جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۱
صص. ۱۱۱-۹۳

طراحی سامانه‌ی پایشی برای ارزیابی کیفیت آب زمکان رود کرمانشاه

ایرج جباری *ـ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۳/۰۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۹/۱۵

چکیده

نخستین گام برای مدیریت، کنترل و کاهش آلودگی رودها ، پایش دقیق کیفیت آب آنهاست که به‌طور معمول این امر به‌کمک شبکه‌ی گسترده‌ای از ایستگاه‌ها انجام می‌گیرد. ولی تأسیس چنین شبکه‌ای در اغلب حوضه‌های ایران به‌دلایل گوناگون عملی نیست و به شبکه‌ی پایشی کم تعدادی نیاز است که با هزینه‌ی کم و در مسیرهای قابل دسترس، بتواند تغییرات وضعیت آلودگی رود را که متأثر از فعالیت‌های انسانی در کل سامانه‌ی حوضه‌ی زهکشی است، آشکار کند. در این مطالعه تلاش شد یک چنین شبکه‌ی پایشی در مسیر جریان اصلی حوضه‌ی زمکان رود در شمال غرب استان کرمانشاه طراحی شود. بدین منظور، منابع آلاینده‌ی حوضه‌ی مورد بررسی شناسایی و میزان آلایندگی آنها به‌وسیله‌ی شاخص‌هایی نشان داده شد. با ترکیب این شاخص ها و با توجه به نقش توپوگرافی و هیدروگرافی در هدایت آلاینده‌ها به رودخانه اصلی، بازه‌های آسیب‌پذیر مشخص شد و با تطبیق اولویت آلودگی این بازه ها با نتایجی که از اندازه گیری شاخص های کیفیت آلودگی و فلزات سنگین نمونه‌های آب به دست آمد، از میزان آسیب پذیری بازه ها اطمینان حاصل شد. با توجه به آسیب پذیری بازه‌ها، نُه محل پایشی در سه وضعیت پیشنهاد شد: محل تلاقی شعبه‌های فرعی که در معرض دخالت‌های شدید انسانی قرار می‌گیرند؛ اثر دو شعبه‌ی مهم زمکان رود که در قسمت انتهایی حوضه به هم می‌رسند و سرانجام، قبل و بعد از محل ورود آلاینده‌های اصلی که سنجش میزان آلایندگی آنها را امکان‌پذیر کند. در این نوع مکان‌یابی می توان با کمترین ایستگاه اندازه‌گیری، اقدامات پایشی را در سطوح مختلف و با انعطاف بیشتر انجام داد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، پایش، زمکان رود، کیفیت آب.

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

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

گزارش تارنمای مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی[1] بر اساس شاخص‌های موجود بین‌المللی برای سنجش میزان بحران آب در کشورهای مختلف (شاخص فالکن مارک، شاخص سازمان ملل و شاخص مؤسسه‌ی بین‌المللی مدیریت آب)، نشان می‌دهد که ایران در وضعیت بحرانی شدید و در آستانه‌ی تنش قرار دارد. در این شرایط آبهای کشور به‌شیوه‌های مختلف در معرض آلودگی قرار می‌گیرند و کیفیت آنها از دست می‌رود؛ برای نمونه، کارون محل تخلیه پساب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی است و از آنجا که ۷۰درصد منبع آب شرب مصرفی استان خوزستان از این رودخانه تأمین می‌شود، با کمترین اخلال در سامانه‌ی تصفیه، تعداد زیادی از مردم تحت تأثیر مستقیم آلودگی قرار خواهند گرفت و از سوی دیگر محیط زیست این رودخانه نیز روبه نابودی است (تارنمای کانون پژوهش‌های دریای پارس).[2] تخلیه‌ی سالانه‌ی یک هزار تن پساب صنعتی و خانگی و انواع زباله‌های مدیریت نشده‌ی روستایی و شهری، سفیدرود را به زباله‌دانی تبدیل کرده و با انتقال این آلودگی‌ها به دریای خزر، فاجعه‌ی زیست‌محیطی هر روز ابعاد گسترده‌تری می‌گیرد (روزنامه‌ی آفتاب یزد ۸۷/۹/۹: ۹). آلودگی رودخانه‌ی سیکان (یکی از شاخه‌های انتهایی حوضه‌ی آبریز سیمره)، به‌وسیله‌ی پساب‌های کشاورزی رخ می‌دهد (صباحی و همکاران، ۱۳۸۹). بایر شدن زمین‌های مرتعی، جنگلی و کشاورزی و همچنین گسترش شهرها، موجب تغییر شاخص‌های کیفیت آب حوضه‌ی کرخه می‌شود (سلاجقه و همکارانش،۱۳۹۰). زهکش‌های کشاورزی و ورود پساب‌های صنایع و خانگی، ازجمله فاضلاب‌های شهر مرودشت از عوامل آلودگی رود کُر هستند (رزمخواه و اسماعیل نیاورانی، ۱۳۸۷). با حضور چنین آلاینده‌هایی، بی‌شک چنین مشکلاتی برای حوضه‌های آبخیزِ اغلبِ رودخانه‌های ایران رقم می‌خورد؛ ولی به‌دلیل نبود ابزارهای اساسی (مانند شبکه‌ی پایشی) و ظرفیت‌های تدارکاتی و تجزیه‌ای (به‌خصوص برای ترکیبات آلی پایدار) به‌ندرت مستند می‌شوند. بنابراین در شرایطی که کشور از کمبود منابع آب در تنگنا است، خیلی از رودهای ایران در معرض آلودگی قرار دارند و با دستکاری‌هایی که در حوضه‌های آبخیز انجام می‌گیرد، کاهش کیفیت آب با مقدار رسوب حمل شده از حوضه‌ها بیشتر می‌شود. در این راستا نخستین اقدام برای مدیریت آبها، زیر نظر گرفتن آن از نظر کیفیّت فعلی آب، تشخیص نشانه‌های آلودگی، وسعت و میزان اثرگذاری تخلیه‌ی مواد زائد و ارزیابی اثرگذاری دخالت مدیریت در کیفیت آب تجهیز به یک شبکه‌ی پایشی مناسب است؛ همچنان که کلمنت[3] و همکارانش (۲۰۰۶) نیز معتقدند که در حالت معمولی، داده‌های مربوط به کیفیت آب رودها از شبکه‌های پایشی حاصل می‌شود.

پایش عبارت است از روش‌هایی برای تعیین کیفیت محیط آبی و اینکه چگونه محیط از طریق انتشار

1. http://eecm.ir/cr-water.aspx
2. http://www.persiangulfstudies.com/fa/index.asp?P=NEWS2&Nu=110
3. Clement

