آب رودخانه تجن در ايستگاه‌هاي هيدرومتري مختلف جهت مصارف شرب بر اساس سختی كل و غلظت مواد محلول در طول دوره آماري نشان داده شده است. بر اساس جدول ۳-۴ كيفيت آب رودخانه از لحاظ سختی كل و غلظت مواد محلول در تمامي ايستگاه‌هاي هيدرومتري در مناطق بالادست و مياني در حد قابل قبول بوده است و در محل پاياب (ايستگاه كردخيل) كه تحت تأثير شوري آب دريا قرار دارد و نيز زهكش آب‌هاي زيرزميني بخش انتهايي دشت و ورود پساب‌هاي مزارع و كشتزارها و زهكش‌هاي سطحي (به ويژه مصرف بالاي كودهاي شيميايي و سموم دفع آفات نباتي در فصول زراعي) موجب كاهش كيفيت آب جهت مصارف شرب مي‌گردد. در مواقع سيلاب كه ميزان مواد جامد معلق (TSS) در رودخانه تجن شديدا بالا مي‌رود، كيفيت فيزيكي و شيميايي آب جهت شرب نامناسب مي‌شود.

جدول ۳-۳: طبقه‌بندي كيفي آب از نظر ميزان TH, TDS (دياگرام شولر)[۸]

حدودتغييرات TDS ميلي‌گرم بر ليتر	كلاس كيفي TDS	حدود تغييرات TH ميلي‌گرم بر ليتر	كلاس سختي كل TH
۱۰۰ -۵۰۰	TD1	۵۰ -۲۰۰	TH1
۵۰۰ -۱۰۰۰	TD2	۲۰۰ -۵۰۰	TH2
۱۰۰۰ -۲۰۰۰	TD3	۵۰۰ -۱۰۰۰	TH3
۲۰۰۰ -٤۰۰۰	TD4	۱۰۰۰ -۲۰۰۰	TH4
۴۰۰۰ -۸۰۰۰	TD5	۲۰۰۰ -۴۰۰۰	TH5
>۸۰۰۰	TD6	>۴۰۰۰	TH6

جدول ۳-۴: كيفيت شيمايي آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب در طول دوره آماري

كلاس كيفي آب از نظر مصارف شرب	كيفيت آب از نظر مصارف شرب TH TD		ايستگاه‌هاي هيدرومتري
قابل قبول	TH3	TD1	سليمان‌تنگه (محل سد)
قابل قبول	TH3	TD2	ريگ چشمه
قابل قبول	TH3	TD2	زارم‌رود (گرم‌رود)
نامناسب- غيرقابل قبول	TH3	TD3	كردخيل

۳-۲-۳-۳- بررسي رودخانه تجن بر اساس سموم كشاورزي (كلره)

حوضه رودخانه تجن به واسطه برخورداري از سطح وسيعي از اراضي كشاورزي و به خصوص كشتزارهاي برنج، مقادير زيادي از انواع سموم را مورد مصرف قرار مي‌دهد. برخي از سموم كشاورزي كلره نظير DDT به علت پايداري زياد در محيط زيست مورد توجه ويژه قرار دارند. به خاطر خطرات جدي DDT براي محيط زيست، از سوي بسياري از كشورها مصرف و توليد آن ممنوع گرديده است. اين در حالي است كه در برخي از نقاط كشورمان به طور غيرقانوني مورد مصرف قرار مي‌گيرد. از اين رو در آزمايشات انجام شده علاوه بر DDT ساير تركيبات همانند آن نظير DDE و ليندان، كلتان، آلدرين، ديلدرين، آلفا و بتاي هگزا كلرو بنزن مورد بررسي قرار گرفته است. موقعيت ايستگاه‌هاي برداشت نمونه آب جهت تعيين مقادير سموم كلره در جدول ۳-۵ درج گرديده است.

نتايج حاصل از اندازه‌گيري مقادير سموم كلره در رودخانه تجن در جداول ۳-۵، ۳-۶، ۳-۷ و ۳-۸ نشان داده شده است.

جدول ۳-۵: موقعيت ايستگاه‌هاي برداشت نمونه آب در رودخانه تجن

نام ايستگاه	علائم	موقعيت ايستگاه	زمان برداشت نمونه
S1	ND = عدم مشاهده	ايستگاه در پشت سد و داخل مخزن	سبز (بهار، ۱۳۸۶)
S2		ايستگاه ۱,۵ كيلومتري پايين‌دست سد	آبي (تابستان، ۱۳۸۶)
S3	- = عدم اندازه‌گيري	ايستگاه پل آهني و در ورودي رودخانه به شهر ساري	نارنجي (پاييز، ۱۳۸۶)
S4		ايستگاه مصب	سفيد (زمستان، ۱۳۸۵)

جدول ۳-۶: مقادير سموم DDT، DDE و ديلدرين در رودخانه تجن بر حسب **ppb**

ايستگاه	DDE	DDE	DDE	DDE	DDT	DDT	DDT	DDT	Delderin	Delderin	Delderin	Delderin
S1	21	13.07	ND	ND	-	-	28.56	20.67	-	7.18	ND	ND
S2	17	3.79	2.78	ND	-	-	ND	30	-	2.94	9.2	ND
S3	ND	2.78	4.76	3.18	-	-	5.4	62.7	-	nd	ND	ND
S4	4	4.77	8.17	ND	-	-	35.75	34.68	-	2.76	16.1	ND

جدول ۳-۷: مقادیر سموم کلتان، آلدرین و لیندان در رودخانه تجن بر حسب **ppb**

ایستگاه	A	A	A	A	K	K	K	K	L	L	L	L
S1	-	3.4	ND	ND	46	27.81	ND	2.96	10.5	6.65	ND	ND
S2	-	2.7	ND	ND	27	17.25	24.74	ND	9	21.2	ND	ND
S3	-	ND	ND	ND	ND	9.68	ND	ND	ND	ND	ND	ND
S4	-	ND	ND	ND	6	2.66	ND	ND	2.5	ND	1.7	ND

جدول ۳-۸: مقادیر سموم آلفا و بتای هگزا کلرو بنزن در رودخانه تجن بر حسب **ppb**

ایستگاه	beta-hcb	beta-hcb	beta-hcb	beta-hcb	alfa-hcb	alfa-hcb	alfa-hcb	alfa-
S1	13	17.74	ND	ND	15	9.47	ND	ND
S2	14	39.52	ND	ND	10	20.5	ND	ND
S3	2	12.34	ND	ND	ND	2.64	ND	ND
S4	ND	2.2	3.41	ND	ND	ND	1.95	ND

- نتایج حاصل از بررسي رودخانه تجن بر اساس سموم کشاورزي

بررسي داده‌هاي جدول ۳-۵ نشان مي‌دهد که در ایستگاه S1 (مخزن سد) در فصول بهار و تابستان انواع سموم کلره و به ویژه کلتان، DDE، Alfa- HCB و Beta- HCB مشاهده شده است که به علت‌وجود زمین‌هاي کشاورزي در بالادست سد و مصرف سموم کشاورزي در این فصل قابل توجیه است. با توجه به اینکه در ایستگاه‌هاي S1, S2 در بیشتر فصل‌هاي سال به ویژه بهار و تابستان اکثر ترکیبات سموم کلره مورد شناسایي قرار گرفته‌اند، بالا بودن مقادیر سموم در این ایستگاه در خور تعمق است.

بر اساس داده‌هاي اندازه‌گیري سموم، بیشترین میزان سموم در هر چهار ایستگاه در فصل تابستان بوده است که با توجه به بیشترین کاربري اراضي زراعي به کشت آبي، به ویژه برنج و مصارف بالاي سموم در فصل تابستان، وجود ترکیبات سمي کلره در رودخانه تجن دور از انتظار نیست. احتمالا کمبود آب و ضعف و عدم خودپالائي رودخانه در این فصل نیز عملا در این امر دخیل بوده است. در تمامي ایستگاه‌ها تغییرات مقادیر انواع سموم در فصل زمستان به غیر از سم DDT بسیار ناچیز و از تغییرات

چشمگيري برخوردار نيست. رودخانه تجن در فصل زمستان پاكترين شرايط را از لحاظ وجود سموم كلره مي‌باشد و بي‌شك اين شرايط با عدم زراعت و كشت آبي را در اين فصل قابل توجيه است. حوضه بالادست سد شهيد رجايي، به علت وجود جوامع روستايي و عشايري و اشتغال اكثر جمعيت به كشاورزي و دامپروري منطقه را به قطب كشاورزي تبديل نموده و از نتيجه مصارف سموم كشاورزي و كودهاي شيميايي خطر جدي براي كيفيت آب مخزن سد شهيد رجايي محسوب مي‌شوند. بالعكس عدم وجود جوامع شهري و صنعتي و حتي معادن در بالادست سد، خطر آلودگي به مواد سمي، فلزات، عناصر كمياب و ساير آلاينده‌هاي ناشي از فعاليت‌هاي صنعتي را كاهش داده است. به علت اوج مصرف كشاورزي در فصل تابستان و كمبود آب در كانال‌ها و زهكش‌ها در تابستان، احتمال غليظ شدن آلاينده‌ها وجود دارد و در زمستان به علت كاهش شديد مصرف آب، افزايش سطح آب در كانال‌ها و زهكش‌ها موجب رقيق شدن مواد آلاينده حاصل از كود شيميايي و سموم كشاورزي شده، در نتيجه ورود آلاينده‌ها به شاخه‌هاي اصلي رودخانه كمتر خواهد شد.

۳-۲-۳-۴- كيفيت بيولوژيكي آب رودخانه تجن

آب‌ها در طبيعت معمولا عاري از ميكروب‌هاي زيان‌آور مي‌باشند ولي به واسطة فاضلاب‌هاي انساني و يا فضولات حيواني و نيز پساب‌هاي ميكروبي نظير پساب‌هاي مراكز بهداشتي و خانگي آلوده، كه وارد آب‌هاي جاري مي‌شوند، به انواع ميكروارگانيسم ها آلوده مي‌شوند. اشريشاكلي نوعي كلي‌فرم است كه وجود آن در آب‌ها نشانة قطعي آلودگي آب‌ها از طريق ورود فاضلاب‌هاي انساني و يا فضولات حيواني مي‌باشد. بنابراين جهت قضاوت در سلامت يا عدم سلامت آب‌ها و به منظور آگاهي از چگونگي كيفيت ميكروبيولوژيكي آب رودخانه تجن چهار ايستگاه انتخاب كرده و نمونه‌هاي آب را مورد آزمايش و تجزيه تحليل قرار داديم. در جدول ۳-۹ موقعيت ايستگاه‌هاي بررسي كيفيت ميكروبيولوژيكي آب نشان داده شده است. در جدول

۳-۱۰، تعداد باکتري‌هاي کلي‌فرم در ايستگاه نمونه‌برداري منتخب رودخانه تجن نشان مي‌دهد.

جدول ۳-۹: ويژگي ايستگاه‌هاي بررسي کيفيت ميکروبيولوژيکي آب

ايستگاه	محل
۱	سليمان‌تنگه (داخل مخزن سد)
۲	۱/۵ کيلومتر پايين‌دست محل سد
۳	پل تجن (۵۰ متر پايين دست پل)
۴	مصب (۱ کيلومتر قبل از ورود رودخانه به دريا)

جدول ۳-۱۰: تعداد باکتري‌هاي کلي‌فرم در ايستگاه نمونه‌برداري منتخب رودخانه تجن

کلي‌فرم	ايستگاه سال	فروردين ۱۳۸۶	ارديبهشت ۱۳۸۶	خرداد ۱۳۸۶	تير ۱۳۸۶	مرداد ۱۳۸۶	شهريور ۱۳۸۶
Total Coliform In 100 ml(n)	۱	۳۳۰	۴۶۰	۲۴۰	۴۸۰	۴۹۰	۳۲۵
	۲	۳۰۰	۵۴۰	۲۸۰	۶۳۰	۸۰۰	۴۵۰
	۳	۱۴۰۰	۲۸۰۰۰	۲۴۰۰۰	۲۸۰۰۰	۱۴۰۰۰	۲۲۰۰۰
	۴	۲۴۰	۴۶۰	۹۱۰	۹۳۰	۱۱۰۰	۱۴۰۰
Fecal Coliform in 100 ml(n)	۱	۱۰	۲۳	۱۱	۲۶	۳۲	۱۸
	۲	۲۱	۴۲	۱۴	۳۰	۶۵	۲۱
	۳	۱۲۰۰	۲۲۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۲۲۰۰	۱۳۰۰
	۴	۹	۲۲	۴۶	۴۱	۷۹	۶۴

ادامه جدول ۳-۱۰: تعداد باکتري‌هاي کلي‌فرم در ايستگاه نمونه‌برداري منتخب رودخانه تجن

کلي‌فرم	ايستگاه سال	مهر ۱۳۸۶	آبان ۱۳۸۶	آذر ۱۳۸۶	دي ۱۳۸۵	بهمن ۱۳۸۵	اسفند ۱۳۸۵
Total Coliform In 100 ml(n)	۱	۲۵۰	۲۰۰	۲۶۰	۴۱۰	۴۵۰	۳۶۰
	۲	۴۸۰	۸۴۰	۸۷۰	۵۸۰	۸۲۰	۵۴۰
	۳	۲۱۰۰۰	۲۲۰۰۰	۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	۱۹۰۰۰
	۴	۱۱۰۰	۹۲۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۹۸۰
Fecal Coliform in 100 ml(n)	۱	۱۲	۹	۱۱	۲۵	۲۲	۱۲
	۲	۲۳	۴۲	۵۱	۳۹	۴۱	۳۹
	۳	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۲۰۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰
	۴	۹۱	۴۳	۶۴	۸۶	۶۳	۶۰

- نتايج حاصل از بررسي کيفيت بيولوژيکي آب رودخانه تجن

پايين بودن مجموع تعداد کلي‌فرم‌ها به ويژه کلي‌فرم‌هاي مدفوعي و باکتري‌هاي بيماريزا در ايستگاه ۱ و ۲ نسبت به ساير ايستگاه‌ها ناشي از تراکم کم مراکز شهري و پايين بودن جمعيت مناطق بالادست رودخانه تجن مي‌باشد. آلودگي ميکروبي موجود در اين دو ايستگاه ناشي از ورود فاضلاب‌هاي انساني در روستاهاي زيرحوضه سد شهيد رجائي به علت تراکم جوامع روستايي در مجاورت رودخانه‌ها و عدم دفع مناسب و اصولي فاضلاب‌هاي انساني

و دامي و دفع مواد زائد جامد (زباله ها) و رهاسازي بخشي از آن در رودخانه ها مي‌باشد. ايستگاه شمارة ۳، پايين‌دست پل تجن، در محدوده تخليه فاضلاب‌هاي واحدهاي مسكوني، خدماتي و صنعتي در محدودة شهر ساري نظير زندان ساري و كارخانه شير پاستوريزه و به رودخانه تجن واقع شده‌اند، شرايط مناسبي براي رشد باكتري‌ها و ساير ميكروارگانيسم هاي بيماريزا فراهم آورده است. علاوه بر اين از طريق برخي منازل شهر ساري در روستاهاي حاشيه رودخانه تجن، فاضلاب خانگي به صورت خام و تصفيه نشده و مواد زائد جامد نظير زباله‌هاي خانگي به رودخانه تجن ريخته مي‌شود. بنابراين، آب رودخانه تجن همان طور كه در جدول ۳-۱۰ مشاهده مي-گردد. در كليه ايستگاه‌هاي مورد مطالعه از لحاظ ميكروبيولوژی براي مصارف شرب، نامناسب و نياز به تصفيه و كلرزني دارد. براي ساير مصارف شهري نظير آبياري فضاي سبز و شستشوي خيابان‌ها و نيز پاره‌اي از مصارف صنعتي به جز صنايع غذايي مناسب مي‌باشد. از نظر كشاورزي به جز ايستگاه شمارة ۳، آب رودخانه تجن از حيث باكتريولوژيكي در حد مجاز قرار دارد.

۳-۲-۳-۵- كيفيت و طبقه‌بندي اكولوژيك آب رودخانه تجن

الف- سرشاخه هاي سفيدرود و شيرين‌رود: اين روخانه جزء رودهاي كوهستاني و بستر آن معمولا V شكل با شيب زياد (داراي آب صاف با جريان سرعت بالا) و بستر سنگلاخي است.. گونة قزل‌آلاي خال قرمز از جمله شاخص‌ترين گونه هاي ماهي در آن محسوب مي‌گردد. سازگاري با شرايط آب و هواي سرد و يخبندان و نياز به اكسيژن بسيار بالا از خصوصيات ويژة اين نوع ماهي است كه شديدا به تغييرات فيزيكي و شيمايي آب حساس و آسيب‌پذير است. قزل‌آلاي خال‌قرمز گونة حمايتي مي‌باشد و صيد تک قلاب آن مستلزم اخذ پروانه مي‌باشد كه از جمله ورزش‌هاي تفريحي بسيار پرطرفدار در منطقه به شمار مي‌آيد. تخم‌ريزي اين ماهي از اواخر شهريور تا اوايل مهر و در سرشاخه هاي شيرين‌رود، اشك‌رود و سفيدرود كه داراي شرايط مطلوب براي گونه مي‌باشد، صورت مي‌گيرد. سرشاخه اصلي رودخانه

دودانگه (شیرین‌رود و سفیدرود) از جمله نمونه‌هاي بارز آب‌هاي الیگوتروف[1] مي‌باشد.

ب- بالادست سد شهید رجائي تا روستاي خزرآباد: قسمت‌هاي پایاني رودخانه دودانگه از قبل از ورود به دریاچه سد (بالادست سد شهید رجائي) تا مصب و نیز بخش‌هاي میاني و پایاني چهاردانگه و ظالم‌رود جزء محیط‌هاي آبي مزوتروف[2] مي‌باشد. در این مناطق با کاهش شیب بستر رودخانه‌ها و سرعت جریان آب، قدرت خودپالائي آب‌ها نیز کاهش مي‌یابد. افزایش و تراکم مراکز جمعیتي موجب افزایش مواد آلي و سایر آلاینده‌ها و کاهش مقدار اکسیژن محلول در این آب-ها شده است. انواع کپورماهیان مانند سیاه ماهي[3] و سس ماهي[4] و سسماهي[5] از جمله شاخص‌ترین گونه‌هاي آبزي عالي در این نوع اکوسیستم‌ها محسوب مي‌شوند. گونه‌هاي مختلف کپورماهیان نسبت به تغییرات شیمیایي و بیوشیمیایي و میکروبیولوژیکي نظیر افزایش شیمیایي و آلي و میکروبي که در نتیجه ورود پساب‌هاي کشاورزي، خانگي و فاضلاب‌هاي انساني به رودخانه‌ها ایجاد مي‌گردد، سازگاري بیشتري دارند.

ج- روستاي خزرآباد تا دریاي خزر، بخش‌هاى انتهایى رودخانه تجن: در بخش انتهایي رودخانه تجن در محدودة روستاي خزرآباد تا دریاي خزر شیب رودخانه بسیار پایین و در مقابل عمق آب بالا مي‌باشد. در فصول گرم مانند تابستان و دورة کم‌آبي که دبي آب شدیدا کاهش مي‌یابد و رودخانه تقریبا ساکن است، به علت فراواني عناصر متعددي مانند (P,N) حاصل فعالیت‌هاي کشاورزي استعداد رشد گیاهان آبزي شناور و ریشه‌دار انواع فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها در آن افزایش مي‌یابد. به علت افزایش مواد غذایي و تنوع گونه‌هاي آبزي و نیز افزایش جمعیت جلبک‌ها که چندین نوبت در سال دچار

---

[1]. oligotrogh

[2].Mesotroph

[3].Copoeta copotac

[4].Barbus barbus

[5].Barbus morsa& Barbas plebius

شکوفایي مي‌شوند، درمحيط اتروفي[1] طبقه‌بندي مي‌شوند. آببندان‌هاي دشت تجن از جمله اکوسيستم‌هاي آبي اتروفي[2] محسوب مي‌شوند. محيط‌هاي اتروفي در مقايسه با محيط‌هاي مزوتروف، آلودگي آبي بيشتر و اکسيژن محلول کمتري دارند. گونه‌هاي کپور معمولي و اردك از جمله مهم‌ترين موجودات آبزي عالي شاخص اين نوع سيستم‌هاي آبي در منطقه هستند. در پاره‌اي از مناطق در رودخانه تجن به طور موضعي با افزايش عناصر مغذي و ساير آلودگي‌ها محيط اتروفي داريم.

۳-۲-۴- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر آب‌هاي سطحي پايين‌دست

۳-۲-۴-۱- اثرات احداث سد بر کميت آب‌هاي سطحي

- **تعديل پريود آبي[3]:** يکي از اهداف ساخت سد شهيد رجائي، تعديل تناوب سيلاب‌هاي رودخانه تجن در پايين‌دست مي‌باشد که به نوبة خود تأثيراتي بر تعادل رودخانه مي‌گذارد، کنترل سيلاب در زمان پرآبي و ذخيرة دبي سيلابي در درياچة سد و سپس آزادسازي در زمان کم آبي به منظور اهداف کشاورزي، از اهداف اصلي احداث سد مخزني شهيد رجائي مي‌باشد. به اين ترتيب هيدروگراف اوليه رودخانه تجن تغيير يافته است. اين تغييرات شامل موارد ذيل مي‌باشد.

الف- تغيير آزادسازي فصلي در پايين‌دست[4]: مخزن سد، زمان آزادسازي جريان را در پايين‌دست تغيير داده است. اين تغييرات غالبا ذخيرة آب در دوره‌هاي پرآبي و آزادسازي آن در دوره‌هاي کم آبي هم‌زمان با نياز شديد کشاورزي در پايين‌دست مي‌باشد. به طوري که در فصول کشاورزي در ماه‌هاي خرداد، تير و مرداد حداکثر دبي و آزادسازي جريان را داريم و در ساير فصول دبي جريان آزاد شده کاهش مي-

---

[1] .Eutrophie

[2] .Eutrophie

[3] . Hydro Period Modification

[4] . Altered Seasonal Timing of downstream

يابد. شكل هاي ۳-۳، ۳-۴ و ۳-۵ تغييرات ميانگين دبي ماهانه، تغيير آزادسازي و كاهش تغييرپذيري جريان فصلي در ايستگاه هاي هيدرومتري حوضه تجن در دوره هاي آماري قبل و پس از احداث سد آورده شده است.

ب- تحميل پالس‌هاي جريان[۱]: نيروگاه سد شهيد رجائي با قدرت نصب ۱۳/۵ مگاوات هنوز به بهره‌برداري نرسيده است. با شروع بهره‌برداري از نيروگاه سد در آينده، به منظور توليد حداكثر، موجب توليد جريان-هاي پالسي در پايين‌دست مي‌نمايد. رهاسازي اين جريان‌ها مي‌تواند موجب افزايش فرسايش ديواره‌ها و سواحل در پايين-دست رودخانه شده و خسارات زيادي را به بار مي‌آورد.

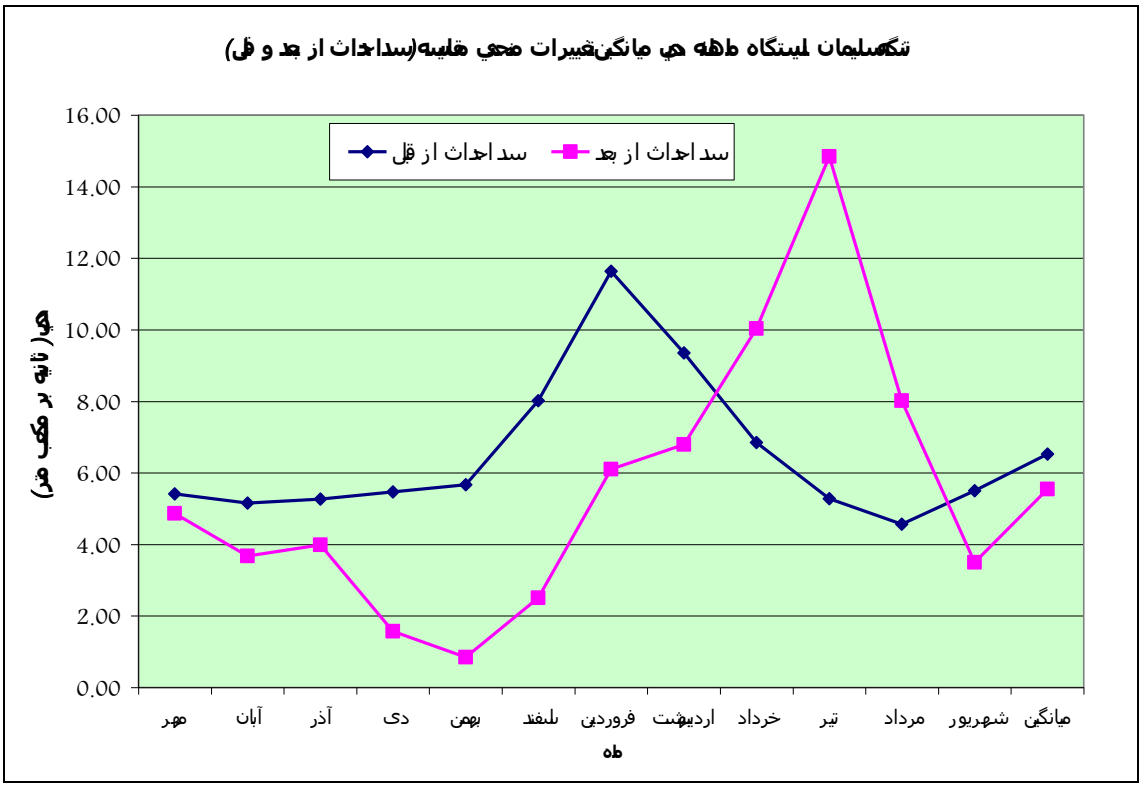
ج- كاهش تغيير پذيري جريان فصلي[۲]: وجود مخزن سد شهيد رجائي، متغيرهاي جريان‌هاي فصلي را به متغيرهاي پايدارتر و به تغييرات فصلي جديد تبديل مي‌نمايد. كاهش دبي‌هاي حداكثر و افزايش دبي‌هاي حداقل موجب مي شود، نوسانات دبي را تا حد زيادي كاهش يابد.

د- كاهش دبي حد اكثر: نتايج بررسي‌ها بر روي آمار طولاني مدت دبي در ايستگاه ريگچشمه و كردخيل در پايين‌دست نشان دهندة كاهش دبی اوج می‌باشد.

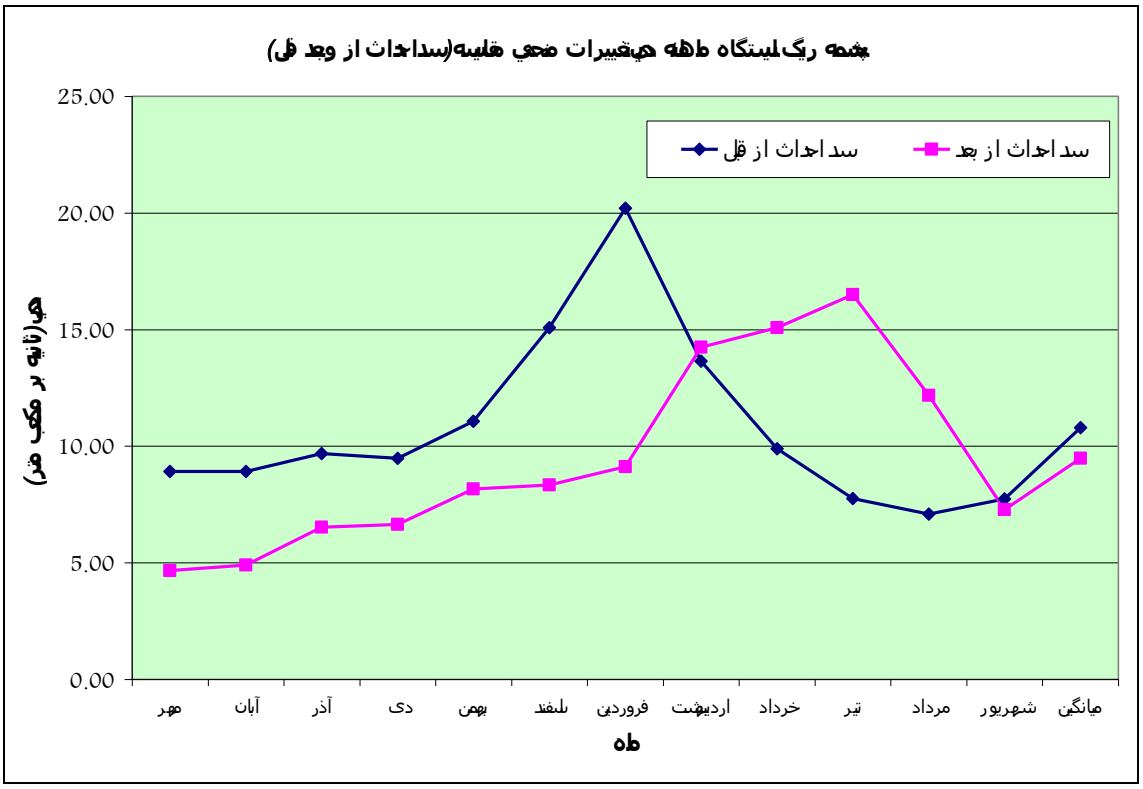
---

۱. Imposition of flow pulse

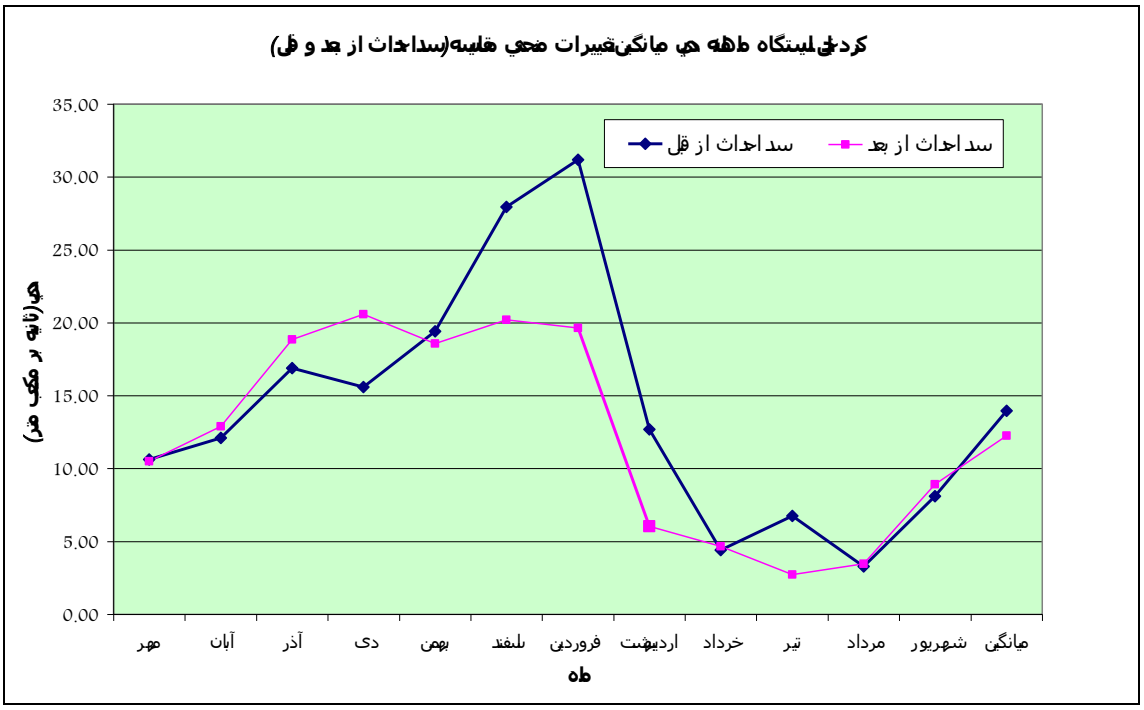
۲. Reduced Seasonal Flow Variability



شکل ۳-۳: مقایسه منحنی تغییرات دبی ماهانه ایستگاه سلیمان‌تنگه (قبل و بعد از احداث)



شکل ۳-۴: مقایسه منحنی تغییرات دبی ماهانه ایستگاه ریگچشمه (قبل و بعد از احداث)



شکل ۳-۵: مقایسه منحنی تغییرات دبی ماهانه ایستگاه کردخیل (قبل و بعد از احداث)

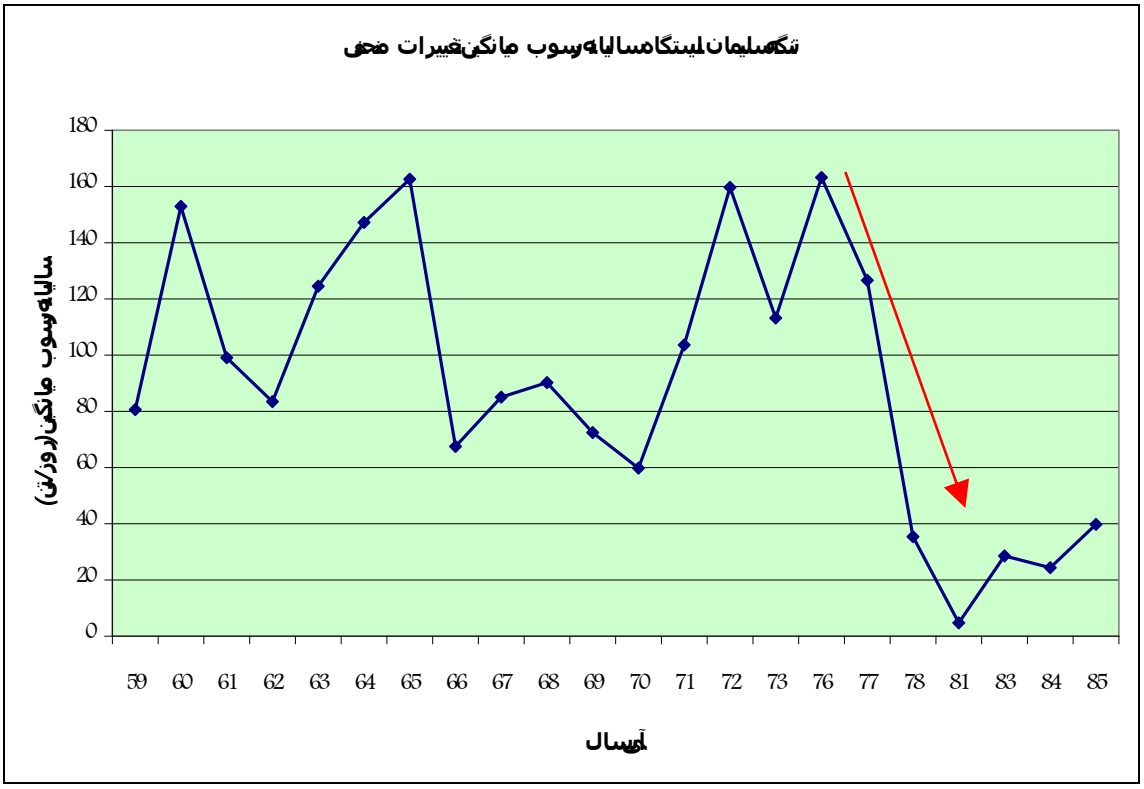
۳-۲-۴-۲- اثرات احداث سد بر کیفیت آب‌های سطحی

پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های هیدرومتری در یک دوره آماری بلند مدت قبل و بعد از احداث مورد بررسی قرار گرفته و منحنی‌های حاصل مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

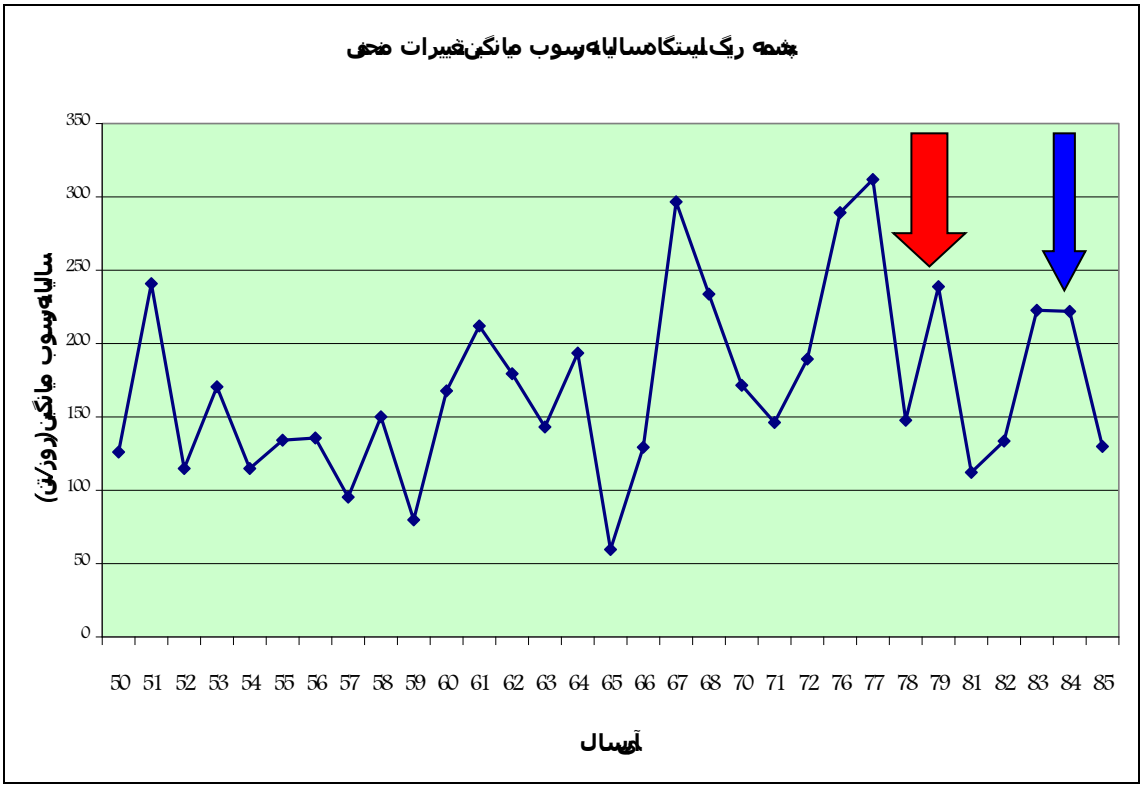
الف- اثرات احداث سد بر بار رسوبی آب‌های سطحی در پایین‌دست

آمار بار رسوبی ۳ ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه (بلافاصله پایین‌دست سد)، ریگچشمه (پس از ورود شاخه‌های چهاردانگه و لاجیم) و کردخیل (خروجی حوضه تجن) در طول دوره آماری از آب منطقه‌ای مازندران و تماب دریافت شده و میانگین بار رسوبی سالیانه برای هر ایستگاه محاسبه و به صورت منحنی تغییرات میانگین رسوب سالیانه تهیه شده است. به منظور تحلیل و تفسیر صحیح منحنی‌های حاصل آمار بار رسوبی چند ایستگاه دیگر در حوضه تجن که تحت تاثیر سد نبوده‌اند نیز مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج و منحنی‌های حاصل

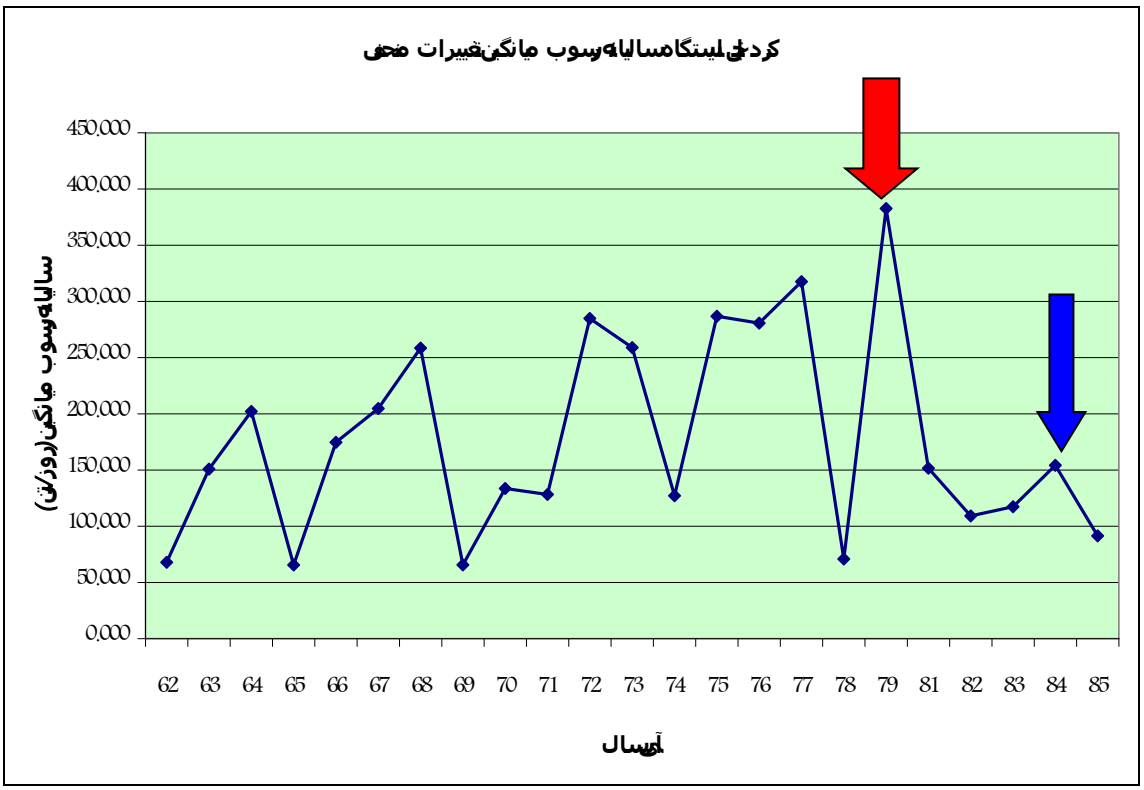
به عنوان شاخص و روند طبیعي منطقه در نظر گرفته شده است.
در شکل هاي ۳-۶، ۳-۷ و ۳-۸ منحني تغییرات میانگین رسوب سالیانه سه ایستگاه سلیمان‌تنگه، ریگچشمه و کردخیل نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: منحني تغییرات رسوب سالیانه ایستگاه سلیمان‌تنگه در طول دوره آماري



شکل ۳-۷: منحني تغييرات رسوب ساليانه ايستگاه ريگچشمه در طول دوره آماري



شکل ۳-۸: منحني تغييرات رسوب ساليانه ايستگاه کردخيل در طول دوره آماري

مشخصات رسوب سالیانه (کمترین، بیشترین، میانگین و ...) ایستگاه های هیدرومتری سلیمان‌تنگه، ریگچشمه (از سال ۴۳ تا ۸۵) و کردخیل (از سال ۶۱ تا ۸۵) در طول دوره آماری قبل و بعد از احداث سد در جداول ۳-۱۱، ۳-۱۲ و ۳-۱۳ آورده شده است.

