جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۱۲، پاییز ۱۳۹۳
صص. ۴۲-۲۷

نقش ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی در آلودگی رودخانهٔ سیروان

ایرج جباری* - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه

وصول: ۱۳۹۲/۰۸/۲۵ **پذیرش:** ۱۳۹۳/۰۲/۲۲

چکیده

عوامل زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی می‌توانند در آلودگی یک رود تأثیر داشته باشند. برای بررسی نقش این عوامل در تولید آلودگی، بخش غربی حوضهٔ رودخانهٔ سیروان به عنوان نمونه انتخاب شد. در این بخش شش ایستگاه اندازه‌گیری تعیین گردید که در هر فصل، ۲ تا ۳ بار از نمونه‌های گرفته شده ۹ شاخص آلودگی به دست آمد. تطبیق نتایج این آزمایش‌ها با عوامل آلاینده و عوامل مختلف زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی بالادست آن نشان داد که گذشته از آلوده شدن این رود توسّط فاضلاب‌های انسانی، عواملی مانند جنس زمین‌شناسی، مراحل خاصّ تحوّل در بعضی بخش‌های حوضه و تغییر کاربری‌های زمین شرایط ویژه‌ای را رقم می‌زنند که باعث می‌شود، برحسب نوع و میزان بارش در هر فصل، نوع و مقدار ویژه‌ای از رسوب حمل شود که مقدار کدورت و مواد محلول جامد را در بخش‌های مختلف حوضه به گونهٔ متفاوت نمایش دهد. این شاخص‌ها نیز در هدایت الکتریکی، شوری و مقدار اکسیژن محلول اثر می‌گذارند. برداشت غیر مجاز شن و ماسه از بستر رود و فرسایش پادگانه‌ها در بعضی بخش‌ها عاملی است که به طور موضعی تولید رسوب را به دنبال دارد؛ ولی جنس زمین‌شناسی و هوازدگی آن‌ها، ناپایداری بعضی دامنه‌ها و همچنین رسوبات ژلیفلوکسیونی که در پلیوستسن دره‌های فرعی سیروان را پر نموده‌اند، از عوامل مهمّی‌اند که در مقدار و نوع رسوب تحویلی به رودها ایفای نقش می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: رسوب‌زایی، آلودگی رود، سیروان، کدورت آب، کلّ جامدات محلول.

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۸۸۳۳۲۰۱۷
E-mail: ir_jabbari@yahoo.com

مقدّمه

هر حوضهٔ رودخانه‌ای از شمار زیادی عناصر فیزیکی - شیمیایی و زیستی تشکیل می‌گردد که در یک سامانهٔ یکپارچه به یکدیگر پیوند می‌خورند. رودها مهم‌ترین اجزای این سامانه به شمار می‌روند. علی‌رغم رشد آگاهی مردم و کشورها نسبت به اهمّیّت محیط‌های طبیعی، درک واقعی از اهمّیّت، کارکرد و حسّاسیت رودخانه‌ها و حوضه‌های آبریز هنوز جوان است و بر این اساس نیز اغلب رودخانه‌های ایران از نظر آلودگی سیر صعودی به خود گرفته‌اند و وضعیت زیست‌محیطی حوضه‌های آبریز آن‌ها نیز رو به تنزل است؛ آلودگی رود هراز در نتیجهٔ ورود فاضلاب‌های شهری، روستایی و کشاورزی (کرباسی و کلانتری، ۱۳۸۶: ۶۸)؛ آلودگی رود زرجوب با دریافت پساب کارخانه‌ها و کشاورزی در منطقه و فاضلاب‌های شهری و خانگی که سلامت تالاب انزلی را نیز تهدید می‌کند (بشارتی، ۱۳۸۰: ۷۴)؛ ورود پساب‌های زباله‌ها و فضولات حیوانی به رودهای بالادست حوضهٔ آبریز سدّ مخزنی ایلام (عوض‌پور و همکاران، ۱۳۸۵: ۵۴)؛ آلودگی رود تجن با فلزّات سنگین شهر ساری و کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۵: ۴۸)؛ آلودگی رودخانهٔ گدارخوش در ایلام به دلیل دریافت فاضلاب شهری و صنعتی ایلام (چراغی و خراسانی، ۱۳۸۵: ۶۶۶) و آلودگی ابهر رود با منابع انسانی و صنعتی بویژه از طریق شهرستان‌های ابهر و تاکستان (پری زنگنه و همکاران، ۱۳۸۴: ۷) نمونه‌هایی از این آلودگی‌های ناشی از فعّالیّت‌های انسانی هستند.

علاوه بر این، بخشی از آلودگی رودها تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم فرآیندهای محیطی و مخصوصاً ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی حوضه‌ها قرار می‌گیرد. در این میان ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی ممکن است نقش واضحی داشته باشند؛ ولی نقش ویژگی زمین‌ریخت‌شناسی حوضه‌ها تابعی از عوامل مختلف است. پراکندگی، ذخیره و جابه‌جایی مجدّد رسوبات می‌تواند مستقیماً با فرآیند حمل رسوب مربوط باشد (لوین[1] و همکاران، ۱۹۷۷: ۳۵۴؛ لوین و ولدفدن، ۱۹۷۸: ۱۷۲؛ برادلی[2]، ۱۹۸۴: ۲۲۳؛ لوین و مک لین، ۱۹۸۷: ۱۰۱۰؛ مارکوس[3]، ۱۹۸۷: ۲۱۸؛ گراف[4]، ۱۹۹۰: ۳۲۸؛ آکستمان و لووما[5]، ۱۹۹۱: ۷۵؛ تیلر و کسترتن[6]، ۲۰۰۲: ۳۱۱؛ والینگ[7] و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۹۵). اثرات معدن‌کاوی بخشی از این آلودگی است که در مسیر چنین فرآیندی قرار می‌گیرد (لوین و مک لین، ۱۹۸۷: ۱۰۲۵) و کنترل پراکندگی و تولید آلودگی‌های مربوط به رسوب را بر عهده می‌گیرد. افزایش شدید تحویل رسوب به رودخانه (جیمز[8]، ۱۹۹۱: ۷۳۵؛ گالرت[9] و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۴)، گسستگی پوشش گیاهی، ناپایداری سواحل و فرسایش کناری (مک کین و لوین[10]، ۱۹۸۹: ۲۴۴) و نوع کاربری (پوشش جنگلی، کشاورزی و شهری زمین) حوضه‌های آبخیز رودها (یانگ سونگ پارک[11] و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۱۴) عوامل دیگری برای تولید آلودگی رودها هستند.

1- Lewin
2- Bradly
3– Bradly
4- Graf
5- Axtmann and Luoma
6- Taylor and Kesterton
7- Walling
8- James
9- Gallart
10- Macklin and Lewin
11- Young-Seuk Park

به‌تازگی اثر تغییرات آب و هوایی که بر سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها اثـر می‌گـذارد و بـه نوبـهٔ خـود در دینامیـک رودخانه‌ها مؤثّر واقع می‌شود (گودی[1]، ۲۰۰۶: ۳۹۲) نیز به دلایل فوق اضافه شده است.

با وجود این، ریمان[2] و همکاران (۲۰۰۹: ۱۸۷۳) سه رژیـم ژئوشـیمیایی را در غلظـت عناصـر آب در اُسـلو تشخیص دادند که در آن‌ها نوع کاربری زمین، یخرفت‌های یخچالی، ارتفـاع زمـین و زمین‌شناسـی نقـش ایفـا می‌کنند؛ این امر نشان می‌دهد که مراحل خاصّی از تحوّل چشم‌اندازها شرایط ویژه‌ای را برای آلـودگی فـراهم می‌کنند و رسوبات نهشته‌شده در دورهٔ یخچالی گذشته و ناپایداری آن‌ها در شرایط آب و هوایی فعلی، غلظـت بعضی عناصر مانند کلر و نیترات را افزایش داده است. از این رو، در این پژوهش نیز سعی می‌شود با نمونه قرار دادن بخش غربی رودخانهٔ سیروان به عنوان یکی از بکرترین حوضه‌های آبخیز (بـه دلیـل نـاهمواری شـدید و عدم اجازه به فعّالیّت صنعتی انسان)، بـه بررسـی علـل مختلـف زمین‌شناسـی و زمین‌ریخت‌شناسـی در بـروز آلودگی پرداخته شود.

