محیط زیست و مهندسی آب
شابک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

Environment and
Water Engineering
ISSN: 2476-3683

ارزیابی کیفیت رسوبات سطحی رودخانه تجن و تعیین سطح آلودگی بوم‌شناسی

محمدرضا غریب‌رضا، حمیدرضا معصومی، بهنوش جعفری گرزین، حسین رحیم‌زاده و نظام اصغری‌پور دشت بزرگ

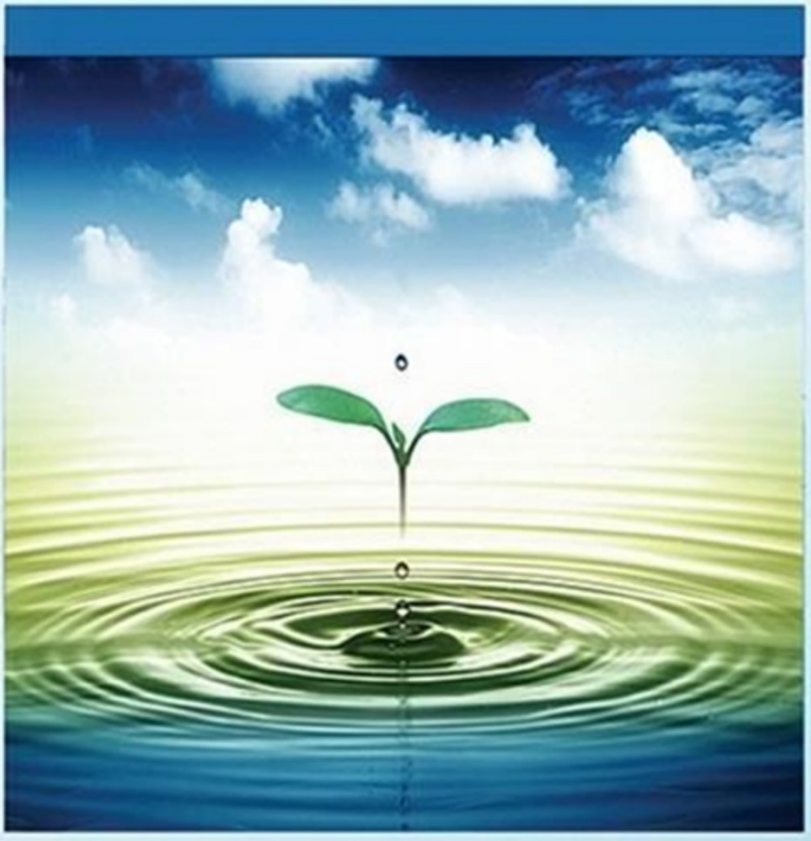
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۵۰۰- ۴۸۵

Vol. 6(4), Winter 2020, 485 – 500

DOI: 10.22034/jewe.2020.242445.1399

Assessing the Quality of Surface Sediments in the Tajan River and Determining the Level of Ecological Pollution

Gharibreza M., Masoumi H., Jafari Gorzin B., Rahimzadeh H. and Asgharipour Dashtbozorg N.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

غریب‌رضا م.، معصومی ح.، جعفری گرزین ب.، رحیم‌زاده ح. و اصغری‌پور دشت بزرگ ن. (۱۳۹۹). ارزیابی کیفیت رسوبات سطحی رودخانه تجن و تعیین سطح آلودگی بوم‌شناسی. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۵۰۰-۴۸۵.

Citing this paper: Gharibreza M., Masoumi H., Jafari Gorzin B., Rahimzadeh H. and Asgharipour Dashtbozorg N. (2020). Assessing the quality of surface sediments in the Tajan River and determining the level of ecological pollution. Environ. Water Eng., 6(4), 485–500. DOI: 10.22034/jewe.2020.242445.1399.