www.SID.ir

آلودگی‌ها و دیگر فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (ویرابادرام[1]،۲۰۰۳). برنامه‌ریزی برای پایش کیفیت آب کار ساده‌ای نیست و برای اینکه به نتایج رضایت‌بخشی منجر شود، نیاز است بر اساس اهداف پژوهش، نقاط نمونه‌گیری و تعداد نمونه‌ها به‌دقت انتخاب شوند. هرچند که سندرز[2] و همکاران (۱۹۸۷)، یک دستورکار کلی برای طراحی سامانه‌های پایش پیشنهاد داده‌اند و بارتام و بالنس[3] (۱۹۹۶: ۷۵) بسته به راکد یا جاری بودن و سطحی یا زیرزمینی بودن آنها و همچنین اهداف پایش، راهکارهایی را برای مکان‌یابی مناسب نقاط پایشی ارائه کرده‌اند، ولی به‌طور معمول هیچ روش‌شناسی یا راهبرد عمومی برای طراحی شبکه‌ی پایشی وجود ندارد، به‌خصوص موقعی که روی تعیین محل نقاط نمونه‌گیری تصمیم گرفته می‌شود (ستربل[4] و همکاران، ۲۰۰۶) و از نظر تاریخی برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها یک گرایش بر اساس تجربه، احساس و داوری ذهنی وجود داشته است (نینگ و چانگ[5]، ۲۰۰۴). اهداف پایش مهم‌ترین عواملی هستند که در تعیین نقاط پایشی نقش ایفا می‌کنند. بسته به اهداف، انتخاب مکان‌های نمونه‌گیری ممکن است باعث تولید خطای سیستماتیک شود (کاپلین[6] و همکاران، ۲۰۰۲). از سوی دیگر، سطح پایش نیز می‌تواند بر تعداد نقاط نمونه‌گیری تأثیر گذارد. هر اندازه سطح پایش از حالت ساده به‌سمت پیشرفته افزایش می‌یابد، اهداف گسترده‌تری مدنظر قرار می‌گیرد و از این رو به طراحی دقیق‌تر شبکه‌ی پایشی نیازمند خواهیم شد و گاهی شبکه‌ی پایشی قبلی اصلاح و مکان‌یابی بهینه می‌شود. برای مثال، نینگ و چانگ (۲۰۰۴) و ستروبل و همکاران (۲۰۰۶) چارچوب ارزیابی چندمنظوره‌ی فازی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی؛ فال[7] و همکاران (۲۰۰۷) ترکیبی از فنون الگوریتم ژنتیک وGIS و الورز- واکوز[8] و همکارانش (۲۰۰۶) نیز، از مدل‌های ریاضی برای تعیین مکان‌های اصلی نمونه‌گیری استفاده کرده‌اند. باوجود این، در کشورهای روبه‌رشد، نبود امکانات مادی و تدارکاتی و حتی فرهنگی، اجازه نمی‌دهد نقاط پایشی متعدد و خودکار تأسیس شود و در صورت وجود قوانین و مقررات زیست‌محیطی، اقدامات کاهشی و کنترلی آلودگی رودها برحسب منابع آلاینده موجود انجام می‌گیرد. با این شرایط، ممکن است بتوان شبکه‌ی پایشی کوچک‌مقیاسی را معرفی کرد که با کمترین نقاط پایشی، بتوان تغییرات حاد در کیفیت آب رودها را برای اقدامات کنترلی زیر نظر گرفت و در این پژوهش تلاش می‌شود با در نظر گرفتن معیارهای بومی و تجزیه و تحلیل جغرافیایی آنها، مناسب‌ترین نقاط برای انجام پایش‌های آلودگی برای حوضه‌ی زمکان رود معرفی شود.

1. Veerabhadram
2. Sanders
3. Bartram J. & Balance R.
4. Stroble
5. Ning & Chang
6. Kolpin
7. Fall
8. Alvarez-Vazquez

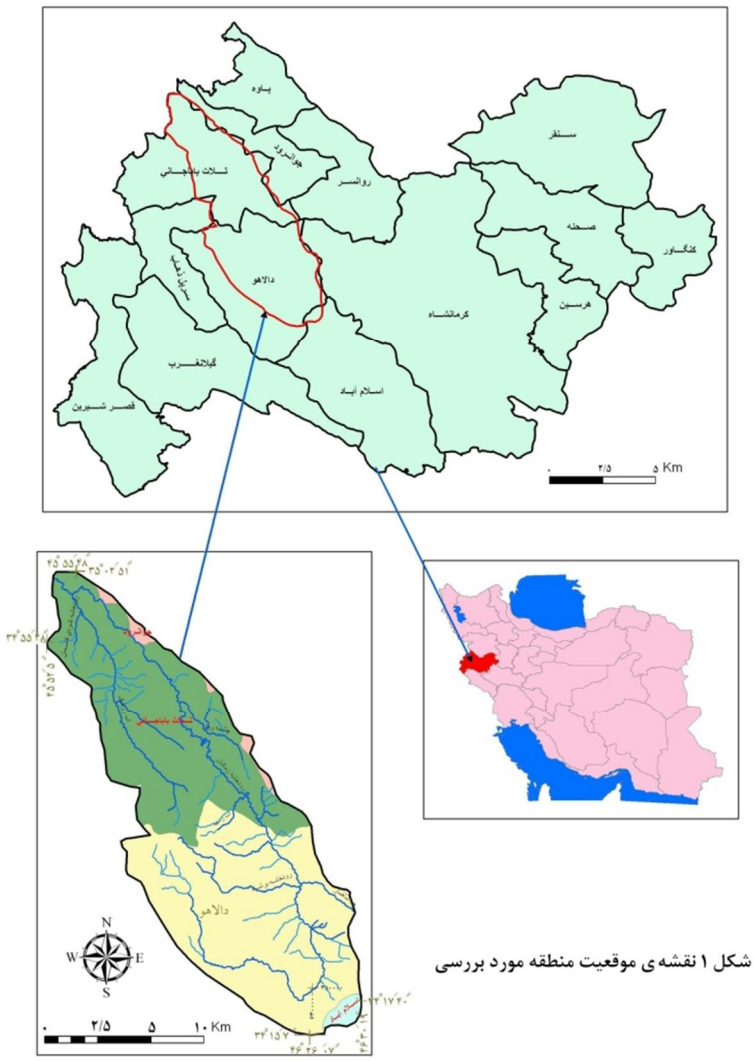
Archive of SID

www.SID.ir

معرفی پهنه‌ی مورد مطالعه

رودخانه زمکان (یا زیمکـان) در غـرب ایـران و در شـمال غـرب اسـتان کرمانشـاه بـا زهکشـی یـک حوضـه‌ی مستطیلی شکل به مساحت ۲۳۲۴ کیلومتر مربع از سمت جنوب شرق به‌سمت شمال غرب جریان پیدا می‌کند (شکل ۱).

عامل اصلی تخلیه‌ی رواناب‌های سطحی، بخش شرقی تشکیلات آهکی کوه‌های قلالان و تخت خانمک (شکل ۲- الف) به دریاچه دربندی خان عراق به‌شمار می‌رود. این رود در شرق با رودخانه لیله و در غرب با رود الوند همجوار است. زمکان دارای آب دائمی بوده و میزان آبدهی متوسط آن ۴ متر مکعب در ثانیه است؛ ولی، به‌دلیل موقعیت خاص اطراف بستر، استفاده چندانی از این رودخانه به‌عمل نیامده است. به‌تازگی عملیات احداث دو سد مخزنی روی رودخانه آغاز شده است.



شکل ۱ نقشه‌ی موقعیت منطقه مورد بررسی

www.SID.ir

متوسط دمای ماهانه، بین ۲۹/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در مرداد تا ۱/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در دی ماه نوسان می‌یابد، بنابراین، میانگین نوسان دمای سالانه ۲۷/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است. ولی در مرداد ماه دمای هوا می‌تواند تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد و در دی ماه به ۱۳- درجه‌ی سانتی‌گراد افت کند. به‌طور معمول از ماه خرداد تا مهر دارای کمترین بارش‌هاست و مرداد، ماه کاملاً خشکی شمرده می‌شود.

در حوضه‌ی زمکان رود در حدود ۲۲۵ روستا وجود داشت که اکنون تعدادی از آنها تخلیه شده و تازه‌آباد و گهواره نیز به شهر تبدیل شده‌اند. بنابراین، تعداد مناطق مسکونی باقی‌مانده به ۲ شهر و ۱۴۹ روستا می‌رسد که جمعیتی در حدود ۳۹۹۷۲ نفر را در خود جای داده‌اند. دو شهر تازه‌آباد و گهواره با جمعیتی به‌ترتیب ۷۸۱۸ و ۴۹۱۸ نفر، بیشترین تمرکز جمعیتی این حوضه به‌شمار می‌روند و بقیه، روستاهایی هستند که کمتر از ۱۰۰۰ نفر جمعیت دارند (شکل ۲-ب). در این منطقه فعالیت‌های اقتصادی، تنها در بخش کشاورزی و دامداری متمرکز شده است. کشت نخود، جو و گندم مهم‌ترین کشت‌های دیم و کشت ذرت و حبوبات و باغ‌ها، مهم‌ترین کشت آبی این منطقه را به خود اختصاص می‌دهد. پرورش دام نیز از اهمیت خاصی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

برای این بررسی، نخست وضعیت طبیعی و انسانی حوضه براساس داده‌های حاصل از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور و نقشه‌ی منابع و قابلیت اراضی استان کرمانشاه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه و داده‌های جمعیتی مربوط به سرشماری سال ۱۳۸۵ به‌دست آمد و سپس این داده‌ها به‌صورت نقشه‌های زمین‌شناسی، هیدروگرافی، شمار جمعیت و زمین‌های زراعی در محیط ArcGIS نسخه ۹/۳ ذخیره شدند. براساس این داده‌ها و اطلاعات کسب شده از سازمان محیط زیست استان کرمانشاه، نقشه‌ی منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای و مساحتی ترسیم شد.