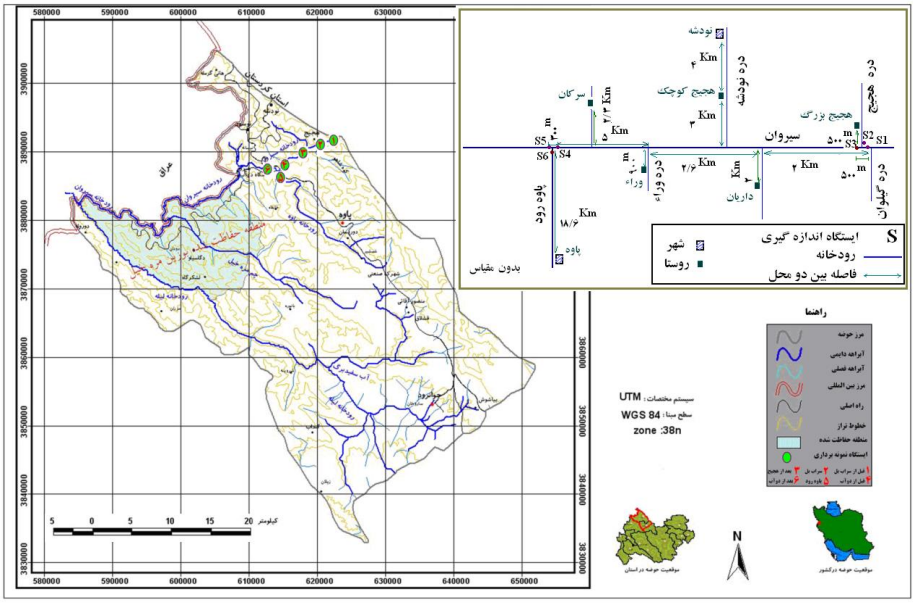
منطقهٔ مورد مطالعه

رود سیروان در غرب ایران با جهت شرقی - غربی جریان دارد (شکل ۱). این رود با نام قشلاق از دشـت کـانی روزه به ارتفاع ۲۱۰۰ متری در غرب استان کردستان که خطّ تقسیم آب بـین ایـن رود و قـزل‌اوزن بـه شـمار می‌رود، سرچشمه می‌گیرد و مسیر خود را به سمت جنوب غرب ادامه می‌دهد در این استان، شاخهٔ گاوه رود و در مسیر خود در استان کرمانشاه شاخه پاوه‌رود، آب سیروان، مره خیل و لیله را از آن خود می‌گردانـد (شـکل ۱). حوضهٔ این رودخانه دارای مساحتی در حدود ۹۴۷۰ کیلومترمربع است که تقریبـاً یـک‌پنجم آن در قلمـرو استان کرمانشاه و در یک منطقهٔ کاملاً کوهستانی قرار می‌گیرد.

بررسی آمار ۱۵ سالهٔ ایستگاه هواشناسی پاوه نشان می‌دهد که در این بخـش از حوضـه بـه طـور متوسّـط ۶۶۰ میلی‌متر بارندگی رخ می‌دهد. میانگین درجهٔ حرارت این محل در حدود ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد است و بـه طور متوسّط حدّاقل و حدّاکثرهای دمایی به ترتیب به ۹/۹ و ۱۹/۵ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد.

از دیدگاه زمین‌شناسی حوضهٔ سیروان را می‌توان در دو زون سنندج - سیرجان و زون زاگـرس رورانـده یـا مرتفع قرار داد. خطّ تقسیم این دو زون، گسل زاگرس اسـت. امتـداد ایـن گسـل بـه مـرز سیاسـی سـنندج و کرمانشاه بسیار نزدیک است. به نظر می‌رسد امتداد جنوب‌شرقی – شـمال‌غربـی سـیروان و همچنـین شـاخهٔ فرعی آن، یعنی آب سیروان، مسیر گسل زاگرس را نشان دهد؛ بنابراین، بخشی از حوضهٔ سیروان که در استان کرمانشاه قرار می‌گیرد و شاخه‌های جنوبی آن که پاوه‌رود، مره خیل و لیله را دربـر مـی‌گیرنـد، جـزء زاگـرس رورانده محسوب می‌شود و بقیهٔ حوضه که از غرب مریوان شروع می‌شود و تا شرق سنندج ادامه پیدا می‌کنـد، جزء زون سنندج - سیرجان قرار می‌گیرد. پهنای زون زاگرس رورانده در حوضهٔ سیروان در حدود ۳۰ کیلومتر است. پرتگاه‌های بلند جبههٔ رورانده، پرتگاه‌های خطّ گسل، پیچیـدگی سـاختمان چین‌هـا و نمـای کارسـتی و خشن از اختصاصات مهمّ ریخت‌شناسی زاگرس مرتفع است.

1- Goudie
2- Reimann



شکل ۱. نقشهٔ توپوگرافی حوضهٔ سیروان و موقعیّت آن در کشور و استان کرمانشاه

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های مربوط به شاخص‌های آلودگی این رود، به عنوان نخستین گام در این پژوهش، در ۶ محل در امتداد رودخانه از محلّ ورود آن به استان کرمانشاه تا بعد از دوآب انتخاب شد (شکل ۱). در محلّ دوآب، پاوه‌رود به سیروان ملحق می‌شود. این محل قابل دسترس‌ترین محل برای نمونه‌گیری است و از این منطقه به بعد سیروان در دره‌ای تنگ و پر پیچ و خمی جریان می‌یابد که دسترسی به آن را با مشکل مواجه می‌سازد. تنها جادهٔ موجود در این بخش از منطقه که از روی دامنه‌ها و خطالرّأس‌ها عبور می‌نماید، دوآب را به روستاهای پراکنده‌ای که تا باینگان (در حوضهٔ مره خیل) توزیع شده‌اند، مرتبط می‌سازد. موقعیّت این ایستگاه‌ها طوری انتخاب گردید که تأثیر مناطق جمعیّتی پرتراکم و نقش شاخه‌های مهمّ رود و وضعیّت زمین‌ریخت‌شناسی در کاهش یا افزایش آلودگی رود سیروان سنجیده شود. ناگفته نماند که در طی پیمایشی که در آبان ماه ۱۳۸۶ صورت گرفت، نمونه‌ای از مره خیل گرفته شد و همچنین در مردادماه ۱۳۸۶ نمونهٔ دیگری از باینگان (شاخه‌ای از مره خیل) برداشت گردید که نتایج آن‌ها در این تحقیق به کار گرفته شد.

برای تعیین کیفیّت آب و مقدار آلودگی آن، ۹ پارامتر مهم آلودگی در ۲ یا ۳ نوبت در هر فصل در طی یک سال اندازه‌گیری گردید. این پارامترها عبارت بودند از: PH، COD (mg/l)، BOD (mg/l)، E.C. (µs/cm)، Turb (NTU)، TDS (mg/l)، T.Sal (mg/l) محیط (°C)، T رودخانه (°C)، DO (mg/l).

بعد از تعیین وضعیّت آلودگی این رود، سعی شد تا منابعی که شاخص‌های آلودگی را در امتداد سیروان تغییر می‌داد، بررسی گردد و عواملی که ممکن بود در نتیجهٔ ویژگی‌های زمین ایجاد گردد از هم تفکیک شود.