جدول ۳-۱۱: مشخصات رسوب سالیانه ایستگاه سلیمان‌تنگه در طول دوره آماری

ایستگاه	سال		تعداد	کمترین	بیشترین	جمع	میانگین
سلیمان‌تنگه*	76	43	464	4.264	989.799	72283.33	155.7830
سلیمان‌تنگه (قبل از سد)	76	43	505	4.264	20150.353	236836.0	468.9221
سلیمان‌تنگه*	85	76	43	2.765	310.719	2888.22	67.168047
سلیمان‌تنگه (بعد از سد)	85	76	45	2.765	3116.894	8902.25	197.8279

جدول ۳-۱۲: رسوب سالیانه ایستگاه ریگچشمه در طول دوره آماری

ایستگاه	سال		تعداد	کمترین	بیشترین	جمع	میانگن
ریگچشمه*	76	43	338	4.992	983.984	55032.95	162.819
ریگچشمه (قبل از سد)	76	43	372	4.992	264569.45	773109.17	2078.250
ریگچشمه*	85	76	88	12.369	889.941	17511.76	198.997
ریگچشمه (بعد از سد)	85	76	101	12.369	954320.39	1074067.7	10634.33

جدول ۳-۱۳: رسوب سالیانه ایستگاه کردخیل در طول دوره آماری

ایستگاه	سال		تعداد	کمترین	بیشترین	جمع	میانگین
کردخیل*	76	61	123	0.581	907.413	21266.86	172.901
کردخیل (قبل از سد)	76	61	160	0.581	652901.01	2308279.5	14426.74
کردخیل*	85	76	59	0.084	962.730	9427.813	159.793
کردخیل (بعد از سد)	85	76	92	0.084	5330589.5	7424232.9	80698.18

* آمار رسوب کمتر از ۱۰۰۰ (روز/تن) در نظر گرفته شده است.

- نتایج حاصل از بررسي منحني‌هاي تغييرات بار رسوبي

- نتایج حاصل از بررسي منحني‌هاي تغييرات بار رسوبي در ایستگاه هاي مختلف به شرح زیر مي باشد:

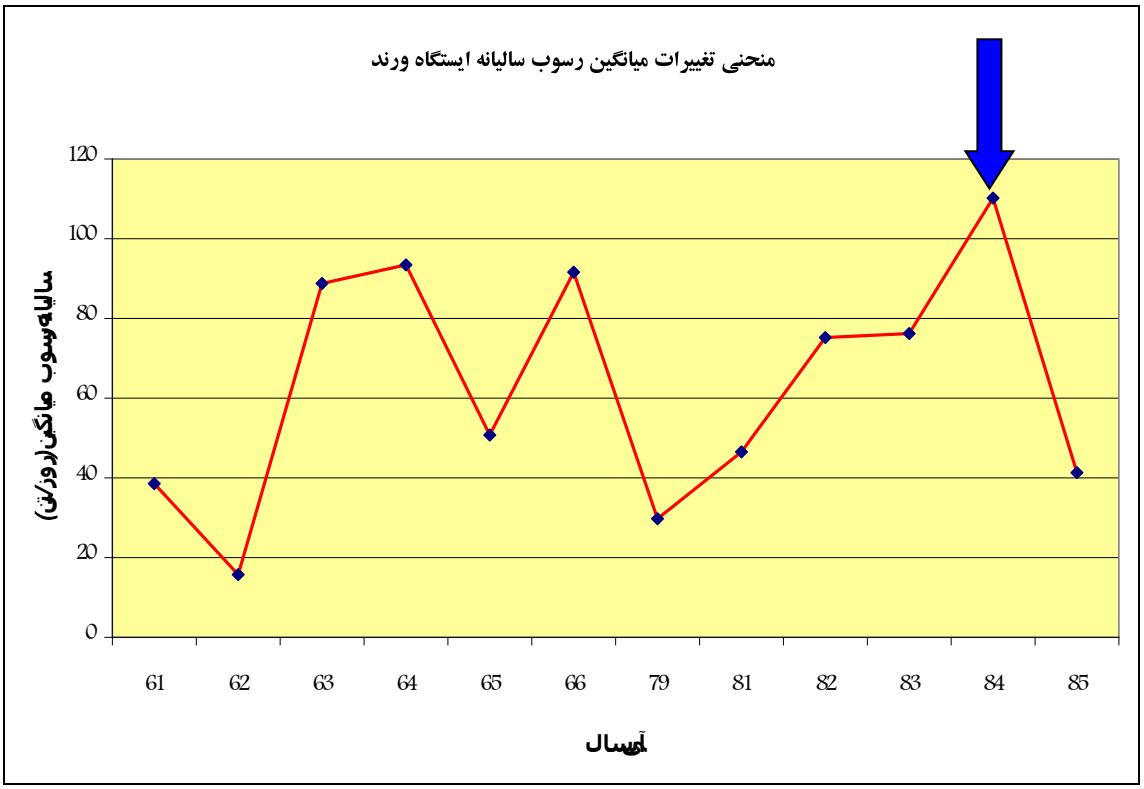
- میانگین بار رسوبي در ایستگاه سلیمان‌تنگه (بلافاصله پایین‌دست سد) در سال‌هاي قبل از احداث سد ۱۰۶,۷۷۸۴

(روز/تن) و پس از احداث سد به ۲۶,۵۵۸۸ (روز/تن) کاهش یافته است، مسلما این تغییر اساسي ناشي از اثر سد به عنوان مانعي براي عبور جریان و فرصت کافي براي ته‌نشت بار رسوبي در پشت سد مي‌باشد. در شکل ۳-۹ روند نزولي و کاهش بار رسوبي بعد از احداث سد نشان داده شده است.

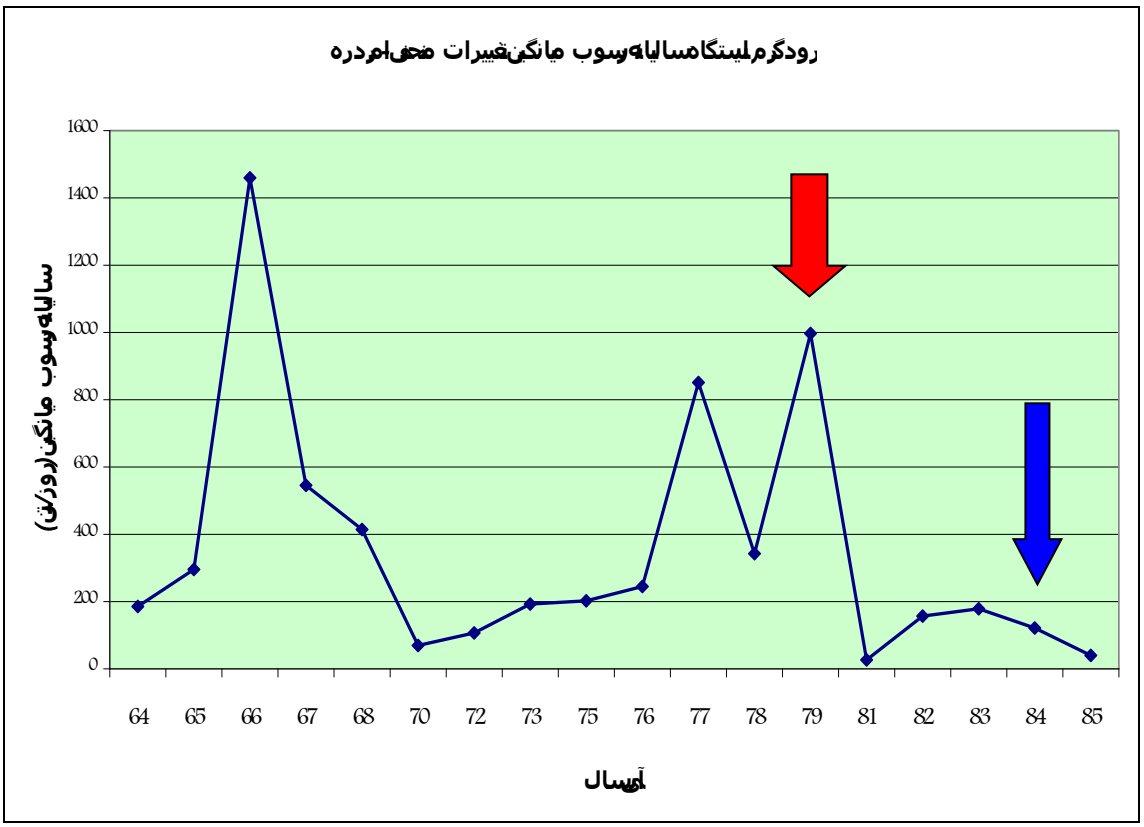
- میانگین بار رسوبي در ایستگاه ریگچشمه در سال‌هاي قبل از احداث سد ۱۵۸,۳۵۲۸ (روز/تن) و پس از احداث سد به ۲۰۰,۸۶۲۷ (روز/تن) افزایش یافته است. با وجود اینکه از میانگین بار رسوبي در ایستگاه ریگچشمه کم نشده، ولي از شدت روند صعودي منحني کاسته شده است. به علت افزایش شدت فرسایش در پایین‌دست سد در جهت جبران کمبود بار رسوبي مقداري از شدت اثر سد بر بار رسوبي ریگچشمه تقلیل یافته است. دلیل دیگر آنکه تغییرات بار رسوبي در رودهاي چهاردانگه (ایستگاه ورند) و لاجیم (واستان) اثر مستقیم بر آمار ایستگاه ریگچشمه دارد.

- میانگین بار رسوبي در ایستگاه کردخیل (خروجي حوضه تجن) در سال‌هاي قبل از احداث سد ۱۷۲,۹۰۱ (روز/تن) و پس از احداث سد به ۱۵۲,۷۹۳ (روز/تن) کاهش یافته است. ولي اگر مواقع افزایش ناگهاني بار رسوبي در طول دوره آماري و مواقع سیلابي نیز در نظر گرفته شود نتیجه برعکس خواهد شد. مقدار بار رسوبي در این ایستگاه خروجي حوضه تجن در نظر گرفته مي‌شود زیرا نزدیکترین ایستگاه به مصب رودخانه مي‌باشد (مقدار بار رسوبي کردخیل تحت تاثیر کل حوضه مي‌باشد).

در شکل‌هاي ۳-۹ و ۳-۱۰منحني تغییرات میانگین رسوب سالیانه در ایستگاه‌هاي هیدرومتري ورند و گرم‌رود نشان داده شده است.



شکل ۳-۹: منحني تغييرات رسوب ساليانه ايستگاه ورند در طول دوره آماري



شکل ۳-۱۰: منحني تغييرات رسوب سالیانه ایستگاه واستان در طول دوره آماري

- منحني تغييرات رسوب سالیانه ایستگاه کردخیل بعد از احداث سد در دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ افزایش محسوس بار رسوبي را نشان مي‌دهد، با بررسي منحني تغييرات بار رسوبي در دو زیرحوضه زارم‌رود (ایستگاه گرم‌رود) و چهاردانگه (ایستگاه ورند) که بر بار رسوبی رسوبی در زیرحوضه تجن مؤثرند نیز افزایش بار رسوبی در این دو سال مشهود است.

- تذکر مهم اینکه علت تفاوت برخي از نتایج در جداول با منحني‌هاي تغييرات بار رسوبي در ایستگاه‌هاي هیدرومتري ،حذف داده‌هاي مشکوک و یا حذف کامل آمار سال‌هاي آبي با خطاي زیاد مي‌باشد.

بنابراین نتایج حاصل از منحني‌ها از دقت و اعتبار بیشتري برخوردار است.

ب- اثرات احداث سد بر پارامترهاي کیفیت شیمیایي آب-هاي سطحي در پایین‌دست

به منظور بررسي تغييرات کیفي آب‌هاي سطحي در پایین‌دست سد آمار کیفیت شیمیایي ایستگاه‌هاي هیدرومتري حوضه تجن به طور کامل از آب منطقه‌اي مازندران و سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) دریافت و آمار کیفیت شمیایي سه ایستگاه سلیمان‌تنگه، ریگچشمه و کردخیل مورد تجزیه قرار گرفته است. سپس داده‌هاي با خطاي زیاد حذف و میانگین سال‌هاي قبل و بعد از احداث سد تهیه و نمودار مربوط به تغییرات پارامترهاي کیفي آب رودخانه تجن در این سه ایستگاه ترسیم شده است.

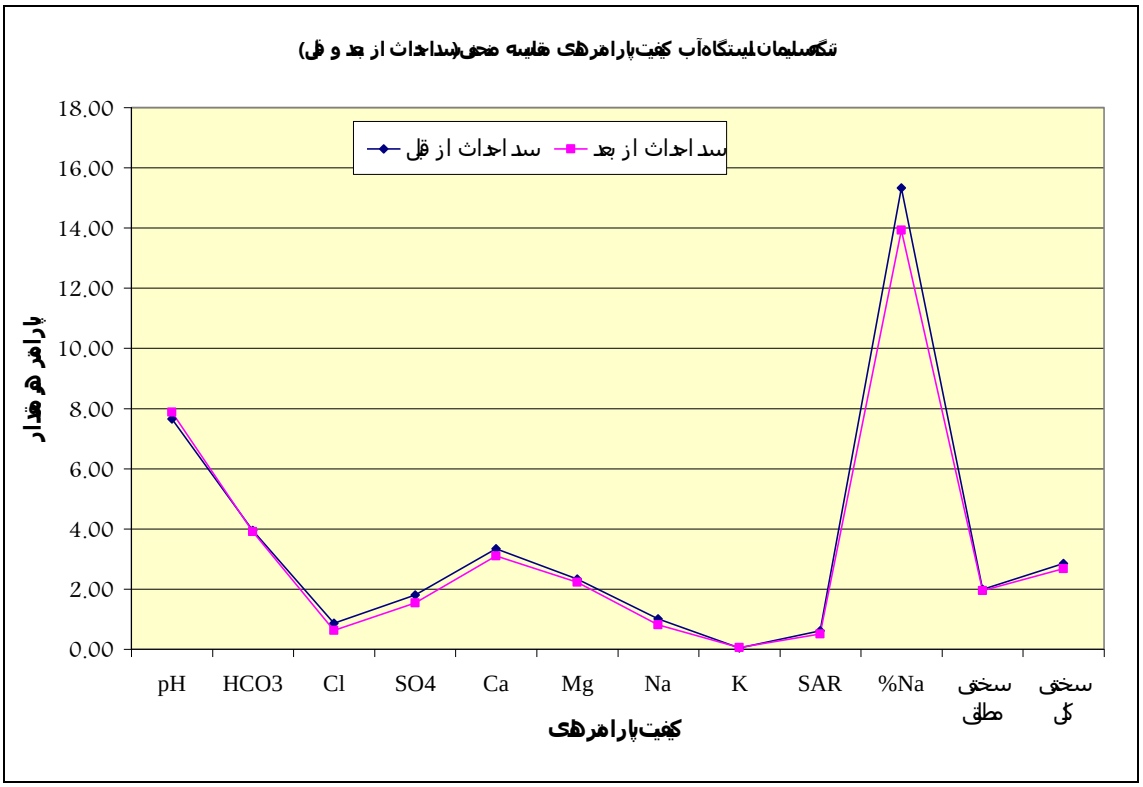
با بررسي پارامترهاي کیفي در ایستگاه‌هاي هیدرومتري نتایج زیر به دست آمده است:

- تغییرات زیاد و چشمگیری در پارامترهای شیمیایی در ایستگاه‌های پایین‌دست رخ نداده است.

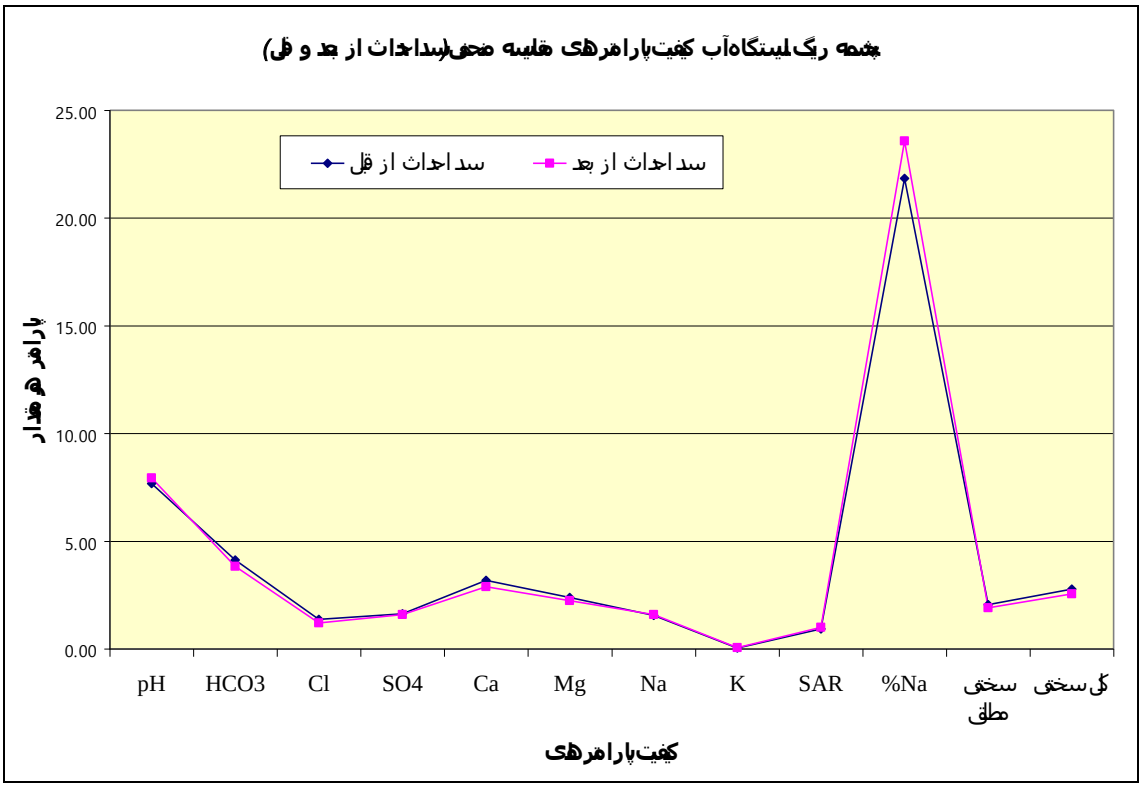
- به طور قطع تعداد کم آمار پس از احداث سد نسبت به آمار طولانی مدت قبل از احداث سد بر نتایج حاصل تأثیر-گذار می‌باشد. با این وجود از آنجایی که شرایط فوق برای هر سه ایستگاه در سال‌های قبل و بعد از احداث سد

یکسان است. مقایسه این سه ایستگاه نشان می‌دهد که تغییرات پارمترهاي کیفي آب در ایستگاه سلیمان‌تنگه محسوس‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین تغییرات پارامترهای شیمیایی در ایستگاه ریگچشمه بیشتر از کردخیل می‌باشد.

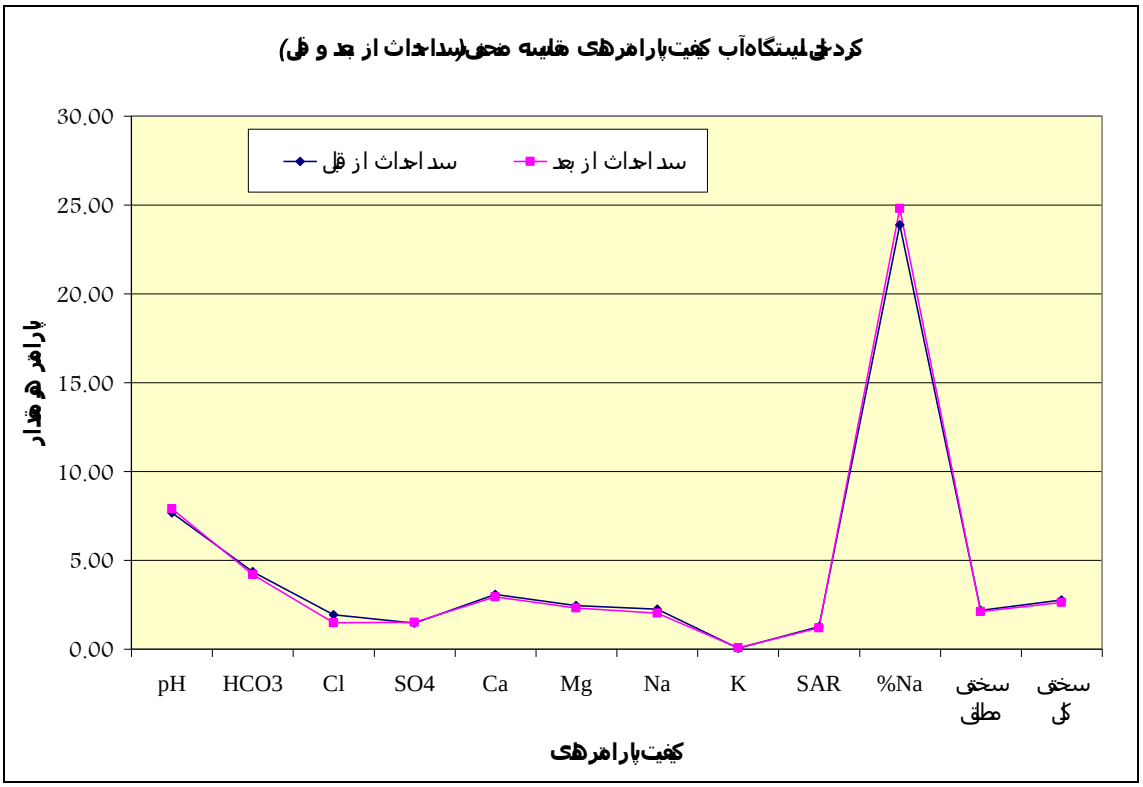
در شکل‌های ۳-۱۱، ۳-۱۲ و ۳-۱۳ به ترتیب منحني‌های مقایسه پارامترهاي کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه‌های هیدرومتري سلیمان‌تنگه، ریگچشمه و کردخیل نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱: منحني مقایسه پارامترهاي کیفیت شمیایي آب در ایستگاه سلیمان‌تنگه



شکل ۳-۱۲: منحني مقايسه پارامترهاي كيفيت شميايي آب در ايستگاه ريگچشمه



شکل ۳-۱۳: منحني مقايسه پارامترهاي کيفيت شميايي آب در ايستگاه هيدرومتري کردخيل

۳-۳- آب‌هاي زيرزميني

اجراي طرح‌هاي توسعه منابع آب به ويژه به شکل احداث سدهاي مخزني و شبکه‌هاي آبياري و زهکشي، اثرات چشمگيري بر روي آبخوان‌هاي آبرفتي پايين‌دست آن‌ها ايجاد مي‌نمايد. اين اثرات معمولا به گونه‌اي است که رفتار گذشته آبخوان را در چارچوب روندهاي حاکم در منطقه، به کلي تغيير مي‌دهد. در اين بخش اثرات شبکه آبياري سد مخزني شهيد رجائي بر آبخوان آبرفتي دشت ساري- نکا (دشت تجن) از شرق سياهرود تا غرب نکارود مورد بررسي قرار داده‌ايم. براي اين منظور روند تغييرات سطح آب زيرزميني قبل و بعد از بهره برداري از سد و همچنين تحولات کيفي آبخوان بر اساس نقشه‌هاي هدايت الکتريکي آب زيرزميني مورد بررسي قرار گرفته است.

۳-۳-۱- مشخصات عمومي و موقعيت دشت ساري- نکاء (دشت تجن)

محدوده دشت تجن از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه نکاررود و از غرب به رودخانه سیاهرود منتهی می‌شود. دشت تجن در حاشیه ارتفاعات شمال البرز، در حد بین سیاهرود در غرب و رودخانه نکا در شرق واقع شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که یک آبخوان آزاد سراسری که به طرف شمال از ضخامت آن کاسته می‌شود، در بخش عمده دشت گسترش دارد و در نواحی شمال دشت آبخوان قابل بهره‌برداری شکل نگرفته است. در بخش میانی دشت، لایه و یا لایه‌های تحت فشار توسعه نسبتاً زیادی دارند. سه رودخانه اصلی تجن، نکارود (شرق)، سیاهرود (غرب) آبخوان ساحلی تجن را تغذیه می‌نماید. رودخانه تجن از بخش میانی این دشت عبور می‌نماید که در نواحی جنوبی دشت را تغذیه نموده و در بخش‌های شمالی نقش زهکش دشت را ایفا می‌کند. ضخامت سفره کمتر از ۱۰ متر در بخش جنوبی تا ۱۲۰ متر در بخش شمالی متغیر بوده و متوسط ضخامت آن ۶۰ متر بر آورد شده است. وسعت آبخوان تحت فشار ۲۹۰ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آزاد ۶۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مقدار قابلیت انتقال آبخوان در آبرفت‌ها و مخروطه افکنه‌های جنوبی دشت و حواشی رودخانه که دارای ضخامت زیادتر هستند بیشتر است و در آبرفت‌های دانه ریز شمالی

کمتر می‌شود. حداکثر مقدار قابلیت انتقال حدود ۲۰۰۰ متر مربع در روز در مخروطه افکنه و آبرفت‌های دانه درشت، پس از مخروطه افکنه حدود ۱۸۰۰ - ۱۵۰۰ متر مربع در روز و در بخش‌های میانی دشت به ۵۰۰ متر مربع در روز و بالاخره در قسمت انتهایی به ۱۰۰ متر مربع در روز تقلیل می‌یابد. به طور متوسط در کل دشت می‌توان مقدار قابلیت انتقال آبخوان را بین ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ متر مربع در روز در نظر گرفت. میزان ضریب ذخیره نیز به تناسب مقدار قابلیت انتقال در بخش‌های مخروطه افکنه حداکثر به حدود ۸٪ و در قسمت‌های شمالی دشت به ۱٪ کاهش می‌یابد. ضریب ذخیره متوسط در کل آبخوان در محدوده تجن ۳/۴٪ می‌باشد[۱۶].

جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در دشت عمدتاً از جنوب به شمال می‌باشد که نهایتاً به دریای مازندران می‌ریزد. تراز سطح آب از ۳۵+ متر در جنوب شهر ساری تا ۲۰- متر در مجاورت ساحل متغیر است. به منظور بررسی دقیق، نوسانات سطح آب زیرزمینی، از آمار ۴۵ حلقه چاه مشاهده‌ای که ۲۴ حلقه بین تجن و سیاهرود و ۲۱ حلقه آن در بین تجن و نکارود قرار دارد، استفاده شده است.

۳-۳-۲- طبقه‌بندي آبرفتي دشت تجن

۳-۳-۲-۱- مخروطه افکنه: رسوبات آبرفتي در قسمت‌هاي ورود به دشت به صورت مخروطه افکنه ظاهر مي‌شود که وسعتي معادل ۲۵ کيلومترمربع را در بر مي‌گيرد، اين رسوبات اکثرا در بستر رودخانه تشکيل گرديده و شامل قلوه‌سنگ، شن و با ضخامت‌هاي مختلفي مي‌باشد که حداکثر آن‌ها به ۵۰ متر مي‌رسد. مخروطه افکنه تجن از نفوذپذيري نسبتا خوبي برخوردار است. اين رسوبات در ابتداي دامنه ارتفاعات شمالي سلسله جبال البرز و در منطقه ورودي به دشت به وجود آمده‌اند، از ويژگي‌هاي اين رسوبات پنجه‌اي شکل و شيب نسبتا زياد آن‌هاست، دانه‌بندي رسوبات در رأس مخروطه افکنه در دشت و داراي نفوذپذيري زياد و گسترش خوبي مي‌باشد. در حوضه آبريز تجن با توجه به شيب زياد منطقه مخروطه افکنه در حد کوه و دشت، منابع آب‌هاي زيرزميني مخروطه افکنه مستقيما مورد استفاده چنداني نيست و بيشتر به عنوان منبع تغذيه آبخورهاي ميان دشت مورد توجه هستند. بيشترين پتانسيل آب‌هاي زيرزميني را همين آبرفت دارا مي‌باشد. کيفيت شيميايي آب مخروطه افکنه از نظر شرب و

كشاورزي بسيار خوب و نوع آن بي‌كربناته بوده و فاقد هرگونه محدوديت است[۱۶].

۳-۳-۲-۲- آبرفت‌هاي ميان‌دشتي: آبرفت‌هاي ميان‌دشتي بعد از مخروطه افكنه و در ابتداي دشت تجن قرار مي‌گيرد، داراي لايه‌بندي متوسط و غيريكنواخت بوده، مقطع عمودي آن‌ها از لايه‌هاي مختلف با دانه‌بندي‌هاي گوناگون تشكيل يافته‌اند، اين آبرفت‌ها نتيجة مرحله دوم رسوبگذاري رژيم رودخانه تجن بوده، به همين دليل پس از مخروطه افكنه تشكيل مي‌گردد. ضخامت و وسعت اين نوع آبرفت در حوضه زير پوشش تجن نسبتا خوب است، پتانسيل آبي اين آبرفت به سبب نفوذپذيري و به ويژه تغذيه آبخوان‌ها از طريق مخروطه افكنه ارتفاعات مشرف به دشت و همچنين تغذيه مستقيم از طريق نزولات جوي بسيار خوب مي‌باشد، از نظر بهره‌برداري جزء مناطق مناسب محسوب مي‌گردد، ولي سطح آب‌هاي زيرزميني در طول سال داراي نوسان مي‌باشد و اين تغييرات بستگي به ميزان تغذيه و تخليه سالانه آن‌ها دارد. تيپ آب كربناته و فاقد محدوديت در زمينه‌هاي شرب و كشاورزي است[۱۶].

۳-۳-۲-۳- آبرفت‌هاي پايان‌دشتي: آبرفت‌هاي پايان‌دشتي مرحله نهايي رسوبگذاري است كه بعد از آبرفت‌هاي ميان‌دشتي قرار مي گيرد، ضخامت آن در منطقه تجن با توجه به وضعيت و شرايط رسوبگذاري دانه ريز بوده و داراي وسعت نسبتا كم مي‌باشد. به همين دليل داراي پتانسيل آبي محدود است، كيفيت آب آن‌ها در شرايط خشكسالي متوسط ولي در سال‌هاي پرآبي، نسبتا مناسب است.

۳-۳-۲-۴- رسوبات بادي و ماسه‌اي ساحلي: شامل ماسه‌هاي ساحلي و بادي معمولا از رسوبات سيلتي ماسه‌اي يكنواخت در كرانه‌هاي دريا تشكيل گرديده است. داراي منشأ آبرفتي و توسط رودخانه تجن و مسيل‌هاي انتهايي و ساير رودخانه‌ها و زهكش‌هاي ساحلي آورده شده كه در اثر برخورد با امواج ساحلي به دانه‌هاي ريز ماسه‌اي تبديل و گسترش يافته‌اند. ضخامت آن‌ها در امتداد ساحل متغير

بوده و بستگي به مقدار پيشروي و پسروي آب دريا دارد، اين آبرفت‌ها به عرض چند صد متر و گاهي هم بيشتر گسترده و به صورت تپه ماهورهاي ساحلي نمايان مي‌گردند [۱۶].

اين رسوبات به علت نفوذپذيري بسيار زياد و ريزش‌هاي جوي نسبتا فراوان در نوار ساحلي، سفره‌هاي آبي معلق شيرين را به وجود مي‌آورند، عمق اين سفره‌ها كم بوده و به ساير سفره‌هاي آب زيرزميني ارتباطي ندارد، مقدار برداشت از اين سفره‌ها جهت مصارف كشاورزي بسيار محدود است[۲].

۳-۳-۳- اثرات احداث سد شهيد رجائی بر نحوة بهره-برداری از منابع آب

توزيع مناسب آب ذخيره شده در سد شهيد رجائي و استفاده از جريان‌هاي نابهنگام رودخانه تجن در مناطقي از دشت ساري كه با كمبود آب زيرزميني و يا آب زيرزميني نامناسب رو به رو هستند نقش اساسي در اضافه توليد و افزايش سطح زير كشت محصول استراتژيك برنج داشته است.

بنابراين به شرح نحوه بهره‌برداري از منابع آب قبل و بعد از احداث سد مي‌پردازيم.

۳-۳-۳-۱- بهره‌برداري از منابع آب قبل از احداث سد

قبل از احداث سد شهيد رجائی آب مورد نياز كشاورزي به روش‌های زير تامين مي‌شده است:

الف- از طريق شبكه انهار سنتي: متشكل از رودخانه‌هاي تجن، نكا، سياهرود و ساير آبراهه‌ها فرعي است، شبكه انهار سنتي آبياري منشعب از رودخانه تجن از سرشاخه تشكيل دهنده آن شروع و تا سواحل درياي خزر گسترش يافته است. از محل سليمان‌تنگه واقع و در محل سد كه از سرشاخه‌هاي تجن است تا شمالي‌ترين دشت قريب ۲۱۳ رشت نهر سنتي، آب رودخانه تجن را به اراضي كشاورزي منتقل مي‌نمايد، رودخانه تجن با ۲۱۳ رشته نهر سنتي بزرگترين شبكه انهار را داشته است[۱۶].

ب- آبـبـنـد ان ها : تـعـداد كـل آبـبـنـد ان هاي شنـاسـايـي شده در منـطـقـه ۱۵۲ قـطـعـه و وسعت كل آن ۴۰۴۰ هكتـار بـا حجم تـقـريـبـي آبـگـيـري ۱۰۹ ميـلـيـون مـتـرمـكـعـب است[۱۶].

ج- بـارنـدگـي هاي مؤثـر : ريـزش هاي جوي در فـصول زراعي در حوضه هاي آبـريـز و منـاطق دشتـي تـجن اثر قـابـل ملاحظه اي داشته ، بـخشي از ريـزش ها در تـعديـل تـبـخيـر و تـعرق، تـأمـيـن بـخشي از نـيـاز آبـي كشاورزي، ترميم آب آبـبـنـد ان ها ، ايـجاد جريـانـات سطحي، تـأمـيـن منـابـع آب هاي زيـرزمـيـنـي مؤثـرنـد .

د - آب هاي زيـرزمـيـنـي: بـرداشت از سفـره هاي آب زيـرزمـيـنـي بـه صورت چشمه ، قـنـات، چاه كم عمق، چاه نـيـمه عمـيـق و چاه عمـيـق بـوده است[۱۶].

- اولـويـتبـنـدي منـابـع آب هاي سطحي قـبـل از احداث سد بـه شرح ذيـل مـيبـاشد :

- جريـان هاي بـه هنـگام آب هاي سطحي در مقـطع ورود بـه دشت
- جريـانـات ميـانـي(پـمپـاژ) از منـابـع آب هاي سطحي
- حجم مفـيـد آبـگـيـري آبـبـنـد ان ها بـازاء يـكبـار آبـگـيـري در دوره آبـيـاري
- حجم بـارنـدگـي هاي مؤثـر

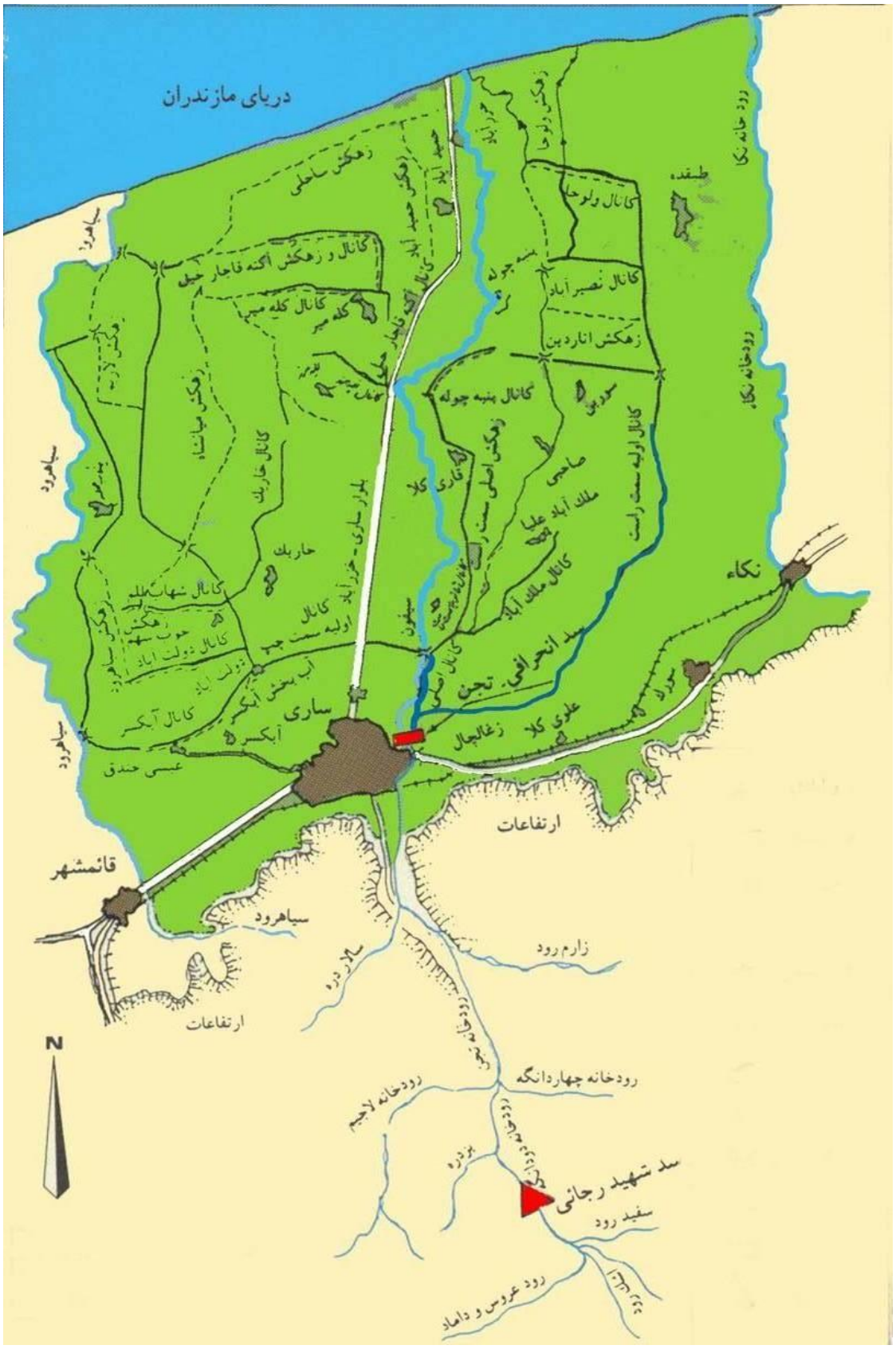
۳-۳-۳-۲- بـهره بـرداري از منـابـع آب بـعد از احداث سد

بـعد از احداث سد شهيد رجايـي، مـهم تـريـن منـبـع تـأمـيـن و هدايت آب هاي سطحي در اراضی دشت تـجن، سد انـحرافـي تـجن مـيبـاشد . بـنـابـراين بـه شرح ويـژگـي هاي اين سد يـا بـنـد انـحرافـي مـيپـردازيـم .

الـف- سد انـحرافـي تـجن: بـعد از احداث سد ،آب هاي سطحي مورد نـيـاز دشت تـجن از طريـق بـنـد انـحرافـي پـايـيـن دست آن بـه كانـال هاي آبـيـاري منـتـقل شده است. بـنـد انـحرافـي درحدود ۱,۵ كيـلـومـتري شمال پـل تـجن (جاده اصلـي ساري- بـهشهر) در شرق شهر ساري قـرار دارد. بـنـد مزبـور از نـوع سرريـز آزاد بـا آبـگـير جانـبـي در سمت راست كه بـا ظرفـيـت ۲۸ تـا ۳۸ مـتـرمـكـعـب در ثانـيـه آب را منـتـقل مـيكنـد و ارتـفـاع سرريـز ۷/۵ متـر از كف رودخانـه مـيبـاشد. كمـي پـايـيـن تـر از سد انـحرافـي، كانـال اصلـي بـه دو شاخه تـبـديـل مـيشود. كانـال اصلـي سمت چپ

رودخانه توسط سیفون (معلم‌کلا) از رودخانه تجن عبور نموده اراضي سمت چپ رودخانه تجن را تحت پوشش آبياري قرار مي‌دهند. شبکه آبياري شامل ۱۲۸ کيلومتر زهکش روباز و ۳۱ کيلومتر زهکش زيرزميني است[۲]. علاوه بر منابع آبي که قبل از بهره‌برداري از سد مورد استفاده قرار مي‌گرفت، آب ذخيره شده توسط سد مخزني و هدايت آن به کانال‌هاي آبياري توسط بند انحرافي تجن، همراه با بهبود وضعيت انهار سنتي و احداث کانال‌ها و انهار مدرن موجب بهبود و توسعه منابع آب در حوضه تجن شده است.