برآورد میزان بار آلودگی حاصل از هر یک از منابع یادشده، گام بعدی بررسی‌ها بود که در آن برای محاسبه‌ی میزان تولید بار آلودگی مراکز مسکونی که به‌صورت فاضلاب تولید می‌شود، از برآوردهای تجربی و تطبیق آن با ضریب تبدیل آب مصرفی به فاضلاب اعلام شده‌ی منزوی (۱۳۷۵: ۳) و شرکت مهندسی متکاف و ادی (۱۹۹۱: ۳۰) استفاده شد. آلودگی حاصل از احشام نیز بر اساس تعداد آن ها به صورت میدانی از طریق پرسشنامه برآورد گردید. برای برآورد میزان بار آلودگی منابع مشخص شده‌ی نقطه‌ای، مانند سد و کارخانه‌ی سنگ‌شکن، اندازه‌گیری‌های میدانی و مصاحبه‌های حضوری انجام گرفت. برای برآورد آلودگی مساحتی نیز دو نوع آلودگی ناشی از کودها و سموم در سطح حوضه تشخیص داده شد که استانداردهای مصرف آنها در واحد سطح، معیار محاسبه‌ی آلودگی ناشی از آنها انتخاب شد.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به کلیه نتایج بالا در باره آلاینده ها و پتانسیل آلایندگی آن ها و همچنین شرایط توپوگرافیک و هیدرولوژیک و تأثیر آن ها در هدایت آلاینده ها به سمت شاخه ی اصلی رود بازه های آسیب پذیر معرفی شد و برای اولویت بندی حساسیت این بازه ها سعی شد عملکرد آلاینده ها در آینده با توجه به برنامه های عمرانی نیز پیش بینی و دخالت داده شود.

برای کنترل دقت این برآوردها و اصلاح نتایج، برحسب امکانات و میزان دسترسی به منطقه، از چندین نقطه ۵ نوبت (بهار و تابستان ۱۳۸۷ و بهار، تابستان و پاییز ۱۳۸۸) نمونه‌ی آب رود برداشت شد و کیفیت آب با استانداردهای جهانی و ملی در هر یک از بازه‌های مختلف مقایسه شدند. در این اندازه‌گیری ۱۱ عامل فیزیکی و شیمیایی مهم آلودگی سنجیده شدند. این عوامل عبارت بودند از: pH؛ Do (mg/l)؛ COD (mg/l)؛ BOD (mg/l)؛ E.C.(µs/cm)؛ دمای محیط (°C)؛ دمای رودخانه(°C)؛ Turb (N.T.U)؛ TDS(mg/l)؛ Ca (mg/l) و Mg. البته، در این بررسی دو نمونه ی دیگر نیز در تابستان و پاییز ۱۳۸۸ برداشت شد تا هشت فلز سنگین (مس، کروم، سرب، وانادیوم، منیزیم، آهن، زینک، کادمیوم) موجود در آن ها اندازه گیری شود.

با توجه به بازه های آسیب پذیر که شدت آلودگی رود از منابع مختلف و حتی منابع احتمالی آلاینده را منعکس می سازند ، ۹ محل پایشی معرفی شدند. این محل‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که در سطح کلان بتوانند با کمترین امکانات، وضعیت آلودگی سامانه‌ی رود را مشخص کنند. در سطح کلان، محل تلاقی شعبه‌های فرعی که در معرض دخالت‌های شدید انسانی قرار می‌گیرند و اثر دو شعبه‌ی مهم زمکان رود که در قسمت انتهایی به هم می‌پیوندند، مورد توجه قرار گرفتند و در سطح خُرد به اثر مستقیم منابع آلاینده توجه شد که اندازه‌گیری را پیش و پس از محل ورود آلاینده‌های اصلی انجام دهد.

یافته‌های پژوهش

منابع آلاینده‌های حوضه

از نظر طبیعی آهک، شیل، سیلتستون، ماسه سنگ و کنگلومرا، مهم‌ترین برونزدهای سنگی هستند که در حوضه‌ی زمکان رخ داده‌اند (شکل۲-الف). از بین این سنگ‌ها، انتظار می‌رود شیل از شدت فرسایش بیشتری برخوردار باشد. با وجود این ، این فرسایش به‌طور طبیعی انجام می‌گیرد و از سوی دیگر، از آنجا که گزارشی دال بر شور بودن و یا لب‌شور بودن چشمه‌ای یا رودخانه‌ای از این سنگ‌ها به‌دست نیامده است؛ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در این حوضه از نظر طبیعی، خطری را نمی‌توان برای آلودگی زمکان رود لحاظ کرد.

از نظر آلاینده‌های انسانی، وجود یک کشتارگاه در تازه‌آباد، احداث ایستگاه‌های مکنده‌ی آب (پمپاژ) زمکان و میدان طفلی، سد آزادی (در حال ساخت)، سد زمکان (در مرحله‌ی مطالعه)، تونل انحرافی شیخ صله در روستای قالیچه و کارخانه‌ی آسفالت و سنگ‌شکن اداره‌ی راه ثلاث باباجانی، دانه‌بندی قندیل ساز و مراکز

Archive of SID

www.SID.ir

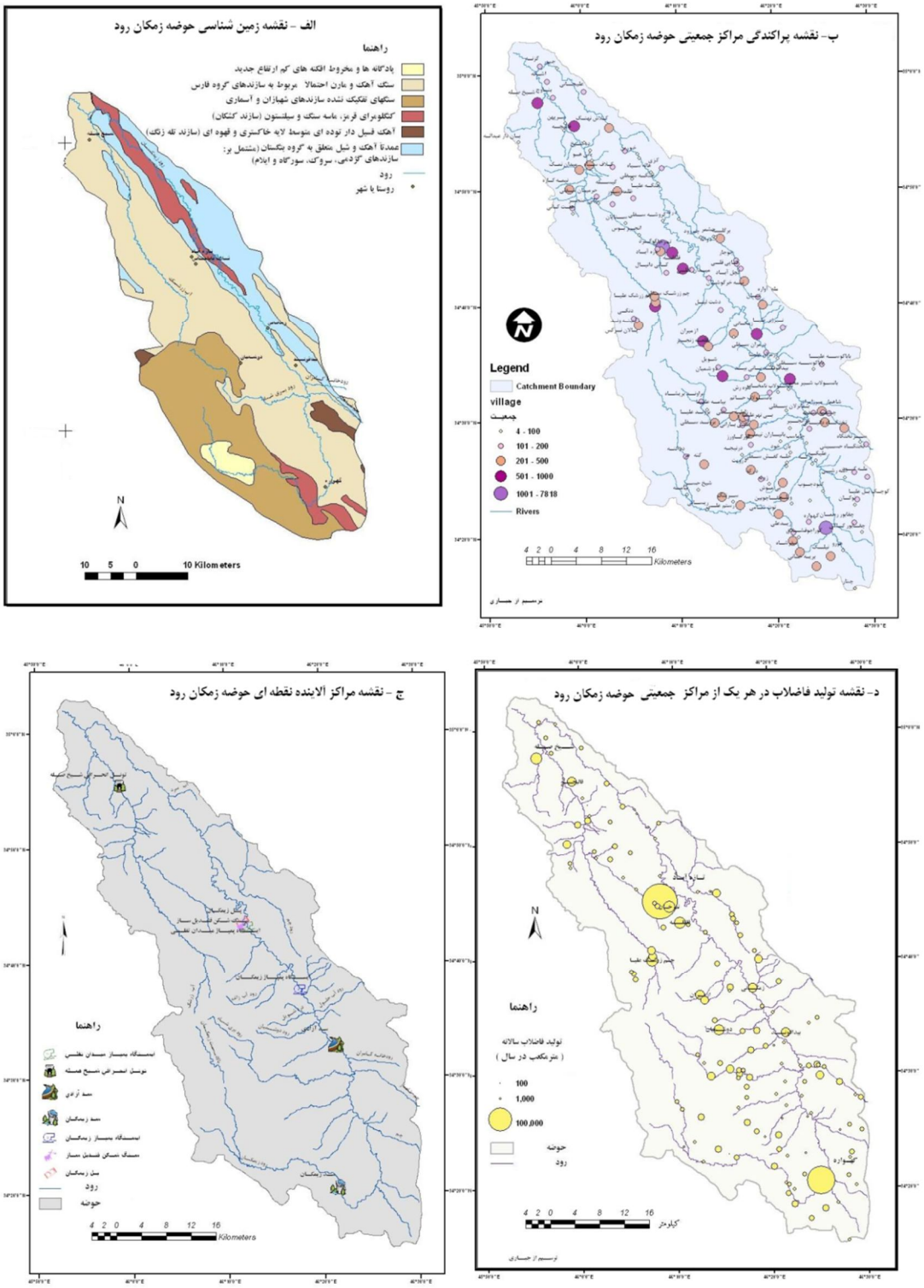
جمعیتی از منابع آلودگی نقطه‌ای هستند (شکل‌های ۲- ب و ۲-ج).