در مرحلهٔ بعدی، با مراجعه به اطّلاعات زمین‌شناسی و بررسی‌های زمینی، مراحل تحوّل زمین، شیوهٔ دخالت انسان و کاربری‌های مختلف تفسیر گردید. از آنجا که در این منطقه، تحقیق کمتری دربارهٔ ویژگی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته است، مراجعه به اطّلاعات پراکندهٔ محلّی و تکمیل آن‌ها در روی زمین تا حدودی وضعیّت سازندهای زمین‌شناسی را در این منطقه آشکار نمود.

در مرحلهٔ آخر با توجّه به پراکنش مقادیر شاخص‌های آلودگی و تطبیق آن با عوارض زمین و ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی مشخّص شد که شیوهٔ اثرگذاری ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی در آلودگی‌ها به چه نحو صورت می‌گیرد.

نتایج و بحث

آلاینده‌های متداول رود سیروان

بررسی وضعیّت متوسّط شاخص‌های آلودگی سیروان نشان می‌دهد که اغلب این شاخص‌ها در ایستگاه‌های مختلف دارای نوسان کمتری بوده‌اند. در بین این ایستگاه‌ها سراب بل با کمترین مقدار BOD و COD، شوری، هدایت الکتریکی، بار موادّ جامد و کدورت و با بیشترین مقدار DO شرایط مناسب‌تری را نسبت به آب ایستگاه‌های دیگر دارد و به همین دلیل نیز به عنوان آب‌معدنی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. اگر آب این چشمه به عنوان شاخص پاکیزگی آب این منطقه در نظر گرفته شود، متوجّه می‌شویم که نمونهٔ آب قبل از این چشمه که از رودخانهٔ اصلی گرفته شده است، با آن تفاوت دارد؛ ولی تفاوت آن چندان فاحش نیست؛ بنابراین آب رودخانهٔ سیروان در بدو ورود به استان کرمانشاه تقریباً پاکیزه است. اگر وضعیّت متوسّط آب سیروان با رودخانه‌های دیگر ایران (کرباسی و کلانتری، ۱۳۸۶: ۶۱؛ بشارتی، ۱۳۸۰: ۴؛ عوض‌پور و همکاران، ۱۳۸۵: ۴۴؛ چراغی و خراسانی، ۱۳۸۵: ۶۵۹؛ پری زنگنه و همکاران، ۱۳۸۴: ۷) مقایسه شود، دوباره وضعیّت پاکیزگی آن مشخّص می‌شود.

با وجود این، در طول مسیر سیروان سراب‌ها، بویژه سراب بل که در واقع به صورت چشمه به رود اصلی می‌پیوندد، از کیفیّت بالایی برخوردارند و با آب شاخه‌های اصلی رود تفاوت دارند. اگر شاخص‌های سراب بل به عنوان شاخص پاکیزگی آب این منطقه در نظر گرفته شود (جدول ۱)، نسبت شاخص‌های آب ایستگاه‌های اندازه‌گیری به همان شاخص‌های این سراب نشان می‌دهد که آب این رود قبل از ورود به استان کرمانشاه پاکیزه‌تر است و به سمت پایین‌دست، علی‌رغم درّه‌ای بودن رودخانه و وجود روستاهای پراکنده در امتداد رود، اغلب نسبت‌های یاد شده بالا می‌رود؛ ولی این صعود، یکنواخت انجام نمی‌گیرد و دچار نوسان می‌گردد (جدول ۲ و شکل ۲).

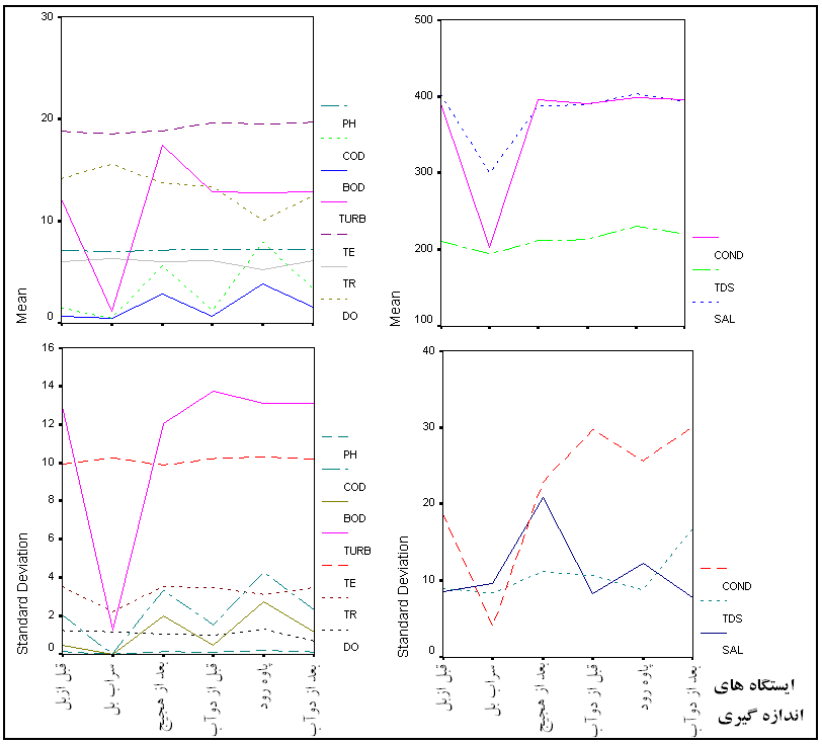
جدول ۱. ارزش‌های شاخص‌های آلودگی سراب بل و بعضی ویژگی‌های آماری این شاخص‌ها برای رود سیروان که با محاسبهٔ شاخص‌های به دست آمده برای ۶ ایستگاه اندازه‌گیری به دست آمده است.

ویژگی‌های آماری / شاخص‌ها	PH	COD(MG/LIT)	BOD(MG/LIT)	COND.(MS)	TURB(N.T.V)	TDS(MG/LIT)	SAL(MG/L)	T محیط (°C)	T رودخانه (°C)	DO(MG/LIT)
میانگین سراب بل	۷	۰/۵	۰/۵	۲۰۳/۱	۱/۲	۱۹۴/۷	۳۰۰/۲	۱۸/۵	۶/۳	۱۵/۶
N	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴
Median	۷/۲	۰/۵	۰/۵	۳۹۷/۵	۵/۵	۲۱۷	۳۹۲	۱۴/۵	۵	۱۳/۳
Minimum	۶/۹	۰/۵	۰/۵	۱۹۹	۰/۱۸	۱۸۲	۲۹۰	۹	۳/۲	۸
Maximum	۷/۵	۱۳	۷	۴۱۸	۳۹	۲۴۴	۴۲۰	۳۸	۱۵	۱۶/۷
Range	۰/۶	۱۲/۵	۶/۵	۲۱۹	۳۸/۸	۶۲	۱۳۰	۲۹	۱۱/۸	۸/۷
Std. Deviation	۰/۱۵	۳/۷	۱/۹	۷۵/۱۶	۱۲/۳۴	۱۵/۳	۳۸/۰۳	۹/۶۵	۳/۱۳	۲