ب- تلفيق شبکه انهار سنتي و شبکه مدرن: شبکه انهار سنتي در دشت تجن با منابع مختلف آب قابل دسترسي شامل، آب سطحي، چاه‌ها، چشمه‌ها، آببندان‌ها و آب‌هاي برگشتي، وسعت زيادي اراضي دشت را پوشش مي‌دادند. در بهينه‌سازي شبکه اصلي آبياري، تأسيسات آبياري و کانال-ها به گونه‌اي پيش‌بيني و طراحي گرديده که شبکه‌هاي مدرن همراه با شبکه سنتي، اراضي وسيعي را به صورت يکپارچه و هماهنگ تحت پوشش قرار مي‌دهند. موقعيت سد انحرافي تجن و سيستم آبياري و زهکشي در دشت تجن در شکل۳-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴: موقعیت سد انحرافي تجن و سیستم آبیاري و زهکشي در دشت تجن

۳-۳-۴- تأثير سد شهيد رجائي بر منابع آب زيرزميني

۳-۳-۴-۱- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر كميت آب زيرزميني

بررسي هيدروگراف واحد آبخوان دشت ساري و آمار بارندگي ماهانه در يک دورة ۱۰ ساله نشان مي‌دهد كه به طور كلي آبخوان آبرفتي با فاصلة زماني حدود يک ماهه نسبت به بارندگي عكس‌العمل نشان مي‌دهد و فراز منحني‌ها با افزايش بارندگي هماهنگي كامل دارد[۱۷].

بررسي تراز آب زير زميني در دشت تجن حاكي از توقف افت آب در سال‌هاي ابتداي بهره‌برداري و بالا آمدن تدريجي آن در سال‌هاي بعد مي‌باشد. اين موضوع با توجه به عكس‌العمل نسبتا سريع سطح آب زيرزميني آبخوان آبرفتي ناحيه مورد مطالعه در برابر بارندگي به طور جدي قابل تأمل مي‌باشد. تنظيم آب ذخيره شدة سد شهيد رجائي و هماهنگي با ماه‌هاي زراعي موجب افزايش بهره‌برداري از آب‌هاي سطحي و كاهش بهره‌برداري آب زيرزميني در فصول كشت (خرداد- تير- مرداد) و افزايش بهره‌برداري از آب زيرزميني در ساير ماه‌ها شده است. مقارن با بهره‌برداري از سد در سال‌هاي خشک ۷۷ الي ۸۰ ميزان بارندگي در محدوده ساري- نكا حدود ۱۶۰ ميلي‌متر كاهش داشت. كه در اثر كاهش بارش (عدم نزول بارش به هنگام) و افزايش بهره‌برداري از آب زيرزميني (افزايش ساعت كاركرد چاه‌هاي بهره‌برداري) انتظار افت قابل ملاحظه‌اي در سطح آب زيرزميني مي‌رفت. در حالي كه تنها در قسمت شرقي دشت كه در محدودة نكا قرار دارد افت قابل ملاحظه‌اي در سطح آب مشاهده گرديد و در محدوده گسترش شبكه آبياري سد شهيد رجايي هيچ گونه افتي در سطح آب زيرزميني ايجاد نشده است.

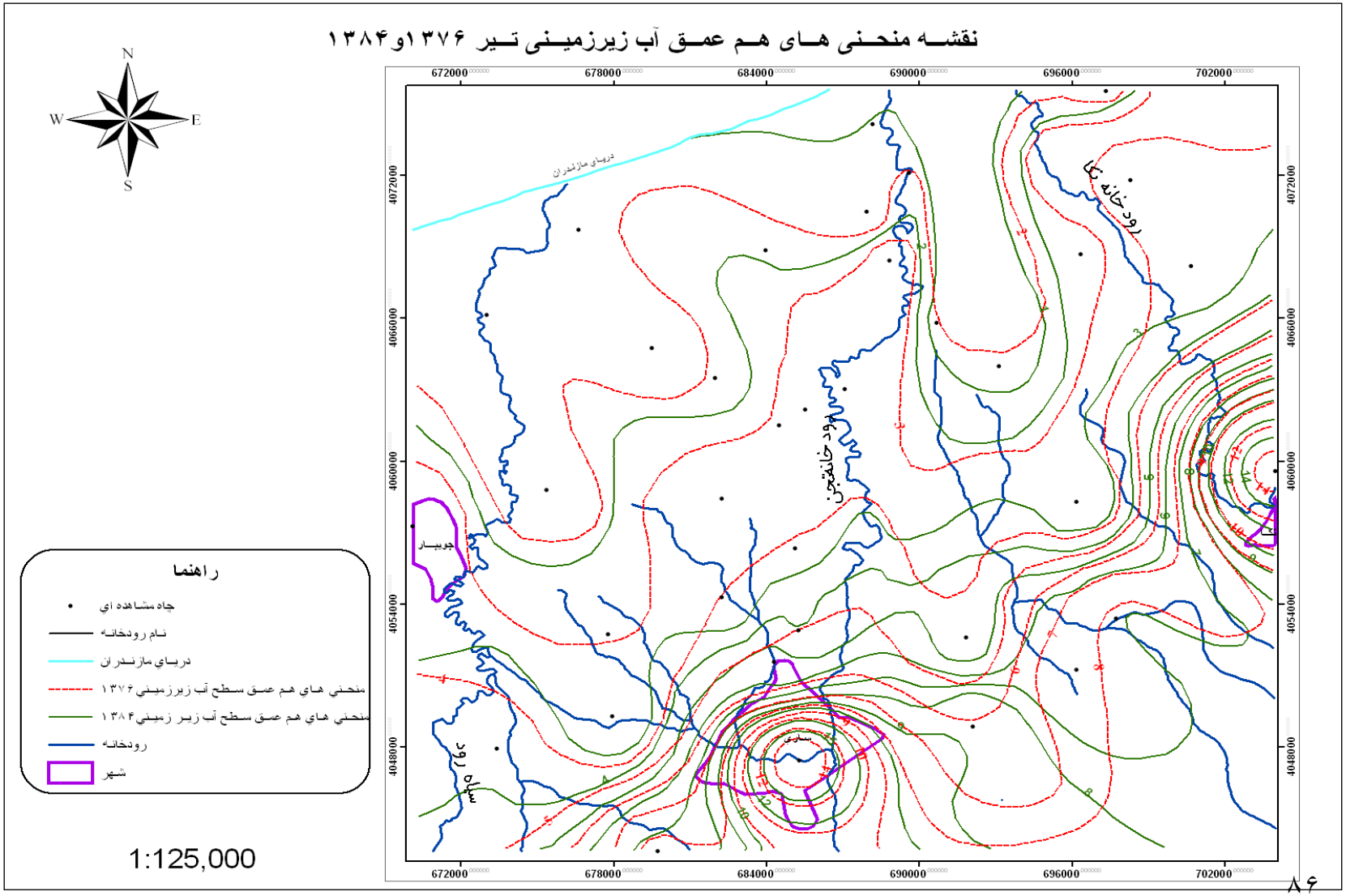
جهت بررسي تغييرات تراز آب زيرزميني در شكل ۳-۱۵ منحني‌هاي هم عمق آب زيرزميني در سال ۷۶ هم‌زمان با بهره‌برداري از سد و ۸ سال بعد از آن در سال ۸۴ ترسيم شده است. منحني‌هاي فوق نشان مي‌دهند كه سطح آب زيرزميني در نواحي جنوبي دشت (حاشيه ارتفاعات

البرز) در اعماق زیاد بیش از ۱۵ متر) و به طرف شمال دشت به تدریج از عمق سطح آب زیرزمینی کاسته شده و به حدود ۲ تا ۱ متر می‌رسد. روند کلی منحنی‌های هم عمق شرقی- غربی بوده در نواحی بین رودخانه‌های منحنی‌ها به سمت جنوب تمایل دارد و در مسیر رودخانه‌ها منحنی‌ها به سمت شمال کشیده می‌شود. برخی منحنی‌های بسته نیز به طور موضعی بین روندهای عمومی فوق وجود دارد که نشانهٔ تغییرات موضعی سطح آب و توپوگرافی زمین است. تغییرات جزئی در منحنی‌های هم عمق قسمت‌های جنوبی دشت به دلیل شیب هیدرولیکی به سمت شمال دشت و حرکت آب‌های زیرزمینی به بخش‌های شمالی دشت و اختصاص کشت آبی محدودتر نسبت به قسمت-های میانی و شمالی دشت قابل توجیه است. منحنی‌های هم عمق نشان می‌دهد که تقریبا از نیمه دشت به سمت شمال سطح آب زیرزمینی در حد بالایی است. با توسعه بهره‌برداری از منابع آب سطحی از طریق شبکه آبیاری تجن و به موازات آن کاهش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی افزایش یافته است. به طور کلی در قسمت‌های جنوبی دشت منحنی‌های هم عمق قبل و بعد از احداث سد تغییر محسوس و معنی‌داری نشان نمی‌دهند، ولی به سمت بخش‌های میانی و شمالی دشت عدم انطباق و ناهمخوانی منحنی‌های هم عمق (در دو بازه زمانی) بیشتر می‌شود. به نحوی که به طور متوسط منحنی‌های هم عمق سال ۷۶ نسبت به سال ۸۴ به طور متوسط ۲ تا ۳ متر افزایش عمق سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در مناطقی از دشت که توسط شبکه آبیاری تحت پوشش قرار گرفته‌اند، منحنی‌های هم عمق سال ۱۳۸۴ به سمت جنوب تمایل یافته و نشان دهندهٔ تغذیه آبخوان و کاهش عمق سطح آب زیرزمینی می‌باشند.

در بخش‌های شمالی دشت، در محدودهٔ منحنی‌های ۱ و ۲ متر در پست‌ترین مناطق دشت برخی از فصول به ویژه اواخر پاییز و زمستان با غرقاب شدن زمین‌های کشاورزی همراه است. برای بهبود وضعیت این مناطق و جلوگیری از اثرات سوئ غرقاب و زه‌دار شدن زمین‌های کشاورزی،

ایجاد سیستم مناسب زهکشی و نیز برداشت بخشی از آب مصرفی کشاورزی از منابع آب زیرزمینی الزامی است. در محدوده شهر ساری، تغییرات قابل ملاحظه ای در عمق آب مشاهده نمی‌شود، احتمال آن وجود دارد که کاهش نفوذ آب (بارش و آبیاری)، کاربری متفوت با سایر بخش‌های دشت و برداشت آب زیرزمینی جهت مصارف مختلف از یک سو و نفوذ فاضلاب‌ها از سوی اثر یکدیگر را خنثی کرده باشند. در مناطق مسکونی به ویژه شهر ساری منحنی‌های هم عمق به صورت بسته و با فواصل نزدیک از هم قرار دارند.

در شکل ۳-۱۵ منحنی‌های هم عمق آب زیرزمینی در تیر ماه سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۵: نقشه منحنی‌های هم عمق آب زیرزمینی دشت ساری- نکا در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴

۳-۳-۴-۲- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر كيفيت آب زيرزميني

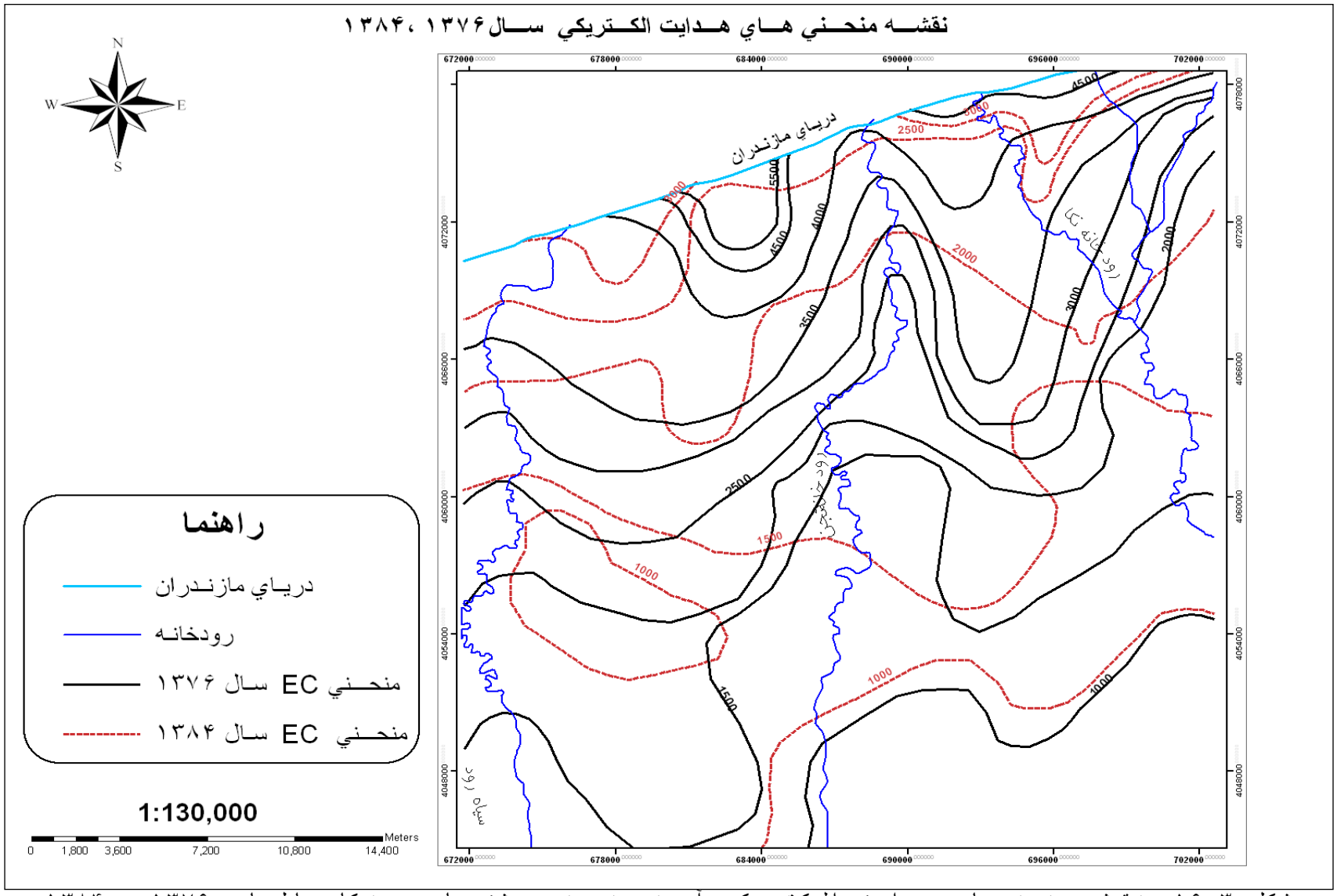
- بررسي نقشة منحني‌هاي هدايت الكتريكي آب زيرزميني

بر اساس نتايج تجزيه شيميايي نمونه‌هاي آب مهر ماه ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴ نقشه منحني‌هاي هدايت الكتريكي آب زيرزميني ترسيم شده است (شكل ۳-۱۶). به علت كامل بودن داده‌ها و آمار هدايت الكتريكی آب زيرزمينی در ماه مهر مربوط به سال‌های ۱۳۷۶ (هم‌زمان با احداث سد) و ۱۳۸۴ اطلاعات چاه‌های دشت تجن را به طور كامل در نرم افزار ARC GIS وارد و رقومی كرده‌ايم و منحنی‌های هم هدايت الكتريكی را برای دشت تجن رسم نموده‌ايم.

همان طور كه ملاحظه مي‌گردد روند منحني‌هاي سال ۱۳۷۶ تقريبا شرقي- غربي است، اما در مسير رودخانه‌ها به ويژه رودخانه تجن به نحو بارزي به سمت شمال متمايل و در نواحي بين رودخانه‌ها، به دليل تغذيه كمتر، منحني‌ها به سمت جنوب تمايل دارد. مقايسه منحني‌هاي هدايت الكتريكي سال ۸۴ به سال ۷۶ نشان مي‌دهد كه در محدودة شبكه آبياري تجن، به دليل افزايش تغذيه آبخوان هدايت الكتريكي كاهش يافته (بهبود كيفی آب زيرزمينی) و منحني‌هاي هدايت الكتريكي به سمت شمال تمايل يافته است. به طور متوسط در فاصله زماني ۸ ساله بعد از احداث سد هدايت الكتريكي آب در دشت حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ميكروموس بر سانتي‌متر كاهش نشان مي‌دهد. روند كاهش **EC** تا آبخوان‌های مجاور ساحل ادامه يافته است و تا حدی از هجوم و نفوذ آب شور دريا در آن‌ها كاسته است.

با توجه به نتايج حاصل از بررسی كيفی آب رودخانه تجن جهت مصارف كشاورزی، آب رودخانه در اغلب مسير خود از لحاظ هدايت الكتريكی دارای كيفيت خوب بوده است، لذا بهره‌برداری گسترده از آب رودخانه تجن (سيستم آبياری و زهكشی جديد تجن) و كاهش برداشت از آب زيرزمينی، بهبود كيفی آب زيرزمينی قابل توجيه خواهد بود.

در شکل ۳-۱۶ نقشه منحنی‌های هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت ساری- نکا (تجن) در مهر ماه سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶: نقشه منحنی‌های هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت ساری- نکا سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴

فصل چهارم

اثرات احداث سد شهید رجائی بر

- ناپایداری دامنه ها و فرسایش ساحلی
- مرفولوژی رودخانه

۴-۱- مقدمه

يكي از فرآيندهاي طبيعي كه پس از احداث يك سد اتفاق مي‌افتد، نفوذ آب درياچه به درون لايه‌هاي اطراف است. در صورت وجود شرايط مستعد نظير لايه‌هاي مارن و شيلی و يا در مواردي كه لايه‌ها شيب تندي به طرف مخزن سد دارند، در نتيجه نفوذ آب اصطكاك بين لايه‌ها كاهش يافته و پايداري شيب طبيعي به هم مي‌خورد و رانش زمين و لغزندگي توده‌اي خاك و سنگ اتفاق مي‌افتد. در اين فصل تأثير احداث سد شهيد رجائي ساري بر حركات دامنه‌اي و ناپايداري شيب‌هاي محدودة مخزن و اطراف آن و نيز اثرات متقابل ناپايداري شيب‌ها بر سد و درياچة آن مورد بررسي قرار گرفته است.

۴-۲- ناپايداري دامنه‌های محدودة مخزن

۴-۲-۱- حركت مواد بر روي دامنه‌ها

در حوضه آبريز سد شهيد رجائي حركات دامنه‌اي به دو شكل حركات ريزشي و لغزشي (زمين لغزه) قابل بررسي مي‌باشند.

۴-۲-۱-۱- حركات ريزشي: اين نوع حركت بيشتر در بخش جنوبي و جنوب غربي و همچنين به طور پراكنده در بخش مركزي حوضه مشاهده مي‌گردد. حركات ريزشي در مناطق كوهستاني از جمله حركات شايع مواد بر روي دامنه‌ها مي‌باشند كه اكثرا در اثر عملكرد يخبندان بر روي سنگ مادر ايجاد مي‌گردد. واريزه‌هاي فعال براي مناطق مسكوني خطرناك مي‌باشند. ريزش‌هاي قديمي كه توسط پوشش‌هاي گياهی تثبيت شده‌اند، خطر چنداني را متوجه مناطق مسكوني نمي‌كنند.

۴-۲-۱-۲- حركات لغزشي: چون اكثر بخش‌هاي حوضه آبريز سد شهيد رجائي جزء محيط‌هاي مرطوب محسوب مي‌گردند. لذا حركات لغزشي اغلب از نوع زمين لغزه انتقالی و يا چرخشي در حوضه وجود دارد. حركت مواد بر روي دامنه‌ها و ساير عوامل فرسايشي، سبب تشكيل دامنه‌هاي نامنظم در اكثر بخش‌هاي حوضه آبريز سد شهيد رجائي شده است.

۴-۲-۲- زمين لغزه‌هاي قبل از احداث سد

حركات توده‌اي در محدودة مخزن قبل از احداث سد توسط مهندسين مشاور مهاب قدس در سال ۱۳۷۴ يعني دو سال قبل از بهره‌برداري سد شهيد رجائي ساري با استفاده از عكس-

هاي هوايي موجود منطقه تهيه شده است. در مطالعه حاضر با بررسي مجدد عكس‌هاي هوايي و بازديدهاي صحرايي در سال ۱۳۸۶ با برخي تغييرات جزئي محدودة زمين لغزه‌هاي فوق مورد تاييد قرار گرفته است. سپس اطلاعات مربوط به زمين لغزه‌ها در نرم افزار ARC GIS ژئورفرنس و رقومي شده است. لغزش‌های فوق را می‌توان به سه گروه زیر تقسیم‌بندی نمود.

- زمين لغزه‌هاي فعال
- زمين لغزه‌هاي داراي پتانسيل لغزش
- زمين لغزه‌هاي پايدار شده

۴-۲-۳- عوامل مؤثر در حركات دامنه‌اي (ناپايداري شيب‌ها) قبل از احداث سد

مجموعه شرايط ليتولوژي واحدهاي چينه‌شناسي، توپوگرافي موجود در محدودة مخزن، شرايط هيدرولوژيك ناحيه به همراه رويداد پي در پي زمين‌لرزه‌هاي بزرگ موجب زمين لغزه‌هاي زيادي در منطقه شده است. عوامل مؤثر بر ايجاد زمين لغزه‌ها قبل از احداث سد عبارتند از:

۴-۲-۳-۱- مقاومت برشي كم به دليل ويژگي‌هاي ذاتي مصالح (ليتولوژي)

رسوبات مارني (K2ml) عمده‌ترين واحدهاي چينه‌شناسي محدوده مخزن را تشكيل مي‌دهند كه لغزش‌هاي متعددي در آن اتفاق افتاده است. سنگ كف ضعيف مارني و ضخامت زياد بخش هوازده و خاك برجا از جمله عوامل مستعد كنندة لغزش مي‌باشد. در اغلب دامنه‌هاي محدودة مخزن لايه‌هاي مارن كه در مجاورت آب به شدت مقاومت خود را از دست مي‌دهند، اين لايه‌ها در زير انبوهي از مصالح تراوا، به صورت يك لاية صابوني عمل نموده و با فراهم شدن ساير شرايط موجبات حركت توده را فراهم مي‌آورد.

۴-۲-۳-۲- افزايش فشار آب منفذي و وزن توده در اثر بارندگي

بارندگي، آبياري مزارع و باغ‌ها، چشمه‌ها و آب‌های زيرزميني موجب افزايش فشار آب منفذي و وزن توده شده

است و يكي از عوامل تشديد كننده حركات توده‌اي مي‌باشد.

۴-۲-۳-۳- زيرشويي رودخانه

در اثر پديده زيرشويي رودخانه، (پاي شيب) پنجة توده فرسايش يافته و با توجه به ساير شرايط لازم، موجبات فعال شدن و به حركت در آمدن توده فراهم شده است.

۴-۲-۳-۴- تكان حاصل از زمين لرزه‌ها

بررسي زمين لرزه‌هاي نسبتا بزرگ ($Mb \geq 6.5$) رويداد سدة بيستم در گسترة ساختگاه سد شهيد رجايي(سليمان‌تنگه) نشان دهندة رويداد دست كم دو زمين لرزة بزرگ در نزديكي ساختگاه سد مي‌باشد. به لحاظ اهميت اين زمين لرزه‌ها در ارتباط با زمين لغزه‌ها در شيب‌هاي منتهي به مخزن سد، در ذيل به تشريح مهم‌ترين آن‌ها پرداخته مي‌شود.

الف- زمين لرزة ۱۹۳۵ كسوت- مازندران (۱۱ آوريل ۱۹۳۵ ميلادي): چند ساعت پس از نيمه شب (به وقت محلي) در ۲۳ فروردين ماه سال ۱۳۱۴ شمسي (۱۹۳۵ ميلادي) يك زمين لرزة ويرانگر به همراه يک رشته پس‌لرزه‌هاي آسيب رسانش در منطقه‌هاي گليجان و چهاردانگه در مازندران بيست و شش روستا را ويران كرد. هشتاد روستا ديگر نيز تا حد ترميم ناپذيري آسيب ديد. در طي بيست و چهار ساعت پس از لرزه اصلي، پنج پس‌لرزة بزرگ رويداد كه انرژي رها شده به وسيلة آن‌ها به اندازه نيمي از انرژي لرزه اصلي بود. به همراه هر يك از اين رويدادها زمين لغزه‌هاي متعددي رويداد كه از آن جمله مي توان به زمين لغزه‌هاي چورت، قاديكلا، دوسله و... اشاره نمود. ساختگاه سد شهيد رجائي در پهنة كلان لرزه‌اي زمين لرزه فوق قرار دارد و بسيار محتمل است كه برخي از زمين لغزه‌هاي محدودة مخزن (سال۱۳۷۴) بر اثر زمين لرزه ۱۹۳۵ كسوت پديد آمده باشند. بزرگاي زمين لرزة كسوت Mb=6.8 برآورد شده است. برخي پژوهشگران اين رويداد را در پيوند با جنبش گسل شمال البرز مي‌دانند كه از مخزن سد عبور مي‌نمايد[۲۰].

ب- زمين لرزهٔ ۲ ژوئيه ۱۹۵۷، بندپي- مازندران: اين زمين لرزه منطقه كوهستاني بندپي (غرب ساختگاه سد) را لرزاند و ويراني‌هاي گسترده‌اي را باعث شد. ريزش سنگ و زمين لغزه‌هاي متعدد در برون، ورزنه، شنگلده، نل و دينان خرابي‌هاي بسياري به بار آورد. اين زمين لرزه با بزرگاي $Mb = 7.0$ و شدت در مقياس مركالي اصلاح شده $I \geq IV$ را در ساختگاه سد اعمال نموده است.

با توجه به ويژگي‌هاي ذكر شده بالا به نظر مي‌رسد كه زمين لغزه‌هاي جوان محدودهٔ مخزن قبل از احداث سد (سال ۱۳۷۴) بيشتر در ارتباط با زمين لرزهٔ كسوت و جنبش‌هاي قديمي‌تر گسل شمال البرز روي داده باشد. مي‌توان انتظار داشت كه در صورت رويداد زمين لرزه‌هاي ديگر با بزرگاي نسبتا بالا، زمين لغزه‌هاي ديگري نيز پديد آيد و يا در وضعيت زمين لغزه‌هاي فعلي تغييرات قابل ملاحظه‌اي روي دهد. در جدول ۴-۱، برآورد تقريبي‌احجام زمين لغزه‌هاي محدودهٔ مخزن قبل از احداث سد، نشان داده شده است.

لغزش‌هاي محدودهٔ مخزن سد شهيد رجائي قبل از احداث سد در شكل ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول شماره ۴-۱: برآورد تقريبي احجام زمين لغزه‌هاي محدود مخزن قبل از احداث سد[۲۰]

نوع زمين‌لغزه	حجم تقريبي (ميليون متر مكعب)
زمين‌لغزه‌هاي فعال	۱۶
زمين‌لغزه‌هاي داراي پتانسيل لغزش	۸
زمين‌لغزه‌هاي پايدار شده	۵۶

۴-۲-۴- زمين لغزه‌هاي بعد از احداث سد

ابتدا بر روي تصاوير ماهواره‌اي IRS سال‌هاي ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ ميلادي محدود برخي از لغزش‌ها تعيين و سپس با بررسي و اندازه‌گيري‌هاي دقيق در محدودهٔ درياچه سد تكميل گرديد. حركات دامنه‌اي پس از احداث سد با بازديدهاي صحرايي متعدد در زمستان۱۳۸۵، بهار و تابستان سال ۱۳۸۶، زمين لغزه‌هاي محدودهٔ مخزن، حركات حاصل از احداث جادهٔ مجاور درياچهٔ سد و ساير ناپايدارهاي شيبي در تراز بالاتر از تراز سطح آب مخزن با GPS اندازه‌گيري شده و در نرم افزار ARC GIS

وارد و رقومی شده است. بررسي و مقايسه ناپايداري شيب‌ها قبل و پس از احداث سد، اثرات احداث سد بر شيب‌هاي منتهي به مخزن و اثرات متقابل اين گونه حركات بر سد را نشان مي‌دهد. به طور كلي حركات توده‌اي و لغزش و تخريب در شيب‌هاي اطراف درياچة سد شهيد رجائی را مي‌توان در چند وضعيت مختلف مورد بررسي قرار داد.

۴-۲-۴-۱- لغزش‌هاي بالاتر از تراز مخزن: لغزش لايه‌هاي سنگ و خاك در ترازي بالاتر از سطح تراز آب مخزن اتفاق مي‌افتد كه در واقع ايجاد سد و نفوذ آب درياچه به درون لايه‌ها در آن‌ها نقشي ندارد، بلكه ساير عوامل موجود در منطقه شرايط لازم براي ناپايداري شيب‌ها را فراهم مي‌آورند[۳۸]. اين حادثه ارتباطي با احداث سد ندارد و روال طبيعي منطقه باعث اين امر مي‌شود. اما پس از لغزش در شيب، توده‌هاي خاك و سنگ به درون درياچه مي‌ريزند و خسارت به بار مي‌آورد. در شكل ۴-۳، زمين لغزه‌هاي جديد فعال بالاتر از تراز مخزن نشان داده شده است. عوامل موثر در ايجاد اين نوع حركات توده‌اي در منطقه، خصوصيات زمين‌شناسي لايه‌ها، بالا بودن فشار آب منفذي (بارندگي و آب زيرزميني) و شيب تند دامنه مي‌باشد.

زمين لغزه‌هاي بالاتر از تراز آب مخزن سد شهيد رجايي به ۳ روش ذيل خساراتي را به بار مي‌آورند:

- ريزش توده‌هاي خاك و سنگ به طور مستقيم به درون درياچه سد
- فرسايش و شستشوي مصالح لغزش يافته توسط بارندگي و رواناب وورود رسوبات به درياچه سد
- فروريزي توده‌هاي خاك و سنگ در بستر آبراهه‌هاي ورودي به درياچه و شستشو و ورود مصالح به درياچه سد

در هر صورت، ورود رسوبات حاصل از اين لغزش‌ها، خساراتي را به بار مي‌آورند كه كاهش حجم مخزن سد و عمر مفيد سد مهم‌ترين آن مي‌باشد.

۴-۲-۴-۲- لغزش‌ها در تراز آب مخزن: احداث سد و ايجاد مخزن خود باعث عدم تعادل

شيب‌هاي ساحلي و موجب وقوع زمين لغزه به داخل مخزن سد و موجب فروريزي لايه‌هاي سنگ و خاك ارتفاعات بالادست سطح آب به مخزن مي‌شود.
معمولا عدم پايداري شيب‌ها در تراز مخزن سد شهيد رجايي در اثر تغييرات شديد تراز سطح آب مخزن ايجاد مي‌شود. به اين صورت كه با افزايش سطح آب موجب نفوذ آب در لايه‌ها و با فرو نشست آب درياچه سد لايه‌هاي مارني كه با جذب آب حالت صابوني يافته و با كاهش اصطكاك و تزلزل در ساختمان لايه‌بندي موجب حركات توده‌اي و زمين لغزه مي‌گردند. بنابراين در هنگام بهره‌برداري بايستي توجه داشت كه تخلية سريع مخزن موجب افزايش احتمال لغزش شيب‌ها مي‌شود.
در شكل ۴-۲، زمين لغزه‌هاي جديد فعال در تراز مخزن نشان داده شده است.

۴-۲-۴-۳- لغزش پايين‌تر از تراز مخزن: لغزش‌ها در ترازي پايين‌تر از سطح تراز آب مخزن واقع شده‌اند. همان طور كه در شكل ۴-۱ (نقشه حركات دامنه‌اي قبل از ساخت سد) نشان داده شده است، پس از آبگيري سد برخي از زمين لغزه‌هاي فعال در ترازي پايين‌تر ازمخزن واقع مي‌شوند كه جنبش آن‌ها در ظرفيت مخزن تاثيري نخواهد داشت. حركات آن‌ها تا حدي، از ديدگاه به وجود آمدن ضربات هيدروديناميكي بر بدنة سد اهميت خواهد داشت.

۴-۲-۴-۴- زمين لغزه‌هاي حاصل از احداث جاده: احداث سازة زيربنايي و مهمي چون سد شهيد رجايي با بهبود وضعيت جاده‌ها و ساخت جاده‌هاي جديد در منطقه همراه بوده است.
نزديك‌ترين جاده به محدودة مخزن سد، جادة ساري به دودانگه مي‌باشد كه با شروع مطالعات سد و بعد از آن تعريض و آسفالت شده است. تعدادي از لغزش‌هاي جديد در اثر ترانشه‌زني و خاكبرداري از پاي دامنه‌هاي خاكي صورت گرفته است. احداث ترانشه با شيب زياد بدون تمهيدات نگهدارنده، تغيير در زهكشي طبيعي دامنه و عدم اجازه خروج آب، قطع درختان و حذف اثرات پايدار كننده درختان از جمله دلايل وقوع اين لغزش‌ها بوده

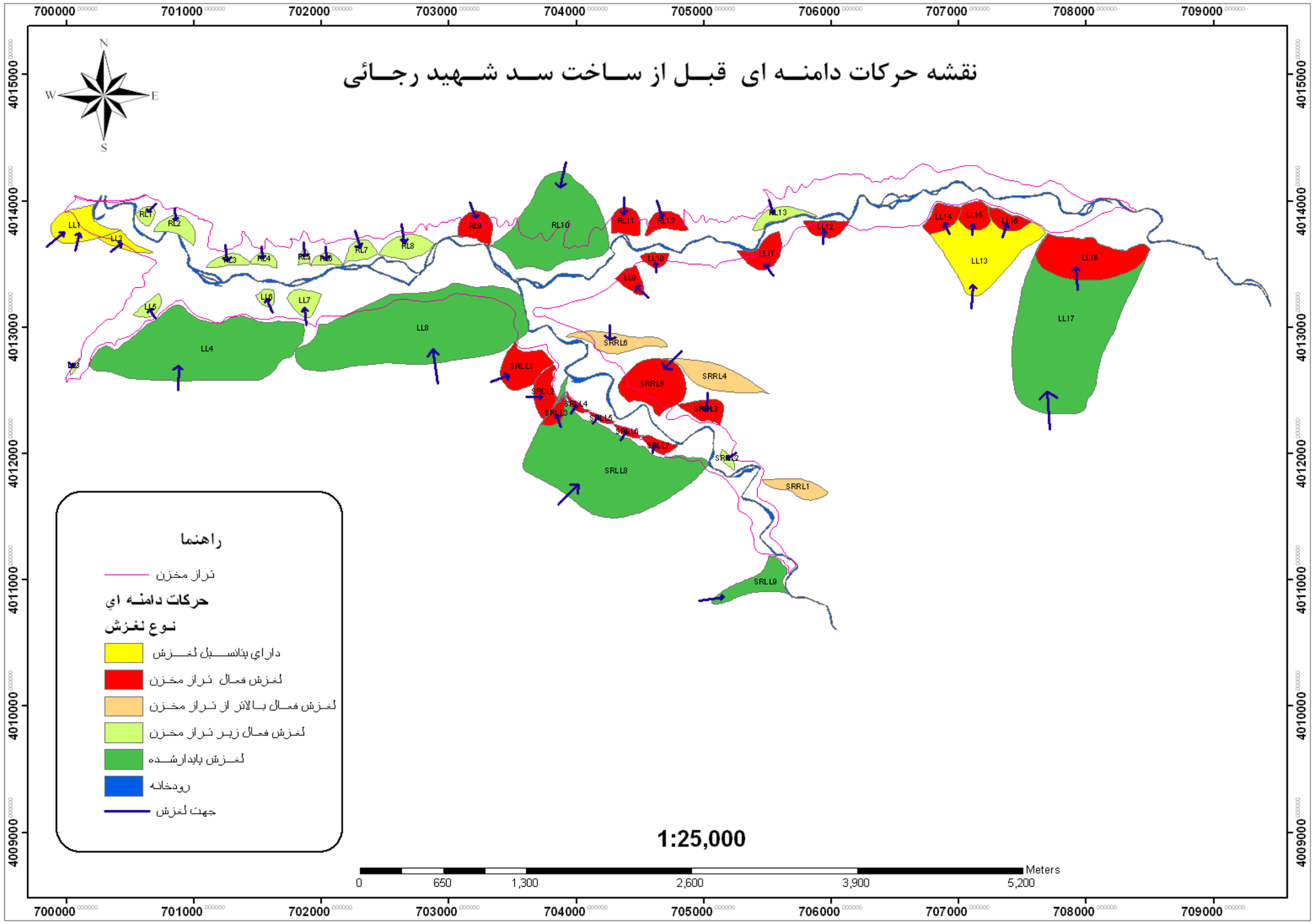
است. شکل ۴-۲ زمین لغزه‌های جدید در محدودهٔ مخزن سد شهید رجائی را نشان می‌دهند.

۴-۲-۵- نام‌گذاری حرکات توده‌ای

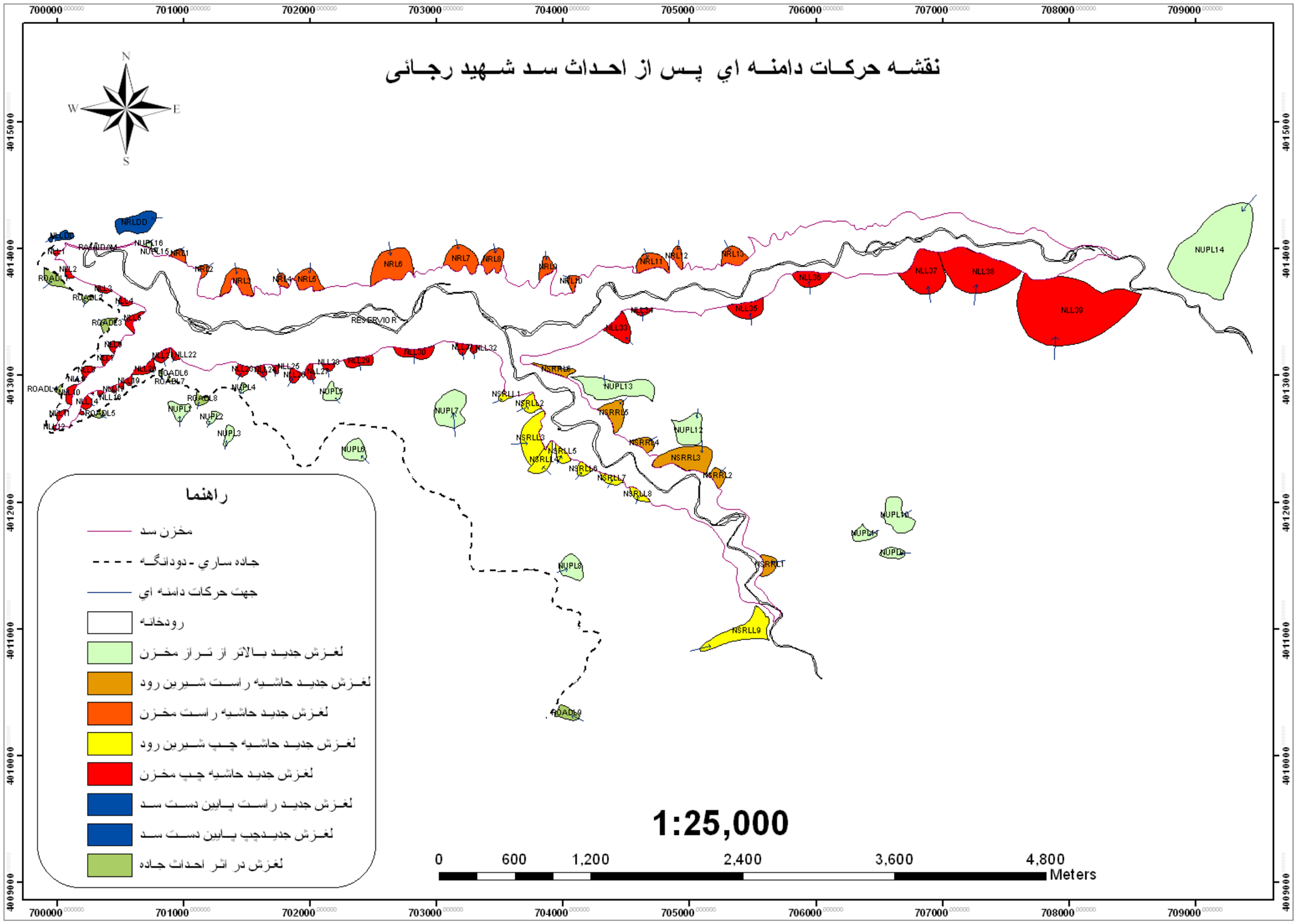
نام‌گذاری لغزش‌های محدودهٔ مخزن از سمت راست بدنهٔ سد آغاز شده است. هر یک از حروف لاتین از اولین حرف عبارت مورد نظر گرفته شده و به اختصار در کنار هم قرار گرفته شده است. برای نمونه L علامت اختصاری Land slide و N علامت اختصاری New می‌باشد. نحوهٔ نام‌گذاری حرکات توده‌ای در جدول شمارهٔ ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول شماره۴-۲: نام‌گذاری حرکات توده‌ای

موقعیت	قبل از احداث سد	بعد از احداث سد (جدید)
ساحل راست شاخهٔ اصلی مخزن	RL	NRL
ساحل چپ شاخهٔ اصلی مخزن	LL	NLL
ساحل راست شاخهٔ شیرین‌رود	SRRL	NSRRL
ساحل چپ شاخهٔ شیرین‌رود	SRLL	NSRLL
بالاتر از تراز مخزن	- - -	UPL
در اثر احداث جاده	- - -	ROADL



شکل ٤-١: لـغزش‌های محدود ة مخزن سد شهید رجائی قبـل از احد اث سد



شکل ۴-۲: زمین لغزه های جدید در محدوده مخزن سد شهید رجائی

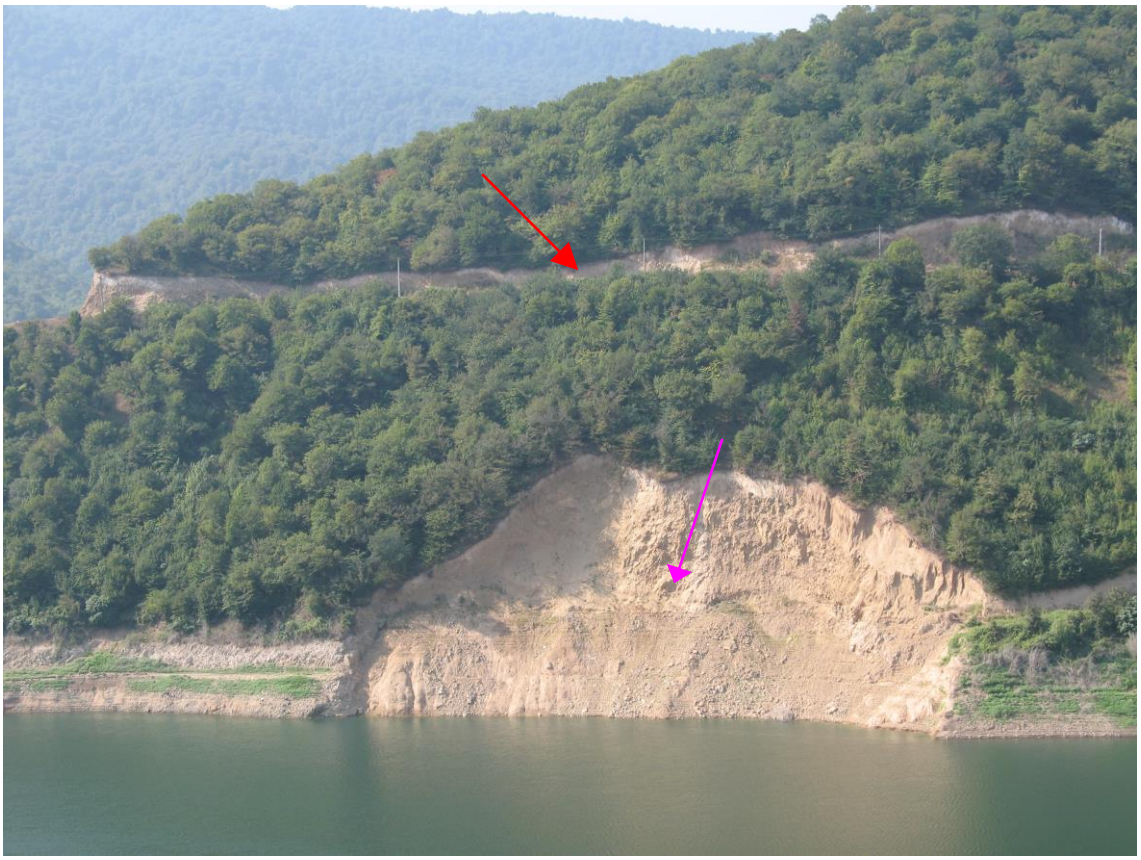
۴-۲-۶- بررسي مناطق پر خطر در شيب‌هاي اطراف درياچة سد شهيد رجايي

- از ميان لغزش‌هاي اندازه‌گيري شده قبل از احداث سد LL1 كه به عنوان زمين لغزة داراي پتانسيل لغزش شناسايي شده است. پس از آبگيري سد به دليل نفوذ آب درياچه به درون لايه‌ها و افزايش فشار منفذي و ساير عوامل محرك مانند احداث جاده و تردد وسايل نقليه سنگين، ليتولوژي و شيب زياد دامنه، فعال شده است. NLL2 و NLL1 به علت نزديكي اين زمين لغزه‌ها به بدنة اصلي سد ممكن است موجب مسدود شدن خروجي‌هاي تحتانی سد گردد. از سوي ديگر اين زمين لغزه در دامنه پايين دست جاده و با فاصله بسيار كمي از آن، تهديدي براي جاده محسوب مي‌گردد.