معمولاً ایستگاه‌های مکنده‌ی آب، آلودگی چندانی را به حوضه وارد نمی‌کنند و تنها ممکن است هنگام تعویض روغن دستگاه‌های مکنده، متصدی مواد روغنی را وارد خاک کند. آلودگی سدها تنها می‌توانند در محل خروجی آن، فرآیند حمل رسوب را تحت تأثیر قرار دهند و سامانه‌ی شکل‌گیری و تحول رودخانه را متأثر کنند. ولی شدت آلایندگی دانه‌بندی و تولید ماسه به فرآیندی که ماسه را تولید و سطحی از موادی که برداشت می‌کند، بستگی دارد. دانه بندی قندیل‌ساز وسعت خیلی زیادی ندارد و روی رودخانه‌ی اصلی مستقر نیست؛ ولی کارخانه‌ی آسفالت و سنگ‌شکن ثلاث، رسوب کنار رودخانه را برداشت می‌کند و آن را شست‌وشو می‌دهد. این فرآیند به قدری شدید است که آب رود در پایین‌دست غیرقابل استفاده می‌شود.

مراکز جمعیتی در حوضه‌ی زمکان نیز خیلی گسترده نیست (شکل ۲- ب). جمعیت زیادی از این منطقه، به‌دلیل کمبود امکانات کوچ کرده‌اند و روستاهای زیادی تخلیه شده است. روستاهای زیادی نیز وجود دارد که تنها در فصل زمستان از ساکنان خود پذیرایی می‌کنند و در فصول گرم، اهالی آن به مناطق سردسیر کوچ می‌کنند. ۴۸ روستای این حوضه از آب چشمه‌ها، چاه‌ها و در صورت لزوم، تانکرهای حامل آب استفاده می‌کنند. بنا به گفته‌های فرمانداری شهرستان دالاهو، مقدار مصرف سرانه‌ی آب این منطقه در حدود ۰/۱۳ متر مکعب است. تجربه نشان می‌دهد که در جوامع سنتی، مقدار کمی از آب به‌صورت فاضلاب تلف می‌شود و از سوی دیگر، بر اساس نظر منزوی (۱۳۷۵: ۳) ۵۰ تا ۸۰ درصد و بر اساس نظر شرکت مهندسی متکاف و ادی (۱۹۹۱: ۳۰) ۶۰ تا ۸۵ درصد از آب مصرفی به فاضلاب تبدیل می‌شوند. بنابراین، اگر این داده‌ها را ملاک قرار دهیم، می‌توان مقدار فاضلاب تولیدی این منطقه را محاسبه کرد؛ بدین گونه که تعداد جمعیت هر روستا به ۰/۱۳ و سپس به ۶۰٪ ضرب می‌شود تا مقدار فاضلاب به‌دست آید. براساس نتایج به‌دست آمده از این محاسبه، به‌طور میانگین در هر روستا ۲۱ مترمکعب فاضلاب تولید می‌شود؛ البته این مقدار دارای انحراف معیار ۵۸/۷ مترمکعب است و دامنه‌ی تغییرات تولید فاضلاب از ۰/۳ مترمکعب تا ۶۱۰ مترمکعب در روز تغییر می‌یابد. کل فاضلاب تولیدی حوضه در سال در حدود ۱۱۳۳۱۶۶ مترمکعب است. کمینه‌ی آن در روستای رستم علی با ۱۱۴ مترمکعب و بیشینه‌ی آن در تازه‌آباد با ۲۲۲۵۷۸ مترمکعب رخ می‌دهد (شکل ۲-د). با وجود این، همه‌ی فاضلاب تولیدی روستاها و شهرهای این حوضه به رودخانه‌ها منتقل نمی‌شوند و اغلب روستاها از چاه‌های جاذب برای دفع فاضلاب‌های خود استفاده می‌کنند. بر اساس بازدیدهای میدانی در میان روستاهای بزرگ وکوچک موجود در حوضه، فاضلاب انسانی ۱۸ روستا مستقیم یا غیر مستقیم (در اثر بارندگی و رواناب‌ها) وارد رودخانه زمکان می‌شود. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵ جمعیت کلی این روستاها برابر ۱۶۴۵۵نفر است (شکل ۳-الف).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی زمکان (باکمی تغییرات از پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور WWW. Ngdir.ir)؛ ب) نقشه‌ی پراکندگی جمعیت به‌تفکیک زن و مرد در حوضه زمکان رود (بر اساس آمارنامه‌ی ۱۳۸۵) ؛ ج) نقشه‌ی منابع آلاینده‌ی نقطه‌ای حوضه‌ی زمکان و د) نقشه‌ی میزان تولید فاضلاب در هریک از مراکز جمعیتی.