جدول ۲. نسبت شاخص آلودگی هر ایستگاه به شاخص به دست آمده برای سراب بل

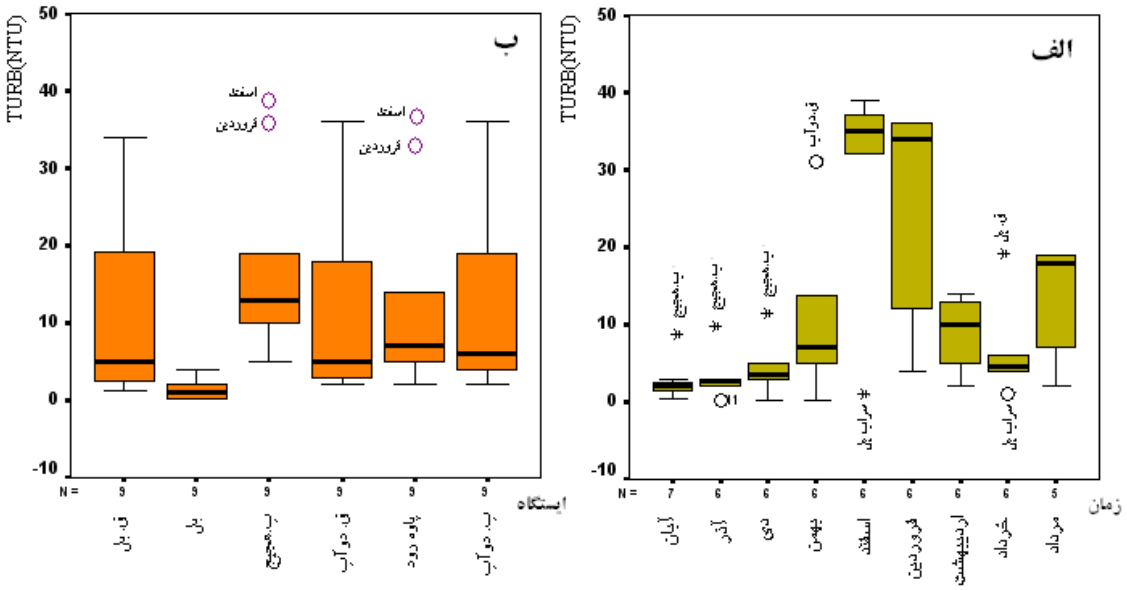
ایستگاه	شاخص	PH	COD	BOD	COND	TURB	TDS	SAL	DO
۱	قبل از سراب بل	۱/۰۲	۳	۱/۳	۱/۹	۹/۹۷	۱/۰۸	۱/۳	۰/۹
۳	بعد از هجیج	۱/۰۲	۱۱/۲	۵/۷	۱/۹	۱۴/۳	۱/۰۹	۱/۳	۰/۸۸
۴	قبل از دوآب	۱/۰۳	۲/۵	۱/۳	۱/۹	۱۰/۶	۱/۰۶	۱/۳	۰/۸۶
۵	پاوه‌رود	۱/۰۳	۱۵/۹	۷/۷	۱/۹	۱۰/۵	۱/۱۸	۱/۳	۰/۶۴
۶	بعد از دوآب	۱/۰۳	۶/۸	۲/۱	۱/۹	۱۰/۶	۱/۱۳	۱/۳	۰/۸

دقّت در نوسانات یادشده این نکته را یادآوری می‌کند که اغلب شاخص‌ها در دو ایستگاه بعد از هجیج و پاوه‌رود از سراب بل فاصلهٔ بیشتری می‌گیرند. شاخص‌های COD و کدورت آب نمونهٔ بارز این فاصله‌گیری هستند که حتّی تا پانزده برابر این تغییرات را می‌توان مشاهده نمود (جدول ۲ و شکل ۲). این تغییرات را با دو پدیده می‌توان در ارتباط گذاشت: اوّل افزایش آلودگی بیولوژیک است که شاخص‌های شیمیایی مانند COD، BOD و DO را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این دقیقاً با محل‌های تمرکز انسانی مانند هجیج و پاوه که فاضلاب‌های خود را به رود وارد می‌کنند، تطابق پیدا می‌کند. نوسان شدید ماهانهٔ این شاخص‌ها در دو محلّ یادشده (شکل ۲، نمودار انحراف استاندارد) که با نوسانات دبی آب، ولی تولید تقریباً یکنواخت فاضلاب تولید می‌شوند، می‌تواند این مطلب را تأیید نماید و دوم آلودگی‌های فیزیکی مانند فرسایش و تولید رسوب و مواد معلّق است که با شاخص‌های فیزیکی مانند کدورت آب، شوری و TDS نشان داده می‌شود. این آلودگی نیز در دو محلّ بعد از هجیج و پاوه‌رود مهم است. در این دو محل علاوه بر اینکه تخلیهٔ فاضلاب موجب افزایش شاخص‌ها می‌گردد، نمی‌توان تنها دلیل این تغییر مهم باشد.



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین و انحراف معیار شاخص‌های آلودگی در شش ایستگاه اندازه‌گیری رود سیروان

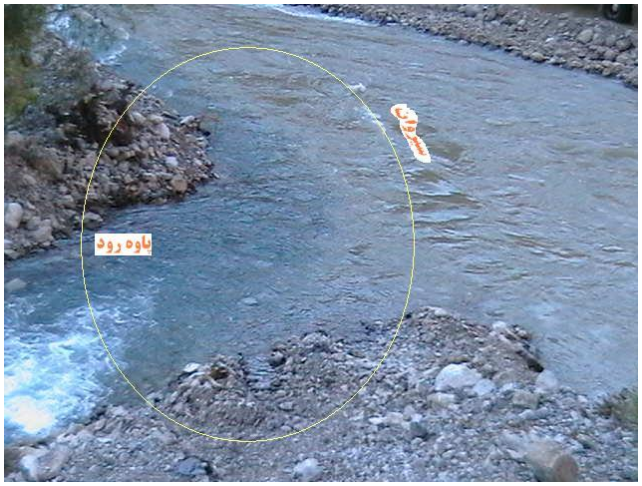
کدورت آب سیروان نسبت به الوند و قره‌سو بسیار کمتر می‌نماید؛ ولی طبق استانداردهای رایج آب آشامیدنی (NPDWRS)[1] آلوده به شمار می‌رود. این شاخص در اغلب اوقات سال رقم پایینی را نشان می‌دهد و در ماه‌های مرطوب سال به طور تدریجی و جزئی بالا می‌رود؛ در ماه اسفند به طور ناگهانی تا ۳ برابر حدّ معمول آن اوج می‌گیرد و این وضعیّت را در ماه بعدی نیز حفظ می‌کند. در خردادماه مقدار کدورت آب به حالت طبیعی خود برمی‌گردد و دوباره در مردادماه سیر صعودی می‌گیرد (شکل ۳ - الف). این موضوع با افزایش بارندگی ارتباط پیدا می‌کند که در ماه‌های مرطوب حداکثرهای کدورت آب را در بعد از هجیج و پاوه‌رود متمرکز می‌کنند (شکل ۳ - ب) و این نشان می‌دهد که عامل تولید کدورت آب فراتر از تخلیهٔ فاضلاب است.



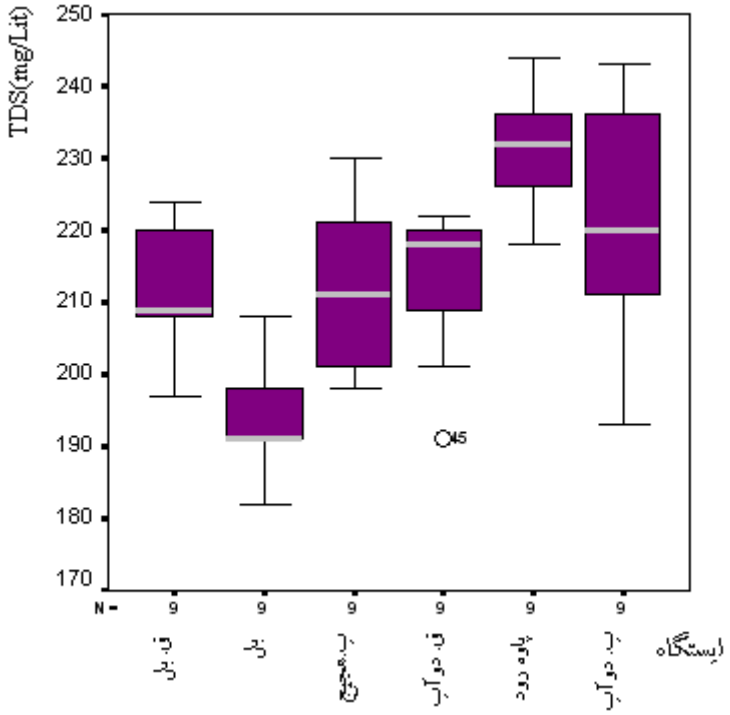
شکل ۳. تغییرات کدورت آب در ماه‌های مختلف در ایستگاه‌های اندازه‌گیری (الف) و در طول مدّت نمونه‌گیری (ب)