- زمين لغزه‌هاي نزديك به بدنة سد و مناطق عميق درياچة سد از ساير زمين لغزه‌ها خطرناك‌ترند. زيرا هر چه زمين لغزه‌ها به بدنة اصلي سد و تاسيسات جانبي آن نزديكتر باشد، خطراتي از جمله گرفتگي در سيستم آبگيرها و خروجي‌ها، تخريب دريچه‌ها و آشغالگيرها و كاهش كارائي سيستم بهره‌برداري را به همراه خواهد داشت[۳۹]. از اين رو زمين لغزه‌هاي دور از بدنة سد، بيشتر موجب كاهش حجم مفيد سد مي‌گردند. زمين لغزه‌هايي مانند NRL1 و NRL2 و NLL1 و NLL2 و NLL3 و NLL4 كه به بدنة سد نزديكترند، خطر بيشتري از لحاظ ايجاد امواج بلند در سطح درياچه و فشار به بدنة سد دارند.

- زمين لغزه‌هائي كه دامنه‌هاي پايين‌دست جاده مي‌باشد. زمين لغزه‌هاي شمارة NLL1 تا NLL20 در تراز سطح آب مخزن و نيز در فاصلة كمي در دامنة پايين جادة ساري- دودانگه قرار گرفته‌اند. اين لغزش‌ها علاوه بر اثرات سوء بر درياچة سد، جاده را نيز تهديد مي‌كنند. در شكل ۴-۳ زمين لغزة NRL2 (دومين زمين لغزه از لحاظ فاصله از بدنة سد) را در تراز آب مخزن سد شهيد رجائي و در فاصلة بسيار ناچيزي در پايين جادة ساري- دودانگه نشان مي‌دهد.

- تعدادي از زمين لغزه‌هاي جديد ساحل چپ شاخة اصلي مخزن با نام هاي NLL1 الي NLL13 در مجاورت اسكلة تفريحي و توريستي شيرين‌رود، موجب ايجاد مناظر ناخوشايند و نيز تهديدي براي اين اسكلة تفريحي مي‌باشد. در شكل ۴-۵ زمين لغزه‌هاي متعدد را در تراز آب مخزن سد شهيد رجائي و در مجاورت اسكلة تفريحي و توريستي شيرين‌رود نشان مي‌دهد.



شكل ۴-۳: زمين لغزة NRL2 را در تراز آب مخزن سد شهيد رجائي و در پايين جادة ساري- دودانگه

شکل ۴-۴: زمین لغزه‌هاي متعدد در مجاورت اسکلة تفریحي و توریستي شیرین‌رود

شکل۴-۵: زمین لغزة NLL21 در تراز آب مخزن سد شهید رجائي

۴-۲-۷- ثبت و کنترل حرکات برخي تودههاي خطرناك

- محدودة زمين لغزة LL1 به خاطر نزديكي به محور سد و نيز زمين لغزههاي پايدار قديمي LL4 و LL7 به خاطر ابعاد بزرگ و نيز نزديكي به محور سد بايستي تحت كنترل و نظارت قرار گيرند. براى اين منظور اقدامات زير توصيه ميگردد.

- نصب تعدادي نقاط نشانه و انحرافسنج[1] در قسمتهاي مختلف اين زمين لغزهها.

- برداشت هفتگي آنها از روي نقاط ثابت موجود در محل سد (به ويژه بعد از هر بارندگي)

- حفر تعدادي ترانشه در راستاي شيب هيدروليكي (ترجيحا افزايش عمق آبراههاي موجود) به منظور جلوگيري از نفوذ آبهاي سطحي و كاهش فشار آب منفذي

۴-۲-۸- روشهاي پيشنهادي تثبيت زمين لغزههاي محدودة سد شهيد رجائی

جدول ۴-۳ عوامل مؤثر در وقوع حركات دامنهاي در محدودة سد شهيد رجائي

عوامل مؤثر در وقوع حركات دامنهاي درمحدودة سد شهيد رجائي	
عوامل مؤثر در افزايش تنش برشي	عوامل موثر در كاهش مقاومت
۱-تنشهاي زودگذر زمين -زلزله -ارتعاش ناشي از كار ماشين آلات ساختماني و تردد وسايل نقليه سنگين در جادهها	۱-تغييرات ناشي از هوازدگي -آبگيري كانيهاي رسي -از بين رفتن سيمان بين ذرات در اثر انحلال -تخريب فيزيكي سنگهاي دانهاي تحت عمل يخ و انبساط
۲-از بين رفتن تكيهگاههاي جانبي و زيرين -فرسايش و زيرشويي دامنهها توسط رودخانهها و نهرها ، باران - انحلال و انتقال -فعاليتهاي انساني مانند ايجاد ترانشهها ، گودالها -ايجاد مخازن و درياچههاي مصنوعي و نوسانات سطح آب (سد شهيد رجائي)	۲- ساختهاي عمده و وضعيت هندسي آنها -گسلها ، شكستگيها -طبقات ضخيم و تودهاي بر روي مصالح پلاستيك -مقدار شيب دامنه -جهت شيب -تناوب طبقات تراوا و ناتراوا
۴-افزايش روباره	۳-عوامل موثر در تغيير نيروهاي

[1]. Tiltmeter

-عوامل طبيعي شامل وزن باران ،تگرگ، برف ، آب چشمه ها -عوامل انساني شامل خاكريزها ، انباشت زباله ها -وزن آب ناشي از رها سازي فاضلاب‌ها ، ساختمان سازي، كشاورزي و آبياري بر روي دامنه ها	بين دانه اي -فشار آب در منافذ و شكستگي‌هاي‌باران، ذوب برف، آبياري، از بين بردن پوشش گياهي و جنگل‌زدايي و مهم‌تر از همه ايجاد مخازن (مخزن سد شهيد رجائي)
۵-اعمال فشارهاي جانبي -فشارآب در شكاف‌ها و حفرات ،يخ زدن آب درشكاف‌ها	۴-شرايط ذاتي و اوليه (لتيولوژي) - تركيب كاني شناسي و شيميايي و بافت

بر اساس عامل اصلي، فعاليت زمين لغزه‌ها كه در جدول ۴-۳ آورده شده است روش‌هاي پيشنهادي تثبيت براي آن‌ها به شرح ذيل مي‌باشد :

الف- براي زمين لغزه‌هايي كه عامل اصلي ناپايداري آن-ها مقاومت ضعيف لايه‌هاي مارني مي‌باشد ، راه‌حل‌هاي قابل طرح شامل زهكشي زيرسطحي، احداث ديوار حايل، اصلاح هندسي شيب مي‌باشد .

ب- براي لغزش‌هايي كه عامل اصلي بي‌ثباتي آن‌ها ، افزايش فشارآب منفذي و افزايش وزن توده در اثر بارندگي، آب-هاي زيرزميني و... مي‌باشد . راه‌حل‌هاي ممكن شامل زهكش سطحي، اصلاح هندسي توده، كاشتن درختان آبدوست مي‌باشد .

ج- براي زمين لغزه‌هايي كه عامل مؤثر در حركت توده‌ها ، زيرشويي رودخانه مي‌باشد ، روش تثبيت شامل ساماندهي رودخانه، ايجاد ديوار حايل و زهكش مي‌باشد .

۴-۲-۹- اقدامات حفاظتي پيشنهادي جهت پايداري شيب‌هاي ساحلي سد شهيد رجائي

۱- تراسبندي مناسب براي حفظ شيب‌هاي ديواره‌هاي اطراف مخزن و جناحين.

۲- كشت گياه بر روي تراس‌ها به عنوان حفاظت بيولوژيكي.

۳- ايجاد سنگ چين، گابيون يا ديواره‌هاي حايل.

۴- ايجاد سيستم هاي زهكش مناسب براي خشك نگاه داشتن لايه هاي زمين.

۷- دستورالعمل مناسب بهره‌برداري از آب سد بر اساس كند نمودن تخليه (تخلية سريع مخزن موجب افزايش احتمال لغزش شيب‌ها مي‌شود).

۴-۳- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر فرسايش ساحلي در محدودة مخزن سد

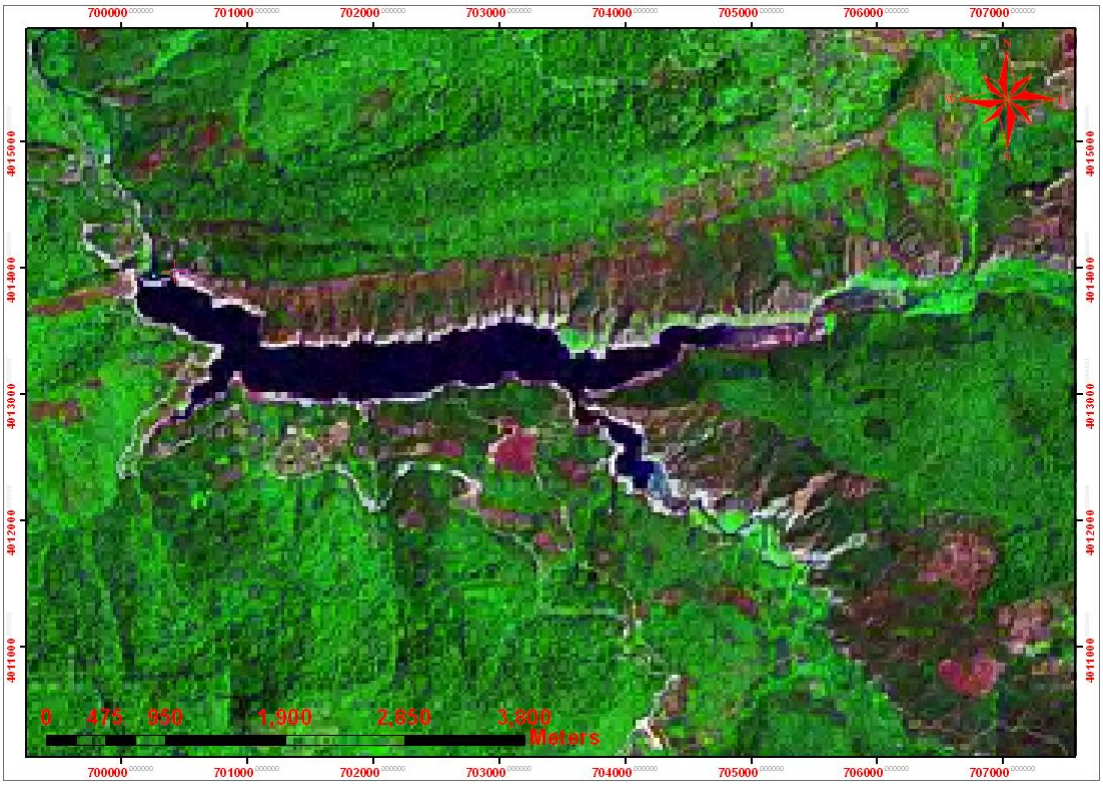
با استفاده از تصاویر ماهواره‌اي IRS سال‌هاي ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ میلادي و +ETM سال ۲۰۰۳ میلادي و بررسي‌هاي میداني و بازدید از محدودة مخزن، مناطق تحت تاثیر فرسایش ساحلي تعیین گردیده است و در نرم افزار ARC GIS رقومي و نقشه فرسایش ساحلي محدودة مخزن ترسیم شده است. شکل ۴-۶ فرسایش ساحلي در دامنه‌هاي منتهي به مخزن سد شهید رجائي را نشان مي‌دهد.

شکل ۴-۶: فرسایش ساحلي در دامنه‌هاي منتهي به مخزن سد شهید رجائي

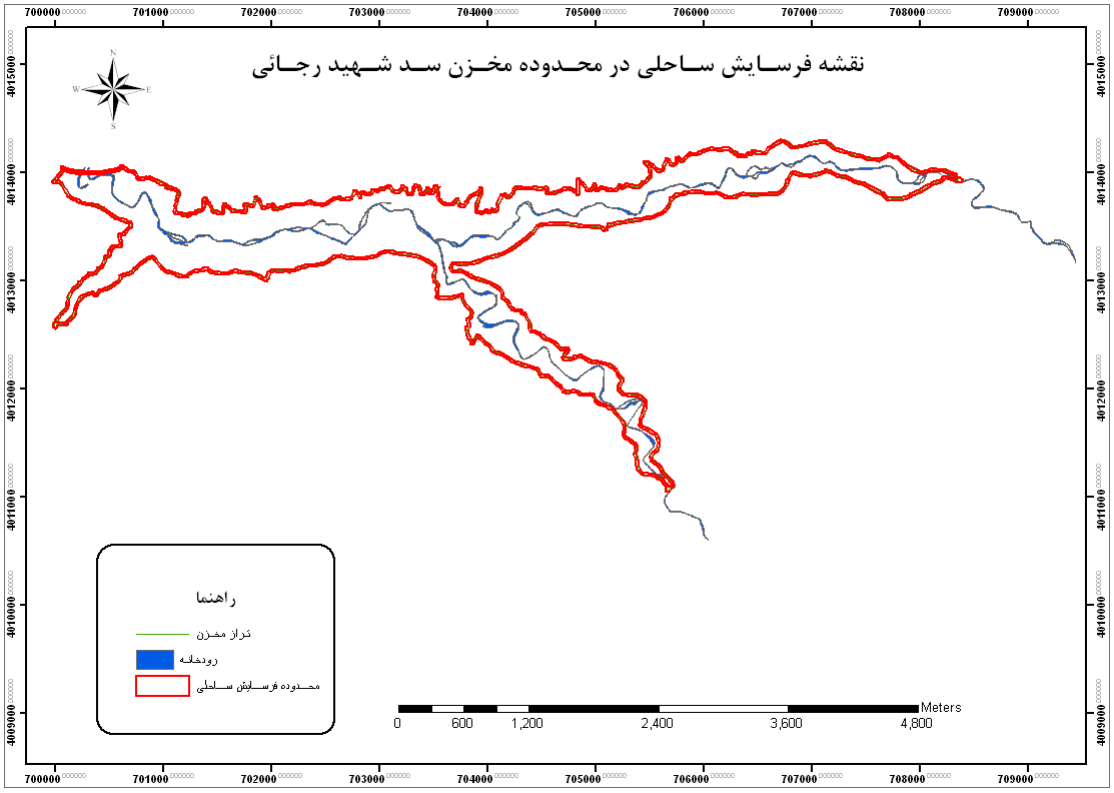
بالا آمدن سطح آب دریاچه سد شهید رجائي موجب تغییراتي در محیط زیست اطراف سد شده است. از جمله در فاصله بین سطح تراز حداقل و حداکثر مخزن، خط ساحلي در معرض امواج دریاچه قرار گرفته و سبب فرسایش دائمي در این نواحي شده است. توسعة فرسایش و فروریزي خاک و سنگ در حاشیة ساحلي دریاچه موجب وارد آمدن خساراتي به اسکلة تفریحي شیرین‌رود، ناپایداري شیب‌ها (یکي از عوامل بروز و تشدید زمین لغزه) و تخریب اراضي جنگلي مجاور ساحل دریاچه شده است. از اثرات غیر مستقیم این

فرسايش مي‌توان كاهش حجم مخزن، تغيير كيفي آب درياچه، مشكل راه و دسترسي به درياچه و رشد نباتات ناخواسته را نام برد، از اين رو فرسايش ساحلي را مي‌توان به عنوان يكي از عوامل، با اثرات زيست محيطي منفي سد شهيد رجائي به شمار آورد.

با توجه به تغييرات تراز سطح آب مخزن در دوره‌هاي زماني و فصول مختلف محدودة نوسات در حد اقل و حد اكثر سطح آب در ARC GIS رقومي و به صورت نقشه فرسايش ساحلي تهيه گرديده است. شكل ٤-٧ و ٤-٨ فرسايش ساحلي در محدودة مخزن سد شهيد رجائي را به ترتيب در ETM+ سال ٢٠٠٣ و نقشه رقومي تهيه شده را نشان مي‌دهد.



شكل ٤-٧: فرسايش ساحلي در محدودة مخزن سد شهيد رجائي در تصوير ETM+ سال ٢٠٠٣



شكل ٤-٨: نقشه فرسايش ساحلي در محدودة مخزن سد شهيد رجائي

۴-۴- مرفولوژي رودخانه

رودخانه را مي‌توان يك سيستم باز در نظر گرفت كه در حالت تعادل پويا ست و در آن متغيرهاي وابسته‌اي چون شكل رودخانه، شيب و طرح افقي رودخانه با داده‌هاي ميزان دبي و رسوب هماهنگ مي‌باشد. هرگاه تغييري در هر يك از اين داده‌ها پديد آيد، اين سيستم با هماهنگ كردن ويژگي‌هاي مرفولوژيكي خود با وضعيت جديد به سرعت واكنش نشان مي‌دهد. نخستين موضوعي‌كه توجه دانشمندان در زمينة مرفولوژي را به خود مشغول داشته است، طرح افقي رودخانه يا پلان آن است. بررسي‌هاي مرفولوژي رودخانه‌ها در دنيا نشان مي‌دهد كه با توجه به طيف وسيع تغييرات در رژيم آبدهي رودخانه، كميت و نوع رسوبات، جنس مواد بستري و...، تغييراتي در الگوهاي پلان رودخانه ايجاد مي‌شود (به عبارت ديگر پلان هر رودخانه معرف بسياري از ويژگي‌هاي مرفولوژيكي و ديناميكي آن است). اغلب احداث سازه‌هاي متقاطع به ويژه سازه‌هاي عظيمي چون سدها با تغييراتي در هيدروگراف رودخانه‌ها

موجب بروز پاره‌اي از تحولات در مرفولوژي رودخانه مي گردند. از اين رو در اين بخش به بررسي تغييرات مرفولوژي رودخانه تجن حاصل از احداث سد شهيد رجائي مي‌پردازيم.

۴-۴-۱- بررسي شبكة هيدورگرافي بالادست سد شهيد رجائي

منظور از شبكة هيدروگرافي، شبكة آبراهه‌هاي سطحي مي‌باشد كه بر اثر آب‌هاي جاري تشكيل مي‌گردد. البته اين شبكه زهكشي خود تابعي از خصوصيات مرفولوژيكي و زمين‌شناسي حوضه مي‌باشد. در حوضه آبريز سد شهيد رجائي، آبراهه‌ها بر اساس آزادي تنظيم بر دو نوعند:

- ساختماني (مؤثر از شيب، امتداد لايه‌ها، نوع و جهت شكاف‌ها و گسل‌ها و چين خوردگي‌ها)
- ليتولوژيكي (مؤثر از سختي، نفوذپذيري، كميت و كيفيت شكاف‌ها و يا ميزان انحلال‌پذيري سنگ‌ها)

رودهاي سفيدرود و رودبارك و بخش‌هايي ديگر از شبكه هيدروگرافي از جمله رودهايي هستند كه در اثر عوامل ساختماني تشكيل شده‌اند، اغلب سرشاخه‌ها و شاخه‌هاي تجن در حوضه آبريز سد شهيد رجائي در امتداد گسل‌هاي شمالي-جنوبي يا شمال غربي، جنوبي غربي به وجود آمده‌اند. آبراهه‌هاي ليتولوژيكي كه مؤثر از سنگشناسي منطقه مي‌باشند نيز در حوضه آبريز سد شهيد رجائي وجود دارند. نكته قابل توجه اينكه اغلب آبراهه‌هاي در بالا-دست سد ساختماني و مؤثر از شيب، امتداد لايه‌ها، جهت گسل‌هاي منطقه مي‌باشند. شكل۴-۱۰شبكة هيدروگرافي در بالادست سد را كه به طور عمده تابع عوامل ساختماني و گسل‌هاي منطقه مي‌باشد، نشان مي‌دهد.

۴-۴-۲- مرفولوژي رودخانه‌ها[۱] در بالادست سد شهيد رجائي

در حوضه آبريز سد شهيد رجائي، رودخانه‌ها واقع در مناطق كوهستاني، شيب بستر زياد، و عرض كم و با سرعت جريان بالاي آب مي‌باشند. سيستم زهكشي و شبكة آبراهه‌ها در مبحث قبلي توضيح داده شده است، آبراهه‌هاي متعدد و فرعي با اشكال مختلف به آبراهة اصلي مي‌پيوندند و

---

۱. River Morphology

آبراهه‌هاي اصلي اغلب به شكل مستقيم مي‌باشند. در محل اتصال شاخه‌هاي فرعي، مقداري عرض رودخانه افزايش مي‌يابد ولي در ساير مناطق با شيب بستر تند و عرض كم جريان دارد. بر اساس تقسيم‌بندي سن، مسير شاخه‌هاي سفيدرود و شيرين‌رود و آبراهه‌هاي فرعي با بستر V شكل، عملا در حال فرسايش بستر خود مي‌باشد و جز در رودخانه‌هاي جوان[1] تقسيم‌بندي مي‌شوند. شاخه‌هاي اصلي در بستر
پهن‌تري جريان دارند و مقداري از شيب بستر آن‌ها نسبت به سر شاخه‌ها، كاسته شده است و فرسايش كناري و ديواره‌هاي رودخانه بيشتر از فرسايش بستر گرديده است و جزء رودخانه‌هاي تقريبا بالغ[2] محسوب مي‌شوند. افزايش فرسايش كناري و ديواره‌ها در اين رودخانه‌ها موجب وقوع پاره‌اي از لغزش‌ها و ريزش‌ها در حاشيه آن‌ها شده است.

۴-۴-۳- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر مرفولوژي رودخانه تجن

سد شهيد رجائي تأثيرات محسوسي بر رودخانه تجن داشته است، به طوري كه احداث آن موجب تغييراتي در زمان، بزرگي، فراواني جريان و دبي آب و رسوب رودخانه شده است كه مجموع اين عوامل موجب تغيير در رژيم رودخانه و فرسايش آن مي‌گردد. در اين فصل با استفاده از داده‌هاي قبل و بعد از احداث سد شهيد رجائي از جمله داده‌هاي هيدرولوژيك و تصاوير ماهواره‌اي IRS و EIM^{+} كه به نوعي در تجزيه و تحليل تغييرات رودخانه مؤثرند، ضمن بهره‌مندي از مطالعات اسنادي و كتابخانه‌اي و نيز كارهاي ميداني تفصيلي، به بررسي تحليلي تغييرات پرداخته شده است. نتايج نشان مي‌دهد كه متعاقب احداث سد شهيد رجائي، پاره‌اي از تغييرات در رودخانه تجن رخ داده است كه به شرح ذيل مي‌باشد:

۴-۴-۳-۱- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر مرفولوژي رودخانه در بالادست

---

[1]. Young Rivers

[2]. Submature Rivers

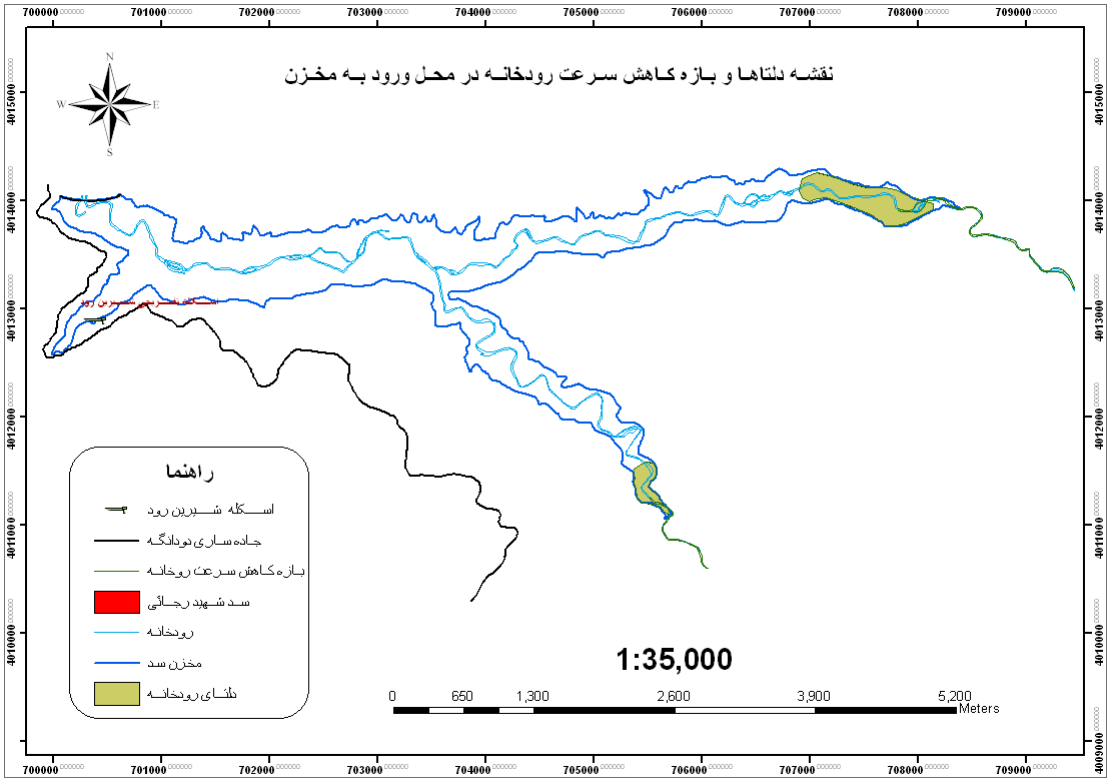
۴-۴-۳-۲- تغییرات مرفولوژي رودخانه تجن در پایین‌دست سد

۴-۴-۳-۱- اثرات احداث سد شهید رجائي بر مرفولوژي رودخانه تجن در بالادست

قبل از احداث سد، سطح اساس رودخانه، سطح تراز آب دریاي مازندران (خزر) بوده است ولي گاهي برخي از فعالیت‌هاي انساني، نظیر احداث سازه‌هاي عظیم آبي چون سد شهید رجائي موجب تغییر سطح اساس قبلي به سطح اساس جدید شده است. سطح اساس جدید و موقتي (در طول عمر سد)، سطح تراز آب مخزن دریاچة سد مي‌باشد. با این سطح اساس جدید پاره‌اي از تغییرات به ویژه در بازه‌هاي پایاني دو رودخانة سفیدرود و شیرین‌رود ایجاد شده است که به طور خلاصه به شرح ذیل مي‌باشند.

- سطح اساس جدید بالاتر از سطح اساس قبلي بوده و در نتیجه از فرسایش بستر و کف رودخانه به مقدار قابل توجهي کاسته شده و در نتیجه فرایند کفکني در بازه پایاني این دو رودخانه کم و متوقف شده است.
- شیب بستر، سرعت جریان و قدرت حمل رسوب به شدت کاهش یافته است و بر شدت فرایند رسوبگذاري در بازه‌هاي پایاني دو شاخة اصلي سد، افزوده شده است.
- در محل ورود شاخه‌هاي ورودي و تغذیه‌کنندة مخزن (شیرین‌رود و سفیدرود)، فرایند رسوبگذاري با سرعت انجام شده، با ادامه فرایند رسوبگذاري، مقدار بیشتري از شیب بستر روخانه کاسته و محدودة رسوبگذاري به شکل دلتایي ظاهر شده است.
- در نتیجه کاهش سرعت جریان و رسوبگذاري در مصب رود به دریاچه سد پاره‌اي از گونه‌هاي گیاهي به ویژه ني و گونه‌هاي شناور در آب رشد کرده که موجب کاهش مقداري از سرعت جریان و نیز بدنه‌هاي آن‌ها موجب به دام انداختن بخشي از رسوبات شده است.

در شکل ۴-۹، دلتاهاي ایجاد شده در مصب شیرین‌رود و سفیدرود به دریاچة سد شهید رجائي و بازه پایاني کاهش سرعت این رودخانه‌ها مؤثر از سطح اساس جدید نشان داده شده است.



شکل ۴-۹: دلتا هاي ايجاد شده و بازه پايانی کاهش سرعت در مصب شيرين‌رود و سفيدرود

۴-۴-۳-۲- اثرات احداث سد شهيد رجائي بر مرفولوژي رودخانه تجن در پايين‌دست

مکانيزم تغييرات رودخانه ها در طول مسيرشان هماهنگ با تغييرات ايجاد شده در شيب، دبي، رسوب و دانه‌بندي و... مي‌باشد. همان طور که در شکل۴-۱۳، ملاحظه مي‌گردد، روند تغييرات رودخانه تجن از قسمت‌هاي کوهستاني و پاي دامنه کوهستاني و دشت و سرانجام مصب در ۵ بازه، نشان داده شده است. تقسيم‌بندي رودخانه تجن به بازه‌هاي مختلف در پايين‌دست سد بر اساس پارامترهاي ذيل مي‌باشد:

الف- تقسيم‌بندي از نظر شکل ظاهري (مستقيم، شرياني و پيچ و خم دار (مئاندري))

ب- تقسيم‌بندي از نظر زمين‌شناسي (جوان، بالغ و پير)

ج- تقسيم‌بندي از نظر آزادي تنظيم

الف- تقسيم‌بندي رودخانه تجن از نظر شکل ظاهري: متداول‌ترين نوع تقسيم‌بندي، پلان رودخانه هاي آبرفتي را در سه

کلاس رودخانه مستقیم[۱]، شریانی[۲] و پیچ و خم دار[۳] (مئاندري) تقسیم مینماید[۶]. بررسیهاي صحرایي و تصاویر ماهوارهاي منطقه مؤید وجود هر سه نوع آبراههاي مستقیم، شریاني و مئاندري در رودخانه تجن میباشد. رودخانه تجن در مناطق کوهستاني به صورت شاخهاي و مستقیم با عرض متوسط کم و در دامنه کوهستان و در ابتداي ورود به دشت آبراهه به صورت شریاني و در نهایت در دشت تجن با شیب بستر کم آبراههها به صورت مئاندري در آمدهاند.

ب - تقسیمبندي رودخانه تجن از نظر زمینشناسي: به طور کلي رودخانه تجن در امتداد مسیر خود خصوصیات جوان تا پیر را نشان میدهد. سرشاخههاي جوان تجن در منطقه کوهستاني با شیب زیاد و راستاي نامنظم جریان داشته و با مقطع V شکل در حال کفکني میباشند. بخشهاي بالغ رودخانه تجن در درههاي عریض با شیب کمتر جاري بوده و تخریب دیوارهها جانشین فرسایش کف بستر شده و نسبتا پایدار شدهاند. بخشهاي پیر در دشت سیلابي عریض با شیب بسیار کم و کاملا مارپیچ جاري هستند

ج- تقسیمبندي رودخانه تجن از نظر آزادي تنظیم: رودخانه تجن بر حسب آزادي تنظیم به دو بخش اصلي تقسیم میشوند:

- بخشهایي از تجن که توسط سنگ بستر کنترل میشوند از نظر شیب، راستا، شکل و ابعاد داراي محدودیتهایي هستند (بازههاي پاییندست سد تا دشت تجن).
- بازههاي پایاني تجن (در دشت تجن) که در بستري از نوع مواد آبرفتي در جریان بوده و در تعادل طبیعي با متغیرهاي مستقل (قطر ذرات رسوب و دبي جریان) میباشند.

رودخانه تجن بر اساس تلفیقي از معیارهاي فوق به ۵ بازه تقسیمبندي میشود.

---

۱ - Straight

۲ - Braiding

۳ - Meandering

- بازه اول: حد فاصل سد مخزني شهيد رجائي تا روستاي لارما

اين بازه بين سد مخزني شهيد رجائي و روستاي لارما قرار دارد و از لحاظ زمين‌شناسي رودخانه‌اي نيمه جوان در منطقه كوهستاني و با شيب و راستاي عمومي N35W جريان داشته و با مقطع V متمايل U در حال تكامل مي‌باشد .طول آبراهه ۹ كيلومتر و طول مسير مستقيم (فاصله افقي بين دو نقطه عطف در بازه)۷,۴ كيلومتر مي-باشد. از لحاظ پايداري با توجه به ساخت سد شهيد رجائي، قدرت حمل رسوب بازه اول بالا رفته، موجب افزايش كفكني در درة رودخانه و نيز تشديد فرسايش كناري در ديواره‌هاي رودخانه شده است.در اثر كاهش ميزان رسوبات انتقالي از بالادست به پايين‌دست سد، نيروهاي اصطكاكي شروع به جبران اين كاهش رسوب در جهت رسيدن به تعادل جديد به وسيله بلندكردن ذرات از بستر رودخانه نموده و كفكني بستر رودخانه از زير سد شروع شده و به تدريج به سمت پايين دست گسترش يافته است. در بخش‌هاي ابتدايي بازه، به علت افزايش قدرت حمل رسوبات روند افزايشي فرسايش كناري و بستر روخانه مشهود است، به طوري كه افزايش قدرت فرسايشي رودخانه موجب بروز ريزش و لغزش در ديواره‌هاي شرقي حاشيه رودخانه شده است.

- بازه دوم: حدفاصل روستاي لارما تا پل علوي كلا

در اين بازه رودخانه‌هاي لاجيم و چهاردانگه به رودخانه تجن مي‌ريزند. از لحاظ زمين‌شناسي رودخانه در اين بازه با مقطع U شكل و نسبتا بالغ در منطقه پاي دامنه كوهستان با شيب ملايم‌تري نسبت به بازه اول جريان دارد. در اين بازه رودخانه در طول مسير به صورت مستقيم و راستاي تقريبي شمالي-جنوبي و متمايل به شرياني جريان دارد. طول آبراهه ۱۶ كيلومتر و طول مسير مستقيم (فاصله افقي بين دو نقطه عطف در بازه) ۱۴,۵ كيلومتر مي‌باشد. به علت ورود بار رسوبي از طريق رودخانه‌هاي لاجيم و چهاردانگه، مقداري از قدرت فرسايشي رودخانه كاسته شده است. علاوه بر احداث سد

شهيد رجائي، پاره‌اي از دخالت‌هاي انساني نظير برداشت بدون تدبير شن و ماسه موجب تغييراتي در رودخانه تجن شده است. معادن برداشت شن و ماسه در اين بازه از رودخانه به اندازه كافي از پل‌هاي ارتباطي فاصله دارند. مهم‌ترين معدن، معدن برداشت مصالح گرمستان است كه در بالادست پل
علوي كلا قرار دارد، برداشت غير اصولي شن و ماسه موجب افزايش عرض رودخانه به طور موضعي و نيز تغيير مسير جريان اصلي شده است.

- بازه سوم: حد فاصل پل علوي كلا تا روستاي ما هفروز محله

بازه سوم شامل دو بخش A و B مي‌باشد:

بخش **A**: رودخانه در اين بخش عرض كمتري نسبت به B دارد و راستاي آن N45W مي‌باشد. طول آبراهه ۱۰ كيلومتر و طول مسير مستقيم ۹,۱ كيلومتر مي‌باشد

بخش B: در اين بخش عرض متوسط رودخانه افزايش مي‌يابد و راستاي آن نيز تقريبا شمالي- جنوبي مي‌باشد. . طول آبراهه ۲۰,۵ كيلومتر و طول مسير مستقيم ۱۸,۵ كيلومتر مي‌باشد ساير ويژگي‌هاي اين دو بخش در تمام طول بازه سوم تفاوت محسوسي ندارد.

در اين بازه شاخة اصلي روخانه تجن، يعني زارم‌رود به آن مي‌پيوندد و در نتيجه مقاديري بر رسوب رودخانه افزوده مي‌شود. رودخانه در اين بخش بالغ و با مقطع U شكل و به صورت شرياني جريان دارد. تعداد جزاير رسوبي در نزديكي شهر ساري افزايش مي‌يابد. عرض روخانه در محل اتصال
شاخه‌هاي فرعي افزايش چشمگيري دارد و موجب افزايش پهنه‌هاي سيل‌گير شده است.

مشكلات متعددي در اين بازه وجود دارد كه از جمله مي‌توان به موارد ذيل اشاره نمود:

- برداشت بي رويه شن و ماسه: عمده‌ترين تأثيرات معادن برداشت شن و ماسه بر وضعيت تعادل رودخانه و مشكلات ايجاد شده در اين بازه افزاش ضريب زبري بستر رودخانه، پايين افتادن تراز بستر، تغيير مسير اصلي

جريان، افزايش عرض رودخانه، انتقال رسوب از بالادست معادن به پايين‌دست، به جا ماندن چاله‌هاي برداشت، برجا ماندن ديواره‌هاي خاكي به منظور انحراف موقت جريان مي‌باشد.

- تجاوز به حريم رودخانه و گسترش زمين‌هاي كشاورزي:

تعديل دبي پيك رودخانه تجن و از طرفي در مواقع كم آبي دبي پايه رودخانه قابل ملاحظه مي‌باشد، اين موضوع شرايطي فراهم كرده تا شاهد توسعه و گسترش زمين‌هاي كشاورزي و ساير كاربري‌ها در سيلاب دشت رودخانه در پاره‌اي از مناطق باشيم. اثرات سوء اين تجاوز، محدود ساختن عرض مفيد رودخانه، افزايش سرعت جريان و افزايش قدرت حمل رسوبات و انحراف جريان به ساحل ضعيفتر و افزايش پتانسيل فرسايش و در نهايت كاهش مقاومت ساحل و ايجاد شرايط مناسب جهت فرسايش و ريزش و لغزش در ديواره‌ها مي‌باشد.

در اين بازه سازه‌هاي متقاطع مهمي در روي رودخانه تجن احداث شده است كه به شرح ذيل مي‌باشد: - پل‌ها: پل‌هاي مهم در اين بازه، پل علويكلا در ابتداي بازه، پل پايين‌كلا، لگورد، پل راه آهن ساري، پل ارتباطي ساري-نكا (پل تجن) و چندين پل كوچك ديگر مي‌باشد.

پايين افتادگي بستر رودخانه و عمل كفكني در محل تكيه-گاه‌هاي اكثر پل‌هاي اين بازه مشهود است و هر چه به سمت شهر نزديكتر مي‌شويم، مسئله كفكني بستر رودخانه حادتر مي‌شود.

- سد انحرافي تجن: در حدود ۱۵۰۰ متر پايين تر از پل تجن، سد انحرافي شبكه آبياري و زهكشي با سر ريز بتني اوجي شكل و ارتفاع سد از كف رودخانه ۴/۵ متر قرار دارد. بخشي از رسوبات در پشت سد انحرافي انباشته شده است.

برداشت شن و ماسه از محدوده روستاي معلم كلا، در پايين‌دست سيفون معكوس معلم كلا اثرات سوء بر پايداري اين سيفون داشته است. زمين‌هاي حد فاصل بين رودخانه و جاده ارتباطي در ساحل راست رودخانه از سوي اهالي به بدترين شكل ممكن استفاده مي‌شود. احتمال آب گرفتگي و

تخريب اين ناحيه و جاده در شرايط طغياني رودخانه زياد است. در محدوده روستاي اردشير محله فرسايش بستر رودخانه كه نهايتا به صورت يك آبشار در آمده است. به نظر مي‌رسد عامل اصلي تشكيل اين آبشار از نظر زمين-شناسي مصالح سست بستر رودخانه (Qtl با پهنه‌هاي سليت و رسي) بوده است، علاوه بر اين كاربري نامناسب دشت سيلابي رودخانه و محدود نمودن مسير جريان رودخانه و تحميل سرعت جريان بيشتر به رودخانه مي‌باشد. برداشت غيراصولي شن و ماسه از بستر رودخانه نيز در اين امر بي تاثير نيست. مصالح بستر رودخانه در اين ناحيه ريز دانه بافت سستتري نسبت به ساير قسمت‌هاي روخانه تجن دارد و شايد يكي از علت‌هاي پيشروي سريع پايين افتادگي بستر به شكل دراپ حدود يك كيلومتر شده است.