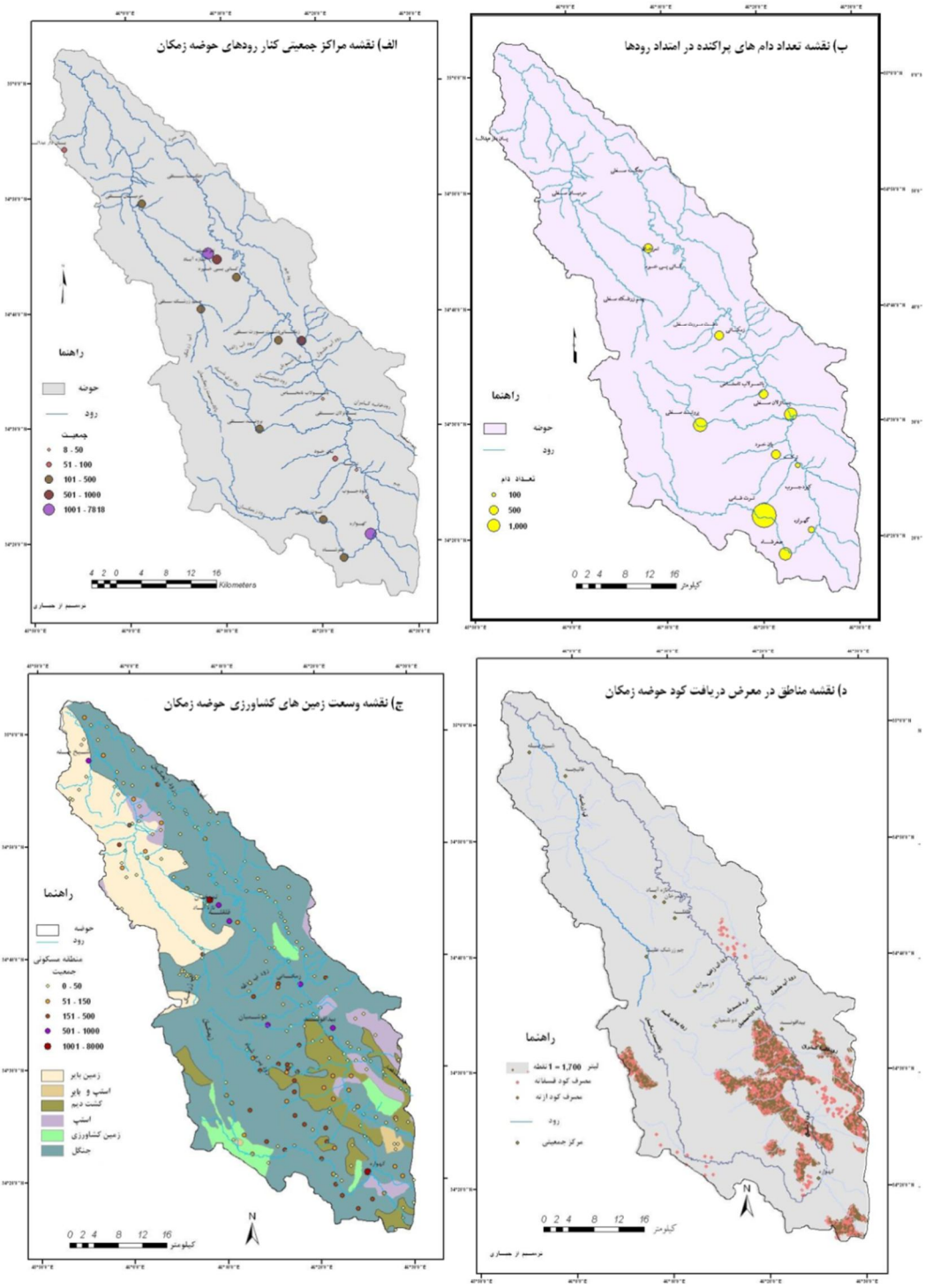
www.SID.ir

علاوه‌بر فاضلاب‌های انسانی که به‌عنوان بخشی از آب مصرفی وارد رود می‌شود، بخشی از آلودگی نیز از شست‌وشوی لباس و ظروف به‌طور مستقیم و به‌صورت چرک و آلوده به مواد پاک‌کننده به رود می‌ریزد. همچنین، فاضلاب‌های دامی را نیز باید به‌عنوان بخشی از آلودگی رود به‌شمار آورد؛ زیرا، مدفوع دام‌ها برای مصارف سوخت و کود به‌شیوه‌ی سنتی و کپه‌ای در کنار رودها جمع‌آوری می‌شوند و زهاب و پساب‌های آنها، به‌مرور به‌سمت رود جریان می‌یابد. به‌دلیل عدم کنترل، ممکن است حتی شست‌وشوی دام‌ها نیز به‌طور موضعی در رود انجام گیرد. بر اساس برآوردی که از مطالعات میدانی به‌دست آمده، اغلب دام‌های روستاهای این منطقه در بخش‌های جنوبی حوضه متمرکز هستند (شکل ۳-ب)؛ بنابر این بخش بالادست رود باید بیشتر تحت تأثیر این نوع آلودگی باشد.

بخشی از آلودگی‌های حوضه‌ی زمکان از منابع غیر نقطه‌ای تولید می‌شود. مهم‌ترین آلودگی غیرنقطه‌ای این حوضه، از پخش مواد سمی حاصل از کاربرد آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های کشاورزی سرچشمه می‌گیرد. بخش گسترده‌ای از منطقه زیر پوشش جنگل‌های بلوط هستند. در حدود ۲۱ درصد زمین‌های حوضه نیز، تحت تسلط زمین‌های بایر یا بایر استپی قرار دارند. ۴درصد زمین کشتزار و ۷ درصد آن دیم زار است (شکل ۳- ج)؛ به‌گفته‌ی دیگر، ۱۱درصد زمین‌های منطقه می‌تواند در معرض آلودگی‌های ناشی از سموم قرار گیرد. در زمین‌های دیم این منطقه نخود، گندم و جو کشت می‌شود. بنابراین، سم نخود و سموم دفع آفت‌های مربوط به گندم و جو در این منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تقویت زمین‌های قابل کشت گندم و جو نیز، معمولاً کودهای ازُته و فسفاته به‌کار گرفته می‌شود. کود ازته به‌طور معمول ۱۵۰ کیلوگرم برای هرهکتار و کود فسفاته بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم و به‌طور میانگین ۱۲۰ کیلوگرم برای هر هکتار مصرف می‌شود. کشاورزان به‌تازگی به کود NPK که ترکیبی از نیتروژن، پتاسیم و فسفات است، روی آورده‌اند. این کود نیز در حدود ۱۵۰ کیلوگرم برای هر هکتار به زمین داده می‌شود. برای کنترل علف‌های هرز کشت گندم یک و بعضی سال‌ها دو بار سم‌پاشی صورت می‌گیرد؛ به‌طور معمول علف‌کش 2-4-D برای این منظور به‌کار گرفته می‌شود. برای کشت نخود نیز از سمِّ نخود استفاده می‌شود. این سموم که به‌طور معمول فسفره هستند، به‌اندازه‌ی یک لیتر در یک تانکر آب برای هر هکتار رقیق می‌شوند؛ به‌بیان دیگر، برای هر هکتار یک لیتر سم نخود مصرف می‌شود.[۱]

۱. این بخش از بحث مربوط به مصاحبه با آقای خاموشی، کارشناس سازمان محیط زیست استان کرمانشاه و بومی منطقه‌ی زمکان است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. الف) نقشه‌ی مراکز جمعیتی کنار رودها؛ ب) نقشه‌ی تعداد دام؛ ج) نقشه‌ی وسعت زمین‌های کشاورزی و د) نقشه‌ی مناطق در معرض دریافت کود حوضه‌ی زمکان رود

www.SID.ir

پهنه‌ی وسیعی از زمین‌های تحت کشت آبی منطقه باغ‌ها هستند. سیب، محصول عمده‌ی باغ‌های این منطقه، به‌ویژه گهواره را تشکیل می‌دهد. برای این باغ‌ها کود زیادی مصرف نمی‌شود: ۴۰ -۳۰ کیلوگرم کود فسفاته برای هر هکتار؛ اما این سم‌پاشی هرساله باید سه بار انجام گیرد. سمِّ اول که به‌طور معمول "مروسید" است، برای کنترل کَنه استفاده می‌شود. این سم حاوی ترکیبات بنزن و فسفر است. در مرحله‌ی دوم قارچ‌کش‌هایی مانند "زینب" و "کاپتان" به مصرف می‌رسند و در مرحله‌ی سوم، سمومی برای کنترل شپشک به‌کار گرفته می‌شوند که دیازینون، آلدرین و لیندین از معروف‌ترین آنها هستند (خاموشی، مصاحبه). مصرف عمومی این سموم ۲ تا ۳ لیتر در هکتار است و ترکیبات آنها کمتر در محیط پایدارند و به‌ویژه در محیط خاکی، خیلی سریع تجزیه می‌شوند.

بنابراین، می‌توان آلاینده‌های سطحی یا غیرنقطه‌ای را تنها به کودها محدود کرد که به‌طور ثابت هر ساله به خاک تحویل داده می‌شود. در این صورت توزیع آن تنها به بخش‌های جنوبی حوضه که منطبق با زمین‌های تحت کشت آبی است، محدود خواهد شد (شکل ۳-د) .