به طور کلّی، در مسیر سیروان میزان کدورت آب در محلّ ورود به استان کرمانشاه از میانگین کدورت خود رود کم (شکل ۳ - الف) است. این رود بعد از طیّ مسافتی، آب سراب بل را که دارای کمترین مقدار کدورت است، دریافت می‌کند؛ ولی از این محل به بعد مقدار کدورت آب تا محلّ بعد از هجیج افزایش می‌یابد. در واقع خروجی پساب‌های روستای هجیج شفافیّت آب را به شدّت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به نظر می‌رسد کدورتی که در این بخش برای رود رخ می‌دهد، با طیّ مسافت کوتاهی کاهش می‌یابد؛ زیرا قبل از دوآب رود دوباره به همان شفافیّت قبلی خود می‌رسد (شکل ۳ - الف). در دوآب، سیروان، پاوه‌رود را از آن خود می‌گرداند. پاوه‌رود از گل‌آلودی نسبتاً برابر با رود اصلی برخوردار است؛ ولی در طیّ فصول نوسان زیادی در مقدار کدورت آن نسبت به ایستگاه قبل از خود مشاهده می‌شود (شکل ۲)؛ به نحوی که در فصول مرطوب مقدار کدورت آن بالاتر از اغلب ایستگاه‌هاست (شکل ۳ و ۴)؛ با وجود این، در این محل کدورت آب با TDS هماهنگ نیست و اغلب مقدار TDS رقم بالایی را نشان می‌دهد (شکل ۵).

1- National Primary Drinking Water Regulations



شکل ۴. تفاوت کدورت پاوه‌رود با سیروان در محلّ دوآب



شکل ۵. تغییرات TDS آب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در طول مدّت نمونه‌گیری

از آنجا که TDS محتوای مواد آلی و غیرآلی را که به صورت ملکولی، یونی یا کلوئیدی حمل می‌شوند، بیان می‌کند و در حالی که کدورت آب علاوه بر TDS بیشتر با TSS یا مواد معلّق موجود در آب در رابطه است، ناهماهنگی یاد شده نشان می‌دهد که دو رود سیروان و پاوه‌رود منبع تغذیهٔ مواد معلّق یکسان، ولی سرچشمهٔ تغذیهٔ مواد محلول و کلوئیدی متفاوتی را دارند. برای روشن شدن موضوع و تحلیل سرچشمهٔ این تغییرات، در زیر به بررسی نقش دو عامل اصلی آلودگی؛ یعنی، عامل انسانی و طبیعی پرداخته می‌شود.

عوامل انسانی مؤثّر در آلودگی

در حوضهٔ سیروان کارخانه‌ها و صنایع بزرگی وجود ندارد که ضایعات و پس‌آب‌های خود را به رود وارد نماید. در شاخه‌های موجود در استان کردستان نیز بعید به نظر می‌رسد که منابع آلایندهٔ چشمگیری وجود داشته

باشد. از آنجا که کشاورزی در حوضهٔ سیروان، دست‌کم در بخشی کـه در اسـتان کرمانشـاه واقـع شـده اسـت، چندان رونق ندارد، آلودگی کشاورزی نیز کم است.

فاضلاب‌های شهری و روستایی نیز در بخش وسیعی از سیروان به دلیل پراکندگی مراکز جمعیّتی و مـرزی بودن نسبت به رودخانه‌های دیگر استان چندان چشم‌گیر نیست. این حوضه که تقریباً ۹۸ هـزار نفـر جمعیّـت دارد، عمدتاً در جنوب و جنوب‌شرق آن متمرکز شده است. با توجّه به داده‌های مربوط به مقدار مصرف سـرانهٔ آب هر شهرستان (دلفانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۸) و نظر منزوی (۱۳۷۵: ۳) مبنی بر اینکـه معـادل ۶۰ تـا ۷۰ درصد آب مصرفی تبدیل به فاضلاب می‌گردد، این تعداد جمعیّـت روزانـه ۱۱۳۰۵ مترمکعّـب فاضـلاب تولیـد می‌کنند که در سال رقم ۴۱۲۶۳۸۱ مترمکعّب به دست می‌آید.

مساحت فراوانی از حوضهٔ سیروان را جنگل‌ها و مراتع اشغال کرده است. تنها در شهرستان پـاوه زمین‌هـای جنگلی ۸۲٪ و زمین‌های مرتعی ۱۲٪ سطح زمین را اشغال می‌کنند و زمین‌های زراعـی تنهـا ۶٪ زمـین را بـه خود اختصاص می‌دهند؛ البتّه در مقایسه با ده سال گذشته از مسـاحت زمین‌هـای جنگلـی متـراکم ۴۵٪ و از مساحت جنگل‌های تنک ۲۷٪ کم شده است. در عوض، در حدود ۷۱ درصـد بـه مسـاحت زمین‌هـای مرتعـی افزوده شده است. این موضوع نشان می‌دهد که از ده سال گذشته به این طرف سالانه تقریباً ۳/۵٪ از جنگل‌هـا تخریب شده و به جای آن مراتع جایگزین شده است (دلفانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۵). طبیعی است که با ایـن روند تخریب و عدم کنترل آن، باید انتظار داشت تا سال ۱۴۰۵ شمسی مساحت چنـدانی از جنگل‌هـا در ایـن منطقه باقی نماند.

مساحت زیادی از زمین‌های تحت کشت حوضهٔ سیروان به کشت آبی اختصاص داده مـی‌شـود و بـه دلیـل کمبود زمین‌های مسطّح در این حوضه، کشت و یا هر نوع کاربری دیگر معمولاً بـر روی دامنـه‌های پـر شـیب صورت می‌گیرد؛ در این صورت زمین‌ها تراس‌بندی مـی‌شـوند و سـپس فعّالیّـت بـر روی آن انجـام می‌گیـرد. تراس‌بندی روشی است که تا حدودی می‌تواند در برابر فرسایش مانع ایجاد کند.

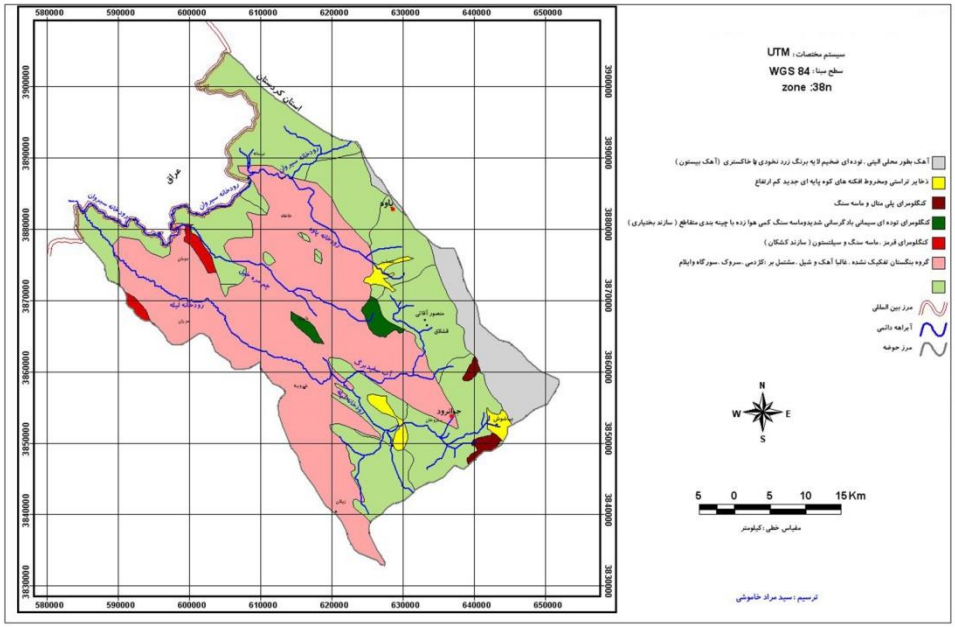
غیر از موارد گفته شده در بالا، در پیرامون جوانرود، نوسود و باینگان میادین برداشت شـن و ماسـه وجـود دارد که با این برداشت علاوه بر تغییراتی کـه در کـاربری اراضـی داده مـی‌شـود، بـا گـل‌آلود نمـودن رودهـا، مورفولوژی و اکوسیستم رودها نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (شکل ۶).