ارزیابی کیفیت رسوبات سطحی رودخانه تجن و تعیین سطح آلودگی بوم‌شناسی

محمدرضا غریب‌رضا [۱]، حمیدرضا معصومی*[۲]، بهنوش جعفری گرزین[۳]، حسین رحیم‌زاده[۴]، نظام اصغری‌پور دشت بزرگ[۵]

[۱]استادیار، گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

[۲]استادیار، گروه زمین شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

[۳]مربی پژوهشی، گروه تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران

[۴]کارشناس ارشد پژوهشی، گروه تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران

[۵]کارشناس ارشد پژوهشی، گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

***نویسنده مسئول:** h.masoumi@iauba.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۵/۱۴] **تاریخ بازنگری:** [۱۳۹۹/۰۸/۰۵] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۹/۰۸/۱۰]

چکیده

رودخانه‌ها به‌عنوان شریان زنده حوزه آبخیز موجب حیات آن و از دیرباز تعیین‌کننده گستره و استقرار تمدن‌ها به‌ویژه در دشت‌های ساحلی بوده‌اند. رودخانه تجن در دشت ساحلی ساری به‌طور مستقیم از پیامدهای صنعتی شدن، توسعه کشاورزی و شهرها و روستاها دچار آلودگی منابع آب و رسوب شده است. هدف این پژوهش، تعیین کیفیت رسوبات سطحی رودخانه تجن در بازه شهری تا دریا بر اساس غلظت عناصر سمی As, Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn و آشکارسازی سطح آلودگی ناشی از آن‌ها قرار گرفت. استراتژی نمونه‌برداری مبتنی بر برداشت ۲۵ نمونه رسوب سطحی بر اساس پراکنش کانون‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلودگی و ریخت‌شناسی رودخانه‌ای بود. نمونه‌ها آماده‌سازی شده و غلظت عناصر سمی و سولفور با استفاده از دستگاه ICP-MS در وزن خشک با دقت mg/kg و درصد کربن آلی کل به‌دست آمد. با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی و استانداردهای کیفیت رسوب (ISQGs, PEL, SEL)، سطح آلودگی ناشی از عناصر سمی آشکارسازی شد. نتایج به‌خوبی بازه‌های آلوده و پاک رودخانه تجن را مشخص کردند طوری‌که جنوب‌شرق و پایین‌دست شهر ساری از شبه‌فلز سمی As و بالادست بازه شهری و مجاور خروجی پساب‌های شهرک‌های صنعتی به رودخانه از فلز سمی Cr و بالاخره کل بازه موردمطالعه از فلز سمی Ni دارای سطح مخاطره‌آمیز بودند. همچنین غنی‌شدگی Pb در رسوبات پایین‌دست بازه شهری به‌دلیل سوخت فسیلی ثابت گردید. نتایج پژوهش بر اثرگذاری آلودگی‌های شهری-روستایی (زهکشی آب‌های سطحی، زباله و نخاله ساختمانی)، پساب‌های صنعتی و کشاورزی و معادن شن و ماسه در آلودگی منابع آب و رسوب رودخانه تجن تأکید دارند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی بوم‌شناسی؛ رسوبات سطحی؛ رودخانه تجن؛ عناصر سمی؛ غنی‌شدگی.

۱- مقدمه

رودخانه‌ها منابع حیاتی آب شیرین در امور کشاورزی، شرب و صنعت هستند. قرارگیری مناطق شهری، روستایی و مراکز صنعتی در اطراف رودخانه‌ها باعث ورود انواع آلاینده‌ها به آن‌ها شده و چنانچه ورود این آلودگی‌ها از ظرفیت خودپالایی رودخانه بیش‌تر باشد، مشکلات محیط‌زیستی در آن‌ها بروز خواهد کرد (Mirzaee Mahmoodabadi 2019).

اصولاً شناسایی وضعیت غلظت عناصر در محیط‌های آبی شیرین و دریایی از گام‌های اساسی در تحلیل شرایط ژئوشیمیایی و به‌دنبال آن کیفیت منابع آب و رسوب به‌شمار می‌رود. پر واضح است که در شرایط طبیعی، عناصر اصلی اعم از آلومینیم، آهن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم و عناصر فرعی همچون غالب فلزات و شبه فلزات و در نهایت عناصر کمیاب مطابق شرایط اقلیمی و توپوگرافی از یک‌سو و سنگ‌شناسی، سطح رخنمون، خردشدگی تکتونیکی، فرآیندهای دیاژنز و هوازدگی از سوی دیگر از سنگ مادر جدا و در معرض حمل قرار می‌گیرند. محصول غالب فرآیندهای هوازدگی شیمیایی و دیاژنز، رها شدن کاتیون‌های عناصر فلزی است که در وهله نخست با حامل‌هایی از جنس مواد کلوئیدی رسی وارد محیط‌های رسوبی به‌ویژه رودخانه‌ها می‌شوند. سپس مواد جاذب دیگر به‌ویژه مواد آلی نقش مهمی را در حمل یا جذب کاتیون‌ها ایفا می‌کنند که عموماً نقش آن‌ها در محیط‌های رسوبی کم تلاطم و عمیق‌تر بیش‌تر می‌شود (Gharibreza and Ashraf 2014). حضور بیش از حد طبیعی کاتیون‌ها در رسوبات زمانی اتفاق می‌افتد که شرایط اکسیداسیون و احیاء سازگار با کاتیون‌های مختلف فراهم گردد. به‌طور مثال، عناصری مانند آرسنیک، سلنیوم، اورانیوم و وانادیوم به‌صورت آنیونی و در شرایط احیایی عمدتاً در فاز محلول باقی‌مانده و عموماً با جریان از محیط دور می‌شود. در مقابل، فلزاتی مانند کادمیم، کبالت، آهن، سرب، نیکل و زینک به‌صورت کاتیونی نسبت به شرایط احیایی حساس بوده و دچار تحرک‌پذیری[1] می‌شوند.