نتایج سنجش کیفیت آب زمکان و معرفی نقاط یا بازه‌های آسیب‌پذیر حوضه

نتایج بررسی نشان داد که کیفیت آب زمکان رود، به‌دلایل گوناگون در پنج بازه به‌شدت کاهش می‌یابد. این بازه‌ها براساس میزان آلودگی، موقعیت و میزان اثرگذاری در کل سامانه‌ی رود و دائمی یا موقتی بودن منابع آلاینده، از نظر آسیب‌پذیری به‌ترتیب زیر اولویت‌بندی شده‌اند:

۱. منطقه‌ی قبل از سد آزادی - رودهای متعدد، ازجمله بریشاه و کامران، حوضه‌هایی را زهکشی می‌کنند که در معرض کشت دیم و باغ‌ها قرار دارند و درنتیجه، انتقال‌دهنده‌ی محلول آلاینده‌های غیرنقطه‌ای هستند. از سوی دیگر، عملیات سدسازی که با برداشت ماسه و بتون‌ریزی و تخلیه‌ی ضایعات و نخاله‌ها به بستر و حاشیه‌ی بستر رودخانه همراه است، تغییرات عمده‌ای را در کیفیت آب رود به‌بار می‌آورد: در خروجی تونل سد آزادی، آب به‌شدت گل‌آلود می‌شود و عوامل مربوط به مواد محلول و معلق، مانند کدورت آب، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول، رقم خیلی بالایی را نشان می‌دهند، مقدار منیزیم و کلسیم به اوج خود می‌رسد و مقادیر آهن، وانادیوم، مس و روی نیز بیشتر می‌شود (شکل ۴- ب، ج و د). البته باید یادآوری کرد که در مراحل آبگیری، به‌طور قطع چنین تغییرات شدیدی در عوامل آلودگی مشاهده نخواهد شد و به‌جای آن، سد زمکان که در بالادست بین توت شامی و گهواره مراحل شروع ساخت را سپری می‌کند، از نظر آلایندگی جانشین این سد خواهد شد.

۲. بازه توت شامی تا بعد از گهواره - در این بازه دامنه‌های در معرض کشت دیم که از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها استفاده می‌کنند، زهکشی می‌شوند و همچنین مراحل شروع ساخت سد

Archive of SID

www.SID.ir

زمکان نیز پشت سر گذاشته می‌شود که به‌نظر می‌رسد، همان آلودگی را که تا کنون سد آزادی داشته است، پس از این با ساخت همین سد به‌دنبال خواهد داشت. به این آلاینده‌ها باید نقش دو مرکز جمعیتی توت شامی و گهواره را نیز افزود که اثر آن در کاهش کیفیت آب، به‌ویژه از نظر کدورت و هدایت الکتریکی آشکار است (شکل ۴-ج) .

۳. بازه چم زرشک از تازه‌آباد تا خدا مروت - یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌ی زمکان را چم زرشک تشکیل می‌دهد. از سوی دیگر، بزرگترین مرکز جمعیتی واقع در حوضه‌ی زمکان را نیز، تازه‌آباد تشکیل می‌دهد که به‌دلیل تحویل فاضلاب به رود، از آسیب‌پذیری خاصی برخوردار است.

۴. بازه بعد از کانی بی‌خیره تا پل زمکان ـ بنا بر بررسی‌های میدانی، به‌دلیل وجود سنگ‌شکن قندیل‌ساز، آلودگی خیلی شدیدی را برای رود به‌همراه می‌آورد که نتایج نمونه‌گیری نیز تا حدودی آن را نشان داده است. بعد از این مکان در نزدیکی کانی بی‌خیره، دانه‌بندی قندیل‌ساز موجب آشفتگی آب می‌شود و اغلب عوامل مربوط به کیفیت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی در این نقاط، آلودگی آب به‌دلیل فعالیت‌های خاص در کنار رود انجام می‌گیرد و ممکن است موقتی باشد.

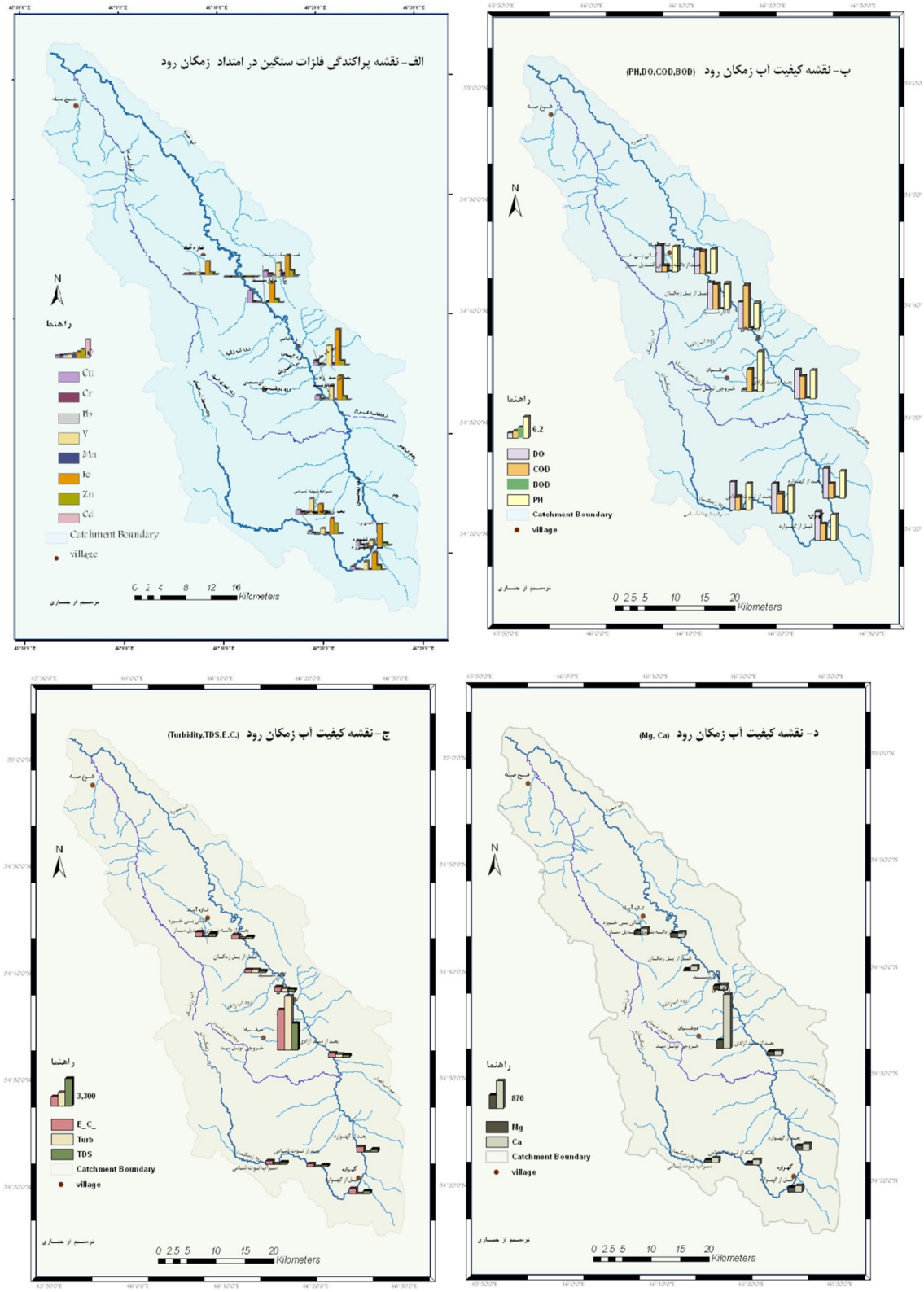
۵. ساخت تونل انحرافی شیخ صله ـ ساخت این تونل و تغییراتی که در ریخت زمین ایجاد می‌کند، ازجمله کنده‌کاری و حفاری‌های زمین، برداشت خاک و رسوب و درنتیجه تحریک پدیده‌ی فرسایش، سبب می‌شود که شاخص‌های مربوط به آشفتگی آب مانند کدورت، هدایت الکتریکی و بار جامد محلول رود افزایش یابد.