شکل ۶. یک میدان برداشت شن و ماسه از یک تراس آبرفتی واقع در دوآب

ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی حوضه و نقش آن‌ها در آلودگی

در این منطقه مطالعات زمین‌شناسی رسمی‌ای صورت نگرفته است؛ از این رو نقشهٔ زمین‌شناسی آن بسیار کلّی است. قدیم‌ترین سنگ‌هایی که در حوضه تشخیص داده شده است، سازندهای مربوط به دوران دوم شامل سازندهای معروف به گروه بنگستان است که بخشی از حوضهٔ پاوه‌رود را پوشش می‌دهد (شکل ۷). این گروه در حوضه تفکیک نشده است و حوزهٔ برونزد هر یک از سازندها معلوم نیست. گروه بنگستان سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام را دربر می‌گیرد. سازند کژدمی که متعلّق به قسمت فوقانی دورهٔ کرتاسه زیرین است، از شیل‌های سیاه‌رنگ تیره و آهک‌های رسی تیره‌رنگ تشکیل شده است (خسرو تهرانی، ۱۳۷۶: ۳۲۶). بر روی آن سازند سروک قرار می‌گیرد. این سازند از آهک‌های رسی دانه‌ریز به رنگ خاکستری تیره که دارای لایه‌بندی و گرهک چرت هستند، تشکیل شده است. همراه این آهک‌ها لایه‌های نازک مارن‌های آهکی خاکستری تیره به چشم می‌خورد.

با وجود این، بخش مهمّی از منطقهٔ مورد بررسی که در نقشهٔ زمین‌شناسی حوضه (شکل ۷) به رنگ سبز نشان داده شده است، به عنوان سازند نامعلومی مشخّص شده است که برای اهداف این تحقیق بررسی‌های میدانی صورت گرفت و نتایج آن نشان داده است که بخش وسیعی از منطقه که برونزد اصلی آن در مسیر اصلی سیروان بویژه از دوآب به سمت پایین‌دست قابل مشاهده است، از آهک‌های سفید تا قهوه‌ای تشکیل شده است. این آهک‌ها حفره‌ای و متخلخل هستند که این عامل باعث تولید ناهمواری‌های پر شیب شده است و در بعضی مناطق شستشو از دیواره، حفره‌هایی بزرگ و تماشایی را به وجود آورده است. این ویژگی‌ها با سازندهای آسماری که به دورهٔ ترشیری مربوط می‌شوند و بیشتر برونزد آن‌ها در لرستان اتّفاق افتاده است، تطابق پیدا می‌کنند. این سازندها رسوب کمتری را به صورت معلّق تولید می‌کنند و بیشترین تولید رسوب آن‌ها به صورت محلول و از نوع کربنات کلسیم خواهد بود.



شکل ۷. نقشهٔ زمین‌شناسی حوضهٔ سیروان

در حوضهٔ پاوه‌رود ویژگی متفاوتی از نظر سنگ‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی به چشم می‌خورد. در امتداد این رود و بخش‌هایی از دامنه‌های ارتفاعات دره‌کنار تا هجیج، رسوبات شیلی و آهکی قرمزرنگی ظاهر می‌شود که تحت تأثیر فازهای مختلف کوهزایی، چین‌ها و شکست‌های گوناگونی را متحمّل شده‌اند. رسوبات این منطقه بیشتر به رنگ قرمز برّاق و دارای لایه‌بندی هستند و در برابر اسید نیز نمی‌جوشند. این ویژگی‌ها، از اختصاصات سنگ‌های شیلی رسی آهن‌دار و احتمالاً وابسته به رادیولاریت‌هاست. معمولاً تخریب این سنگ‌ها رسوبات رسی و قرمزرنگی را تولید نموده‌اند که در بعضی مناطق ضخامت آن‌ها قابل توجّه است (شکل ۸). با توجّه به وضعیّت اقلیمی این منطقه، پدیدهٔ سولیفلوکسیون بر روی این مواد رواج پیدا کرده است.

شکل ۸. رادیولاریت و نتایج هوازدگی آن که به تولید مواد رسی قرمزرنگ منجر می‌شود.

از سوی دیگر در این بخش مناطق وسیعی از زمین مشاهده می‌شود که رسوبات تخریبی کواترنری را در خود جای داده‌اند. این رسوبات را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اوّل عمدتاً از رس و رسوبات تخریبی تا حدّ تخته‌سنگ‌هاست. این رسوبات اغلب نظم معیّنی ندارند و موادّ تخریبی آن‌ها زاویه‌دار است. ویژگی این رسوبات که دامنه‌ای بودن آن‌ها را نشان می‌دهند، معمولاً داخل بعضی درّه‌ها، بویژه درّه‌های عمود به رودخانهٔ اصلی در بین هجیج تا دوآب را پر نموده‌اند. ویژگی این رسوبات حاکی از ژلیفلوکسیون دوره‌های سرد و بارانی گذشته است (شکل ۹).

گروه دوم رسوبات، نهشته‌هایی هستند که در کنار رودخانه‌ها بویژه در امتداد سیروان با نظم خاصّی بر روی هم چیده شده‌اند که دشت سیلابی قدیمی این رود را نشان می‌دهند. این رسوبات جوان هستند و به آخرین دوره‌های بارانی تعلّق دارند. برش آن‌ها به وسیلهٔ سیروان توانسته است از این رسوبات پادگانه‌های جوانی را بسازد که در بعضی نواحی بویژه در دوآب به عنوان منابع شن و ماسه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

شکل ۹. رسوبات تخریبی حاصل از حرکات توده‌ای در مسیر وراء به هجیج

افزایش کدورت آب عمدتاً در دو مکان رود سیروان (در محدودهٔ استان کرمانشاه) چشمگیر است: بعد از هجیج و بعد از دوآب. ولی مقدار مواد جامد محلول به تدریج به سمت پایین‌دست حتّی در بین ایستگاه‌هایی که هیچ منبع آلایندهٔ نقطه‌ای وجود ندارد، به طور منظّم افزایش می‌یابد (شکل ۵). در این بین، پاوه‌رود که در محلّ دوآب به سیروان می‌پیوندد، بیشترین مقدار TDS را نشان می‌دهد. از آنجا که فاصلهٔ بین ایستگاه‌های قبل و بعد از هجیج کمتر از یک کیلومتر است، این مقدار از کدورت نیز تنها از فاضلاب یک روستای کوچک که آن نیز با فاصله از رودخانه قرار گرفته است، بعید به نظر می‌رسد؛ ولی فرسایش نهشته‌های داخل درّه‌ها (شکل ۹) این امکان را فراهم می‌کند که در بارش‌ها این مواد به راحتی شسته شوند و همچنین فرسایش کناری پادگانه‌ها حجم زیادی از رسوب را تولید نماید؛ زیرا قبل از هجیج دیواره‌های تند درّه و بستر سنگی تنها مواد محلول را در اختیار رود قرار می‌دهد؛ ولی فاصلهٔ قبل و بعد از هجیج با پادگانه‌ها و درّه‌های پر شدهٔ عمود بر رود اصلی تطابق می‌کند که این فرصت را برای فرسایش رود فراهم می‌کند. بعد از طیّ مسافتی از هجیج به تدریج شرایط زمین به حالت پیشین برمی‌گردد و دریافت رسوب کاهش می‌یابد. نتیجهٔ این کاهش رسوب، در مقدار کم کدورت در محلّ قبل از دوآب ظاهر می‌شود. با وجود این، بعد از دوآب دوباره کدورت آب بالا می‌رود.