- بازه چهارم: حد فاصل روستاي ماهفروز محله تا روستاي خزر آباد

در اين بازه، رودخانه حالت مئاندري يا پيچان‌رود به خود مي‌گيرد و به همين شكل تا روستاي خزر آباد به مسير خود ادامه مي‌دهد. در اين بازه خط القعر تا كناره‌ها اختلاف ارتفاع زيادي دارد و آب در يك دره U شكل عميق جريان دارد، پوشش زنده طبيعي جداره‌ها (درختان رشد كرده در دو طرف رودخانه) خود يك عامل حفاظتي براي رودخانه محسوب مي‌شوند. طول آبراهه ۲۹ كيلومتر و طول مسير مستقيم (فاصله افقي بين دو نقطه عطف در بازه) ۱۵ كيلومتر مي‌باشد، از لحاظ زمين-شناسي در اين بازه واحد Qtl با پهنه‌هاي سليت و رسي، كه تمام بخش ساحلي (شمال ساري) و Qal (آبرفت‌هاي سست)، بخشي از مسير رودخانه تجن را پوشانده است.

- بازه پنجم: مصب (حدفاصل روستاي خزر آباد تا ساحل دريا)

اين بازه حد فاصل روستاي خزر آباد تا ساحل درياي خزر مي‌باشد. طول آبراهه ۲,۳ كيلومتر و طول مسير مستقيم (فاصله افقي بين دو نقطه عطف در بازه) ۲,۱۶ كيلومتر مي‌باشد. رودخانه در مسيري مستقيم و كوتاه با راستاي شمالي-جنوبي وارد درياي خزر مي‌شود.

مصب رودخانه تجن در ۳۰ کيلو متري شمال شهرستان ساري در ناحيه شمال روستاي خزر آباد قرار دارد. دلتاي رودخانه تجن کروي شکل و تقريبا متقارن بوده که واجد گسترش نسبتا وسيعي نيز مي‌باشد. پراکنش رسوبات دلتايي بيشتر در کرانه‌هاي شرقي رودخانه نسبت به يال غربي آن قابل مشاهده است. مشخصات دلتاي رودخانه تجن، طول و عرض دلتا به ترتيب ۱۴۵۰ و ۵۰۰ متر و عرض رودخانه حدود ۱۰۰ متر مي‌باشد. در اين بخش حالت تقارن در رسوبات دلتائي و مصب به وضوح مشاهده مي‌شود. از تداخل امواج در اين قسمت ريپل مارک‌هاي شبکه‌اي است که به صورت چهار ضلعي‌هاي مربع شکل بر سطح رسوبات قابل مشاهده است. از آثار بسيار زيان آور فرايندهاي تداخل امواج انسداد و تنگ شدگي دهانه رودخانه تجن است که به لحاظ زيست محيطي و مسائل آلودگي و حفاظت از سواحل همواره خسارات هنگفتي را به مناطق ساحلي وارد نموده است. به طورکلي دلتای تجن ساختار حفاظتي مناسب و ايده‌آلی براي مناطق ساحلي مجاور خود محسوب مي‌شود. زيرا وجود آن موجب کاهش عمق دريا در مناطق ساحلي شده و امواج قبل از برخورد به سواحل در نقاط کم عمق‌تر شکسته شده و انرژي خود را از دست مي‌دهد. اما بايد خاطر نشان کرد جابجائي و فرسايش دلتا توسط نيروهاي هيدروديناميکي موجب تضعيف بخشي از سواحل گرديده، که رسوبات از آن ناحيه نقل مکان يافته‌اند.

پژوهشگران مرکز خزر در فدراسيون روسيه روند تغييرات تراز آب را پيش‌بيني و در چنين وضعيتي پيش‌بيني شده است که تراز آب تا سال ۲۰۱۰ ميلادي (۱۳۸۹ ش) شمسي روند رو به افزايش خود را حفظ نموده و به رقم ۲۵,۵۲- متر خواهد رسيد که اين رقم در سال مبنا (۱۹۹۲ م) ۱,۴۷ متر افزايش را نشان مي‌دهد (۱,۴۳ متر بالاتر از متوسط تراز آب ۱۳۷۷). بدترين حالت در پيش‌بيني افزايش تراز آب در سال ۲۰۰۵ ميلادي تحقيقات پرفسور کليگه[۱] ۲۴,۲- متر، بوده است[۱۵]. افزايش تراز آب نه تنها منطقة وسيعي را دچار آب گرفتگي کرده است، بلکه با سرعت فوق‌العاده‌اي

۱. klige

روند تشدید فرسایش و تخریب سواحل و دلتای تجن را در پیش گرفته است. با کاهش بخشي از بار رسوبي در رودخانه تجن بعد از احداث سد انتظار آن را داریم که فرسایش ساحلي تشدید و تغییرات در وضع مرفولوژي ساحل ایجاد گردد، ولي تداخل روند صعودي سطح آب دریاي خزر با این عامل امکان تفکیک را دشوار و اظهار نظر قطعي در مورد اثر سد را دشوار مي‌سازد. از سوي دیگر عوامل زیر از شدت کاهش بار رسوبی در اثر احداث سد مي‌کاهند.

- در زیرحوضه تجن سه زیرحوضه دیگر نیز در پایین‌دست سد به رودخانه تجن مي‌ریزند که در سال‌هاي بعد از احداث سد افزایش رسوب را نشان مي‌دهند.
- در فاصله ما بین سد و ساحل دریا که حدود ۸۰ کیلومتر مي‌باشد، رودخانه تجن با افزایش شدت فرسایش بخش اعظم کاهش بار رسوبي را جبران مي‌نماید.

نتیجه آنکه با کاهش بار رسوبی رودخانه تجن و به هم خوردن تعادل رسوب و رسوبگذاری و نیز افزایش سطح آب دریای خزر، روند رشد دلتا کم و کاهش یافته و فرسایش ساحلی شدت یافته است.

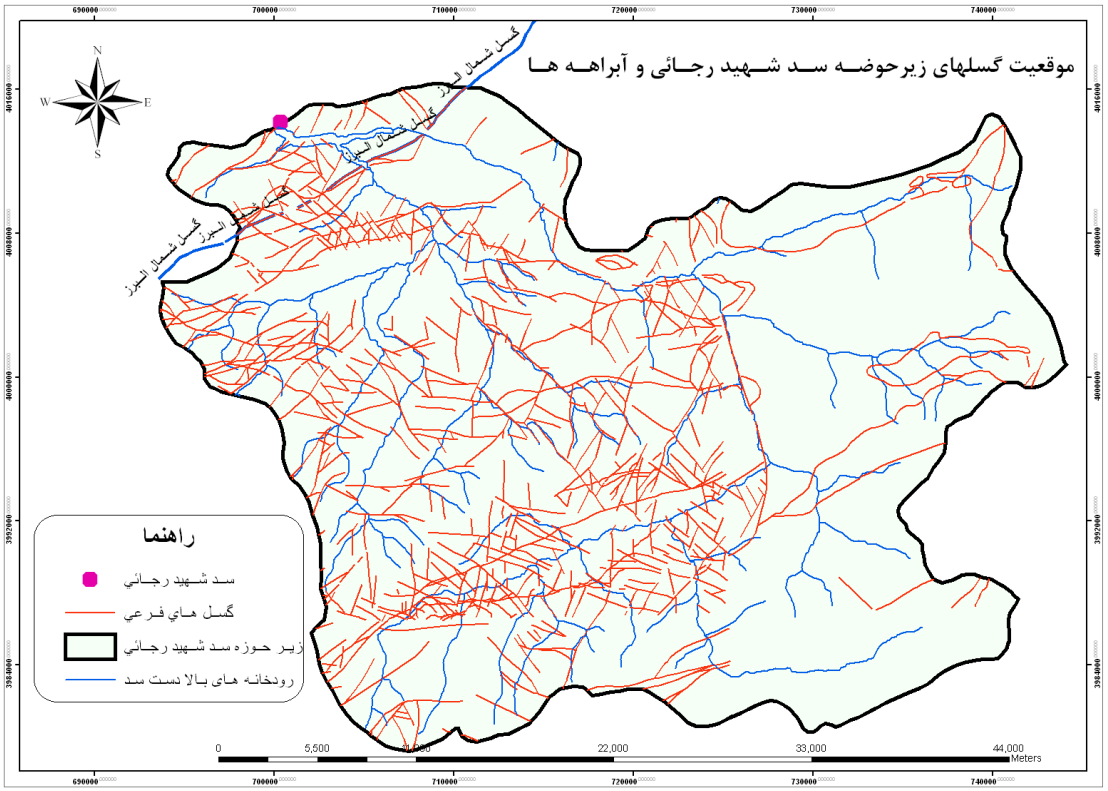
- نتایج حاصل از بررسي مرفولوژي رودخانه تجن به شرح ذیل مي‌باشد.

الف- سرشاخه‌هاي تجن در بالادست سد بیشتر تحت تاثیر وضعیت ساختماني و راستاي گسل‌هاي منطقه مي‌باشند. البته در برخي آبراهه‌ها تبعیت از زمین‌شناسي منطقه نیز مشهود است (شکل۴-۱۱).

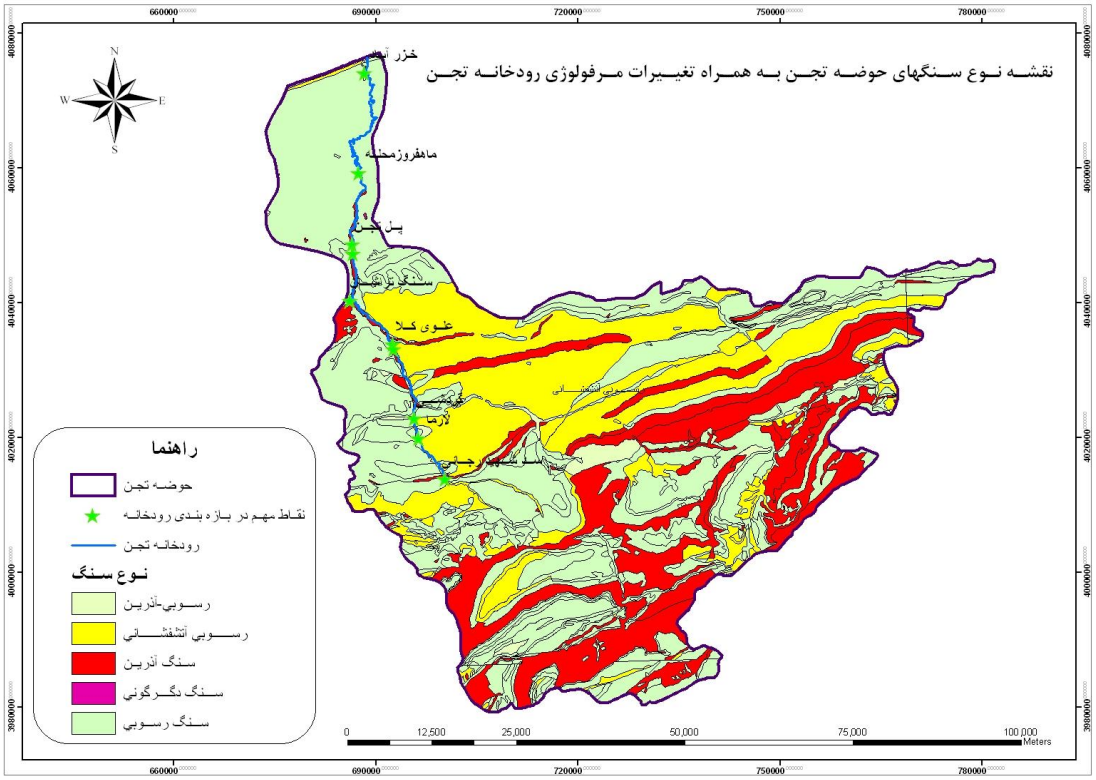
ب- در پایین‌دست سد رودخانه توسط سنگ بستر (سنگ شناسی) کنترل مي‌شوند از نظر شیب، راستا، شکل و ابعاد داراي محدودیت‌هایي مي‌باشد، پس از ورود به دشت تجن در بستري آبرفتي، سست و دانه ریز آزادي عمل بیشتري دارد و در تعادل طبیعي با متغیرهاي چون قطر ذرات رسوب و دبي جریان مي‌باشد. در شکل ۴-۱۱ نقشه نوع سنگ‌های حوضه تجن به همراه تغییرات مرفولوژی رودخانه تجن (تابع سنگ شناسی) در پایین‌دست سد را نشان داده است.

در شکل ۴-۱۲ مرفولوژي رودخانه در پایین‌دست سد را که به طور عمده متأثر از لیتولوژي مي‌باشد، نشان داده

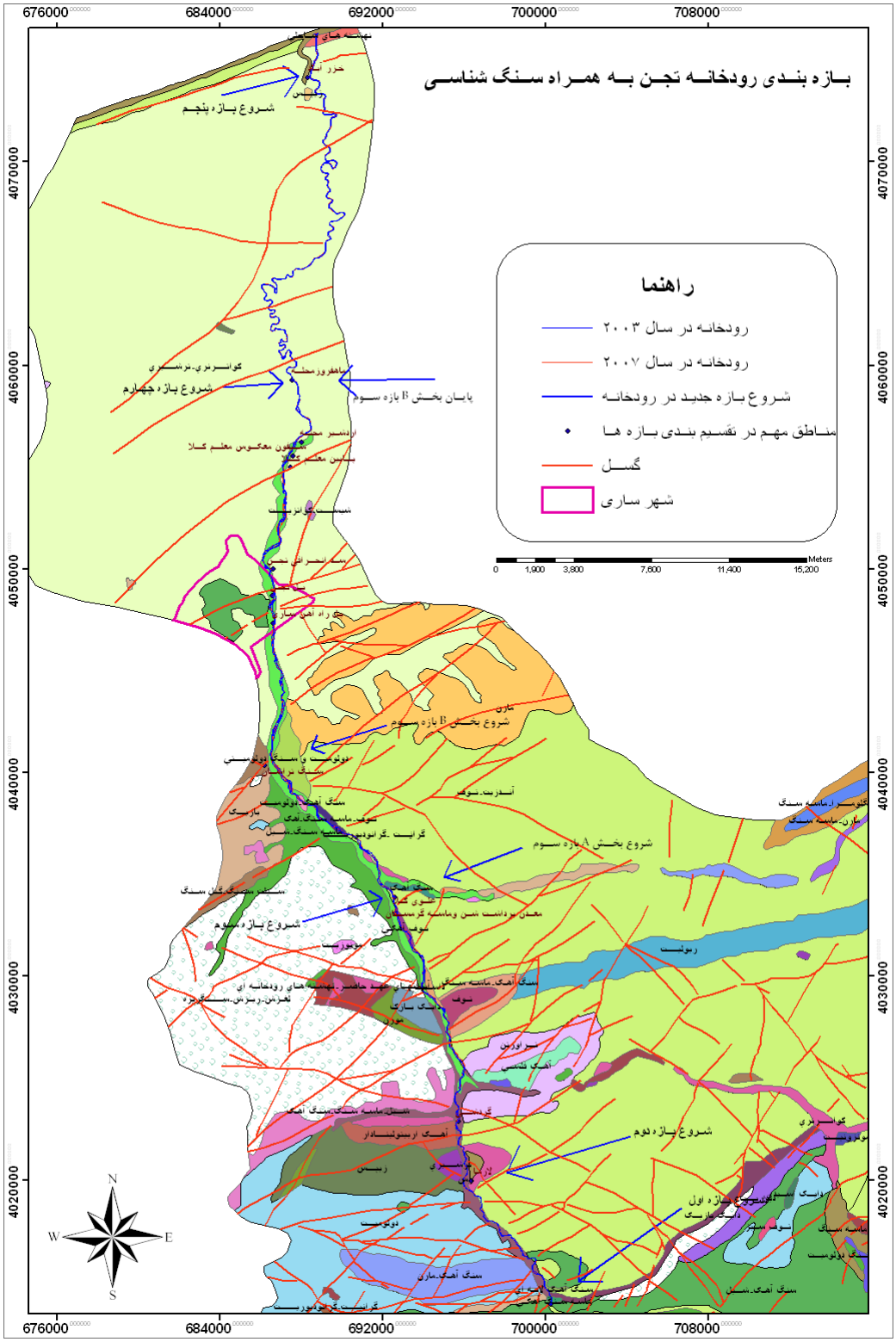
است. در شکل ۴-۱۳ بازه‌بندی رودخانه تجن بر اساس ویژگی‌های مرفولوژیکی در بخش پایین‌دست سد شهید رجائی نشان داده شده است.



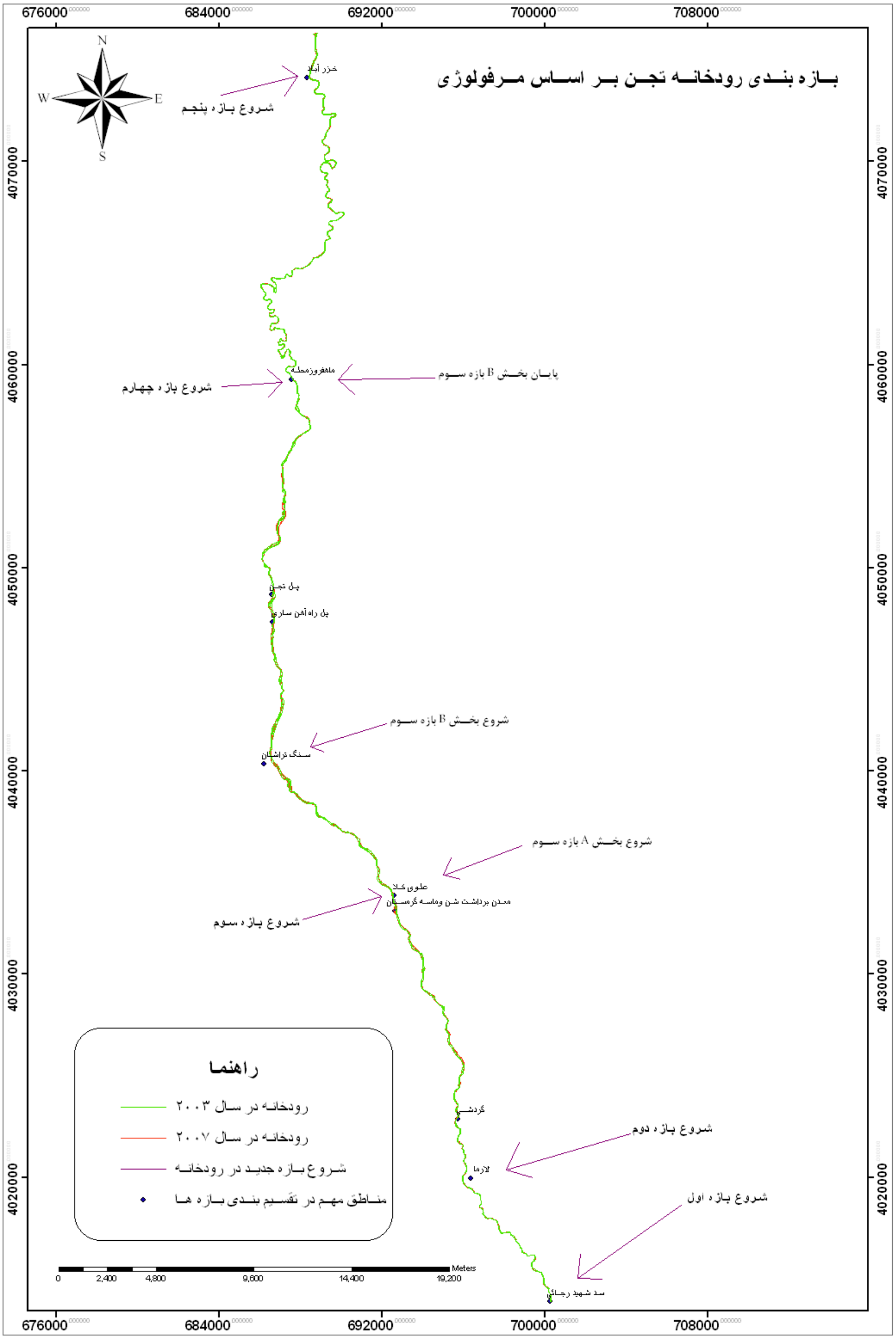
شکل ۴-۱۰: موقعیت گسل های زیرحوضه سد شهید رجائي و آبراهه ها در بالادست سد



شکل ۴-۱۱: نقشه نوع سنگ‌های حوضه تجن



شکل ۴-۱۲: مرفولوژي رودخانه در پايين‌دست سد به همراه وضعيت سنگشناسي



شکل ۴-۱۳: بازه‌بندی رودخانه تجن بر اساس مرفولوژی در پایین‌دست سد شهید رجائی

فصل پنجم

اثرات احداث سد شهید رجائی بر

- ✓ پوشش گیاهی و کاربری اراضی
- ✓ سیل
- ✓ فرسایش و رسوب
- ✓ کیفیت آب مخزن
- ✓ اقتصادی و اجتماعی

۵-۱- مقدمه
۵-۲- پوشش گیاهي و کاربري اراضي حوضه تجن

پوشش گیاهي محدوده مورد مطالعه، به سه اصلي بخش جنگلي، مرتع و باغها و زمين‌هاي كشاورزي قابل تفكيك مي‌باشد.

۵-۲-۱- مناطق جنگلي: وسعت زمين‌هاي جنگلي، تقريبا برابر ۲۷۱ هزار هكتار است، كه معادل ۶۲ درصد از وسعت كل حوضه را شامل مي‌گردد. توزيع فراواني زمين‌هاي جنگلي، به تفكيك جنگل‌هاي انبوه، نيمه انبوه و تنك به ترتيب ۲۲۲ هزار هكتار معادل ۸۲ درصد، ۳۴ هزار هكتار معادل ۱۳ درصد و ۱۴ هزار هكتار معادل ۵ درصد، مي‌باشد. جنگل‌هاي انبوه بخش اعظم حوضه را پوشانده است و جنگل‌هاي نيمه انبوه و تنك به طور پراكنده در حوضه گسترش دارد[۱]. گونه‌هاي درختي جنگل‌ها، آميخته مناطق معتدل و پهن برگ بوده و شامل ممرز، راش، بلوط، توسكا، افرا، انجيلي، ملچ، نمدار و انواع ديگري از درختان مي‌باشد. ارتفاع اين درختان معمولا حدود ۴۰ متر و گاهي تا ۵۰ متر مي‌رسد. جنگل‌هاي منطقه به طور عمده از درختان پهن برگ تشكيل شده است، ولي گونه‌هاي درختي سوزني برگ نيز، به طور بسيار پراكنده و محدودي، در بخش‌هاى جنوبي نواحي جنگلي حوضه وجود دارد.

۵-۲-۲- نواحي مرتعي: وسعت نواحي مرتعي در حدود ۷۵ هزار هكتار مي باشد، كه ۱۷ درصد از وسعت كل حوضه تجن را شامل مي‌گردد. مناطق قشلاقي در جنوب و جنوب شرقي حوضه گسترش دارند[۱].

۵-۲-۳- باغها و زمين‌هاي كشاورزي: زمين‌هاي كشاورزي به طور عمده در دشت ساحلي درياي خزر گسترش دارند، هر چند كه محدوده‌هاي نسبتا وسيع و حاصلخيزي نيز در بخش-هاي مياني حوضه، در دشت‌هاي مرتفع اطراف كياسر و نيز در غرب سفيدرود اطراف محمد آباد (دودانگه) وجود دارند. وسعت زمين‌هاي كشاورزي و باغها در حوضه آبريز رودخانه تجن حدود ۶۳ هزار هتكار، معادل ۱۴% حوضه مي‌باشد.

۵-۳- بررسي تغييرات پوشش گياهي و كاربري اراضي

يكي از مهم‌ترين پارامترهاي اكولوژيكي مؤثر در توسعة پايدار عرصه‌هاي آبخيز، پوشش گياهي و كاربري سرزمين مي‌باشد. در هر منطقه‌اي هر جا پوشش گياهي مناسبي به چشم مي‌خورد، تأثير عوامل فرساينده آب، باد، نيروي ثقل كمتر باعث تخريب مي‌شود. پس لازم است كه در مراحل مختلف بررسي اثرات زيست محيطي احداث سد، لاية اطلاعات پوشش گياهي به عنوان يكي از لايه‌هاي كليدي مورد توجه قرار گيرد. براي مقايسه تغييرات كاربري اراضي و پوشش گياهي از نقشه‌هاي پوشش گياهي و كاربري اراضي تهيه شده در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخيزداري استفاده شده است. به اين ترتيب كه براي پيش از احداث سد از نقشه كاربري اراضي و پوشش گياهي سال ۱۹۹۸ ميلادی استان‌هاي كشور و برای كاربری پس از احداث سد از نقشه سيماي كاربري فعلي و پوشش گياهي اراضي كشور استفاده شده است.

۵-۳-۱- كاربري اراضي و پهنه‌بندي پوشش گياهي پيش از احداث سد شهيد رجائي

معاونت آبخيزداري (دفتر مطالعات و ارزيابي آبخيزها) در سال ۱۳۷۸ به منظور پهنه‌بندي عرصه‌هاي بحراني در استان‌هاي كشور از شاخص تراكم پوشش گياهي استفاده كرده و ميزان نياز هر منطقه براي اقدامات اجرايي را جهت توسعه پايدار بر اين مبنا تعيين نموده است. در نقشه كاربري اراضي پيش از احداث سد، حوضه آبخيز رودخانه تجن در تقسيم‌بندي‌هاي كشوري در سه استان مازندران، سمنان و گلستان واقع شده است،به منظور تهيه نقشه واحد كاربري نقشه‌هاي كاربري اراضي هر سه استان از معاونت آبخيزداري دريافت شده و سپس در نرم-افزار ARC GIS وارد و به صورت يكپارچه[۱]
در آمده و اطلاعات كاربري در يک جدول واحد طبقه‌بندي و يک نقشه نهايي استخراج شده است.

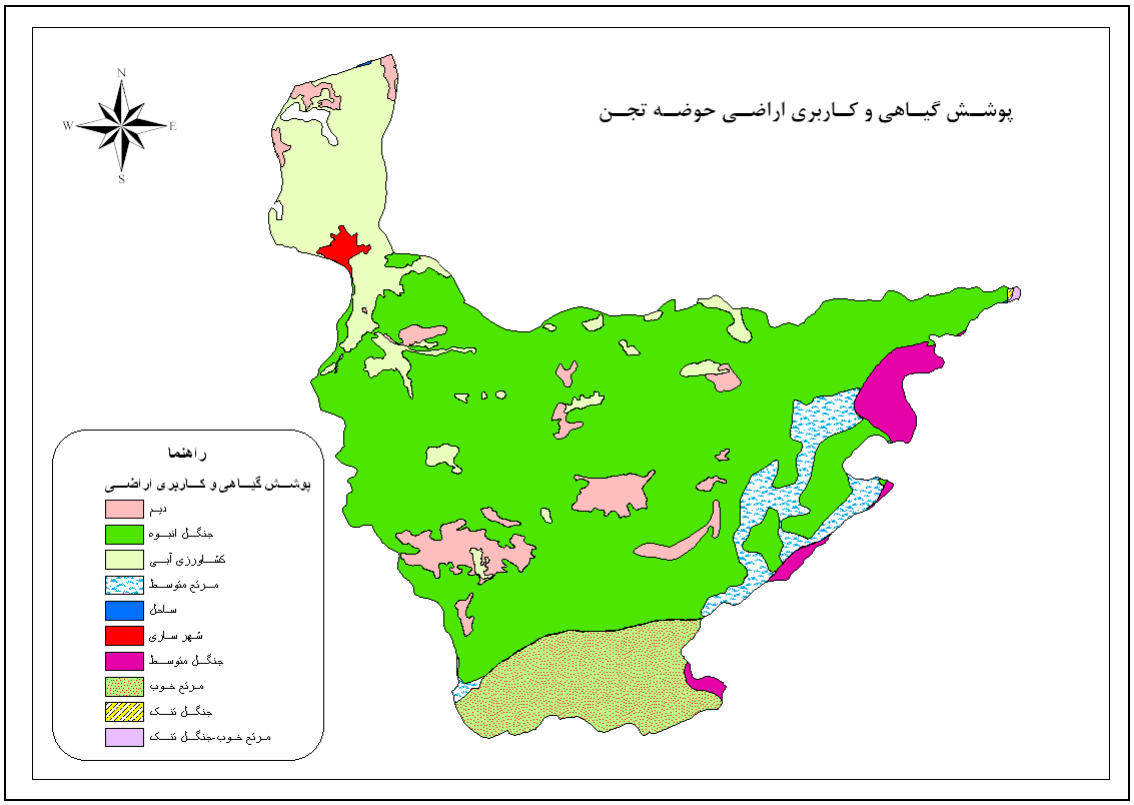
---

[۱]. union

در جدول ۵-۱ مساحت کاربري‌هاي اراضي حوضه تجن قبل از احداث سد که با استفاده از نرم افزار ARC GIS استخراج شده است، به هکتار و به درصد آورده شده است. با مقایسه مساحت هر بخش از کاربري اراضي قبل و بعد از احداث سد مي‌توان تغییرات حاصل در حوضه و مناطق متأثر از احداث سد را به دست آورد. در شکل ۵-۱ نقشة کاربري اراضي و پوشش گیاهي پیش از احداث سد شهید رجائي تهیه شده از تصویر ماهواره‌اي +ETM ۱۹۹۸ میلادي نشان شده است.

جدول۵-۱: مساحت کاربري‌هاي اراضي حوضه تجن قبل از احداث سد (استخراج از +ETM ۱۹۹۸ میلادی)

ردیف	پوشش گیاهي و کاربري اراضي	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱	جنگل انبوه	۲۷۸۳۱۰,۴۸۵۳۶۰	۶۴,۳۶۶۴۶۸
۲	مرتع متوسط	۴۴۹۰۵,۵۹۹۷۰۷	۹,۷۳۱۵۴۶
۳	کشت آبي(تجن)	۴۰۵۵۳,۰۹۴۰۹۱	۹,۳۷۸۹۴۸
۴	دیم	۲۵۰۸۵,۴۴۷۲۷۶	۵,۸۰۱۶۵۶
۵	مرتع خوب	۲۱۰۴۱,۲۵۳۴۴۶	۴,۸۶۶۳۳۲
۶	جنگل متوسط	۱۲۴۱۶,۹۶۱۷۹۶	۲,۸۷۱۷۴۲
۷	کشت آبي(سایر بخش‌ها)	۱۰۴۴۵,۲۰۲۱۲۹	۲,۴۱۵۷۲۲
۸	شهر ساري	۲۰۶۶,۴۹۳۷۷۹	۰,۴۷۷۹۳
۹	مرتع تنک	۲۱۴,۰۵۷۴۷۷	۰,۰۴۹۵۰۶
۱۰	جنگل تنک	۱۱۶,۸۶۵۳۰۷	۰,۰۲۷۰۲۸
۱۱	ساحل	۵۶,۷۳۹۲۳۶	۰,۰۱۳۱۲۲
۱۲	کل حوضه	۴۳۴۲۱۲,۱۹۹۶	۱۰۰



شکل ۵-۱: توزیع پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوضه تجن (قبل از احداث سد)

۵-۳-۲- کاربری اراضی و پهنه‌بندی پوشش گیاهی بعد از احداث سد شهید رجائی

برای کاربری اراضی پس از احداث سد شهید رجائی از نقشه کاربری فعلی و پوشش گیاهی اراضی کشور استفاده شده است. این نقشه در سال ۱۳۸۵ برای کل ایران تهیه شده است. در تهیه این نقشه از تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ تابستان ۲۰۰۲ با دقت ۲۸/۵متر با ۸ باند طیفی استفاده شده است. مراحل تهیه این نقشه به تفصیل در گزارش (سیمای کاربری فعلی و پوشش گیاهی اراضی کشور، پاییز ۱۳۸۵) آورده شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز تجن لایه‌های اطلاعاتی کل ایران وارد نرم افزار ARC GIS شده و مرزهای حوضه به عنوان Base بر روی نقشه قرار گرفته است، در بخش آنالیز با دستور برش[۱] کاربری محدوده مورد نظر خود را جدا و به صورت یک نقشه پایانی خروجی تهیه شده است. در شکل ۵-۲ کاربری فعلی

[۱]. clip

اراضي در حاشيه رودخانة تجن نشان داده شده است. در جدول ۵-۲ نوع كاربري اراضي حوضه تجن و مساحت آن پس از احداث سد آورده شده است.

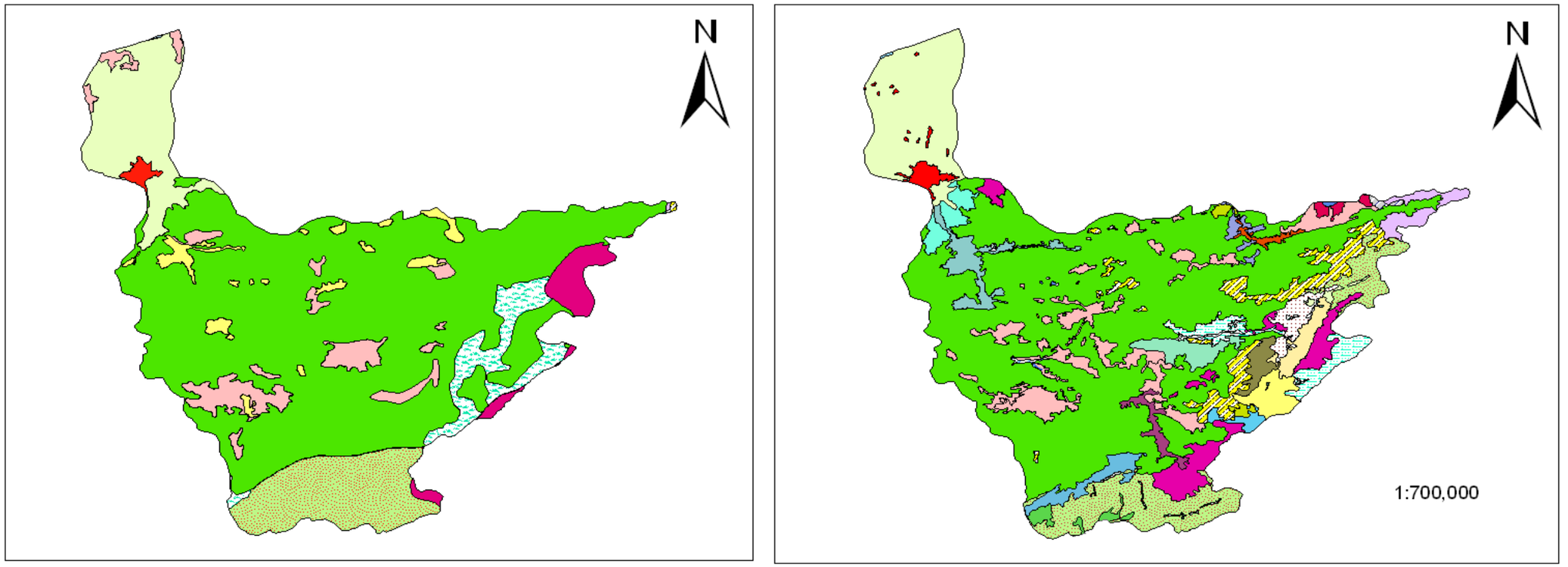
شكل ۵-۲: كاربري فعلي اراضي در بخشي از منطقه نيمه كوهستاني حاشيه تجن (پايين‌دست سد)

در شكل ۵-۳ نقشه های كاربری اراضی حوضه تجن قبل و بعد از احداث سد نشان داده شده است.

جدول ۵-۲: مساحت كاربري‌هاي اراضي حوضه تجن بعد از احداث سد

رديف	پوشش گياهي و كاربري اراضي	مساحت (هكتار)	مساحت (درصد)
۱	جنگل انبوه	۲۱۸۹۳۰,۲۵	۵۰,۴۹
۲	جنگل تنک	۱۷۹۲۰,۱۲	۴,۱۴
۳	جنگل متوسط	۱۵۴۳۰,۸۵	۳,۵۸
۴	ديم	۳۰۵,۴۹	۰,۰۶۹۸
۵	ساحل	۱۰۴,۱۸	۰,۰۲
۶	شهر ساري	۳۱۷۷,۶۲	۰,۷۳
۷	مخزن سد	۳۴۹,۵۵	۰,۰۸
۸	مرتع خوب	۳۲۶۷۸,۳	۷,۵۲
۹	مرتع فقير	۴۶۹۸,۷۷	۱,۰۸
۱۰	مرتع متوسط	۹۵۲۸,۲۷	۲,۱۹
۱۱	ديم - جنگل متوسط	۲۹۱۸۵,۱۷	۶,۷۲
۱۲	ديم - مرتع خوب	۱۴۱۳,۹۱	۰,۳۲

١٣	مرتع خوب- جنگل متوسط	٥٣٢١,١٦	١,٢٢
١٤	مرتع خوب- جنگل تنک	٠,٧٣٦	٠,٠٠٠٢
١٥	مرتع فقير- كشاورزي آبي	٤٧٨٣,٦٢	١,١
١٦	مرتع فقير- جنگل	٥٧٨٧,٨	١,٣٣
١٧	كشاورزي آبي (دشت تجن)	٤٠٨٦٦,٣٦	٩,٤١
١٨	كشاورزي آبي- باغ- جنگل تنک	٨٢٥٢,٦٣	١,٩
١٩	كشاورزي آبي- ديم- مرتع خوب	٢١٥٦,٠٧	٠,٤٩
٢٠	كشاورزي آبي- مرتع خوب	٢٣٧٦,٤٩	٠,٤٩
٢١	باغ- كشاورزي آبي- مرتع خوب	١٤٧٨,٥٣	٠,٣٤
٢٢	باغ- كشاورزي آبي- مرتع متوسط	٥٨٥٧,٣٣	١,٣٥
٢٣	باغ- ديم- مرتع خوب	٥٤٦٥,٨٨	١,٢٥
٢٤	باغ- مرتع فقير	٣٦٠٦,٧٤	٠,٨٣
٢٥	باغ- مرتع متوسط	١٩٨٥,٩١	٠,٤٥
٢٦	جنگل تنک- كشاورزي آبي	١٤٥٠,٦٩	٠,٣٣
٢٧	باغ- جنگل تنک	٣٢٥٥,٢٩	٠,٧٩
٢٨	جنگ تنک- ديم- كشاورزي آبي	٦٣٤,٤٩	٠,١٤
٢٩	ديم- جنگل تنک- باغ	٥٢٨٧,٩١	١,٢١
٣٠	باغ	١٨٨٥,٨٧	٠,٤٣
٣١	كل حوضه	٤٣٤١٧٥,٩٨٦	١٠٠



شکل ۵-۲: نقشه های کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه تجن قبل و بعد از احداث سد شهید رجائی

۵-۳-۳- مقايسه و بررسي تغييرات در پوشش گياهي و كاربري اراضي قبل و بعد از احداث سد

نتايج بررسي تغييرات نقشه هاي كاربري اراضي سال هاي ۱۹۹۸ (قبل از احداث سد) و ۲۰۰۲ ميلادي (بعد از احداث سد) به طور عمده به شرح ذيل مي‌باشد.

- افزايش تنوع كاربري اراضي به ويژه در جنوب و جنوب شرقي حوضه تجن (تفكيک كاربري اوليه به كاربري‌هاي متعدد جديد)
- كاهش مساحت جنگل هاي انبوه در حوضه از ٦٤,٣٦% به ٥٠,٤٢% (به طور عمده ناشي از تجاوز به حريم جنگل ها و تبديل آن به جنگل های نيمه انبوه، جنگل های تنک، اراضي ديم، باغ، مرتع و...)
- كاهش مساحت مراتع خوب و تبديل آن به مراتع متوسط، اراضي ديم، باغ و ساير كاربري‌ها
- تبديل پاره‌اي از اراضي ديم حاشيه رودخانه تجن به كشت آبي ناشي از دبي پايه مناسب در رودخانه
- افزايش وسعت شهر ساري (از ۲۰٦٦,٤۹ هكتار به ۳۱۷۷,٦۲ هكتار) و نيز گسترش مناطق مسكوني برخي از روستا ها كه بسياري از كاربري‌هاي جديد را در منطقه ايجاد مي‌نمايد.

تغييرات ايجادشده به سه گروه اساسي زير تقسيم‌بندي مي‌شوند:

۵-۳-۳-۱- تغييرات در زيرحوضه هاي بدون اثر سد: در زيرحوضه هاي چهاردانگه، زارم‌رود و لاجيم‌دره ساخت سد هيچ گونه تأثيري بر نوع كاربري نخواهد داشت، بنابراين تغييرات كاربری اراضی تحت تاثير ساير پارامترها مانند عوامل طبيعي حاكم بر منطقه و فعاليت‌هاي انساني مي‌باشد.

۵-۳-۳-۲- تغييرات در بالادست سد: در اين خصوص موارد زير را مي‌توان ذكر نمود.

- اختصاص بخشي از اراضي جنگلي و كشاورزي حاشيه شيرين‌رود و سفيدرود به مخزن سد (۳۵۰ هكتار)

- احداث اسکله تفریحي شیرین‌رود و ایجاد پاره‌اي از تغییرات در جنگل حاشیه اسکله به منظور فراهم آوردن شرایط تفریحي و جلب توریست (۱۵هکتار)
- احداث جاده‌هاي جدید به ویژه احداث و تعریض جادة ساري- دودانگه، تعریض و تکمیل جاده‌هاي روستایي موجب تخریب اراضي جنگلي شده و همین طور دسترسي آسان افراد بومي و توریست را به مناطق بکر و دستنخورده جنگلي و زیستگاه‌هاي طبیعي را تا حد زیادي فراهم آورده است.
- برخي از تحولات شامل تبدیل اراضي جنگلي به کشاورزي، دیم، باغ و یا حتي مرتع و بایر که به طور ویژه تحت تاثیر دخالت‌هاي انساني در منطقه مي‌باشد.
- تجاوز به حریم جنگل، پاکسازي جنگل از درختان و تبدیل به مزارع کشاورزي و دیم، بهره‌برداري نامناسب و بیش از ظرفیت مراتع از جمله مشکلات مهم در بالادست سد است که عدم توجه به آن اهداف سد را با خطرات جدي مواجه مي‌سازد.