معرفی مناطق نیازمند پایش

انتخاب محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دو سطح انجام گرفت (جدول ۳ و شکل ۵-ب)؛ نخست در سطح کلان، برحسب مساحت زیرحوضه‌ها و انشعاب‌های فرعی رودخانه‌ها و در محل تخلیه، یک جریان فرعی یا اتصال سرشاخه به رودخانه‌ی اصلی که خود معرف مساحتی از حوضه بود، انتخاب شد. در این سطح بررسی، تمام عوامل آلاینده‌ی غیرنقطه‌ای، توزیع جمعیت و فاضلاب‌های تولیدی و اثر ناهمواری و هیدرولوژی در هدایت آلاینده‌ها به‌سمت هر یک از بازه‌های آسیب‌پذیر مورد توجه قرار گرفت. براین اساس، دو ایستگاه قبل از توت شامی و بعد از گهواره و دو ایستگاه قبل و بعد از ورود دو شاخه فرعی شاهمار و بریشاه، برای سنجش میزان بار آلودگی این شعبه‌ها انتخاب شدند. این انتخاب وضعیت آلودگی را قبل از سد آزادی نیز نشان خواهند داد. سرانجام دو ایستگاه در انتهای زمکان رود و یک شعبه‌ی اصلی آن، چم زرشک در نظر گرفته شد تا برای سنجش کل وضعیت آلودگی این شاخه‌ها به‌کار گرفته شوند. ایستگاه اخیر برای برآورد اثر آلایندگی فعالیت‌های ساخت‌وساز در تونل شیخ صله نیز کاربرد پیدا خواهد کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

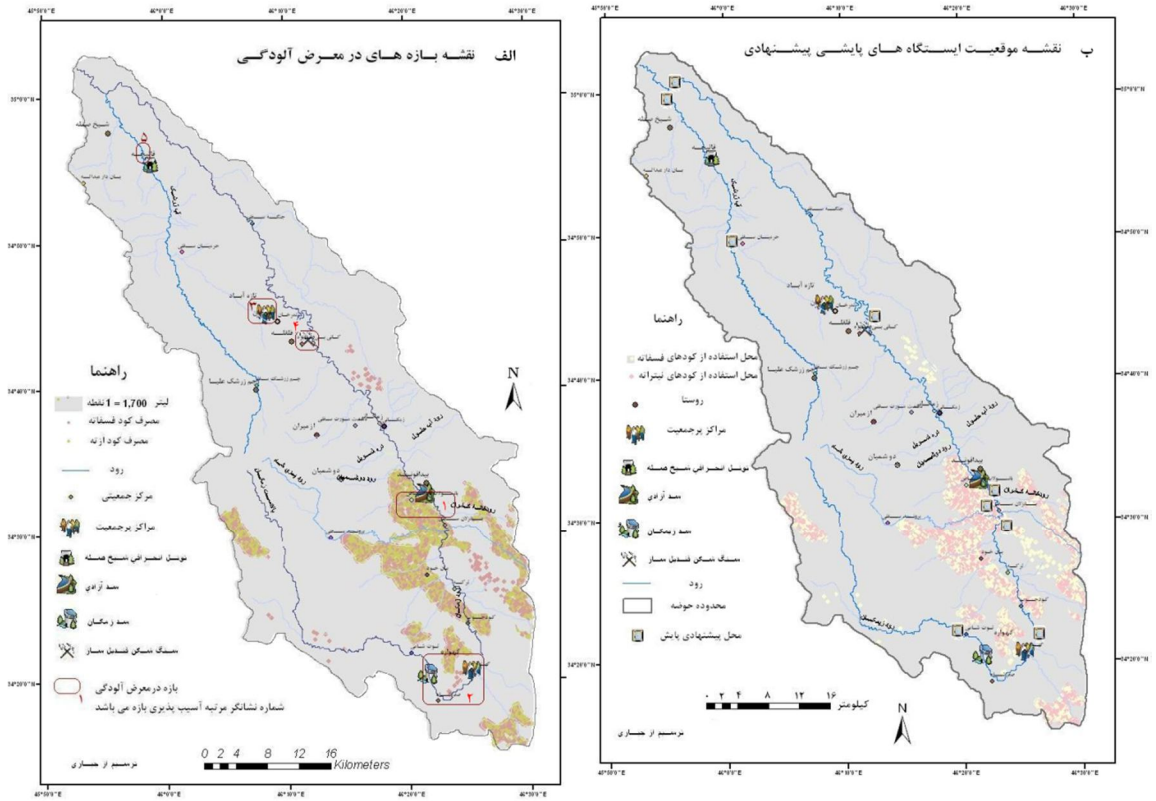


شکل ۴- الف) نقشه‌ی پراکندگی فلزات سنگین؛ ب) پراکندگی DO، COD، BOD، PH؛ ج) تغییرات کدورت آب، بار کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی؛ د) تغییرات منیزیم و کلسیم در امتداد زمکان رود

www.SID.ir

جدول ۳. معرفی ایستگاه‌های نمونه‌گیری حوضه‌ی زمکان رود

ایستگاه	نام ایستگاه	موقعیت نسبی	موقعیت ایستگاه	ارتفاع	فاصله تا ایستگاه قبلی
۱	ایستگاه توت شامی	قبل از توت شامی	46°19'43"E 34°21'56"N	۱۵۶۵	۰
۲	ایستگاه گهواره	بعد از گهواره	46°25'35"E 34°20'56"N	۱۵۰۲	۱۶/۳۵
۳	قبل از بریشاه	نزدیک بانزلان سفلی	46°23'19"E 34°30'16"N	۱۳۰۰	۲۲/۷
۴	بعد از شاهمار	نزدیک بانزلان سفلی	46°23'04"E 34°30'24"N	۱۳۰۰	۰/۵
۵	ایستگاه سد آزادی	پایین‌تر از روستای بانسولاب شیر محمد	46°21'46"E 34°32'33"N	۱۲۷۸	۵/۳
۶	همروپارا	پایین‌تر از تلاقی جریان کانی بی خیره با زیمکان	46°11'41"E 34°43'38"N	۱۰۶۵	۳۳/۳
۷	ایستگاه حرمیان	پایی«تر از تازه آباد	46°01'4"E 34°49'02"N	۸۲۰	از تازه آباد ۱۵/۴
۸	انتهای آب زرشک	پایین‌تر از قلقله	45°55'20"E 35°00'18"N	۶۰۰	۲۸/۱
۹	انتهای زیمکان	پایین‌تر از بانی نار	45°55'26"E 35°00'25"N	۶۰۰	نسبت به ایستگاه همروپارا ۶۵/۳



شکل ۵. نقشه‌ی بازه‌های آسیب‌پذیر و نقشه‌ی ایستگاه‌های پایشی پیشنهادی

Archive of SID

www.SID.ir

دومین سطح انتخاب در سطح خُرد انجام گرفت که در این حالت بر حسب تراکم و پراکنش منابع آلاینده نقطه‌ای، محل ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که تأثیر و شدت آلودگی را از نقاط مختلف برحسب منبع آلاینده و نوع ماده آلاینده روی کیفیت آب نشان دهند. در این سطح دسترسی آسان به ایستگاه‌ها و محل نمونه‌برداری در فصول مختلف مد نظر قرار گرفت. ایستگاه‌های سد آزادی، پایین‌تر از کانی بی‌خیره و تازه‌آباد، سه ایستگاهی هستند که می‌توانند وضعیت آلایندگی سد آزادی، کارخانه‌ی سنگ‌شکن قندیل‌ساز و مرکز جمعیتی تازه‌آباد را پایش کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای حوضه‌ی زمکان با مساحت ۲۳۲۴ کیلومتر مربع، نُه مکان نمونه‌گیری پیشنهاد شد. این تعداد در مقایسه با ۱۱۰ ایستگاه نمونه‌گیری برای حوضه‌ای به مساحت ۲۳۸۱۷ کیلومتر مربعی ناکدنگ[1] کره تعداد کمی نیست؛ ولی در مقایسه با بازنگری پارک و همکارانش (۲۰۰۶) که در بررسی خود انجام دادند و علاوه‌بر جابه‌جایی ۸۰ ایستگاه قبلی، برای برنامه‌های آینده تا ۲۱۰ ایستگاه را معرفی کردند و نیز، شمار ایستگاه‌هایی (۳۴ ایستگاه) که فال و همکارانش (۲۰۰۷) برای یک طول ۶۰ کیلومتری حوضه‌ی لرما[2] مکزیک معرفی کردند، تعداد کم ایستگاه‌های معرفی شده در این مطالعه آشکار می‌شود. با وجود این، در پژوهش حاضر تلاش شد تا کمترین تعداد نقاط پایشی منظور شود تا برحسب نیاز بتوان مانند پارک و همکارانش (۲۰۰۶) به تعداد ایستگاه‌ها افزود، یا اینکه موقعیت آنها را تغییر مکان داد. حتی در شرایط کنونی نیز می‌توان تغییراتی در مکان‌های پیشنهادی به‌عمل آورد؛ برای مثال، اگر پایش تنها بخش‌های بالادست حوضه مد نظر باشد، می‌توان ایستگاه‌های پایین‌دست را حذف کرد و چنانچه اهداف بیشتری مد نظر باشد، می‌توان برای بررسی آن ایستگاه‌های دیگری را تدارک دید.