بالا بودن کدورت سیروان بویژه در ماه‌های پرباران در محلّ بعد از دوآب به وضوح به تلاقی آب پاوه‌رود مربوط می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴). وضعیّت زمین‌شناسی حوضهٔ این رود و رسوبات رسی ضخیمی که از هوازدگی شیله‌ای رسی حاصل شده‌اند، در بیشتر نواحی این حوضه قابل مشاهده است. حرکات دامنه‌ای و حسّاسیّت به فرسایش این رسوبات، آن‌ها را در برابر جریان آب به راحتی قابل حمل می‌نماید.

بنابراین، شاخهٔ اصلی سیروان در درّه‌ای تنگ و باریک جریان می‌یابد که منابع اصلی دریافت رسوب و مواد معلّق و مواد محلول آن از انحلال آهک‌های دیواره‌ها و بستر کانیون و شستشو و فرسایش پادگانه‌ها و مواد رسوبی که در داخل درّه‌های مدفون قبلی جای گرفته‌اند، به دست می‌آید. بخشی از رسوب نیز از طریق شاخه‌های کوچکی که از درّه‌های فرعی تنگ و بعضی مواقع کمی باز که بر روی دامنه‌های آن‌ها

زمین‌لغزه‌هایی مشاهده می‌شود (مانند زمین‌لغزهٔ درهٔ وراء) عبور می‌کنند و به سیروان وارد می‌گردند؛ ولی رسوب پاوه‌رود علاوه بر انحلال آهک‌های نواحی مرتفعی مانند ارتفاعات شاهو، عمدتاً از شستشوی دامنه‌های درّه‌ای تولید می‌شود که سطح آن با رسوبات رسی که به وسیلهٔ پوشش گیاهی مرتعی و جنگلی حفاظت می‌شوند، پوشیده شده است. شستشوی این رس‌ها می‌تواند موادّ ریزی را در اختیار رواناب‌ها قرار دهد؛ بویژه اینکه حفاظت آن‌ها حتّی می‌تواند رسوبات را به صورت دانه‌های خیلی ریزکلوئیدی فراهم کند که نتیجهٔ آن بالا رفتن مقدار TDS خواهد بود؛ از سوی دیگر به طور موضعی و فصلی تغییراتی که در بستر رود مانند برداشت شن و ماسه و ایجاد حفره‌های بزرگ در دوآب صورت می‌گیرد، می‌تواند از دلایل ثانویهٔ افزایش کدورت و TDS به شمار رود.

نتیجه‌گیری

رود سیروان به عنوان یک رود نسبتاً پاکیزه، غیر از آلودگی ناشی از فاضلاب‌ها که با اندازه‌گیری شاخص‌های آلودگی و فاضلاب‌های انسانی نشان داده شد، با آلودگی ناشی از کدورت آب و به عبارت دیگر از آلودگی حاصل از تولید رسوب و موادّ محلول مواجه است. صرف نظر از تغییرات زمانی کاربری اراضی که تغییرات از حالت جنگلی به سمت مرتعی و به دنبال آن تشدید فرسایش را در این منطقه پیش رو داشته است، تغییرات مکانی آن در دورهٔ معاصر را بدون توجّه به آلودگی‌های موضعی حاصل از میادین برداشت شن و ماسه و تسطیح‌های محدود زمین، باید در عوامل طبیعی و ویژگی‌های زمین جستجو کرد.

عوامل زمین‌شناسی مانند نوع سازندهای زمین‌شناسی و عوامل زمین‌ریخت‌شناسی مانند وضعیّت نهشته‌ها و تحوّل منطقه و همچنین تغییر کاربری زمین در ارائهٔ نوع و میزان مواد به رودخانه‌ها مؤثّر واقع می‌شوند؛ ولی در مواقع عادّی که رودها از چشمه‌ها و ذوب تدریجی برف‌های ارتفاعات تغذیه می‌کنند، فرسایش شدیدی رخ نمی‌دهد که سیلت و رس و موادّ معلّق را از مکان‌های دارای رسوبات ضخیم و در دسترس حمل کند؛ از این رو، تفاوت کدورت را در ایستگاه‌های مختلف کمتر می‌توان احساس نمود؛ ولی در فصل بارش‌ها جابه‌جایی موادّ معلّق به دلیل فرسایش پاشمانی و فرسایش ورقه‌ای راحت‌تر صورت می‌گیرد و در حوضه‌هایی مانند پاوه‌رود که رسوباتِ منفصل بیشتر باشد، انتقال نیز راحت‌تر صورت می‌گیرد و کدورت آب نسبت به سایر ایستگاه‌ها برجسته‌تر می‌شود؛ ولی این نوع حوضه‌ها (حوضه‌های با رسوبات منفصل بیشتر)، در مواقع عادّی تفاوت خود را نسبت به حوضه‌های مجاور در مقدار TDS خود آشکار می‌کنند و همواره این شاخص را بالا نشان می‌دهند. از آنجا که شاخص‌های دیگری مانند شوری، اکسیژن محلول و بویژه هدایت الکتریکی با TDS رابطه دارند (شکل ۲، جدول ۳)، می‌توان گفت که بخشی از تغییرات این شاخص‌ها تحت تأثیر TDS قرار می‌گیرد.

این نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم اغلب رودهایی که پژوهشگرانی مانند سعیدی و همکاران (۱۳۸۵: ۴۸)؛ چراغی و خراسانی (۱۳۸۵: ۶۶۶) و پری زنگنه و همکاران (۱۳۸۴: ۷)، آلودگی آن‌ها را ناشی از فعّالیّت‌های صنعتی و شهری، گزارش کرده‌اند، عوامل طبیعی به همان‌گونه که ریمان (۲۰۰۹: ۱۸۷۳) به آن پرداخته است، نقش زیادی را در تغییر شاخص‌های آلودگی ایفا می‌کنند. این عوامل که بیشتر با عوامل زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی که محقّقانی مانند گیلبرت (۱۹۱۷: ۱۵۲)، گالرت و همکاران (۱۹۹۹: ۲۴) به آن اشاره می‌کنند، پیوند می‌خورد. تحت این شرایط، پوشش گیاهی به همان‌گونه که لوین و همکاران

(۱۹۷۷: ۳۶۵) و مک لین و لوین (۱۹۸۹: ۲۴۴) به آن می‌پردازند، نقش بسزایی را در کنترل آلودگی ایفا خواهد نمود و گسستگی آن می‌تواند بار آلودگی را افزایش دهد.