قابلیت تحرک عناصر فلزی و شبه‌فلزی در خاک و رسوب عمدتاً به pH، میزان مواد آلی، قدرت یونی، بافت خاک یا رسوب وابسته است. این قابلیت در زیست‌فراهمی[2] عناصر سمی بسیار تأثیرگذار است. زیست‌فراهمی به آن بخش از آلودگی اطلاق می‌شود که به‌صورت آزاد در محیط و در واحد زمان برای ورود به غشاء سلولی جاندار در دسترس باشد. از طرفی سمیت عناصر به فرم، محیط قرارگیری و میزان حلالیت بستگی دارد. فلزات Pb, Cr, Hg و شبه‌فلز As در هر شرایطی سمی هستند (Ashraf et al. 2015).

محیط رودخانه‌ای دربردارنده رسوباتی هستند که در قرون اخیر بسیار دچار تغییرات بافت و ترکیب شیمیایی شده‌اند. امروزه استفاده از رسوبات بستر رودخانه‌ها ابزار مفید مدیریت منابع آب و حوزه آبریز متناظر، در راستای شناخت منابع آلاینده و آهنگ آلوده شدن محسوب می‌گردند. اهمیت این موضوع موجب توسعه استانداردهای کیفیت رسوب پس از انقلاب صنعتی و آلودگی محسوس رسوبات محیط‌های آبی شده است (CBSQG 2003; EPA 2001; CCME 1995; Persaud et al. 1993). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی هستند که وارد محیط‌های آبی شده و با توجه به ویژگی‌های خاصی مانند درجه سمیت، فراوانی، مقاومت در برابر تجزیه و قابلیت تجمع زیستی موردتوجه می‌باشند. این ترکیبات طی فرآیندهای طبیعی تخریب نشده و در رسوبات یا بدن موجودات زنده تجمع یافته و می‌توانند تهدیدی جدی برای سلامتی انسان‌ها، حیوانات، گیاهان و بوم‌سازگان مختلف باشند (Liu et al. 2016; Malvandi. 2017; Suresh et al. 2012). فلزات پس از ورود به محیط آبی، از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی در رسوبات نهشته می‌شوند (Unlu et al. 2008) طوری‌که بیش از ۹۰٪ بار فلزات محیط‌های آبی در رسوبات نیز یافت می‌شوند (Ali-Beigi et al. 2017). فلزات سنگین عمدتاً از

[1] Mobility

[2] Bioavailability

طریق فرآیندهایی همچون هوازدگی و فرسایش سنگ و منابع انسانی از جمله فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، رواناب و دفع فاضلاب وارد سیستم‌های آبی می‌شوند (Cevik et al. 2009). رسوبات سطحی به‌دلیل سهولت در تماس با فاضلاب‌های شهری و صنعتی، در برابر آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین آسیب‌پذیر هستند. به‌عبارتی، وجود فلزات سنگین در آب تنها به‌دلیل وجود آن‌ها در سنگ‌ها نیست، بلکه مقادیری از این عناصر از طریق فاضلاب‌های صنعتی حاصل از فعالیت‌های انسانی وارد بوم‌سازگان آب شیرین از جمله رودخانه‌ها می‌شوند (Miller 1997).