آنچه که اکنون اهمیت دارد، آغاز اقدامات پایشی است که دست‌کم چند شاخص را به‌صورت خودکار و برخط به ایستگاه مرکزی ارسال کند. آنجاکه در این پژوهش معرفی بازه‌های آسیب‌پذیر براساس عواملی مانند، منابع آلاینده و اندازه‌گیری شاخص‌های آلودگی و فلزات سنگین انجام گرفته است و بر پایه‌ی اندازه‌گیری‌ها و بازدیدهای میدانی و بررسی‌های آزمایشگاهی استوار شده‌اند و عوامل متعدد دیگری در اولویت‌بندی آنها در نظر گرفته شده است که بیشتر آنها عینیت دارند، می‌توانند با اعتماد بیشتری به‌کار گرفته شوند و این امکان را برای برنامه‌ریزان به‌وجود آورند که با انعطاف بیشتری زمینه‌های تجهیز و نمونه‌برداری را بر اساس بودجه‌ی تخصیصی از سطوح مختلف آغاز کنند. با وجود این، در این پژوهش، میزان آلایندگی بعضی متغیرها، مانند

1. Nakdong
2. Lerma

Archive of SID

www.SID.ir

میزان فاضلاب ناشی از دامپروری و شست‌وشوهای گوناگون در داخل رود اندازه‌گیری نشد و در مرحله‌ی تجزیه و تحلیل، شاخص هایی مانند تعداد جمعیت و تعداد دام در ملاحظات وارد شد.

همچنین، در این پژوهش شاخص‌های زیست‌شناختی، مانند کلیفرم مدفوعی برای اندازه‌گیری آلودگی‌های انسانی و دامی اندازه‌گیری نشد و میزان خود پالایی رود نیز، در بیان مسافت مورد استفاده‌ی رود برای بی‌اثر کردن اثر آلاینده بعد از هر منبع آلاینده، مورد سنجش قرار نگرفت. ولی باید توجه داشت که آلاینده‌ی صنعتی خاصی در سطح حوضه وجود ندارد تا مکان یابی با تأکید بر سنجش وضعیت آلودگی آن صورت گیرد و بنابراین، احتمال کمی وجود دارد تا خطای سیستماتیکی که کاپلین و همکاران (۲۰۰۲) توضیح می‌دهند، در این مطالعه وارد شود. از سوی دیگر، در این پژوهش تلاش شد تا شبکه پایشی در مسیرهای قابل دسترس شاخه اصلی رود متمرکز شود؛ به نحوی که بتواند تغییرات اساسی را در کل سامانه زهکشی رود ردیابی و مورد سنجش قرار دهد و از آنجا که عوامل مورد توجه در این پژوهش برای تعیین نقاط پایشی در واقع منابع آلاینده‌ای هستند که شاخص‌های ویژه‌ای از کیفیت آب و عناصر سنگین را می توانند تغییر دهند هر تغییر اساسی در سطح فعالیت آنها می‌تواند در نزدیکترین نقطه پایشی ثبت و ردیابی شود. گفتنی است با وجودی که این پژوهش به عوامل بالقوه‌ای مانند سد زمکان پرداخته است، در صورت ظهور فعالیت‌های پیش‌بینی نشده در حوضه و عدم پاسخگویی سنجنده‌های نقاط پایشی، لازم است نقاط دیگری برای پایش منبع آلاینده جدید معرفی شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی اداره‌ی کل محیط زیست استان کرمانشاه انجام گرفته است و در گردآوری داده‌ها و آزمایش نمونه‌ها از همکاری کارشناسان این سازمان، به‌ویژه آقایان مراد خاموشی، فریدون یاوری، سعید دزفولی نژاد و طاهر هاشمی بهره گرفته شد که از همکاری این عزیزان سپاسگزاری می‌شود.

منابع

رزمخواه، ه.؛ اسماعیل نیاورانی، م. (۱۳۸۷). **تجزیه و تحلیل تأثیرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه‌ی کُر با کاربرد شبیه WASP**، مهندسی منابع آب، سال یکم، شماره ۲، صص. ۵۲-۴۳.

سلاجقه، ع.؛ رضوی زاده، س.؛ خراسانی، ن.؛ حمیدی فر، م. و سلاجقه، س. (۱۳۹۰). **تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز کرخه)**، محیط شناسی، دوره ۳۷، شماره ۵۸، صص. ۸۶-۸۱.

Archive of SID

www.SID.ir

شرکت مهندسی متکاف و ادی. (۱۹۹۱). **مهندسی فاضلاب**، ترجمه: احمد ابریشم چی، عباس افشار و رشید جمشید، جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات نشر دانشگاهی.

صباحی ح.؛ فیضی، م.؛ سادات اسیلان، ک. (۱۳۸۹). **بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه‌ی سیکان**، علوم محیطی، دوره ۷، شماره ۴: صص. ۳۰-۲۳.

منزوی م. ت. (۱۳۷۵). **تصفیه‌ی فاضلاب (فاضلاب شهری)**، جلد دوم، چاپ ششم،، انتشارات دانشگاه تهران.

Alvarez-Vazquez L, J., Martnez, A., Vazquez-Mendez, M.E., Vilar, M.A., 2006, **Optimal Location of Sampling Points for River Pollution Control,** Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 71, PP. 149-160.

Bartram, J. and Balance, R., 1996, **Water Quality Monitoring, a Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**, Published on behalf of United Nations Environment Programme and the World Health Organization(UNEP/WHO).

Clement, L., Thas, O, Vanrolleghem, P.A., Ottoy, J.P., 2006, **Spatio-temporal Statistical Models for River Monitoring Networks,** Water Sci Technol, Vol. 53, No. 1, PP. 9-15.

Fall, C., Hinojosa-Pana, A., Carreno-de-Leon, M.C., 2007, **Design of a Monitoring Network and Assessment of the Pollution on the Lerma River and its Tributaries by Wastewaters Disposal**, Science of the Total Environment, Vol. 373, No. 1, PP. 208-219.

http://eecm.ir/cr-water.aspx

http://www.persiangulfstudies.com/fa/index.asp?P=NEWS2&Nu=110

Kolpin, D.W., Furlong, E.T., Meyer, M.T., Thurman, E.M., Zaugg, S.D., Barber, L.B., 2002, **Pharmaceuticals, Hormones and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999–2000: a National Reconnaissance,** *Environ Sci Technol*, Vol. 36, No. 6, PP.1202–1211.

Ning, S.K., Chang, N.B., 2004, **Multi-objective, Decision Based Assessment of a Water Quality Monitoring in a River System**, J. Environment, Vol. 4, No. 1, PP.121–126.

Park, S.Y., Choi, J. H., Wang, S., Park, S. S., 2006, **Design of A Water Quality Monitoring Network in a Large River System Using the Genetic Algorithm**, Ecological Modelling, Vol. 199, 289-297.

Sanders, T.G., Ward, R.C., Loftis, J.C., Steel, T.D., Adrian, D.D., Yevjevich, V., 1987, **Desion of Network for Monitoring Water Quality**, Water Resources Publications, Littleton.

Strobl, R.O., Robillard, P.D., Shannon, R.D., Day, R.L., McDonnell, A.J. A., 2006, **Water Quality Monitoring Network Design Methodology for the Selection of Critical Sampling Points: Part I,** Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 112 No. 1–3, PP. 137-158.

Archive of SID

www.SID.ir

Veerabhadram, K., 2003, **Mapping of Water Quality Index (WQI) using Geographical Information System (GIS) as Decision Supporting System Tool**. In: Dias S.; Martns R.; Esteves T.; Soares M.; Cost M. L.; Costa M. C., 2006, Application of GIS Database Tool to Surface Water Quality at ESAC, The Quest for Sustainability: The role of Environmental Management Systems and Tools ESAC, Coimbra, Portugal, 27-29.