جدول ۳. خروجی SPSS دربارهٔ هم‌بستگی بین شاخص‌های آلودگی رود سیروان

	PH	COD	BOD	COND	TURB	TDS	SAL	DO
PH	۱	،۱۱۳	-،۰۴۲	،۳۵۶ (**)	،۳۸۹ (**)	،۵۶۷ (**)	،۴۴۰ (**)	-،۳۱۵ (*)
COD	،۱۱۳	۱	،۹۳۱ (**)	،۳۴۷ (*)	،۰۹۰	،۴۸۹ (**)	،۳۵۸ (**)	-،۶۳۵ (**)
BOD	-،۰۴۲	،۹۳۱ (**)	۱	،۲۷۵ (*)	،۰۰۷	،۴۰۱ (**)	،۲۷۴ (*)	-،۵۸۱ (**)
COND	،۳۵۶ (**)	،۳۴۷ (*)	،۲۷۵ (*)	۱	،۳۹۹ (**)	،۵۵۸ (**)	،۹۰۴ (**)	-،۴۵۰ (**)
TURB	،۳۸۹ (**)	،۰۹۰	،۰۰۷	،۳۹۹ (**)	۱	،۴۳۸ (**)	،۴۱۶ (**)	-،۰۸۱
TDS	،۵۶۷ (**)	،۴۸۹ (**)	،۴۰۱ (**)	،۵۵۸ (**)	،۴۳۸ (**)	۱	،۶۰۹ (**)	-،۵۶ (**)
SAL	،۴۴۰ (**)	،۳۵۸ (**)	،۲۷۴ (*)	،۹۰۴ (**)	،۴۱۶ (**)	،۶۰۹ (**)	۱	-،۵۴۷ (**)
DO	-،۳۱۵ (*)	-،۶۳ (**)	-،۵۸ (**)	-،۴۵ (**)	-،۰۸۱	-،۵۶ (**)	-،۵۴ (**)	۱

**: هم‌بستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

*: هم‌بستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

بر این اساس، جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و گسست پوشش گیاهی در حوضه‌ای مانند سیروان و بویژه پاوه‌رود که جنگل‌های آن رو به نابودی است و درصد زیادی از زمین‌های آن نیز از شیب بالایی برخوردار هستند، یک اقدام اساسی و غیر قابل اجتناب خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی سازمان محیط‌زیست استان کرمانشاه و کمک‌های علمی و فنّی این سازمان صورت گرفته است که شایسته است از این سازمان و همکاران محترم آن، بویژه از آقای فریدون یاوری به دلیل پیشنهادهای علمی، آقایان طاهر هاشمی و سیّد فریدون ترابی به دلیل همکاری در نمونه‌گیری و آزمایش آن‌ها و آقای سیّد مراد خاموشی به دلیل کارتوگرافی نقشه‌ها سپاسگزاری و قدردانی گردد.

منابع

بشارتی نائره، ۱۳۸۰، **تهدید سلامت تالاب انزلی توسّط مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آلاینده‌ها**، ویژه‌نامهٔ کنگرهٔ سراسری طب و دریا، ۴، ۷۶.

پری زنگنه عبدالحسین؛ یوسف قدیمی و یوسف‌علی عابدینی، ۱۳۸۴، **آلودگی آب و منابع اصلی آلودگی‌های ابهر رود در استان زنجان**، مجموعه مقالات ششمین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران، ۹-۱.

دلفانی بابک؛ محمد رضا پورامین؛ کمال شهسواری و سعید محرابی‌پور، ۱۳۸۶، **سیمای استان کرمانشاه و شهرستان‌های تابعه**، معاونت امور اقتصادی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه.

خسرو تهرانی خسرو، ۱۳۷۶، **چینه‌شناسی ایران (رشتهٔ زمین‌شناسی)**، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

چراغی مهرداد و نعمت‌اله خراسانی، ۱۳۸۵، **بررسی منابع آلایندهٔ رودخانهٔ گدارخوش**، منابع طبیعی ایران، ۵۹، ۶۵۹-۶۶۸.

سعیدی محسن؛ عبدالرضا کرباسی؛ غلامرضا نبی بیدهندی و ناصر مهردادی، ۱۳۸۵، **اثر فعالیت‌های انسانی بر تجمع فلزّات سنگین در آب رودخانهٔ تجن در استان مازندران**، محیط‌شناسی، ۴۰، ۵۰-۴۱.

عوض‌پور مؤید؛ میترا غلامی؛ حامد محمدی و زهره جوادی، ۱۳۸۵، **بررسی منابع آلایندهٔ حوزهٔ آبریز سد مخزنی ایلام**، مجلهٔ علمی - پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام ۱۳(۳)، ۵۵-۴۴.

کرباسی عبدالرضا و فرزاد کلانتری، ۱۳۸۶، **بررسی منابع آلایندهٔ رودخانهٔ هراز و ارائهٔ راهکارهای مدیریتی جهت کنترل آن**، فصلنامهٔ علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۳۴، ۷۰-۶۱.

منزوی محمد تقی، ۱۳۷۵، **تصفیهٔ فاضلاب (فاضلاب شهری)**، جلد دوم، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

Axtmann، E.V., Luoma, S.N., 1991, **Large-scale Distribution of Metal Contamination in Fine-grained Sediments of the Clark Fork River**, Montana, USA. Applied Geochemistry, 6, 75-88.

Bradly, S.B., 1984, **Flood Effects of the Transport of Heavy Metals**, International Journal of Environmental Studies, 22, 225-230.

Gallart, F., Benito, G., Martín-Vide, J.P., Benito, A., Prió, J.M., Regües, D., 1999, **Fluvial Geomorphology and Hydrology in the Dispersal and Fate of Pyrite Mud Particles Released by the Aznalcóllar Mine Tailings Spill**, The Science of the Total Environment, 142, 13–26.

Gilbert, G. K., 1917, **Hydraulic-mining Debris in the Sierra Nevada**, USGS Professional, 105.

Goudie, A.S., 2006, **Global Warming and Fluvial Geomorphology**, In: James, L.A, Marcus, W.A. (Eds.), The Human Role in Changing Fluvial Systems، 79. Elsevier، 384–394.

Graf، W.L.، 1990, **Fluvial Dynamics of Thorium-230 in the Church Rock Event, Puerco River, New Mexico**, Annals of the Association of America Geographers, 80, 327–342.

James, L.A., 1991, **Incision and Morphologic Evolution of an Alluvial Channel Recovering from Hydraulic Mining Sediment**, Geological Society of America Bulletin, 103, 723–736.

Lewin, J., Davies, B. E., Wolfenden, P.J., 1977, **Interactions Between Channel Change and Historic Mining Sediments**, In: Gregory, K.J. (Ed.), River Channel Changes. Wiley, Chichester, 353-367.

Lewin, J., Macklin, M.G., 1987, **Metal Mining and Floodplain Sedimentation in Britain**, In: Gardiner, V. (Ed.), International Geomorphology 1986 Part 1. Wiley, Chichester, 1009–1027.

Lewin, J., Wolfenden. P.J., 1978, **The Assessment of Sediment Sources.: Afield Experiment**, Earth Surface Processes, 3, 171-178.

Macklin, M.G., Lewin, J., 1989, **Sediment Transfer and Transformation of an Alluvial Valley Floor: the River South Tyne, Northumbria, Uk**, Earth Surface Processes and Landforms, 14, 233–246.

Marcus, W.A., 1987, **Copper Dispersion in Ephemeral Stream Sediments**, Earth Surface Processes and Landforms, 12, 217–228.

Reimann, Cl., Finne, T. E., Nordgulen Ø., Saether O. L., Arnoldussen A, Banks D., 2009, **The Influence of Geology and Land-use on Inorganic Stream Water Quality in the Oslo Region**, Norway, Applied Geochemistry, 24, 1862–1874.

Taylor, M.P.T., Kesterton, R.G.H., 2002, **Heavy Metal Contamination of an Arid River Environment: Gruben River, Namibia**, Geomorphology 42 (3–4), 311–327.

Walling, D.E., Owens, P.N., Carter, J., Leeks, G.J.L., Lewis, A.A., Meharg, A.A., Wright, J., 2003, **Storage of Sediment-associated Nutrients and Contaminants in River Channel and Floodplain systems**, Applied Geochemistry, 18 (2), 195–220.

Young-Seuk Park Y. S., Kwon Y. S, Hwang S. J., Park S., 2014, **Characterizing Effects of Landscape and Morphometric Factors on Water Quality of Reservoirs Using a Self-organizing Map Environmental Modelling & Software**, 55, 214–221.