۵-۳-۳-۳- تغییرات در پایین‌دست سد :

- برخي از تغییرات در نحوه بهره‌برداري از زمین که سد در آن مؤثر بوده است:
- ایجاد دهکدة توریستي سلیمان‌تنگه براي پذیرایي از گردشگران و امکانات رفاهي مناسب براي اقامت شبانه (۱۰ هکتار)
- احداث ساختمان اداري مدیریت و بهره‌برداري سد شهید رجائي و سایر بخش‌هاي کنترل و نظارت به همراه محوطة اطراف آن با وسعتي حدود ۱۳ هکتار بلافاصله در پایین-دست سد
-تبدیل اراضي دیم و باغ به کشت آبي (برنج)
-گرایش بیش از پیش به کشت برنج در حاشیه تجن در مناطق نیمه کوهستاني به علت دبي مناسب در فصول کشت و تبدیل اراضي دیم به آبي حتي در فواصل دور از رودخانه (استفاده ازنهرهاي انتقال آب و سیستم پمپاژ)
- افزایش سطح زیر کشت برنج در اراضي دشت تجن پس از بهره‌برداري سیستم آبیاري و زهکشي تجن

مسلما پاره‌اي از تغييرات از احداث سد تأثير نمي‌پذيرد كه شامل افزايش وسعت شهر ساري و مناطق مسكوني برخي از روستا ها كه بسياري از كاربري‌هاي جديد را در منطقه ايجاد مي‌نمايد.

۵-٤- سيل

۵-۴-۱- بررسي فراواني رخداد هاي سيل در حوضه آبخيز تجن

اطلاعات پايه مورد نياز در تحليل فراواني رخداد هاي سيل از بانك اطلاعات سيل سازمان جنگل‌ها و آبخيزداري دريافت شده است، به اين منظور وقايع سيلابي سال‌هاي ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۲ از بانك فوق‌الذكر استخراج شده است. وقايع ثبت شده پس از پردازش اوليه و رقومي نمودن موقعيت مكاني آن‌ها تعيين و به صورت نقشه‌هاي رقومي تبديل گرديد. سپس با استفاده از نقشه‌هاي رقومي مرز حوضه‌هاي نسبت به تفكيك محل وقوع اين رخداد ها بر حسب زيرحوضه‌هاي تجن در نرم افزار ARC GIS اقدام گرديد. جدول ۵-۳ خلاصه نتايج را نشان مي‌دهد. همان طور كه ملاحظه مي‌شود، در پنجاه سال گذشته ۱۵ واقعه سيل در اين حوضه گزارش شده كه بيشترين رخداد سيل در اين مدت مربوط به حوضه آبخيز دودانگه با ۸ سيل و كمترين آن مربوط به حوضه زارم رود بدون رخداد سيل مي‌باشد. ذكر اين نكته ضروري مي‌باشد كه بر اساس اطلاعات مورد استفاده، از مجموع ۱۵ واقعه، ۲ واقعه سيل فاقد آمار و اطلاعات خسارات مالي و جاني بوده و تنها به وقوع سيل و محل آن اشاره شده كه احتمالا حاكي از سيل‌هائي بوده كه خسارتي را در بر نداشته‌اند. به همين دليل، در بررسي فراواني و تعداد وقوع سيل از مجموع كل رخداد ها شامل

۱۳ واقعه داراي اطلاعات خسارت و۲ واقعه فاقد اطلاعات خسارت استفاده شده ولي در بررسي شاخص‌هاي باقيمانده نظير خسارات مالي، تلفات، جمعيت در معرض سيل و تراكم مراكز مسكوني در معرض سيل تنها وقايع سيلابي داراي اطلاعات خسارت سيل قابل استفاده بوده‌اند.

جدول ۵-۳: وقايع سيل در زيرحوضه هاي تجن (از سال ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۲)

كد حوضه	نام زيرحوضه	وقايع سيل داراي اطلاعات	وقايع سيل فاقد اطلاعات
۱۵۳۱	تجن	۵	۰
۱۵۳٤	چهاردانگه	۲	۰
۱۵۳۵	دودانگه	٦	۲
۱۵۳۲	زارم‌رود	۰	۰
۱۵۳۳	لاجيم‌دره	۰	۰

۵-۴-۲- بررسي ميزان خسارات سيل در حوضه تجن

خسارات سيل بر پايه اطلاعات اوليه حاصل از بانك اطلاعات سيل (معاونت آبخيزداري) مورد بررسي قرار گرفته است. بررسي خسارات سيل اطلاعات وقايع سيلابي از سال‌هاي ۱۳۳۳ تا ۱۳۸۲ و به تفكيک شهرستان‌ها در اختيار قرار گرفته است. اين اطلاعات مورد بررسي و سپس وقايع سيل داراي اطلاعات خسارات براي حوضه ها استخراج گرديدند. در جدول ۵-۴ مقدار خسارات برآورد شده را بر حسب ﷼ در زيرحوضه هاي تجن نشان مي‌دهد. همان طور كه جدول فوق نشان مي‌دهد، حوضه آبخيز دودانگه با ۱۰,۹۷هزار ميليون ﷼ خسارت بيشترين و حوضه آبخيز چهاردانگه با ۰/۷۷۰ هزار ميليون ﷼ كمترين خسارات را طي ۵۰ سال گذشته متحمل شده است (در زارم رود هيچ گونه سيل و آمار خسارتي گزارش نشده است).

جدول ۵-۴ خلاصه نتايج بررسي خسارات سيل به تفكيک در زيرحوضه هاي تجن

نام زير-حوضه	تلفات انساني (نفر)	خسارت (هزارميليون ﷼)	تعداد شهرها	تعداد آباديها	جمعيت (نفر)	ميزان خسارت ويژه
تجن	٦	۳,۱۵	۱	۱٤٤	۳۰٤۰٦۳	۰,۰۱۰
زارم‌رود	۰	۰	۰	۷۱	۱٤۹۳٦	۰
لاجيم‌دره	۰	۰	۰	۳۲	٦۳٤۰	۰
چهاردانگه	۰	۰,۷۷	۱	۸۰	۲۰۸٤۲	۰,۰۳۷
دودانگه	۰	۱۰,۹۷	۰	۱۲۹	٤۷۹۹۱	۰,۲۹۹

براي محاسبه خسارات ويژه از آمار و اطلاعات جمعيت مربوط به سرشماري سال ۱۳۷۵ كه از مركز آمار ايران اخذ شده، استفاده گرديد. به اين ترتيب خسارات ويژه

با تقسیم خسارات برآورد شده هر زیرحوضه بر جمعیت آن محاسبه و نتایج آن در جدول ۵-۴ نشان داده شده است. هم‌چنین، جمعیت، تعداد آبادي‌ها و شهرهاي واقع در زیر-حوضه‌هاي رتبه ۴ حوضه آبخیز تجن در جدول ۵-۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده مي‌شود، حوضه دودانگه با هزینه ۰,۲۲۹ میلیون ریال بر نفر داراي بیشترین خسارت ویژه و حوضه آبخیز تجن کمترین خسارات ویژه را با ۰,۰۱۰ میلیون ریال بر نفر در بر داشته است.

۵-۴-۳- بررسي تلفات سیل در حوضه تجن

براي بررسي تلفات سیل، همانند موارد قبل از اطلاعات وقایع سیلابي سال‌هاي۱۳۳۳ تا ۱۳۸۲ و به تفکیک شهرستان ، استفاده گردید. جدول ۵-۵ خلاصه نتایج بررسي تلفات سیل را به تفکیک این زیرحوضه‌ها نشان مي‌دهد. همان طور که مشاهده مي‌شود، زیرحوضه تجن با ۶ نفر کشته داراي بیشترین و سایر زیرحوضه‌ها بدون کشته، گزارش شده است. علاوه بر این، میزان تلفات ویژه در زیرحوضه‌هاي تجن با تقسیم تلفات برآورد شده در هر زیر-حوضه بر جمعیت آن محاسبه گردید، این بررسي حاکي از آن است که زیرحوضه تجن با ۲۰ (تلفات در میلیون نفر) داراي بیشترین تلفات ویژه و سایر زیرحوضه‌هاي بدون کشته، تلفات ویژه‌اي را در بر نداشته اند.

جدول ۵-۵: تلفات انساني و تلفات ویژه در زیرحوضه‌هاي تجن

کد زیرحوضه	نام زیرحوضه	تلفات انساني (نفر)	تلفات ویژه (تلفات در میلیون نفر)
۱۵۳۱	تجن	٦	۲۰
۱۵۳۲	زارم‌رود	۰	۰
۱۵۳۳	لاجیم‌دره	۰	۰
۱۵۳٤	چهاردانگه	۰	۰
۱۵۳۵	دودانگه	۰	۰

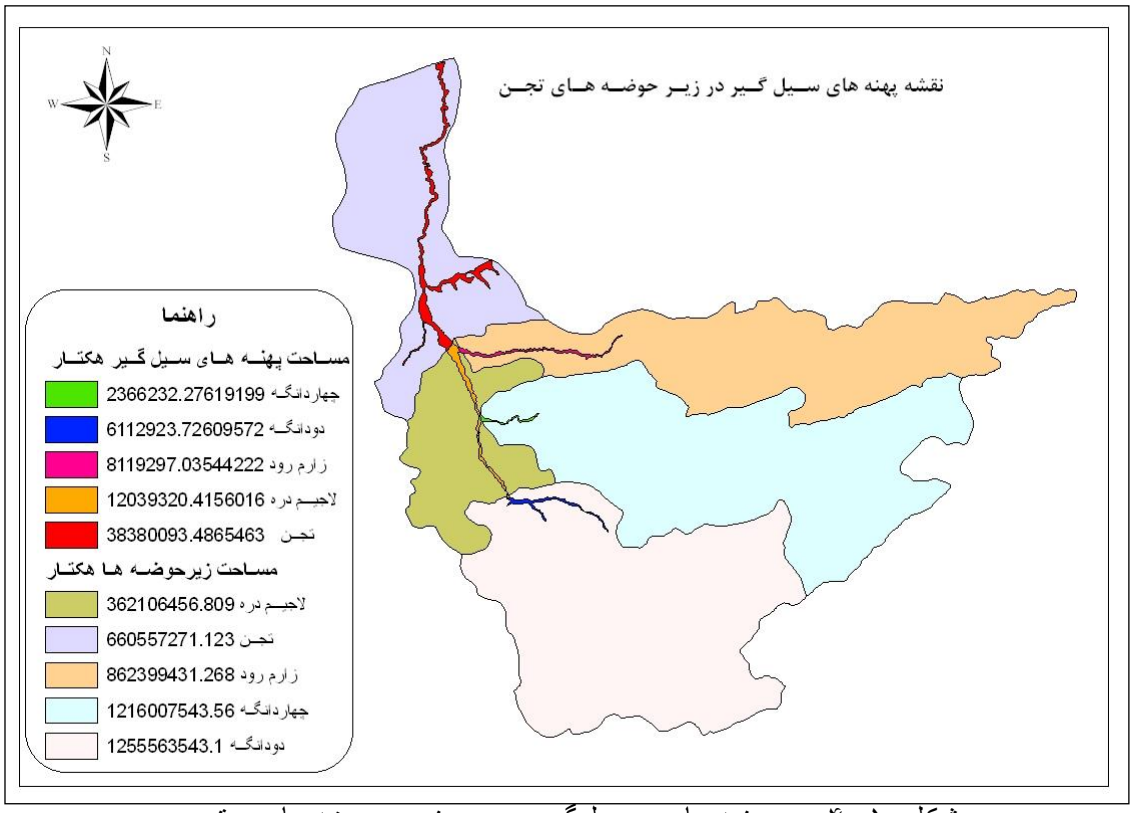
۵-۴-۴- شناسائي و استخراج پهنة سیل‌گیر در تصاویر ETM^+ سال ۲۰۰۲ در حوضه تجن

پهنة سیل‌گیر در تصاویر ETM^+ سال ۲۰۰۳ و IRS سال ۲۰۰۲ میلادي مورد بررسي و با استفاده از ترکیب رنگي باندهاي ۷، ۴ و ۲ شناسائي گردید. به منظور تهیة نقشه

محدوده سیل‌گیر با استفاده از تفسیر چشمی مرز پهنه های سیل رقومی گردید. مساحت پهنه های سیل در هر کدام از زیرحوضه های تجن بر اساس نقشه فوق بر آورده گردید. جدول ۵-۶ نتایج مساحت برآورد شده پهنه سیل‌گیر را در هر کدام از زیرحوضه های فوق نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، زیرحوضه تجن با ۳۶,۳۸ کیلومتر مربع دارای بیشترین وسعت پهنه سیل‌گیر است. زیرحوضه دودانگه (سد شهید رجائی) سومین پهنه سیل‌گیر را از نظر وسعت دارا می‌باشد، حدود نیمی از مساحت این پهنه با محدوده مخرن سد انطباق دارد. شکل ۵-۴ پهنه های سیل-گیر در زیرحوضه های تجن را نشان می‌دهد. ذخیره سیلاب‌ها در پهنه سیل‌گیر زیرحوضه دودانگه در پشت سد شهید رجائی و کاهش خطر سیلاب در پهنه های سیل‌گیر پایین‌دست به ویژه در زیرحوضه لاجیم‌دره از جمله اثرات مثبت زیست محیطی این سد محسوب می‌گردد.

جدول ۵-۶: مساحت برآورد شده پهنه سیل‌گیر در زیرحوضه های تجن

کد حوضه رتبه ۴	نام حوضه	پهنه سیل‌گیر (کیلومترمربع)
۱۵۳۱	تجن	۳۶,۳۸
۱۵۳۲	زارم‌رود	۵,۱۱
۱۵۳۳	لاجیم‌دره	۱۲,۰۳
۱۵۳٤	چهاردانگه	۲,۳۰
۱۵۳۵	دودانگه	٦,۱٤



شکل ۵-۴: پهنه هاي سيل‌گير در زيرحوضه هاي تجن

۵-۴-۵- مراکز مسکوني در معرض سيل

به منظور بررسي مراکز مسکوني در معرض سيل نقشة موقعيت مراکز مسکوني و نقشة پهنة سيل‌گير بر هم منطبق و با هم‌پوشاني اين مراکز جمعيتي واقع در محدوده‌هاي سيل‌گير تعيين گرديد. جدول ۵-۷ تعداد مراکز مسکوني در معرض سيل در هر زيرحوضه را نشان مي‌دهد.

جدول ۵-۷: تراکم مراکز مسکوني در معرض سيل در زيرحوضه هاي تجن

کد حوضه	نام زيرحوضه	مساحت (کيلومتر-مربع)	تعداد آبادیهاي در معرض سيل	تعداد شهرهاي در معرض سيل	تراکم مراکز مسکوني در معرض سيل (تعداد مراکز جمعيتي در معرض سيل در هزار کيلومتر مربع)
۱۵۳۱	تجن	٦٦٠,٥٥	۱۱	۱	۱۲
۱۵۳۲	زارم‌رود	۸٦۲,۳۹	٤	۰	٤
۱۵۳۳	لاجيم‌دره	۳٦۲,۱۰	۱	۰	۱
۱۵۳٤	چهارد انگه	۱۲۱٦,۰۰	۰	۰	۰

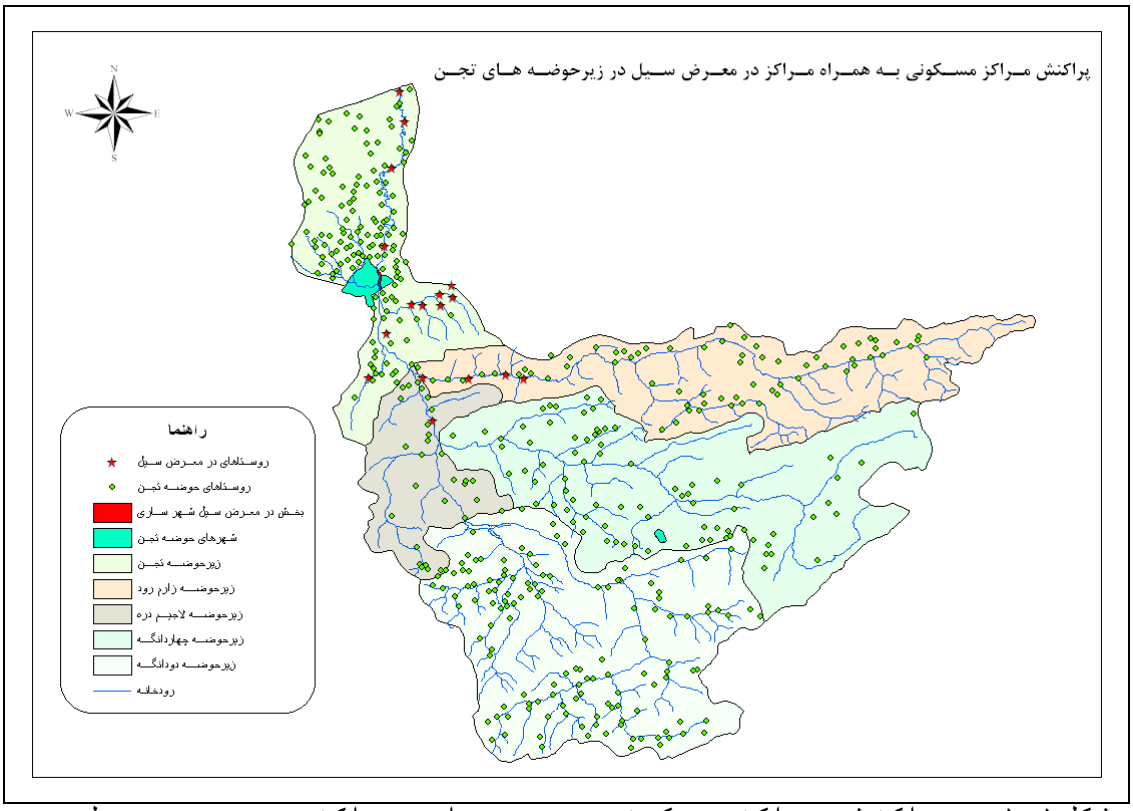
۱۵۳۵	دود انگه	۱۲۵۵,۵۶	۰	۰	۰

همان طور که جدول ۵-۴ نشان مي‌دهد، تعداد ۴۵۶ آبادي و ۲ شهر در حوضه تجن واقع شده است. با بررسي پهنه‌هاي سيل‌گير و روي هم‌گذاري[۱] اين لايه و لايه موقعيت مراکز جمعيتي در زيرحوضه تجن مشخص گرديدکه از اين تعداد، ۱۱ آبادي و ۱ شهر در معرض سيل قرار دارد.

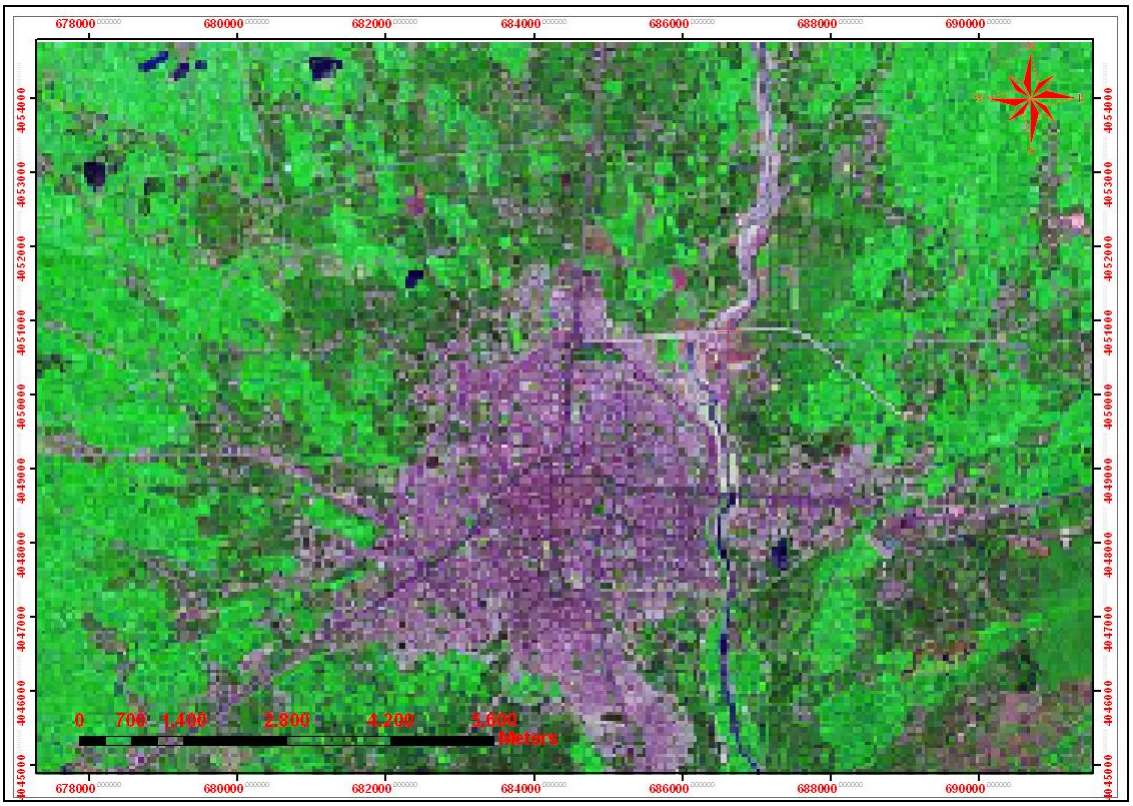
همان طور که جدول ۵-۷ نشان مي‌دهد، زيرحوضه تجن با ۱۱ آبادي و ۱ شهر داراي بيشترين تعداد آبادي و شهر در معرض سيل و در حوضه‌هاي دودانگه و چهاردانگه در پهنة سيل‌گير استخراجي قرار نگرفته است. در ادامة بررسي‌ها با در نظر گرفتن مساحت هر يک از زيرحوضه‌ها تراکم مراکز مسکوني در معرض سيل نيز مورد ارزيابي قرار گرفت، نتيجه اين بررسي نشان مي‌دهد که زيرحوضه تجن با تعداد ۱۲ مرکز جمعيتي در معرض سيل در هر هزار کيلومترمربع داراي بيشترين و حوضه‌هاي آبخيز دودانگه و چهاردانگه با تراکم صفر داراي کمترين تراکم مراکز مسکوني در معرض سيل مي‌باشند.

در شکل ۵-۵ پراکنش مراکز مسکوني به همراه مراکز در معرض سيل نشان داده شده است.

۱. Crossing



شکل۵-۵: پراکنش مراکز مسکوني به همراه مراکز در معرض سیل در زیرحوضه هاي تجن



شکل ۵-۶ محدوده در معرض سیل شهر ساري در تصویر +ETM سال ۲۰۰۳

۵-۴-۶- جمعیت در معرض سیل درحوضه تجن

با روي هم‌گذاري[1] لايه پهنه‌هاي سيل در حوضه آبخيز تجن و لايه مراكز جمعيتي، ميزان جمعيت فعلي در معرض سيل مشخص گرديد. اين بررسي نشان مي‌دهد كه زيرحوضه تجن با ٢٠٢١٢٤ نفر بيشترين و زيرحوضه‌هاي آبخيز چهاردانگه و دودانگه، جمعيتي در معرض سيل را نداشته‌اند. با تقسيم جمعيت در معرض سيل در هر زيرحوضه بر جمعيت كل آن، ميزان جمعيت در معرض سيل ويژه هر زيرحوضه محاسبه گرديد كه نتايج آن در جدول ۵-۸ نشان داده مي‌شود. همان طور كه در اين جدول مشاهده مي‌شود، زيرحوضه تجن با ۶۵۳ نفر در هزار نفر بيشترين و حوضه‌هاي آبخيز چهاردانگه و دودانگه با ۰ نفر در هزار كمترين جمعيت در معرض سيل ويژه را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۵-۸: جمعيت در معرض سيل در زيرحوضه‌هاي تجن

كد حوضه	نام حوضه	جمعيت (نفر)	پهنة سيل-گير (كيلومتر-مربع)	جمعيت در معرض سيل	جمعيت ويژة در معرض سيل (نفر در هزار نفر)
١٥٣١	تجن	٣٠٤٠٦٣	٣٦,٣٨	٢٠٢١٢٤	٦٦٣
١٥٣٢	زارم‌رود	١٤٩٣٦	٥,١١	١٢٤	١٢
١٥٣٣	لاجيم‌دره	٦٣٤٠	١٢,٠٣	٦٣	١٠
١٥٣٤	چهاردانگه	٢٠٨٤٢	٢,٣٠	٠	٠
١٥٣٥	دودانگه	٤٧٩٩١	٦,١٤	٠	٠

۵-۴-۷- طبقه‌بندی خطر سيل در حوضه تجن

عوامل بسيار زيادي در تعيين ميزان خطر سيل نقش داشته كه به تنهائي و يا به طور توأم در آن اثر دارند. ولي به طور كلي مي‌توان پنج عامل شامل تعداد وقوع، تلفات، خسارات مالي، جمعيت در معرض سيل و تراكم مراكز مسكوني در معرض سيل را به عنوان عوامل كلي برشمرد كه جنبه‌هاي مختلف پيامدهاي سيل در آن‌ها قابل مشاهده مي‌باشد. لذا مجموعه اين عوامل جهت ارائه ميزان خطر

[1]. Crossing

سیل مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به تأثیر متفاوت آن‌ها، برای هر یک از این عوامل با نظر کارشناسی امتیاز مناسب منظور و بر اساس مجموع امتیازها، میزان خطر سیل مشخص شد (جدول۵-۹).

جدول ۵-۹: عوامل خطر سیل و امتیاز نسبی هر کدام[۲۴]

عوامل خطر سیل	امتیاز
تعداد وقوع سیل	۰-۱۰
تلفات جانی سیل	۰-۴۰
خسارات مالی سیل	۰-۲۵
جمعیت در معرض سیل	۰-۱۵
تراکم مراکز مسکونی در معرض سیل	۰-۱۰
مجموع امتیازها	۱۰۰

جدول ۵-۱۰: محدوده تغییرات عوامل موثر در خطر سیل[۲۴]

عامل	عادی	نسبتا خفیف	خفیف	متوسط	نسبتا شدید	شدید	خیلی شدید
خسارت ویژه (میلیون ﷼ بر نفر)	۰/۰۷۵	۰/۲۰۰	۰/۳۵۰	۰/۵۰۰	۰/۶۵۰	۰/۸	۰/۸<
تلفات ویژه (نفر در میلیون نفر)	۵	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۷۵<
جمعیت در معرض سیل (نفر در هزار نفر)	۹	۷۱	۱۳۲	۱۹۴	۲۵۵	۳۱۷	۳۱۷<
تراکم مراکز مسکونی (تعداد مراکز جمعیتی در هزار کیلومترمربع)	۳	۵	۸	۱۱	۱۳	۱۶	۱۶<
تعداد وقوع سیل (واقعه)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	>۶۰

جدول ۵-۱۱: شاخص طبقه‌بندی درجة خطر سیل[۲۴]

عامل	عادی	نسبتا خفیف	خفیف	متوسط	نسبتا شدید	شدید	خیلی شدید
خسارت ویژه (میلیون ﷼ بر نفر)	۲/۵	۶/۲۵	۱۰	۱۳/۷۵	۱۷/۵	۲۱/۲۵	۲۵
تلفات ویژه (نفر در میلیون نفر)	۴	۱۰	۱۶	۲۲	۲۸	۳۴	۴۰
جمعیت در معرض سیل (نفر در هزار نفر)	۱/۵	۳/۷۵	۶	۸/۲۵	۱۰/۵	۱۲/۷۵	۱۵
تراکم مراکز مسکونی (تعداد مراکز جمعیتی در هزار کیلومترمربع)	۱	۲/۵	۴	۵/۵	۷	۸/۵	۱۰
تعداد وقوع سیل (واقعه)	۱	۲/۵	۴	۵/۵	۷	۸/۵	۱۰
امتیاز	۱۰	۲۵	۴۰	۵۵	۷۰	۸۵	۱۰۰

جدول ۵-۱۲: طبقه‌بندی خطر سیل بر حسب دامنة امتیازات[۲۴]

طبقة خطر سیل	دامنة امتیازات
عادی	۱۰>
نسبتا خفیف	۱۰-۲۵

خفيف	۲۵ -۴۰
متوسط	۴۰-۵۵
نسبتا شديد	۵۵ - ۷۰
شديد	۷۰-۸۵
خيلي شديد	۸۵<

بر اساس معيارهاي ذكر شده در جداول ۵-۱۰ و ۵-۱۱ خطرات سيل در زيرحوضه هاي تجن بررسي و مقادير كمي پارامترهاي مربوط استخراج و بر اساس آن طبقات خطر سيل در اين حوضه ها تعيين گرديد. جدول ۵-۱۳ نتايج اين بررسي‌ها و محاسبات را نشان مي‌دهد.

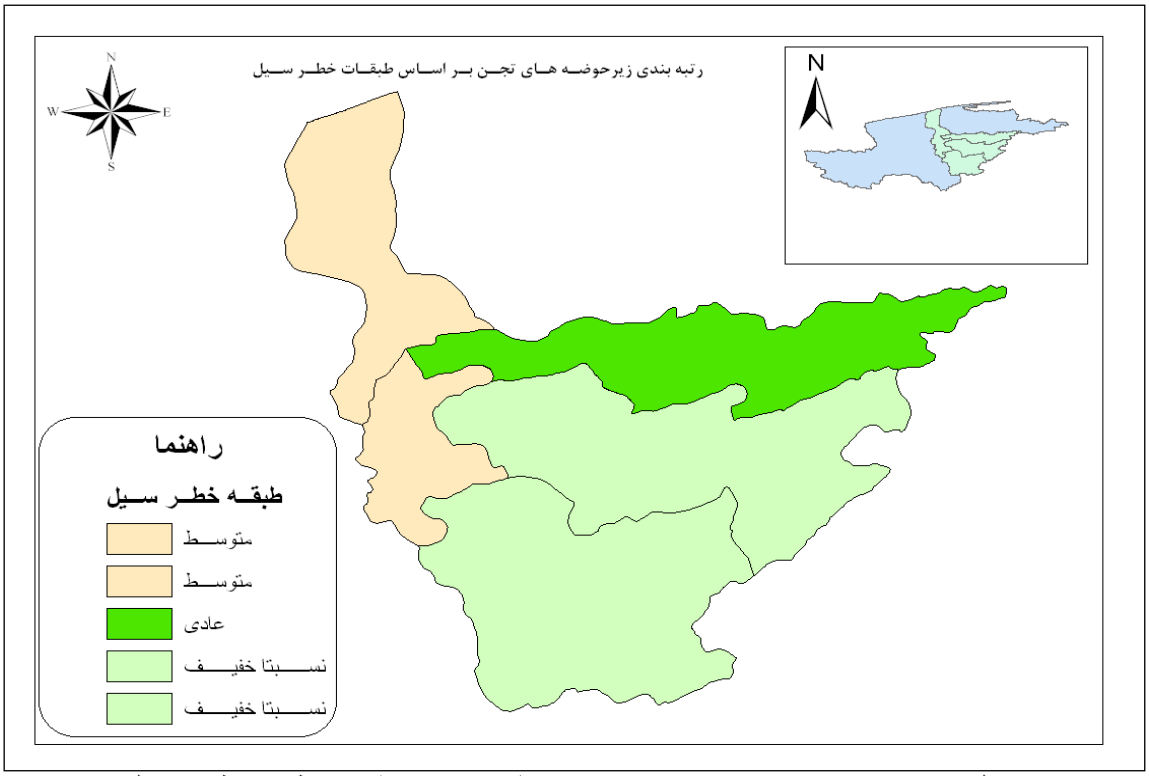
جدول ۵-۱۳: طبقه‌بندي خطر سيل بر حسب دامنة امتيازات در زير-حوضه هاي تجن

نام حوضه	تلفات ويژه (نفر در ميليون)	خسارات ويژه (ميليون $ بر نفر)	جمعيت ويژه (نفر در هزار نفر)	تراكم سيل*	تعداد وقوع (واقعه)	جمع امتياز	طبقة خطر سيل
تجن	۲۰	۲,۵	۱۵	۷	۱	۴۱,۵	متوسط
زارم‌رود	۰	۲,۵	۳,۷۵	۱	۱	۸,۲۵	عادي
لاجيم‌دره	۰	۲,۵	۳,۷۵	۱	۱	۸,۲۵	عادي
چهاردانگه	۰	۲,۵	۱,۵	۱	۱	۱۰	نسبتا خفيف
دودانگه	۰	۱۰	۱,۵	۱	۱	۱۷,۵	نسبتا خفيف

*: تعداد مراكز جمعيتي در هزار كيلومترمربع

همان طور كه جدول ۵-۱۳ نشان مي‌دهد، زيرحوضه تجن بر اساس اطلاعات در طبقة خطر سيل متوسط قرار داشته و زيرحوضه هاي چهاردانگه و دودانگه طبقة خطر سيل نسبتا خفيف را به خود اختصاص داده اند.

شكل ۵-۷، رتبه‌بندي زيرحوضه هاي تجن از نظر طبقات خطر سيل را نشان مي‌دهد.



شكل ۵-۷: رتبه‌بندي زيرحوضه هاي تجن از نظر خطر سيل

۵-۴-۸- شدت سيل‌خيزي در حوضه آبخيز تجن

بررسي شدت سيل‌خيزي حوضه ها از ديدگاه آبخيزداري اهميت زيادي دارد. زيرا حوضه هاي با سيل‌خيزي بيشتر اولويت بيشتري نسبت به حوضه هاي با سيل‌خيزي كمتر را در اجراي طرح‌هاي حفاظت خاك و آب دارا مي‌باشند. سيل‌خيزي حوضه به نوعي بيانگر قابليت توليد رواناب در حوضه مي‌باشد كه هر چه ضريب توليد رواناب بيشتر باشد، نفوذپذيري و قدرت نگهداري آب در حوضه كمتر بوده و در نتيجه بارش به سرعت از حوضه خارج شده و به همراه آن خسارات زيادي وارد شود. دبي حداكثر لحظه‌اي ويژه يكي از شاخص‌هاي مهم در هيدرولوژي است كه بيانگر سيل‌خيزي حوضه مي‌باشد. دبي حداكثر لحظه‌اي با دوره برگشت ۵۰ ساله براي زيرحوضه هاي تجن از بانک اطلاعاتي آبخيزداري دريافت‌و با تقسيم آن بر مساحت حوضه مقادير دبي ويژه براي هر كدام از اين زيرحوضه هاي محاسبه گرديد. در حوضه آبخيز تجن دامنه دبي ويژه بين۰,۲۴متر مكعب بر

ثانیه در کیلومترمربع تا ۰,۵۴ مترمکعب در ثانیه در کیلومترمربع برآورد شده که به ترتیب مقادیر حد اکثر و حد اقل مربوط به حوضه چهاردانگه و دودانگه می‌باشد.

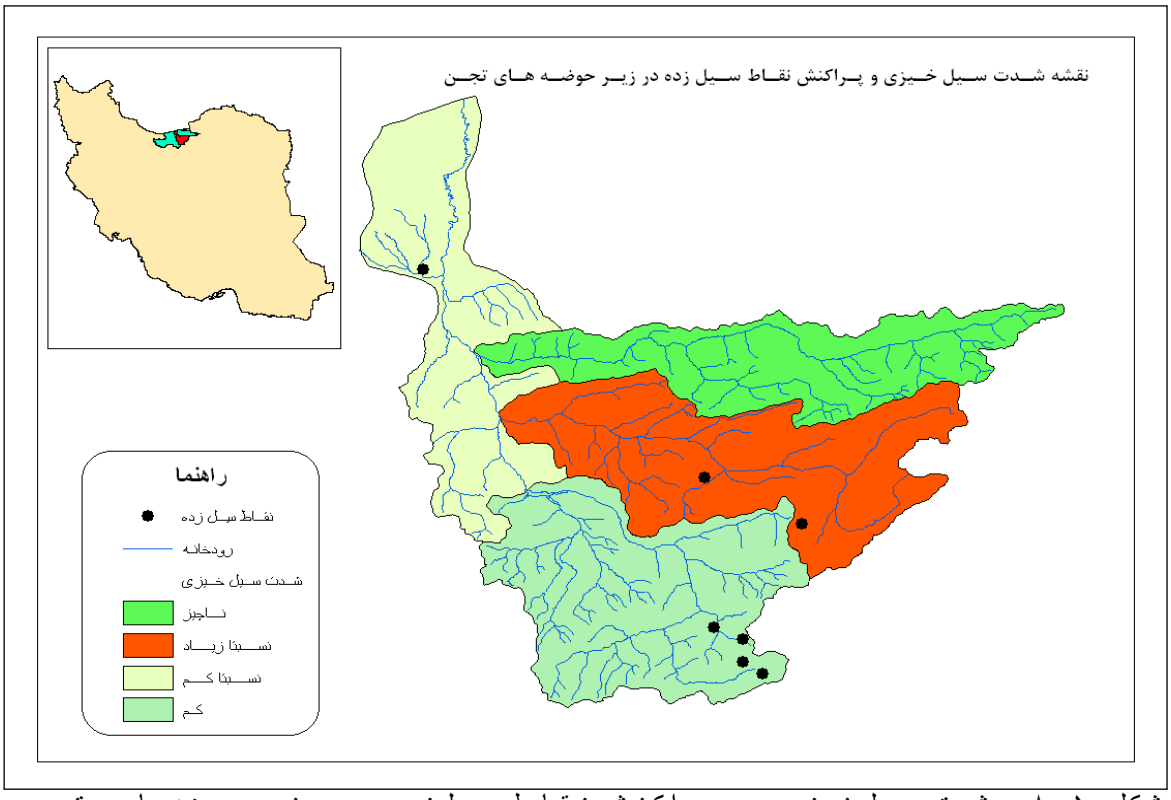
به منظور طبقه‌بندي زیرحوضه هاي تجن بر اساس شدت سیل-خیزي از شاخص‌هاي تعیین‌شده براي کل کشور توسط سازمان جنگل ها ، مراتع و آبخیزداري کشور استفاده شده است. با توجه به جدول ۵-۱۵ حوضه چهاردانگه با بیشترین شدت سیل‌خیزي در طبقه نسبتا زیاد و دودانگه در طبقه کم قرار گرفته است. طبقات شدت سیل‌خیزي در شکل ۵-۸ ملاحظه می‌گردد.

جدول ۵-۱۴: شاخص طبقه‌بندي شدت سیل‌خیزي در حوضه هاي آبخیز کشور[۲۴]

طبقات شدت سیل‌خیزي	محدوده تغییرات شدت سیل-خیزي (مترمکعب در ثانیه در کیلومترمربع)
ناچیز	۰-۰,۰۸۸
خیلي کم	۰,۰۸۸۰-۰,۱۶
کم	۰,۱۶۱-۰,۲۴
نسبتا کم	۰,۲۴۱-۰,۳۲۰
متوسط	۰,۳۲۱-۰,۴۰
نسبتا زیاد	۰,۴۱-۰,۵۵۰
زیاد	۰,۵۵۱-۰,۷۰
خیلي زیاد	۰,۷۰۱-۱
طغیاني	۱<

جدول ۵-۱۵: طبقه‌بندي شدت سیل‌خیزي در زیرحوضه هاي تجن

کد حوضه	نام حوضه	دبي اوج ویژه با دوره بازگشت ۵۰ ساله (مترمکعب در ثانیه در کیلومترمربع)	طبقة شدت سیل خیزي
۱۵۳۱	تجن	۰,۲۷	نسبتا کم
۱۵۳۴	چهاردانگه	۰,۵۴	نسبتا زیاد
۱۵۳۵	دودانگه	۰,۲۴	کم



شکل ۵-۸: شدت سیل‌خیزي و پراکنش نقاط سیل‌زده در زیرحوضه هاي تجن

۵-۵- ارزیابي کلي استعداد سیل‌خیزي زیرحوضه سد شهید رجائي

در نتایج حاصل از بررسي‌هاي تعیین شدت سیل‌خیزي، زیر-حوضه سد شهید رجائي جزء طبقات با شدت سیل‌خیزي کم قرار گرفته است. حال در اینجا به بررسي استعداد سیل-خیزي در زیرحوضه هاي سد شهید رجائي مي‌پردازیم.

۵-۵-۱- تقسیمات حوضه به واحدهاي هیدرولوژیکي (زیر-حوضه ها)

براي بررسي سیل‌خیزي، زیرحوضه سد شهید رجائي را به ٤ زیرحوضه یا واحد هیدرولوژیکي تقسیم نموده‌ایم (جدول ۵-۱٦). این واحدها عبارتند از:

۵-۵-۱-۱- واحد هیدرولوژیکي سلیمان‌تنگه (I): این زیر-حوضه کمترین انطباق با شکل دایره را دارد. عمق خاک عمدتا نیمه‌عمیق با بافت سنگین و داراي وضعیت سنگ-شناسي عمدتا شامل مارن، مارن‌شیلي، سنگ آهک مارني، کنگلومرا و ... مي‌باشد.

۵-۵-۱-۲- واحد هیدرولوژیکی شیرین‌رود (II): این زیر-حوضه نزدیکترین شکل به دایره را دارد و به علت اینکه تمام شاخه‌هاي فرعي آن تقریبا در یک زمان جریان خود را به رودخانهٔ اصلي مي‌ریزند. در مقایسه با سایر زیرحوضه-ها کشیده و طویل، دبي اوج بیشتري دارد. وضعیت سنگ-شناسي آن شامل شیل، ماسه‌سنگ، سیلتسنگ، سنگ رس، رگه-هاي ذغال، سنگ آهک، شیل آهکي، آهک دولومیتي و کریستالیزه شده، گنگلومرا، مارن، ماسه، شیل آهکي و تناوب مارن و آهک آمونیتدار و ... می‌باشد.

۵-۵-۱-۳- واحد هیدرولوژیکي فینسک (III): وضعیت سنگ-شناسي آن شامل شیل، ماسه‌سنگ، سیلتسنگ و رس‌سنگ، رگه‌هاي ذغال، سنگ آهک روشن، سنگ آهک دولومیتي، سنگ آهک، شیل آهکي، گنگلومرا، آهک کریستالیزه شده می‌باشد.، از نظر پوشش گیاهي فقیر و عمده‌ترین مناطق فرسایش و تولید رسوب مربوط به این زیرحوضه است.