بسیاری از استانداردهای کیفی توسعه داده‌شده بر اساس غلظت عناصر و فلزات سمی همچون As، Cd، Cu، Pb، Ni، Zn، Ag، Cr، هیدروکربن نفتی و آلودگی آلی پایدار بنا شده‌اند. رسوبات ریزدانه و مواد آلی محیط‌های رودخانه‌ای به‌دلیل داشتن قابلیت جذب سطحی ناشی از بار منفی، خواستگاه کاتیون‌های فلزات سمی بوده و در خود آثار رویدادهایی را که منجر به افزایش غلظت عناصر شده‌اند را ثبت می‌کنند. لذا بررسی آلودگی رسوبات شرایط را برای تدقیق عوامل و منشأ آلودگی‌ها و اتخاذ اقدام‌های مدیریتی کاهش‌دهنده غلظت آلاینده‌ها فراهم می‌آورد. تنها مطالعه‌ای که در زمینه سنجش صحت این فرض در رودخانه تجن انجام‌شده، پژوهش صورت گرفته توسط Alahabadi and Malvandi (2018) می‌باشد. همچنین پژوهش‌های مشابه و گسترده‌ای در این زمینه توسط پژوهش‌گران مختلف انجام‌شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های Ustaoğlu and Islam (2020)، Júnior et al. (2020)، و Milačič et al. (2019) اشاره نمود. با توجه به گستردگی کمی و تنوع فعالیت‌های انسانی در دشت ساحلی مازندران و در نظر گرفتن این مهم که عمده پساب‌ها و پسماندها به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد سیستم آبی منطقه می‌شوند، بررسی آلودگی‌ها، آلاینده‌ها و سطوح مخاطرات ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. لذا در این پژوهش به‌منظور دستیابی به وضعیت آلودگی رسوبات بستر رود تجن و تعیین تأثیرگذارترین عنصر سمی آلوده‌کننده و منابع آن، تعیین سطوح مخاطره بوم‌شناسی رودخانه در محدوده موردبررسی، از نمونه‌برداری میدانی و ابزارهای آزمایشگاهی بهره گرفته‌شده است. از این‌رو، این پژوهش با هدف تعیین میزان آلودگی رسوبات سطحی و مخاطره‌آمیز بودن آلودگی‌ها در مقایسه با استانداردهای کیفیت رسوبات در رودخانه تجن در استان مازندران در بازه دشت ساحلی، حدفاصل اراضی پایین‌دست سد شهید رجایی تا مصب رودخانه تجن انجام‌شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

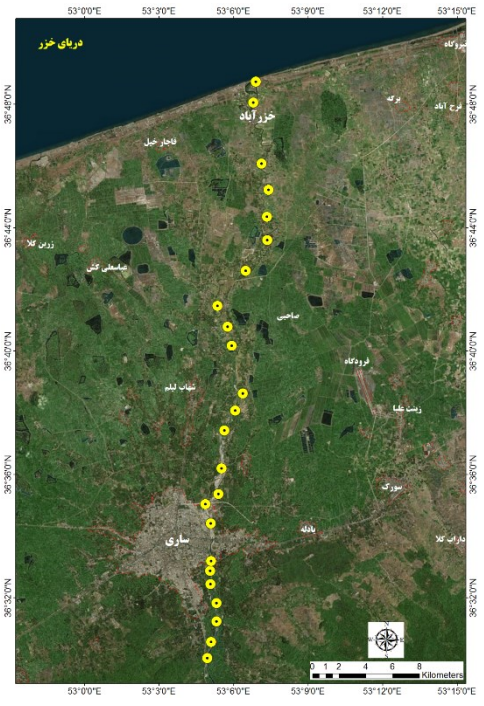
رودخانه تجن به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مهم در شمال کشور، منبع تأمین آب کشاورزی، صنعت و شرب در استان مازندران است که از ارتفاع ۳۲۵۱ m کوه‌های هزار جریب در دامنه شمالی سلسله جبال البرز در جنوب شهرستان ساری سرچشمه می‌گیرد. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۷۲ km و سه شاخه اصلی آن دودانگه و چهاردانگه و ظالمرود نام دارند و در مسیر شمالی تا رسیدن به دریای خزر از شهرستان ساری می‌گذرد. مساحت حوزه آبریز تا ایستگاه کردخیل واقع در پایاب رودخانه ۴۳۱۳/۷ km^2 با رژیم جریان رودخانه برفی- بارانی و جریان پایه‌ای دائم است (IWRM 2011). میزان متوسط سالانه دبی رودخانه در ایستگاه کردخیل در دوره شاخص آماری (۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۰-۱۳۷۹) ۱۴/۶ m^3/s که آورده سالانه آن ۴۶۰ Mm^3 می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوضه در دوره آماری ۴۰ yr (منتهی به سال ۸۰-۷۹) به‌میزان ۵۹۳ mm است. در محدوده مطالعه علاوه بر شهرهای ساری و خزرشهر، کانون‌های جمعیت روستایی شامل روستاهای پهنه کلا، شکتا، خان عباسی، نوده، موزی‌بن و لکدشت به همراه یک کارگاه برداشت شن و ماسه، دو شهرک صنعتی و چند محدوده دپوی زباله به‌عنوان کانون‌های آلاینده وجود دارد. به‌واسطه فعالیت‌های گسترده کشاورزی، شهری و صنعتی، عموماً بوم‌سازگان رودخانه‌های منتهی به دریای خزر آلوده فرض می‌شوند.