۵-۵-۱-٤- واحد هیدرولوژیکي لنگر (IV): وضعیت سنگ-شناسي آن عمدتا شیل، ماسه‌سنگ، رس‌سنگ، سیلتسنگ و رگه-هاي ذغال، سنگ آهک رودا‌سیتدار، کوارتزیت، شیل سبز، اسلیت و کمي دولومیت می‌باشد و از نظر نحوهٔ کاربري اراضي اغلب اراضي زراعي، مرتع، جنگل و زمین‌هاي فاقد پوشش اختصاص دارد.

جدول۵-۱۶: مشخصات واحد های هیدرولیکی (زیرحوضه های سد شهید رجائی)[۱]

N	مساحت (کیلومتر مربع)	شیب متوسط %	شیب عمده اراضی %	تراکم آبراهه (کیلومتر-مربع/کیلومتر)	ضریب گراولیوس	طول عرض	پوشش گیاهی
I	۱۵۳,٤	۳۱,۰۵	۲۰-۳۰	۰,۷۳٦	۱,٦۹	۳٦,٦٤ ٤,۷	جنگل، مرتع و اراضي کشاورزي
II	۳۷۲	۳۰,٤۳	۲۰-۳۰	۰,۸۸	۱,۲۹	۲۳,۲٤ ۱۱,۲	جنگل، مرتع و اراضي کشاورزی
III	٤٥٦	۳٤,۷٦	۲۰-۳۰	۱,۳۳	۱,٥٤	٤۹,٥ ۱۹ ۲۱	اراضي کشاورزی، مرتع، جنگل و فاقد پوشش

IV	۲۵۰	۳۱,٤٤	۳۰-٤۰	۰,۸۸	۱,٦۹	۲۹,۳ ۸,٥	مرتع، رخنمون سنگي، اراضي كشاورزي و جنگل

۵-۵-۲- طبقه‌بندی زیرحوضه ها بر اساس استعداد سیل‌خیزی

بر اساس سه عامل پوشش غالب اراضی، شیب غالب اراضی و زمان تمرکز به هر زیرحوضه، امتیاز نسبی داده شده است. در جدول ۵-۱۷ نحوة امتیازدهی به هر یک از عوامل نشان داده شده است.

در جدول ۵-۱۸ امتیاز نسبی به هر یک از زیرحوضه ها داده شده است و در نهایت امتیاز کل و استعداد سیل-خیزی هر زیرحوضه محاسبه شده و در جدول ارائه گردیده است.

جدول ۵-۱۷: عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی در زیرحوضه های سد شهید رجائی و امتیاز نسبی هر کدام

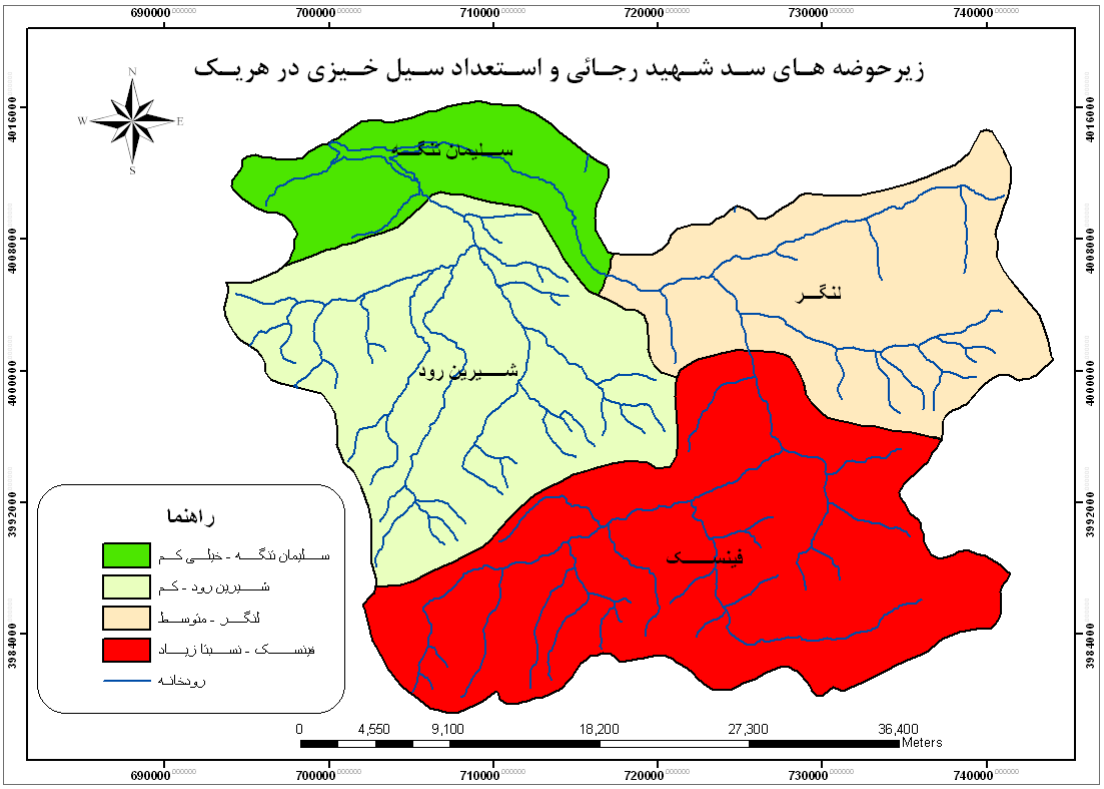
عامل	۱	۲	۳	۴
شیب غالب اراضی	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰
زمان تمرکز (ساعت)	۴	۳	۲	۱
پوشش غالب اراضی	جنگل	مرتع و جنگل	دیم و مرتع	فاقد پوشش و مرتع

جدول ۵-۱۸: امتیازدهی نسبی به هر یک از زیرحوضه های سد شهید رجائی

عامل	سلیمان‌تنگه	شیرین‌رود	لنگر	فینسک
شیب غالب اراضی	۲	۲	۲	۳
زمان تمرکز (ساعت)	۲	۳	۳	۲
پوشش غالب	۱	۱	۲	۳
امتیاز کل	۵ (بسیار کم)	۶ (کم)	۷ (متوسط)	۸ (نسبتا زیاد)

با بررسي عوامل تأثيرگذار بر سيل‌خيزي در زيرحوضه سد شهيد رجائي، زيرحوضه فينسک به علت برخورداري از کمترين وسعت جنگل، شيب نسبتا زياد و وسعت بالاي مراتع بيشترين استعداد

سیل‌خیزي را دارد. در شکل ۵-۹ طبقه‌بندی زیرحوضه های سد شهید رجائی بر اساس استعداد سیل‌خیزی نشان داده شده است.



شکل ۵-۹: زیرحوضه های سد شهید رجائی و استعداد سیل‌خیزی در هر کدام از زیرحوضه ها

- نتایج حاصل از بررسي سیل در حوضه تجن

- زیرحوضه دودانگه (زیرحوضه سد شهید رجائي) داراي بیشترین آمار وقوع سیلاب مي‌باشد، که البته مناطق وقوع سیلاب در جنوب شرقي آن و در زیرحوضه فینسک مي‌باشد.

- زیرحوضه دودانگه (زیرحوضه سد شهید رجائي) داراي شدت سیل‌خیزي کم مي‌باشد. و در بخش فینسک بیشترین استعداد سیل‌خیزي را دارد. علاوه بر این زیرحوضه فینسک بیشترین نقاط سیل‌زده را در آمار داشته است. حفاظت خاص این منطقه از طریق روش‌هاي آبخیزداري با توجه بیشتر و هرچه سریع‌تر توصیه مي‌گردد.

- احداث سد شهید رجائي آب سیلاب‌ها را ذخیره و خطر سیل-خیزي در پایین‌دست سد به ویژه در زیرحوضه لاجیم‌دره را کاهش داده است. سد شهید رجائي از نظر فیزیکي محل مناسب و وسیعي در منطقة سیلگیر زیر-

حوضه سد شهيد رجائي با حجم كافي براي كنترل سيلاب‌ها را دارد.
- وقوع سيلاب مقادير زيادي رسوب را وارد مخزن سد مي‌نمايد و بر ظرفيت و عمر مفيد سد تأثير منفي دارد، از اين رو اقدامات آبخيزداري در بالادست از جمله احداث سدها و بندهاي رسوبگير توصيه مي‌گردد.

٥-٦- فرسايش و رسوب

در حوضه آبخيز رودخانه‌هايي كه بر روي آن‌ها سد احداث مي‌گردد، مسئلة حفاظت خاک از اهميت ويژه‌اي برخوردار است و عمليات حفاظتي به منظور جلوگيري از فرسايش خاک بايد با دقت بيشتر و مؤثرتر انجام گيرد. زيرا وجود سد به عنوان مانع عبور رسوب مي‌باشد و هر قدر شدت فرسايش در حوضه آبخيز بيشتر باشد به همان نسبت مواد بيشتري در پشت سدها جمع و روي‌هم انباشته مي‌شود و در نهايت عمر سد يعني مدت بهره‌برداري از آن كوتاه مي‌گردد. از اين رو در مبحث جداگانه‌اي به بررسي رسوب و فرسايش در زيرحوضه سد شهيد رجائي پرداخته‌ايم.

٥-٦-١- بررسي و اولويتبندي عوامل فرسايشزا در زيرحوضه سد شهيد رجايي

در اين بخش از اولويتبندي عوامل فرسايشزا در زيرحوضه سد شهيد رجائي به روش P.S.I.A.C تهيه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخيزداري كشور استفاده شده است. جدول ٥-١٩، اولويتبندي عامل فرسايشزا در زيرحوضه سد شهيد رجائي به روش P.S.I.A.C [1] آورده شده است.

جدول ٥-١٩: اولويتبندي عوامل فرسايشزا در زيرحوضه سد شهيد رجايي بر اساس روش P.S.I.A.C *[1]*

رديف	عامل فرسايشزا	درجة رسوبدهي
١	توپوگرافي	١٤/٨١
٢	بهره‌برداري از اراضي و احداث راه‌هاي ارتباطي	٦/٦٠
٣	آب‌هاي سطحي (هرزآب)	٦/٢٣
٤	خاک	٥/٤٧
٥	فرسايش اراضي مرتفع	٥/٢٦
٦	فرسايش رودخانه‌اي	٥/١٦
٧	اقليم	٤/٠٧٥

[1]. Pacific South Inter west Agency Commitee

۸	زمين‌شناسي	۳/۱٦
۹	پوشش	-۳/۵۷

۵-٦-۲- بررسي منابع اصلي توليد رسوب

منابع اصلي توليد رسوب در زيرحوضه سد شهيد رجائی بر حسب اولويت به ترتيب زير مي‌باشد.

۵-٦-۲-۱- جاده‌ها: جاده‌ها كه براي ارتباط بين روستاها و شهر ساري و سمنان و نيز شهر ساري به دودانگه و يا بهره‌برداري از جنگل، راه دسترسی به سد، مرتع، زمين-هاي كشاورزي و ساير خدمات ساخته شده و يا در حال ساخت است، يكي از منابع مهم توليد رسوب مي‌باشد. با توجه به توپوگرافي خاص حوضه و شيب تند اراضي و احداث جاده‌ها بدون توجه به اصول فني و حساسيت خاک و با توجه به مقدار بالاي بارندگي ٦۰۰ ميلي‌متر تشديد فرسايش و رسوب در حواشي جاده‌ها داريم. جادة ساري-دودانگه به لحاظ خاكبرداري و خاكريزي با توليد رسوب بالا همراه است و در بعضي از مناطق به دليل ريزش‌هاي مكرر ترانشه‌هاي بلندي به وجود آمده و با يک بارندگي، حجم عظيمي از خاک و رسوب وارد آبراهه‌ها مي‌شود. چون احداث جاده‌هاي ارتباطي اجتناب ناپذير است و از سويي عدم رعايت مسائل حفاظتي و ساخت ابنية فني راه‌سازي در مناطق كوهستاني به خصوص در شروع احداث جاده و نزديكي جاده‌ها به شبكه آبراهه‌ها و يا حتی مخزن سد شهيد رجائی، مقدار قابل توجهي رسوب از طريق حركات توده‌اي، لغزش‌ها و ريزش‌هاي شديد وارد آبراهه مي‌شود. نكته ديگري كه در ارتباط با احداث جاده‌ها مهم است، امكان دستيابي افراد مختلف به منابع بكر و دست نخوردة ارتفاعات جنوبي حوضه و دستيابي به مساحت زيادي از مرتع و جنگل و تبديل آن زمين كشاورزي مي‌باشد كه اين به طور غير مستقيم در توليد رسوب نقش دارد. گروه ديگري از جاده‌ها كه به منظور بهره‌برداري از جنگل احداث مي‌شود براي نمونه براي طرح فريم و چوب و كاغذ مازندران، عموما در شيب‌هاي تند و به صورت مارپيچ در داخل آبراهه‌ها و يال‌ها ادامه دارد، با ايجاد ترانشه-

هاي بلند و از طرفي به علت وجود پتانسيل حركت خاک در اين اراضي باعث حركت و لغزش زمين گرديده و گاهي همين لغزش تا موجب مسدود شدن جادهها و پر شدن جويهاي كنار جاده ميگردد، جريان آب در سطح روان گرديده و باعث شستشوي خاک و بروز گالي در خاكريز جادهها شده است. نتيجه اينكه احداث شبكه راهها و يا تعريض جادهها قديمي در اين مناطق پر شيب بدون رعايت صحيح مسائل فني، موجب تشديد فرسايش شده و رسوب ساليانه را به مقدار قابل توجهي افزايش ميدهد.

۵-۶-۲-۲- اراضي زراعي: به طور خلاصه ميتوان فعاليتهاي زير را موجب افزايش فرسايش و رسوب در اراضي كشاورزي حوضه برشمرد:

- كشاورزي و به ويژه كشت ديم در اراضي با شيب غير مجاز
- كشت در اراضي شيبدار بدون رعايت اصول كاشت- داشت- برداشت (شخم در جهت شيب)
- عدم رعايت تناوب زراعي (عدم كشت گياهان علوفهاي) و شيوههاي نادرست آبياري
- عدم تسطيح و تراسبندي مطابق اصول صحيح فني
- گرايش به كاشت تک محصولي و كاهش توان توليدي خاک
- احداث جادههاي بيرويه و غير اصولي براي رسيدن به مزارع

۵-۶-۲-۳- اراضي مرتعي: در اثر بهرهبرداري بيرويه از مراتع ييلاقي به ويژه در بخشهاي جنوبي حوضه، مراتع در حال حاضر داراي وضعيت فقير تا متوسط ميباشد، از عوامل عمدة آن ميتوان به موارد زير اشاره كرد:

- تراكم دام بيشتر از ظرفيت مراتع و عدم رعايت مدت و زمان صحيح چرا (چراي زودرس)
- قطع اشجار و كاهش تاج پوشش (كاهش تجديد حيات طبيعي)
- از بين رفتن گونههاي علوفهاي مرغوب بومي و ظهور گونههاي نامرغوب

۵-۶-۲-٤- کشت دیم در اراضي پر شیب: پراکنش اراضي دیم در حوضه سد شهید رجایي نسبت به شیب در جدول ۵-۲۰ نشان داده شده است.

جدول ۵-۲۰:پراکنش اراضي دیم در حوضه سد شهید رجایي نسبت به شیب[۱]

شیب (درصد)	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-٤۰	٤۰-٦۰	>٦۰	جمع
سطح زیر کشت (هکتار)	۵۰۷	۲۳۰۰	۵۲۵۸	۹۰۵۷	۲٦۰	۳۲	۱۷٤۱٤
مساحت (درصد)	۹۱/۲	۱۳/۲۱	۳۰/۲	۵۲	۱/۵	۰/۱۸	۱۰۰

اگر حداکثر شیب مجاز دیم‌کاري را ۲۰% بپذیریم، با توجه به پراکنش اراضي دیم نسبت به شیب در زیرحوضه سد شهید رجایي، میزان قابل توجهي از اراضي دیم (حدود ٥٤%) در شیب غیر مجاز قرار دارند. عملیات زراعي چون شخم در اکثر قریب به اتفاق اراضي دیم منطقه، شخم سطحي و در جهت شیب اجرا مي‌شود. عموما زمین تا مدتي پس از شخم بدون پوشش گیاهي باقي مي‌ماند، زمان آن مصادف با باران‌هاي پاییز و بهاره است و به این ترتیب بهترین شرایط براي ایجاد فرسایش و تولید رسوب فراهم مي‌گردد. کشاورزان ضمن عملیات شخم سنگ‌ها را از روي زمین جمع‌آوري و در نقاطي از مزرعه بر روي یکدیگر تل مي‌کنند، این اقدام نه تنها خاک را سست مي‌نماید، بلکه یکي از عوامل کنترل کنندة رواناب را از زمین خارج مي-سازد. اراضي دیم با وجود اینکه سطح کمي از حوضه آبخیز را اشغال مي‌نمایند، لیکن به علت شیوه نادرست بهره‌برداري، خاک بسیار عمیق و خوب آن به شدیدترین وجهي در معرض فرسایش قرار دارد. علاوه بر این شخم‌هاي تکراري عدم رعایت تناوب زراعي، عدم استفاده از عملیات حفاظتي خاک (تراسبندي، تسطیح و...)، چرانیدن بقایاي محصول، کشت تک محصولي و عدم کشت علوفه و نباتات علوفه‌اي در تخریب و فرسایش خاک اراضي دیم نقش قابل توجهي دارند. فقط مراتع مناطق سنگي به دلیل صعب العبور بودن براي دام‌هاي اهلي، به چراي حیات وحش منطقه اختصاص دارد.

۵-۶-۲-۵- زمین‌های جنگلی: بیش از ٤٠ درصد از مساحت زیرحوضه سد را جنگل انبوه و نیمه انبوه پوشانیده که فرسایش و رسوبدهی قابل ملاحظه‌ای در این اراضی انتظار نمی‌رود. با این حال پاره‌ای از فعالیت‌ها موجب افزایش فرسایش سطحی در این اراضی می‌گردند که به شرح ذیل می‌باشند.

- بهره‌برداری غیر اصولی از جنگل‌ها (مدیریت نادرست جنگل، تجاوز و تخریب جنگل)
- احداث جاده‌های جنگلی بدون رعایت اصول صحیح فنی
- ورود دام به جنگل تقریبا در تمامی فصول (آسیب به نهال‌های جوان، کوبیده شدن خاک مرطوب جنگل و کاهش نرخ نفوذپذیری)
- جنگل‌تراشی به منظور تأمین سوخت و تبدیل به اراضی کشاورزی توسط افراد بومی

با توجه به سرمایه‌گذاری هنگفت در احداث سد شهید رجایی و ادامة سیر کنونی تخریب جنگل و سایر منابع طبیعی به ویژه حساسیت خاص منطقه به علت شیب های تند و توپوگرافی خاص، کوچکترین بی‌احتیاطی در این اراضی موجب بروز خسارت‌های زیان‌بار خواهد شد. شیوه بهره‌برداری از جنگل به طور سنتی و قطع درختان و کشیده شدن تنه یا تمام درخت روی زمین‌های پر شیب از جوانب مختلف نظیر شکستن نهال‌های جوان، فشردگی خاک و از بین رفتن هوموس سطح خاک در امر حفاظت از خاک مضر است و با توجه شرایط توپوگرافی و اقلیمی خاص منطقه میزان بارندگی و حساسیت خاک و سیر صعودی نابودی جنگل‌ها نمی توان بهره‌مندی سد در دراز مدت را انتظار داشت.

۵-۶-۲-۶- زمین لغزه‌ها : زمین لغزه‌ها چه به صورت طبیعی و چه ناشی از عملیات استفاده از زمین و فعالیت‌های انسانی در حوضه ایجاد گردد، یکی از منابع تولید رسوب می‌باشد که حجم زیادی خاک، سنگ و سنگریزه را وارد شبکة هیدروگرافی رودخانه‌ای نموده و نهایتا به محل مخزن سد می‌رسد.

۵-۶-۳- بررسی اثرات ناشی از فرسایش و رسوب

اثرات ناشي از فرسايش و رسوب در زيرحوضه سد شهيد رجائي عبارتند از:
- كاهش حاصلخيزي اراضي كشاورزي و كاهش توان توليدي زمين‌های فرسايش يافته
- آلودگي آب رودخانه از طريق ورود سيلت، رس و ساير رسوبات
- اثرات سوء بر شرايط محيط زيست ماهي‌ها و ساير آبزيان
- تغيير خصوصيات فيزيكي، شيميايي و بيولوژيكي خاک فرسايش يافته
- پر شدن كانال‌ها، نهرها، رودخانه‌ها و بندها از رسوبات و كاهش ظرفيت آب عبوري و سرريز و سيلاب در زمين‌هاي اطراف رودخانه و كانال‌ها (افزايش هزينه‌های لايروبی)
- پايين افتادن سطح آب زيرزميني (كاهش قدرت نفوذپذيري خاک فرسايش يافته) در نتيجه افزايش هزينة حفر چاه و پمپاژ آب براي كشاورزي
- كاهش سطح آب زيرزمينی منجر به كاهش محصولات زراعي و كاهش جمعيت حيات وحش منطقه
- انتقال رسوب توسط شبكه هيدروگرافي در نهايت به مخزن سد و كاهش حجم مفيد مخزن و هدر رفتن بخش عظيمي از سرمايه‌هاي ملي (در اين مطالعه مهم‌ترين اثر فرسايش و رسوب محسوب می‌گردد).

- **اثرات ناشي از فرسايش در پشت سد:** از خسارات مهم فرسايش و رسوب در يک حوضه آبخيز، كاهش ظرفيت مخزن سد مي‌باشد. كاهش ظرفيت مخزن سد منجر به كاهش توليد نيروي برق- آبي، كاهش محصولات كشاورزي در پايين‌دست، افزايش هزينه لايروبي مخزن سد مي‌شود. در صورت تشديد ورود مواد رسوبي، مخزن سد پر شده و سد غير قابل استفاده خواهد شد كه جبران آن ممكن است، امكان‌پذير نباشد.

چون ميزان رسوب وارده به مخزن سد بر اساس برآورد رسوب برابر با ٥٠٨٧٤,١٥ تن در سال مي‌باشد. كه اگر اين مقدار رسوب به همين نسبت ثابت باقي بماند هر ساله حجمي برابر ٣٩٠٩٠٣,٢مترمكعب از ظرفيت ذخيره‌اي

سد كاسته خواهد شد، از سوي ديگر مقدار رسوب مجاز براي اين حوضه آبخيز حدود ٢٤٦٢٨٠ تن در سال برآورد شده است (٢٠٠ تن در هر كيلومترمربع) كه مي‌بايست از طريق عمليات آبخيزداري به آن حد برسد[١]. البته در صورتي كه عمليات آبخيزداري در حوضه اجرا نشود، با عمليات بهره‌برداري غير اصولي نرخ توليد رسوب افزايش شديدي يافته و در مدت زمان كمتر از آنچه كه عمر سد طراحي شده پر خواهد شد.

٥-٦-٤- اولويت زيرحوضه ها از نظر ميزان فرسايش و رسوب

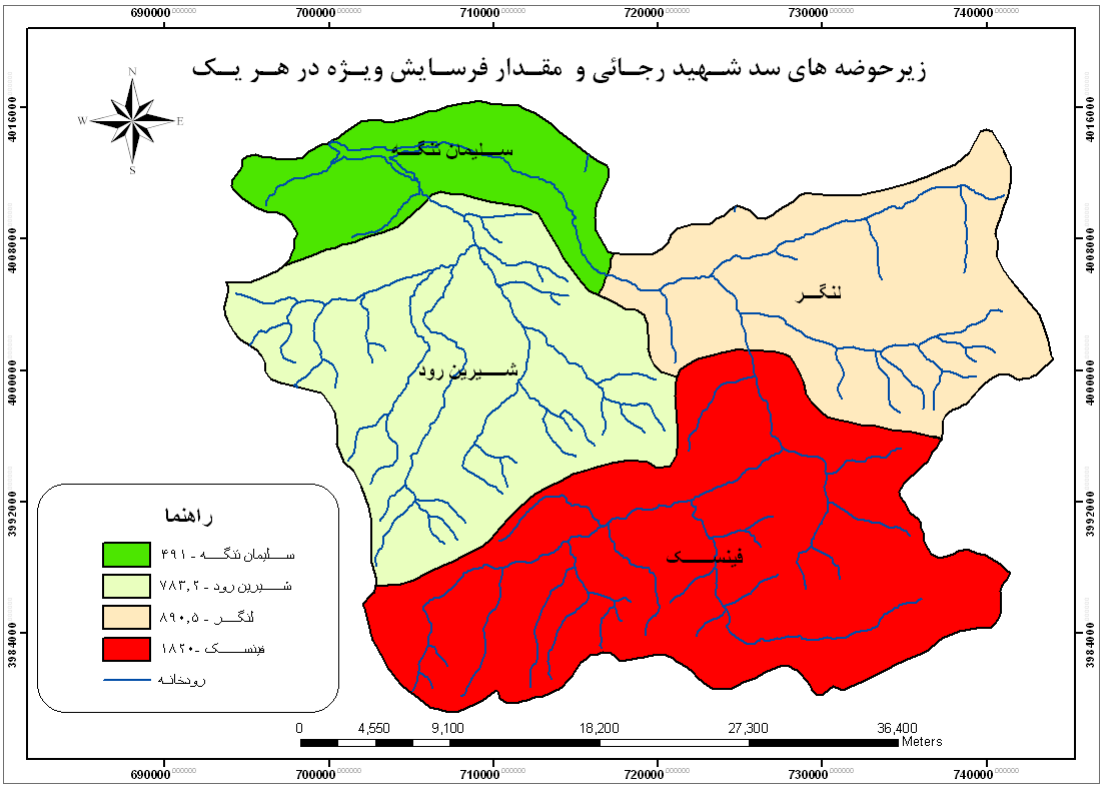
در جدول ٥-٢١ ميزان رسوبدهي زيرحوضه های سد شهيد رجائي نشان داده شده است.

جدول ٥-٢١: ميزان رسوبدهي زيرحوضه های سد شهيد رجائي***[١]***

واحد هيدرولوژيكي	مساحت (Km^2)	ميزان فرسايش ويژه $T/Km^2/Y$	ميزان رسوب ويژه $T/Km^2/Y$
سليمان‌تنگه	١٥٣,٤	٤٩١	٢٠٧,٧
شيرين‌رود	٣٧٢	٧٨٣,٢	٣٠٣,٢
فينسک	٤٥٦	١٨٢٠	٦٠٤,٣
لنگر	٢٥٠	٨٩٠,٥	٣٤٨,٢
كل حوضه تجن	١٢٣١,٤	١١٥٢,٨٩	٤١١,٩٨

بر اساس بررسي‌هاي انجام شده، بيشترين مشكل فرسايش را زيرحوضه فينسک با ميزان فرسايش ويژه ١٨٢٠ تن در هر كيلومترمربع در سال و با توليد رسوب ويژه ٦٠٤/٣٥ تن در هر كيلومتر مربع در سال دارا مي باشد. اين زيرحوضه بالاترين وسعت را نيز دارا مي‌باشد (٤٥٦ كيلومترمربع)، نوع استفاده از زمين آن مراتع، ديمزار و باير مي‌باشد. فرسايش غالب آن فرسايش سطحي مي‌باشد، وضعيت چرا سنگين، پوشش گياهي كم و بخشي از سطح اين زيرحوضه را صخره تشكيل مي‌دهد كه گاهي سنگ‌هاي بزرگ در اثر ريزش وارد رودخانه شده و بر اثر سيلاب جابجا شده كه مشكلاتي به وجود مي‌آورد. سيلاب هيكوه در مرداد ماه ١٣٦٦ در اين زيرحوضه اتفاق افتاده است. رودخانه‌ها در اين زيرحوضه داراي شيب زيادي مي‌باشد كه قدرت فرسايندگي آن را افزايش مي‌دهد. خاک‌هاي منطقه سست و سواحل رودخانه دچار فرسايش شديد گرديده است. حدود ٥٤ درصد از كل رسوب حوضه

در این زیرحوضه تولید می‌شود. در شکل ۵-۱۰ زیرحوضه های سد شهید رجائی و میزان فرسایش ویژه در هریک نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۰: زیرحوضه های سد شهید رجائی و میزان فرسایش ویژه در هر کدام از زیرحوضه ها

۵-۶-۵- توصیه عملیات حفاظت خاک در زیرحوضه هاي سد شهید رجائي

- قرق مرتع و اعمال مدیریت مراتع (رعایت اصول چراي دام در مرتع)
- جلوگیري از شخم بي‌رویه در اراضي زراعي، اقدام به شخم صحیح و رعایت اصول کشت و کار در اراضي پرشیب
- جلوگیري از آبیاري غلط زراعي و افزایش کود دامي
- احداث فارو به همراه بذرپاشي، تراسبندي، جنگل‌کاری (شکست شیب دامنه ها)
- تبدیل اراضي دیم کم‌بازده به مرتع، کاشت دائمي و ایجاد پوشش گیاهي در اراضي پر شیب و پرهیز از آیش
- ارائه دستورالعمل اجرایي براي فعالیت‌هاي انساني از جمله جاده‌سازي

- حداقل فعاليت‌هاي انساني در محل لغزش‌ها انجام گيرد، محل خطر با علائم و تابلو مشخص گردد.
- احداث بندهاي خشكچين در محل آبراهه‌ها
- انحراف آب‌هاي ورودي به منطقه لغزش و ايجاد سيستم مناسب زهكشي در توده‌هاي لغزشي
- عدم انجام زراعت آبي و جلوگيري از تردد دام و وسايل نقليه سبک و سنگين در مناطق لغزشي

۵-۷- کیفیت آب مخزن سد شهید رجائی

۵-۷-۱- عوامل موثر بر کیفیت آب مخزن سد شهید رجائی

به طور كلي عوامل تأثيرگذار بر كيفيت آب به سه دسته فيزيكي، طبيعي و انساني قابل تقسيم است كه در جدول ۵-۲۲ آورده شده است. سپس عوامل تاثيرگذار در كيفيت آب مخزن سد شهيد رجائي مورد بررسي قرار گرفته است.

جدول ۵-۲۲:پارامترهاي تأثيرگذار بر كيفيت آب[۸]

- پارامترهاي تأثيرگذار بر كيفيت آب	
۱- عوامل فيزيكي	- مشخصات مخزن - اقليم - لايه‌هاي زمين‌شناسي - كيفيت آب ورودي
۲- عوامل طبيعي	- نوع پوشش گياهي - بيوماس مخزن
۳- عوامل انساني	- نواحي شهري - نواحي صنعتي - نواحي روستايي

۵-۷-۱-۱- مشخصات مخزن سد شهید رجائي

هر چه قدر ابعاد فيزيكي مخزن بزرگتر باشد، مقادير بيشتري از انرژي در آن ذخيره مي‌گردد و در نتيجه لايه-بندي حرارتي پايدارتر است[۸]. سد شهيد رجائي بر اساس اندازة مخزن جزء سدهاي متوسط محسوب مي‌گردد، بنابراين احتمال لايه‌بندي در مخزن به علت ابعاد فيزيكي آن وجود دارد.

۵-۷-۱-۲- اقلیم و موقعیت جغرافیایي سد شهید رجائي

اقليم و عرض جغرافيايي محل سد بر شكلگيري لايهبندي حرارتي در مخزن مؤثر است. بر اساس طبقهبندي وتزل[1] براي مناطق با تراز كمتر از ۱۰۰۰ متر، سد شهيد رجائي در گروه سدهاي عرض جغرافيايي ۲۵ تا ۴۰ قرار ميگيرد [۸]، لذا بر اساس ويژگيهاي اين گروه از سدها، در سد شهيد رجائي لايهبندي ثابت[2]، چرخش حرارتي[3]، در زمستان در مخزن وجود دارد و در تابستان لايهبندي حرارتي خواهيم داشت.

۵-۷-۱-۳- وضعيت عناصر مغذي در مخزن سد شهيد رجائي

تغذيهگرايي يك روند طبيعي در درياچهها ميباشد. در طول زمان، شدت غنيشدن درياچه از مواد مغذي افزايش مييابد و اين تمايل به سمت مواد مغذي شدن در همة مخازن آب ديده ميشود. به طور كلي درياچه بخشي از مواد مغذي زهكشي شده از حوضه را در خود ذخيره ميكند. بر اساس طبقهبندي سدها بر اساس وضعيت تغذيهگرايي مخرن شهيد رجائي در گروه درياچههاي مزوتروفيك[4] ما بين دو درياچة اليگوتروفيك[5] و يوتروفيك[6] قرار ميگيرد.

۵-۷-۱-۴- اهداف بهرهبرداري سد شهيد رجائي

سد شهيد رجائي به علت اهداف مختلفي چون تأمين آب كشاورزي، توليد انرژي برقآبي، كنترل سيلاب و ساير اهداف جزء سدهاي چند منظوره[7] محسوب ميگردد. تأمين آب كشاورزي در فصول زراعي منجر به ذخيرة آب در ساير فصول در مخزن و اين زمان ماند بر كيفيت آب تأثير عمدهاي دارد. با آغاز به كار نيروگاه سد براي توليد انرژي برقآبي پالسهايي از جريان جهت توليد بيشتر انرژی رها شده كه به اين ترتيب بخشي از آب ذخيره شده در مخزن كاسته خواهد شد.

۵-۷-۱-۵- موقعيت سد شهيد رجائي در حوضه آبريز

مؤقعيت قرارگيري سد در حوضه بيانگر شاخههاي فرعي ورودي به مخزن است كه تأثير مهمي بر مشخصههاي

---

[1] . Wetzel, 1975
[2] . warm monomictic
[3] . circuration
[۴] . Mesotorophic
[۵] . Oligotrophic
[۶] . Europhic
[۷] . Multi Purpose Project

ليمنولوژيكي دارد. احداث سد در موقعيت‌هاي مختلف در حوضه منجر به تغيير عمق، شيب مخزن و رسوبات در مخزن و نيز زمان ماند آب در مخزن مي‌گردد[۸]. سد شهيد رجائي به علت ساخته شدن بر روي شاخه هاي فرعي در بالاست حوضه تجن اغلب داراي بستري پر شيب با ساحلي طولاني و پيچيده مي‌باشند. بنابراين جزء مخازن نسبتا عميق و احتمال لايه‌بندي در آن وجود دارد.

۵-۷-۱-۶- زمان ماند آب مخزن سد شهيد رجائي (زمان ماند هيدروليكي)

زمان ماند آب تأثير بسيار مهمي بر پديده‌هاي ليمنولوژيكي داخل مخزن دارد. اين تأثيرات شامل تغييرات در نرخ ماندگاري مواد، ايجاد لايه‌بندي حرارتي و تأثير بر اندازه و تركيب پلانكتون‌ها و شدت مغذی شدن است.

مخازن بر اساس نحوة تخليه و زمان ماند آب در مخزن به ۳ گروه كلي تقسيم مي‌شوند:

گروه اول: مخازن با تخلية سريع (R<۱۵)[۸]

گروه دوم: مخازن با زمان ماند متوسط (۱۵<R> يک سال)[۸]

گروه سوم: مخازن با زمان ماند طولاني (R> يک سال)[۸]

زمان ماند هيدروليكي به صورت نسبت حجم مخزن به دبي خروجي از مخزن و بر حسب روز يا سال تعريف مي‌شود. بر اساس فرمول زير:

t = زمان ماند هيدروليكي

V = حجم مخزن در تراز نرمال

$t = V/Q$

Q = نرخ خروجي يا جريان

سد شهيد رجائي با حجم مخزن ۱۶۲ ميليون مترمكعب در تراز نرمال و ميانگين دبي خروجي ۵,۵ مترمكعب در ثانيه، جزء مخازن با زمان ماند متوسط مي‌باشد.

- معيار عدد فرود: در اين معيار در صورتي كه عدد فرود كمتر از ۰,۳ باشد، پديدة لايه‌بندي رخ خواهد داد[۸].

$$F = 320 (L. Q/H.V)$$

L: طول مخزن سد بر اساس بر حسب متر
Lr = ۸۰۰۰ متر
Q: متوسط جريان ساليانه بر حسب مترمكعب بر ثانيه
Qr = ۵,۵ مترمكعب بر ثانيه
V: حجم مخزن بر حسب مترمكعب
Vr = ۱۶۲۰۰۰۰۰۰ مترمكعب
H: متوسط عمق مخزن بر حسب متر (V/A)
Hr = ۴۰,۵ متر
A: مساحت مخزن بر حسب مترمربع
Ar = ۴۰۰۰۰۰۰ مترمربع

Fr = 320 (8000 * 5.5 / 40.5 * 162000000)

Fr = 0.002

بر اساس روابط تجربي كاربردي (عدد فرود) در تعيين لايه‌بندي حرارتي مخازن، در مخزن سد شهيد رجائي لايه-بندي رخ خواهد داد.

۵-۷-۱-۷- كاربري اراضي در بالا دست سد شهيد رجائي

يكي از مهم‌ترين اطلاعات لازم جهت بررسي كيفيت آب، كاربري اراضي و گسترش آن در سطح حوضه است. آلاينده‌ها در بالا دست مخزن سد شهيد رجائي را مي‌توان به دو گروه عمدة كشاورزي و روستايي دسته‌بندي نمود. با كاربري كشاورزي در بالادست سد شهيد رجائي حتي بدون به كار گرفتن كود شيميايي يا كود طبيعي، نيتروژن موجود در مواد آلي تجزيه شدن در خاك، در اثر اكسايش به نيترات تبديل مي‌شود كه مقدار اضافي يون نيترات در پسابي كه به آب درياچه مي‌ريزد موجب رشد جلبك‌ها مي‌شود. حال آنكه با توجه به اينكه بر اساس آمار در اين مناطق مقادير قابل توجهي در كشت آبي و ديم كودهاي شميايي فسفره و اوره مورد استفاده قرار مي‌گيرد، مقادير N و P بيشتري وارد آب درياچه مي‌گردد. نكته قابل توجه اينكه نيترات به طور عادي در آب شيرين موجب رشد جلبك‌ها نمي‌شود بلكه به مقاديري فسفر نياز دارد پس معمولا فسفر عنصر مغذي محدودكننده است و افزايش غلظت نيترات بدون افزايش سطح فسفر به افزايش مقدار رشد گياه منتهي نمي‌شود. در زيرحوضه سد شهيد رجائي يون فسفات از منابع متمركز و نامتمركز به آبراهه‌ها راه مي‌يابند. منابع متمركز شامل مراكز جمعيتي مانند

روستا هاي حاشية رودخانه شيرين‌رود و سفيدرود، كه مقادير زياد پلي‌فسفات‌ها موجود در شوينده‌ها در اثر تخليه فاضلاب‌هاي خانگي به آبراهه‌ها راه مي‌يابند. منابع نامتمركز، كشتزارهايي هستند كه زهاب آن‌ها به آبراهه‌ها منتهي به مخزن تخليه مي‌شود، اين زهاب‌ها اغلب حاوي فسفات ناشي از فضولات حيواني و كودهاي شيميايي مي‌باشند.

در حوضه سد شهيد رجايي، پس از بررسي‌هاي انجام شده منابع مهم آلاينده هوا تشخيص داده نشده است، و مهم‌ترين منابعي كه در معرض آلودگي قرار دارند، آب و خاك و به ويژه منابع آب‌هاي جاري مي‌باشد، از اين رو به بررسي آن‌ها مي‌پردازيم. به طور كلي مهم‌ترين منابع آلاينده در حوضه سد شهيد رجايي به ترتيب روستايي (خانگي) و كشاورزي مي‌باشد. تمركز مطالعات ما نيز بر روي عواملي است كه بيشترين تأثيرگذاري را دارند.

الف- آلودگي جوامع روستايي

هم‌جواري اكثر قريب به اتفاق روستاها و مراكز جمعيتي حوضه با رودخانه‌ها و منابع آب‌هاي جاري موجب گرديده كه اين مجاري با ارزش به كانون‌هاي اصلي دفع فاضلاب‌هاي انساني و محل تخليه زباله‌هاي خانگي و كشاورزي تبديل شوند. فاضلاب‌ها از مهم‌ترين عوامل آلاينده در سطح حوضه به شمار مي‌آيند، و دفع غيراصولي آن‌ها به داخل مجاري طبيعي و رودخانه‌ها و حتي در چاه‌هاي جذبي (آلودگي سفره‌هاي آب زيرزميني) از مسائل و مشكلات زيست محيطي منطقه محسوب مي‌گردد. در اين ميان سهم فاضلاب‌هاي خانگي و پساب گرمابه‌ها با توجه به دارا بودن مواد پاك كننده و مقادير زيادي آلودگي ميكروبي و خطرات جدي براي آبزيان و اكوسيستم هاي آبي بيشتر است.

بررسي‌هاي به عمل آمده نشان مي‌دهد كه ميزان (آلودگي ميكروبي (كلي‌فرم)) آب در ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري شده از ديگر آلودگي‌هاي بيشتر بوده و تقريبا به صورت دائمي آب‌هاي جاري به ويژه در حاشية مراكز جمعيتي (روستاها) و بيشتر در فصول تابستان (مناطق ييلاقي) به انواع ميكروب‌ها آلوده مي‌باشد (جدول۵-۲۳).