۲-۲- روش پژوهش

در پژوهش حاضر به‌منظور دستیابی به اهداف موردنظر، روش پژوهش بر پایه مطالعات میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی و تحلیل و آشکارسازی سطح آلودگی‌ها بر اساس استانداردهای بین‌المللی طراحی شد.

۲-۲-۱- بررسی‌های میدانی

مطالعات میدانی در دو بخش پایش کانون های آلودگی و طرح نمونه‌برداری تنظیم شد. لذا پس از تحلیل کانون‌های آلودگی، نمونه‌برداری از رودخانه تجن از پل تنگه لته در بالادست ساری تا مصب آن بر اساس پراکنش آن کانون‌ها و ویژگی‌های ریخت شناسی، رسوبی، کاربری اراضی پیرامون اجرا شد. بدین ترتیب، تعداد ۲۴ نمونه سطحی (عمق cm ۰-۱۰) از رسوبات ریزدانه بستر رودخانه تجن با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر رسوب دست‌نخورده مجهز لوله پلی‌پروپیلن شفاف برداشته‌شده و موقعیت جغرافیایی هر نمونه، ثبت‌شده است (شکل ۱). بخش بالادست شهر ساری در پایین‌دست سد شهید رجائی، عرصه‌ای مدیریت‌شده از منظر آورد رسوب می‌باشد. مهم‌ترین کاربری اراضی این بخش کشاورزی است و یک شهرک صنعتی در حال احداث در کرانه رودخانه تجن و شرق روستاهای پهنه کلا و شکتا وجود دارد. در این بخش از رودخانه تجن نمونه‌های ۱ و ۲ برای بررسی وضعیت آورد آلودگی‌ها به رودخانه تجن بررسی‌شده‌اند. از نمونه ۳ تا ۶، رودخانه تجن، از غرب وارد محدوده شهری و از شرق در مجاورت روستاهای خان عباسی، نوده و لکدشت قرار دارد، کاربری مسکونی شهری و روستایی و کشاورزی غالب بوده و یک کارگاه برداشت و آماده‌سازی شن و ماسه و کانون انباشت زباله‌های شهری در مجاورت رودخانه وجود دارد. نمونه‌های ۷ تا ۹ درون بازه شهری ساری به‌منظور بررسی اثر کانون‌های آلودگی درون شهری موردبررسی قرار گرفتند. نمونه ۱۰، بعد از بازه شهری به‌منظور بررسی اثر مجموعه کانون‌های شهری برداشت شده است. نمونه ۱۱ نیز پس از کانون‌های آلودگی متصور از انباشت زباله‌ها و نخاله‌های شهری و معدن شن و ماسه در حاشیه روستای موزی‌بن موردبررسی قرارگرفته است. از بازه شهری تا روستای مرز رود که نمونه‌های دوازده تا هفده برداشت‌شده‌اند، کانون‌های غیر نقطه‌ای آلودگی فعالیت‌های کشاورزی به منابع آب و رسوب رودخانه تجن اضافه‌شده است.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری رسوبات سطحی از بخش‌های مختلف رودخانه تجن

Fig. 1 Showing the study area and sediment sampling pattern along the Tajan River