جدول ۵-۲۳: نتيجة آزمايشات فيزيکی، شيمايي و ميکروبي رودخانه تجن در بالادست سد (۸۵/۹/۱۹)

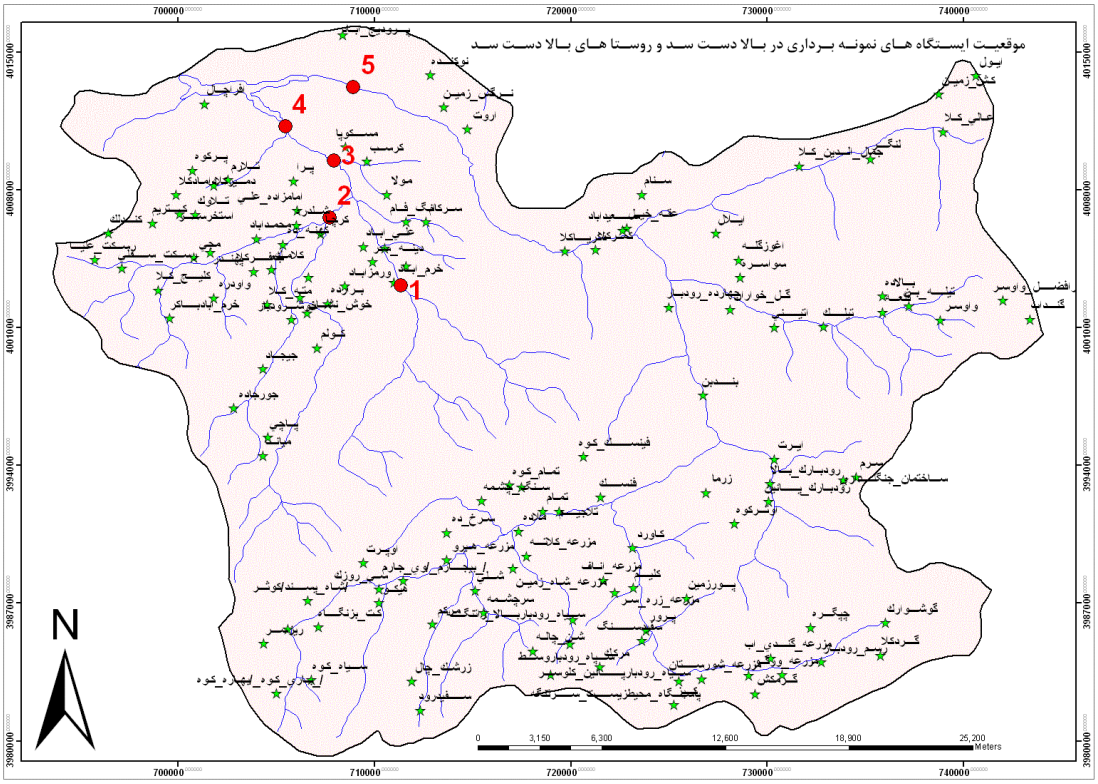
ايستگاه	S1	S2	S3	S4	S5
PH	۷,۸۵	۷,۹۰	۷,۸۷	۷,۷۷	۷,۷۴
TDS mg/l	۱۳۵	۳۲۰	۴۱۰	۲۰۰	۲۱۵
TSS mg/l	۴۰	۷۰	۶۵	۷۵	۵۶
DO mg/l	۱۰,۸	۱۰,۹	۱۰,۳	۱۱,۵	۱۱,۸
BOD mg/l	۴,۸	۶,۹	۶,۲	۶,۵	۵,۵
COD mg/l	۹,۴	۸,۱	۷,۸	۹,۸	۹,۸
Total Coliforms/100	۱۵	۱۱۵۰	۲۴۵۰	۴۵	۴۶۰
Fecal Coliforms/100	۰	۹۴	۱۹۰	۵	۵۲

هر يك از ايستگاه‌هاي انتخابي بنا به دلايل زير انتخاب و از آب آن‌ها نمونه‌برداري شده و در آزمايشگاه شركت خدمات مهندسي جهاد (مشاور خزر) مورد آزمايش قرار گرفته است.

- **ايستگاه شمارة ۱:** در بالادست روستاي خرم آباد (بخش دودانگه)، به علت عدم وجود مراكز جمعيتي (روستا ها) و در نتيجه عدم وجود مواد آلاينده در بالادست اين منطقه بوده است. از اين رو اين ايستگاه به عنوان شاهد و شاخص جهت مقايسه با ساير ايستگاه‌ها استفاده شده است.
- **ايستگاه شمارة ۲:** در بالادست پل كرچا، اندكي پايين‌تر از محل تلاقي سرشاخه هاي شل‌دره و كهنه‌ده واقع شده است. با توجه به اينكه روستا هاي متعددي در حاشية آن وجود دارد، كه بخشي از فاضلاب‌هاي انساني و خانگي و پساب گرمابه‌ها وارد رودخانه‌ها مي‌شود. ميزان آلودگي آن در حقيقت به عنوان آلودگي كلي ارزيابي قدرت خودپالائي رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است.
- **ايستگاه شمارة ۳:** در پايين‌دست پل كرچا و بعد از ورود اشكرود به داخل رودخانة اصلي، دبي اشكرود پايين است و در نتيجه از قدرت خودپالائي كمتري برخوردار است و در نتيجه بار آلودگي آن نيز بيشتر است.
- **ايستگاه شمارة ۴:** در انتهاي شيرين‌رود، كمي قبل از محل تلاقي با سفيدرود قرار دارد كه در واقع

پارامترهاي آلودگي آب رودخانه در منطقه دودانگه را نشان مي‌دهد.

- **ايستگاه شمارة ۵:** در انتهاي سفيدرود، كمي قبل از محل تلاقي با شيرين‌رود كه ميزان آلودگي و تا حدودي ميزان قدرت خودپالائي رودخانه سفيدرود را با توجه به روستاهاي مجاور مشخص مي‌سازد. در شكل ۵-۱۱، موقعيت ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري و روستاهاي بالادست سد شهيد رجائي نشان داده شده است.



شكل ۵-۱۱: موقعيت ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري و روستاهاي بالادست سد شهيد رجائي

- **نتايج حاصل از بررسي نمونه‌هاي آب در بالادست سد**

- **pH:** pH در كليه از ايستگاه‌ها تقريبا نرمال است.

- **DO:** اكسيژن محلول، به طور طبيعي در آب وجود دارد و در حقيقت تأمين‌كننده اكسيژن مورد نياز آبزيان است. هر اندازه مقدار اكسيژن محلول آب بيشتر باشد، شرايط زيستي آبزيان به ويژه آزاد ماهيان نيز بهتر خواهد بود. آلودگي محيط به ويژه آلودگي فاضلاب‌هاي انساني و شيميايي در كاهش DO مؤثر است. در ايستگاه‌هاي

نمونه‌برداري DO به دليل وجود عوامل مساعد و قدرت خودپالائي رودخانه تقريبا در حد نرمال و تنها در ايستگاه شمارة ۱ (بالادست خرم آباد) ميزان اكسيژن محلول مقداري پايين است، با توجه به عدم وجود منابع آلاينده در بالاست يا مجاورت اين ايستگاه مي‌توان نتيجه گرفت كه كاهش اكسيژن محلول به علت واقع شدن در محدودة جنگلي و وجود سايه و گياهان آبدوست نظير توسكا و ريخته شدن و پوسيدن برگ و باقي ماندة گياهان در آب و مقدار بالاي مواد آلي موجب آلودگي طبيعي در آن مي‌گردد.

- **BOD:** اكسيژن مورد نياز جهت فعل و انفعالات بيولوژيكي موجودات زنده، هرچه ميزان BOD بيشتر باشد يعني ميزان آلودگي آب به فاضلاب‌هاي انساني وضعيتي بيشتر است. ميزان مجاز BOD در آب رودخانه‌ها ۲۰ ميلي‌گرم در ليتر مي‌باشد[۸]. BOD در ايستگاه‌ها از حد استاندارد پايين‌تر است. اگر چه ميزان زيادي از فاضلاب-هاي انساني روستاهاي حوضه عمدتا وارد رودخانه‌ها مي شوند، اما شرايط ويژة جغرافيايي و طبيعي روخانه نظير واقع شدن در ارتفاعات و شيب نسبتا زياد، سرعت مناسب آب، وجود بستر سنگلاخي موجب مي‌گردد تا قدرت خودپالائي يا تصفيه خود به خودي اين رودخانه افزايش يافته و آلودگي‌ها را تا حد زيادي تصفيه مي‌نمايد. از سوي ديگر در زمان نمونه‌برداري آب رودخانه‌ها، فاقد رسوبات سيلابي و مواد جامد معلق به ميزان قابل توجه بوده است و ميزان BOD در نمونه‌ها بسيار كم است.

- **COD:** اكسيژن مورد نياز جهت فعل و انفعالات شيميايي آب، COD در آب‌هاي جاري (رودخانه‌ها) ۵۰ ميلي‌گرم در ليتر است[۸]. COD در ايستگاه‌ها از حد استاندارد پايين‌تر است. به نظر مي‌رسد صرفنظر از ورود مقادير از املاح معدني در نتيجة فرسايش خاك، عامل ديگري جهت افزايش COD در حوضه وجود ندارد.

- **كلي‌فرم**[1]: يكي از شاخص‌هاي آلودگي ميكروبي آب مي‌باشد كه به دو گروه تقسيم مي‌شود، اول گروه كلي‌فرم ها اصلي[2] و دوم گروه كلي‌فرمهاي گوارشي[3] كه شاخص وجود فاضلاب‌هاي انساني در آب مي‌باشد. كلي‌فرم ها در اثر تصفيه بيولوژيكي توسط ارگانيسم ها و ميكروارگانيسم ها از بين نمي‌رود و حتي رودخانه‌هاي با دبي مناسب كلي‌فرم ها در طول مسير و در نتيجه تصفيه خود به خودي (خودپالائي) از بين نمي‌رود، اما تعدادي از آن‌ها توسط گونه‌هاي آبزي ريزه‌خوار شكار و از بين مي‌روند. نتايج نمونه‌ها در ايستگاه‌هاي مختلف نشان مي‌دهد كه آب رودخانه‌هاي حوضه به فاضلاب انساني آلوده مي‌باشد. در ايستگاه شمارة ۱، صفر ولي در پايان آبادي‌ها (ايستگاه شمارة ۳ يعني پايين‌دست پل كرچا) كه محل تلاقي چند شاخه‌اي اصلي نظير اشك‌رود، شل‌دره و كهنه‌دره مي‌باشد به ۱۹۰ عدد در صد ميلي‌ليتر مي‌رسد و سپس به علت تصفيه خود به خود يا تعادل طبيعي رودخانه شيرين‌رود مجددا در ايستگاه چهارم (انتهاي شيرين‌رود قبل از محل تلاقي با سفيدرود) به ۵ مي‌رسد. در ايستگاه پنجم (انتهاي سفيدرود قبل از محل تلاقي با شيرين‌رود) به ۱۵۲ عدد درصد ميلي‌ليتر مي‌باشد كه نشان دهندة بالا بودن ميزان كلي‌فرمهاي گوارشي[4] يا به عبارت ديگر فاضلاب انساني در آن است كه دو علت آن به ترتيب بالا بودن تعداد روستاها در حاشية رودخانه سفيدرود ضعف عوامل مؤثر در پالايش خود به خودي در اين رودخانه مي‌باشد.

ب- آلودگي كشاورزي

مراقبت‌هاي ويژه در بخش كشاورزي نيازمند مصرف مقادير بسياري از انواع كودهاي شيميايي و سموم دفع آفات نباتي مي‌باشد. بنابراين پساب‌هاي كشاورزي يكي از مهم-ترين منابع آلاينده اكوسيستم هاي آبي محسوب مي‌شوند، زيرا حاوي مقادير زيادي از انواع كودهاي شيميايي و

---

[1]. Coliforms
[2]. Total Coliform
[3]. Fecal Coliform
[4]. Fecal Coliforms

سموم دفع آفات نباتي مي‌باشد. مصرف بيش از اندازه كودهاي شيميايي نيز علاوه بر مسموميت آب و خاك و موجودات آبزي مي‌توانند موجبات تشديد فرايند تغذيه‌گرايي و در كاهش اكسيژن محلول آب مؤثر و براي ادامه حيات آبزيان به خصوص ماهيان خطرناك مي‌باشد. سموم به ويژه انواع پايدار و ديرتجزيه بدون شك بحران‌هاي شديدتري را به وجود مي‌آورند. انواع كودهاي ازته، فسفره كلره، سولفاته نظير اوره، نيترات آمونيوم، سولفات آمونيوم، فسفات آمونيوم، سولفات پتاسيم و سموم فسفره و كلره و تركيبات روغن‌هاي اموليسيون، قارچكش‌ها، علفكش‌ها، در سطح كشتزارهاي حوضه مورد مصرف قرار مي‌گيرد. بيشترين ميزان آلودگي كشاورزي كه مربوط به كشت آبي است، كه حدود ۵ تا ۶ ماه در سال يعني از اوايل بهار تا اواخر تابستان از طريق پساب‌هاي كشاورزي و رواناب وارد رودخانه‌ها مي‌گردد (شستشوي باقي‌ماندة كودهاي شيميايي و اجزاء پايدار سموم كشاورزي از طريق رواناب و ورود به شبكه هيدروگرافي).

ج- آلودگي صنعت و معدن

حوضه آبخيز سد شهيد رجايي از حيث توسعه و بهره‌برداري از كانسارها و صنايع معدني از پيشرفت فيزيكي برخوردار نبوده است. صنايع روستايي در حوضه محدود به شاليكوبي‌ها و كارخانه توليد آرد مي‌باشد كه با توجه به عدم نزديكي به مجاري طبيعي و نيز عدم داشتن فاضلاب صنعتي، آلودگي بر محيط زيست منطقه تحميل نمي‌كند. تنها واحد صنعتي بزرگ منطقه، كارخانه مصنوعات چوبي شركت فريم مي‌باشد كه ميزان فاضلاب انساني نسبتا بالايي دارد و به صورت چاه جاذب دفع مي‌گردد، كه جهت كاهش اثرات سوء آن، طرح تصفيه بيولوژيكي فاضلاب توصيه مي‌گردد.

۵-۸- اثرات اجتماعي، اقتصادي سد شهيد رجائي

۵-۸-۱- اثرات مفيد اجتماعي: جلوگيري از خطرات سيلاب، كاهش اثرات خشكسالي، تهية آب كشاورزي، شرب و صنعت، توليد نيرو، توليد مواد غذايي و ايجاد مشاغل جديد از زمره اثرات اجتماعي مفيد سدها محسوب مي‌گردد. نتايج بررسي‌ها و مطالعات در اين حوضه نشان مي‌دهد كه پاره‌اي از اثرات اجتماعي در اثر احداث سد شهيد رجائي حاصل شده است كه به شرح ذيل مي‌باشد:

۵-۸-۱-۱- توسعة كشاورزي (كشت آبي) در پايين‌دست سد: با توزيع مناسب جريان آب رودخانه تجن در مناطق پايين-دست آب كافي جهت كشت آبي به ويژه محصول استراتژيک برنج فراهم شده است. با وجود آنكه هدف اصلي احداث سد تأمين آب كشاورزي جهت آبياري دشت تجن بوده است، بهبود و گسترش كشت آبي در اراضي حاشية رودخانه تجن در پايين‌دست سد در مناطق كوهستاني و نيمه كوهستاني نيز مشهود است.

۵-۸-۱-۲- جاده‌ها: جاده‌هاي موجود كه در مسير دسترسي به سد شهيد رجائي قرار دارند، به دليل استفاده جديد از آن‌ها بهبود يافتند. جادة ساري به دودانگه، از ساري تا روستاي تاكام به مسافت ۲۵ كيلومتر آسفالت بوده و از آنجا تا محل سد در زمان مطالعه طرح آسفالت شده است. از محل سد سليمان‌تنگه تا مركز بخش دودانگه (محمد آباد) و همين طور روستاهاي اطراف جاده شني و خاكي بوده كه در زمان مطالعه طرح مرمت و شن‌ريزي شده است و در سال‌هاي بعد از ساخت سد جاده عريض و كاملا آسفالت شده است. پيش از آن به علت كيفيت بد جادة ساري دودانگه به ويژه در ايام باراني، اهالي بخش دودانگه ناچار بودند كه از جادة ساري- پل سفيد- دودانگه تردد كنند، با وجود آنكه مسافت آن از مسير جاده ساري- دودانگه طولاني‌تر است. بعد از شروع طرح سدسازي و بهبود وضعيت جادة ساري- دودانگه تردد و ارتباط براي اهالي بخش دودانگه آسان‌تر شده است. تعريض و مرمت جادة ساري- دودانگه و ساري- چهاردانگه و در عين حال احداث شبكه‌هاي جديد ارتباطي همراه با ايجاد ترانشه‌هاي مرتفع و پرشيب زمينه را جهت تخريب، فرسايش و حركات توده‌اي زمين فراهم آورده است. البته از سوي ديگر عريض كردن جاده‌هاي

قديمي و بهبود وضعيت آن‌ها با جنگل‌زدايي، برش و خاك‌برداري و يا بارگذاري‌هايي همراه بوده است كه منجر به لغزش اراضي و از بين رفتن بخشي از جنگل‌ها و مراتع شده است. حفر ترانشه هاي مختلف جهت تعريض و نيز احداث راه‌هاي ارتباطي بدون رعايت اصول فني و كارشناسي اثرات سوء زيست محيطي و اكولوژيكي را به همراه داشته است.

۵-۸-۱-۳- اثرات بر توريسم و مسائل تفريحي: ايجاد مناظر زيبا در مناطق كوهستاني، جذب توريسم و فوايد تفريحي درياچه سد شهيد رجائي از مزاياي بسيار چشمگير آن است. ايجاد پارك تفريحي، ساخت محل اسكان گردشگران در مجاورت ساختمان سد و در پايين‌دست آن با نام دهكدة توريستي سليمان‌تنگه، ساخت اسكلة تفريحي شيرين‌رود در نزديكي سازة سد، شرايط مناسبي را براي قايق‌راني، ماهيگيري، شنا، استراحت و تفريح ايجاد نموده است. در شكل ۵-۱۲ محل اسكلة تفريحي شيرين‌رود نشان داده شده است.

شكل ۵-۱۲: اسكلة تفريحي شيرين‌رود

۵-۸-۱-۴- توسعة ماهيگيري: مخزن درياچة سد منجر به توسعه ماهيگيري و توليد پروتئين در منطقه البته به

صورت ورزشي و تفريحي شده است. در صورتي كه بخواهيم توسعه ماهيگيري را به صورت صنعتي داشته باشيم بايستي در انتخاب گونة مناسب ماهي براي پرورش در مخزن سد دقت لازم به عمل آيد. زيرا چنانچه گونه هاي جديد به انقراض گونه هاي بومي منجر شوند، پرورش آن اقتصادي نيست. علاوه بر اين از دست دادن آبزيان بومي به عنوان نمونه هاي ارزشمند ژنتيكي سازگار با محيط به صلاح نيست و اثر مخرب زيست محيطي محسوب مي‌شود.

۵-۸-۱-۵- جلوگيري از آتش سوزي: درياچة سد به صورت مانع بسيار خوبي براي جلوگيري از آتش سوزي به شمار مي‌رود. هر چند آتش سوزي‌هايي در اثر بي احتياطي گردشگران به صورت غير عمدي و يا آتش سوزي طبيعي در پي خشكسالي‌هاي طولاني يا گرماي زياد فصول تابستان اتفاق افتاده است، با اين وجود در محدودة اطراف مخزن سد، درياچه از لحاظ جلوگيري از توسعة آتش يك اثر مفيد تلقي مي‌شود.

۵-۸-۲- اثرات منفي اجتماعي

۵-۸-۲-۱- جابجائي مردم: خوشبختانه در مخزن سد شهيد رجائي مركز جمعيتي وجود نداشته است، بنابراين جابجائي جمعيتي در داخل مخزن سد و در محدودة حريم درياچه نداشته است. هيچ گونه سازه، تأسيسات و ساختماني به زير آب نرفته است، مخزن سد شامل اراضي كشاورزي در اطراف رودخانه بوده كه از صاحبان آن خريداري شده است. بخشي از اراضي جنگلي و مراتع نيز به زير آب رفته اند.

۵-۸-۲-۲- آثار باستاني و اراضي غرقاب شده: هيچ گونه آثار باستاني، معبد، كليسا، مسجد، قبور متبركه و گورستاني در درياچة سد و محدودة اطراف آن وجود نداشته است و از اين جهت ساخت سد شهيد رجائي ضايعات و خساراتي به همراه نداشته است.

۵-۸-۲-۳- تغيير فرهنگ و سنن بومي: از آنجا كه روستاها و دهستان‌هاي اطراف سد شهيد رجائي از طريق جاده‌هاي مواصلاتي از ديرباز با مراكز جمعيتي مانند شهرهاي ساري، پل سفيد، كياسر، فيروزكوه و ... در

ارتباط و تبادل فرهنگي بوده است، ساخت سد و افزايش جمعيت مسافرين و توريست در منطقه موجب دگرگوني و تغيير خاصي در فرهنگ، آداب و سنن نشده است.

۵-۸-۲-٤- اثرات سوء اسکلة شيرين‌رود : با ايجاد منطقة تفريحي اسکلة شيرين‌رود و محوطة اطراف آن با وسعتي حدود ۱۵ هکتار پاره‌اي از مشکلات ايجاد شده است. مديريت غير اصولي اين منطقة تفريحي در دفع فاضلاب‌ها و زباله‌هاي توليدي توسط گردشگران از معضلاتي است که هر روز بيش از گذشته در اين منطقه بکر و زيبا نمايان مي-گردد.

تغييرات شيب دامنه به طور نامطلوب و دستکاری منطقه جهت احداث پاره‌ای اماکن تفريحی مانند ايجاد پارک بازی شيرين‌رود، سرعت رواناب و فرسايش را افزايش داده است، و مقادير قابل توجه‌ای رسوب به ويژه در ايام بارانی وارد مخزن سد می‌شود.

۵-۸-۲-۵- دسترسی به مناطق بکر و دست نخورده: فراهم آمدن شرايط مناسب برای اقامت گردشگران در منطقه، بهبود وضعيت جاده و... موجب دسترسی آسان افراد به مناطق دست نخورده جنگلی و زيستگاه‌های بکر شده است، و اين عامل به همراه عدم رعايت پاره‌ای از اصول توسط قريب به اتفاق گردشگران هشداری برای محيط زيست منطقه به ويژه محدودة اطراف سد محسوب می‌گردد.

در شکل ۵-۱۳ تخليه مواد زائد جامد در مخزن سد (حاشية اسکلة شيرين‌رود) نشان داده شده است.

شکل ۵-۱۳: تخلیه مواد زائد جامد در مخزن سد شهید رجائی(حاشیه اسکله شیرین‌رود)

فصل ششم

✓ نتایج و پیشنهادات

۶-۱- نتايج

- كيفيت شيميايي آب رودخانه تجن بر اساس EC و SAR جهت مصارف كشاورزی در تمامی ايستگاه‌ها در حد خوب (C2S1) می‌باشد ولي در منطقه پايين (ايستگاه كردخيل)، تحت تأثير ورود املاح مختلف موجود در پساب‌ها و آب‌هاي برگشتي كشاورزي و نيز پيشروي آب لبشور[1] درياي خزر در حد قابل قبول (C3S1) مي‌باشد.

- كيفيت آب ايستگاه‌هاي هيدرومتري رودخانه تجن بر اساس TH و TDS جهت مصارف شرب در حد قابل قبول بوده است و كيفيت پايين آب در (ايستگاه كردخيل) به علت متأثرشدن از شوري آب درياو نيز زهكشی آب‌هاي زيرزميني بخش انتهايي دشت و ورود پساب‌هاي مزارع و كشتزارها و زهكش‌هاي سطحي می‌باشد.

- رودخانه تجن از نظر سموم كلره در فصل زمستان پاك‌ترين شرايط را دارد و بيشترين ميزان سموم را در فصل تابستان دارا می‌باشد. بيشترين تمركز سموم كلره در فصل تابستان مي‌باشد كه همزمان با اوج مصرف سموم در كشاورزي (فصل زراعی) و ضعف و عدم خودپالايي در اين فصل عملا در اين امر دخيل مي‌باشد.

- آلودگي ميكروبي ناشي از عدم دفع مناسب و اصولي فاضلاب‌هاي انساني و دامي و دفع مواد زائد جامد (زباله‌ها) در رودخانه تجن در ايستگاه‌های نمونه‌برداری مشاهده شده است.

- با احداث سد شهيد رجائي، تغييرات فصلي جديد در دبی رودخانه تجن در پايين‌دست ايجاد شده است. نوسانات دبي

---

[1]. Brackish Water

تا حد زيادي كاهش يافته است و آزادسازی حداكثر دبی را در فصول كشاورزي در ماه‌هاي خرداد، تير و مرداد داريم و در ساير فصول دبي جريان آزاد شده كاهش مي-يابد. در حقيقت احداث اين سد موجب توزيع مناسب جريان-هاي سطح و هماهنگي بيشتر جريان‌هاي حداكثر با زمان اوج مصرف (ماه‌هاي زراعي) شده است.
- ميانگين بار رسوبي در ايستگاه سليمان‌تنگه (بلافاصله پايين‌دست سد) كاهش يافته است، در ايستگاه بعدی (ريگ-چشمه) بخشی از اين كاهش بار رسوبی با تشديد فرسايش و ورود رسوب از ساير رودخانه‌ها جبران شده است.
- با احداث سد در پارامترهای شميايی آب‌های سطحی در ايستگاه‌های پايين‌دست سد تغييرات زياد و چشمگيری مشاهده نمی‌شود.
- اعمال مديريت كيفي (تصفيه فاضلاب‌هاي شهري و صنعتي) در محدودة پل تجن تا حدود روستاي اردشير محله به علت شدت آلودگي ميكروبي در آب‌هاي سطحي الزامي مي‌باشد.
- تنظيم آب ذخيره شده در سد شهيد رجائي و افزايش دبي جريان آب در فصول زراعي در سال‌هاي بعد از احداث سد بر قدرت خودپالايي اين رودخانه به ويژه در فصل تابستان افزوده است.
- سد شهيد رجايي در منطقه با پتانسيل بالاي لغزش احداث شده است. به طوري كه قبل از احداث سد قريب ۵۰ مورد لغزش و ريزش در محدودة مخزن شناسايي شده است. آبگيري سد در سال ۱۳۷۶ سبب فعاليت برخي از لغزش‌هاي قديمي و بروز لغزش‌هاي جديد گرديد. عمدة لغزش‌هاي جديد در محدودة تغييرات تراز آب مخزن قرار گرفته‌اند. همچنين لغزش‌هاي متعددي در حاشية جاده‌هاي جديد بعد از احداث سد به وقوع پيوسته است. غالب لغزش‌هاي فوق تنها منجر به افزايش رسوب و كاهش حجم مفيد مخزن مي‌باشد. اما محدودي از لغزش‌هاي بزرگ كه در فاصله كمتري از بدنة سد قرار دارند، پتانسيل آسيب رساندن به بدنة سد و دريچه‌هاي آبگيري را دارا مي‌باشند، لذا اقدامات پايدارسازي ضروري است.

- سطح اساس جديد (سازة سد) بالاتر از سطح اساس قبلي بوده و در نتيجه از فرسايش بستر و كف رودخانه به مقدار قابل توجهي كاسته شده و در نتيجه فرايند كفكني در بازة پاياني دو رودخانة ورودی به مخزن سد (شيرين-رود و سفيدرود) كم و متوقف شده است.
- با افزايش سرعت فرايند رسوبگذاري در شاخه هاي ورودي مخزن (شيرين‌رود و سفيدرود)، در اثر ايجاد سطح اساس جديد، مقدار قابل توجهی از شيب بستر روخانه های تغذيه كنندة مخزن كاسته و محدودة رسوبگذاري به شكل دلتايي ظاهر شده است.
- با احداث سد و كاهش بار رسوبی قدرت حمل رسوب در بازه‌های ابتدايی رودخانه تجن در پايين‌دست سد بالا رفته، موجب افزايش كفكني در درة رودخانه و نيز تشديد فرسايش كناري در ديواره‌هاي رودخانه شده است. در مصب رودخانه تجن (ورودی به دريا) نيز اثراتی چون تشديد فرسايش ساحلی به شكل محدودتری نمود يافته است.
- در سال‌هاي خشک ۷۷ الي ۸۰ كه سال‌هاي آغازين بهره‌برداري از سد شهيد رجائي بوده است، بهره‌برداري از جريان‌هاي سطحي تنظيم شده توسط سد، از افت شديد سطح آب زيرزميني در دشت تجن به طور قابل ملاحظه‌اي جلوگيري كرده است.
- افزايش بهره‌برداري از آب‌هاي سطحي به ويژه در مناطق تحت پوشش طرح‌هاي عمراني شبكه آبياري سد انحرافي تجن (بخش‌هاي مياني و شمالي دشت) موجب كاهش عمق آب زيرزميني و نيز بهبود كيفيت آب زيرزمينی و كاهش هدايت الكتريكی EC شده است. البته خطر آن وجود دارد كه با افزايش سطح آب در برخی اراضی مناطق تبخيري ايجاد گردد. عدم وجود سيستم زهكشی مناسب در برخی از اراضی دشت تجن به ويژه اراضی كشت آبی از عوامل زه‌دار شدن (اغلب در فصول پاييز و زمستان) و تخريب اراضی و كاهش توليد می‌باشد.
- بالا آمدن سطح سفرة آبي در برخی از نواحي مزروعي موجب مردابي و زه‌دار شدن اراضي كشاورزي مي‌شود و به تدريج مقدار محصول در واحد سطح كاهش مي‌يابد براي

جلوگیري از زه‌دار شدن اراضي بايستي شبكه زهكش مناسب اجرا گردد و شبكه زهكشي موجود اصلاح و مدرن گردد.
- احداث سد تغییراتی در کاربری اراضی از جمله افزایش کشت آبی در پایین‌دست و به تبع آن افزایش محصول استراتژیک برنج را به همراه داشته است.
- احداث مناطق تفریحی با شرایط مناسب و تفریحات سالمی چون قایق‌سواری، ماهي‌گیری، شنا، شکار و ... جهت اقامت گردشگران، توانسته اشتغال و بهبود اقتصادی در سطح محلی را ایجاد نماید.
- وجود آلودگی میکروبی در بالادست سد و در آب مخزن ناشی از دفع نامناسب فاضلاب‌های انسانی، کشاورزی و دامی و دفع نامناسب مواد زائد جامد در رودخانه‌ها می‌باشد.
- بیشترین سهم در ایجاد آلودگی در بالادست سد مربوط به منابع روستایی و کشاورزی بوده و بیشترین آلودگی از آن بر منابع آب‌های جاری و زیرزمینی حوضه تحمیل می‌گردد که از طریق دفع نادرست و غیراصولی فاضلاب‌های انسانی و مواد زائد جامد نظیر زباله‌های خانگی و کود-های حیوانی و پساب کشاورزی به داخل رودخانه است.
- در بالادست سد به علت عوامل مساعد در تصفیه خود به خودی و خودپالائی رودخانه‌ها میزان اکثر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در حد استاندارد است و شاخص‌ترین آلودگی موجود مربوط به وجود میکروب‌های کلی‌فرم به ویژه Fecal Coliform (شاخص وجود فاضلاب انسانی) می‌باشد.

۶-۲- پیشنهادات

- با توجه به غرقاب شدن برخی از مناطق در دشت تجن و بالا آمدن سطح آب، پیشنهاد می‌گردد که آب زراعی مورد نیاز این مناطق از طریق حفر چاه و آب زیرزمینی تأمین گردد.
- آلودگی آب‌های سطحی در اغلب فصول سال و به ویژه در تابستان به سموم کلره خطری بسیار جدی برای محیط زیست و به ویژه آبزیان محسوب می‌گردد. از این رو اقدامات جدی جهت کاهش مصرف سموم کلره در سطح حوضه و

استفاده از روش‌های بیولوژیکی جدید مبارزه با آفات و سموم با پایداری کم در محیط توصیه می‌گردد.
- به منظور رفع مشکل آلودگی میکروبی در آب‌های سطحی در حوضه، کنترل و نظارت نحوة دفع فاضلاب‌های شهری و روستایی، دفع زباله‌ها و ... در رأس اقدامات حفاظتی قرار گیرد.
- برای کنترل و پایدارسازی لغزش‌ها با توجه به عامل مؤثر روش‌های کاربردی در منطقه اعمال گردد تا خسارات ناشی از آن کاهش یابد.
- لغزش‌های مجاور بدنه سد NLL1 و NLL2 در رأس اقدامات کنترل و پایدارسازی قرار گیرند. زیرا علاوه بر تهدید جدی برای سد به علت فاصلة کوتاه از جادة ساری- دودانگه تهدیدي نیز برای جاده محسوب می‌گردد.
- سیستم پایش و اندازه‌گیری مناسب جهت حرکات شیب‌ها و دامنه‌های منتهی به مخزن و به ویژه در دامنه‌های مجاور بدنه سد احداث گردد.
- به علت وجود استعداد تغذیه‌گرایی در دریاچة سد شهید رجائی، کنترل و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جلوگیری از ورود فاضلاب‌های خانگی الزامی است.
- برای جلوگیری از تشدید فرسایش ساحلی ایجاد کمربند سبز از گونه‌های گیاهی که در اثر نوسانات سطح آب و غرقاب شدن کمترین آسیب را ببینند، توصیه می‌گردد.
- با رهاسازی تناوبی سیل در پایین‌دست از فراهم آمدن محیط امن برای ایجاد منازل، اراضی کشاورزی، برداشت شن و ماسه و هرگونه تجاوز به حریم رودخانه در پایین- دست جلوگیری شود.
- عدم وجود صنایع و معادن در بالادست سد از امتیازات این طرح آبی محسوب می‌گردد، لذا عدم احداث کارخانجات بزرگ صنعتی برای کمک به حفظ کیفیت آب مخزن سد پیشنهاد می‌گردد.
- زیرحوضه دودانگه (زیرحوضه سد شهید رجائي) با شدت سیل‌خیزي کم مي‌باشد. و در زیرحوضه فینسک بیشترین استعداد سیل‌خیزي را دارد. علاوه بر این در زیرحوضه فینسک بیشترین نقاط

سیل‌زده را در آمار داشته است. روش‌های مناسب حفاظتی از جمله قرق مرتع و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و سایر روش‌های آبخیزداری با دقت و توجه بیشتر توصیه می‌شود. از این حفاظت زیرحوضه و کاهش مقدار رسوب ویژه آن تأثیر مستقیم بر کارایی و عمر مفید سد دارد.

- به منظور استفاده شرب از آب مخزن سد، تصفیه و حذف عوامل میکروبی الزامی است.

- از ایجاد نیزار و رشد و نمو گیاهان و ایجاد شرایط باتلاقی در محل مصب شاخه‌های تغذیه کنندهٔ مخزن (شیرین‌رود و سفیدرود) جلوگیری گردد. زیرا علاوه بر کاهش کیفیت آب مخزن موجب افزایش جمعیت حشرات ناقل بیماری از جمله پشه آنوفل (بیماری مالاریا) می‌گردد.

- با ایجاد شبکهٔ مناسب پایش و کنترل کیفی آب، کیفیت آب مخزن مورد اندازه‌گیری مستمر قرار گیرد و علائم و نتایج کیفی مورد تفسیر قرار گیرد.

- حریم مناسبی پیرامون دریاچهٔ سد جهت فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، چرای دام، بهره‌برداری از جنگل، جاده‌سازی، صنایع و ... تعیین گردد و با علائم هشدار دهنده مشخص گردد.

- به منظور حفظ کیفیت آب دریاچهٔ سد، مدیریت و نظارت صحیح مناطق تفریحی مجاور دریاچه سد به ویژه اسکله تفریحی شیرین‌رود جهت دفع بهداشتی و مناسب فاضلاب‌ها و زباله‌ها الزامی است.

- منابع:

۱- مطالعات شناسايي توجيهي طرح آبخيزداري تجن (حوضه آبريز سد شهيد رجائي)، (۱۳۷۲)، شركت خدمات مهندسي جهاد، مهندسين مشاور خزر، (۱۵ جلد)
۲- خدير، حسين، تأثير احداث سد شهيد رجائي بر منابع آب‌هاي سطحي و زير زميني دشت تجن، (۱۳۸۱)، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق شهيد عباسپور
۳- ساقدي اركمي، مصطفي، (۱۳۸۰)، اثرات ساخت سد سفيد-رود بر مورفولوژي پايين‌دست رودخانه، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق شهيد عباسپور
۴- محمدي خلفبادام، حسن، (۱۳۸۳)، تغذيه‌گرايي مخازن، مدلسازي دو بعدي (مطالعه موردي سد كرخه)، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، دانشكده عمران، دانشگاه علم و صنعت
۵- رضايي بنيس، نادر، (۱۳۷۶)، نگرش سيستماتيك بر الگوهاي بهره برداري از سدهاي كشور و مديريت كيفي و كمي بهره برداري از سد، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعتي امير كبير
۶- تلوري، عبدالرسول، (۱۳۷۵)، بررسي تغييرات پلان روخانه‌اي در قسمتي از رودخانه كارون، مركز تحقيقات خاك و آبخيزداري
۷- سيماي كاربري فعلي وپوشش گياهي اراضي كشور، (۱۳۸۵)، معاونت آبخيزداري (دفتر مطالعات و ارزيابي آبخيزها)
۸- پيشنويس راهنماي مطالعات كيفيت آب مخازن سدها، (۱۳۸۵)، موسسة تحقيقات آب ايران (۲ جلد)
۹- نجمائی، محمد، (۱۳۷۴)، معيارهاي سنجش عوامل زيست محيطي در سدهاي بزرگ، مجله آب و توسعه
۱۰- نجمائی، محمد، شيعتی، كريم، (۱۳۷۵)، مسائل زيست محيطي سد استقلال و شبكه ميناب، دومين كارگاه تخصصي بررسي جنبه‌هاي زيست محيطي و كاهش مخاطرات طبيعي سد-ها
۱۱- نجمائی، محمد، (۱۳۸۲)، سد و محيط زيست، كميته فني جنبه‌هاي زيست محيطي و كاهش مخاطرات طبيعي سدها

۱۲- ملک، محمد جواد، (۱۳۷۷)، تجاربي از شيوه‌هاي حفاظت سواحل روسيه در كرانه‌هاي درياي خزر، موسسة تحقيقات آب
۱۳- خوشروان، همايون، (۱۳۷۸)، استفاده از روش‌هاي بيولوژيک در حفاظت مناطق بخش جنوبي درياي خزر، موسسة تحقيقات آب
۱۴- خوشروان، همايون، (۱۳۷۷)، نگاهي بر مورفوديناميک مصب برخي رودخانه‌هاي سواحل جنوبي درياي خزر، موسسة تحقيقات آب
۱۵- مجموعه مقالات كنفرانس بين‌المللي حفاظت سواحل درياي خزر، (۱۹۹۳)، داغستان روسيه
۱۶- آمار كامل بارندگي، آب‌هاي سطحي و چاه‌هاي مشاهده‌اي حوضه تجن و حوضه‌های مجاور، آب منطقه‌اي مازندران
۱۷- دهبندي، نعمت ا...، (۱۳۷۹)، بررسي اثرات شبكه آبياري و زهكشي سد شهيد رجائي بر آبخوان آبرفتي ساري و نكا، (مؤسسه تحقيقات آب)
۱۸- آمار كامل آب‌هاي زيرزميني، سطحی، گزارش تجزيه شيميايي آب حوضه تجن و ۴ حوضه مجاور با آن و تقسيم-بندی و رتبه‌بندی حوضه‌های كل كشور، موسسة تحقيقات آب ايران (تماب)
۱۹- حافظی مقدس، ناصر، (۱۳۸۴)، ناپايداري شيبي در محدودة نيروگاه سد شهيد رجائي ساري، چهارمين كنفرانس زمين‌شناسي مهندسي و محيط زيست ايران، صفحات ۲۴۱-۲۴۷
۲۰- گزارش سد شهيد رجائي، (۱۳۷۴)، مهندسين مشاور مهابقدس (شركت سهامي آب منطقه‌اي مازندران)
۲۱- حافظی مقدس، ناصر، (۱۳۸۴)، زمين لرزه‌هاي القايي مرتبط با برخي سدهاي بزرگ ايران، مجموعه مقالات نهمين همايش انجمن زمين‌شناسي ايران، دانشگاه تربيت معلم تهران، صفحات۱۷۰-۱۷۹
۲۲- مطالعات تلفيق حوضه آبريز درياي خزر، (۱۳۷۶)، جاماب

۲۳- حائري، سيد محسن، (۱۳۷۵)، گزارش مرحله اول بررسي جامع رانش زمين در استان مازندران، دفتر مطالعات و ارزيابي آبخيزها ،
۲۴--سيماي حوضه هاي آبخيز كشور، (۱۳۸۵)، پژوهشكدة حفاظت خاك و آبخيزداري كشور
۲۵-مطالعات كيفيت آب رودخانه تجن در محل چوب كاغذ و كاغذ مازندران، (۱۳۷۳)، مهندسين مشاور جويا ب

Refrence:

26- Daryl, Simons and Senturk, Sediment transport tecnology, Book crafters, Chelsea, Mishigan, U.S.A 1992.

27- Gregory L.Morris and Jiahuaf, Reservior Sedimentation Hand Book, Mc Graw-Hill, New york 1997.

28- Scheverlin Helmat, Downstream Effects of Dam Construvition and Reservior, Sixth international Symposium on River Sedimentation, India, 1995.

29-U.S.Army Corps of Engineers, Engineering and design reservioy water quality analysis, Engineer manual 1110-1201, 30 Jun 1987.

30-Orlob, G.T.and L.G.Selan ,Mathmatical Simulation of thermal Stratification deep impoundments , techrep , No.7 , University Nashville , Tennessee , 1968 .

31- Guideline of lake management, Vol 7, Biomanipulation in lake and Reserviors management, R.De Bernaldi and G.Giussani.

32- Guide line of lake management, Vol.9, Reser Uior Water quality management, M.Straskraba, j.G.tundisi.

33-Mikio, H., Water quality and its control, IAHR, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherland, 1994

34- Dam and Enviornment, Geophsical Impacts Bulletin 90, ICDOL, Boulevard hassmann, Paris, France, 1985.

35- Dam and Enviornment, Histories, Bulletin 65, ICDOL, Boulevard hassmann, Paris, France, 1985.

36- Accident to Large Dams, the Committee, on Failures and Lessons from Dam Incidents, USA, USCOLD, New York, 1975.

37- S. A. Dunning, W. A. Mitchell, N.J.Rosser, D.N.Petley, 2007, the Hattian Bala rock avalanche and Associated Landslides triggered by the Kashmir Earthquake of 8 October 2005, Engineering geology 93, 2007 130-144.

38- Shengwen Qi, Fuzhang Yan, Sijing Wang, Ruchun Xu, Characteristics mechanism and development tendency of deformation of Moaping

landslide after commission of Gehyan reservoir, Hubei province, China, Engineering Geology86, 2007, 37-51.
39- Fuzhang Yan, Ruchun Xu, Deformation behavior of ancient landslides on Qingjiang River after impoundment of the reservoir, Proceedings of the 6th Symposium on Rock mechanics and Engineering, 2002, 543-546.