از روستای مرزرود تا روستای پنبه چوله پایین، پساب شهرک‌های صنعتی ساری یک و دو به رودخانه تجن اضافه‌شده است. در این بازه نمونه‌های ۱۸ و ۱۹ موردبررسی قرارگرفته‌اند. کانون‌های آلاینده کشاورزی تا مصب رودخانه ادامه دارد. نمونه‌های ۲۰ تا ۲۲ در این محدوده قرار دارند. آلودگی و پساب فاضلاب شهر خزرآباد در بخش‌های انتهایی رودخانه به منابع آب و رسوب اضافه شده است. نمونه‌های ۲۳ و ۲۴ در مصب رود خانه تجن، علاوه بر مجموعه کانون‌های آلودگی یاد شده، می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی پساب مزرعه پرورش ماهی شیلات و آبراهه دائمی است که از اراضی کشاورزی شرق رودخانه زهکش شده و نزدیکی مصب به رودخانه تجن متصل شده است. بدین ترتیب، نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای انتخاب شدند که بیشینه اثرات منشأهای آلودگی پایش شوند.

۲-۲-۲- بررسی‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های رسوبی پس از برداشت و انجام ملاحظات بسته‌بندی و نگهداری، در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص (زیپ کیپ) قرارگرفته و پس از ثبت محل و کد نمونه بر روی آن تا زمان آماده‌سازی در فریزر نگه‌داری شدند. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه آب‌وخاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، برای آزمون دانه‌بندی و تعیین غلظت عناصر فلزی سمی آماده‌سازی شدند. بدین منظور، نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۸۰ °C به دو قسمت به‌ترتیب برای دانه‌بندی و بخش ریزدانه‌تر از ۲ mm برای بررسی‌های ژئوشیمیایی تفکیک شدند. نمونه‌ها با استفاده از سری کامل الک استاندارد UNIFIED[1] و آزمایش هیدورمتری دانه‌بندی شدند. بخش ریزدانه‌تر از ۲ mm نمونه‌ها نیز با استفاده از هاون چینی پودر شدند. بر اساس روش(1998) Kingston and Jassie مقدار ۰/۲۵ g از رسوبات پودر شده توزین و برای تعیین غلظت عناصر موردنظر در پژوهش آماده‌سازی شد. این مرحله شامل هضم نمونه‌ها با اسیدهای شاخص و به حجم رساندن و قرائت غلظت عناصر فلزی، شبه‌فلزی و سولفور با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی پلاسمای القایی[2] در آزمایشگاه شرکت زرآزما بوده است. مقادیر غلظت عناصر بر اساس وزن خشک برحسب (mg/kg) محاسبه‌شده است. درجه‌بندی دستگاه ICP-MS از طریق نمونه استاندارد و نمونه بلنک و کنترل کیفیت از طریق تکرار نمونه آزمون برای برخی نمونه‌ها انجام‌شده است. مراحل این فرآیند از روش Wernimont and Spendley (1985) اقتباس‌شده است. همچنین مقادیر درصد کربن آلی به روش(1934) Walkley and Black تعیین‌شد.

جدول ۱- غلظت پایه عناصر فلزی و شبه‌فلزی در پوسته زمین (mg/kg) (CCME 1995. EPA 2001)

Table 1 Concentrations of metallic and metalloid elements in the earth's crust (CCME 1995. EPA 2001)

Parameters	References			
	Rudnick and Gao (2003)	Taylor (1964)	Fortescue (1992)	Rickwood (1983)
As	5	1.8	0.2	1.7-5
Cd	---	---	0.16	0.1-5
Cr	92	100	122	70-330
Cu	---	55	68	14-100
Ni	47	75	99.0	23-200
S	---	260	340	260-1200

۲-۲-۳- تعیین سطح آلودگی

به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی رسوبات، غلظت‌های بدست آمده، با مقادیر استاندارد ISQGs[3]، PEL، SEL و مقادیر پایه جهانی مقایسه شده است (جداول ۱ و ۲). شایان توجه است که این مرحله از رایج‌ترین روش‌های بررسی وضعیت آلودگی رسوبات در نظر گرفته می‌شود (Rudnick and Gao 2014; Fortescue 1992). نسبت بین درصد مواد آلی (TOC) و درصد سولفورکل (TS) یکی از شاخص‌هایی است که برای بررسی شرایط اکسیداسیون و احیاء محیط رسوبی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Berner and Raiswell 1984). نسبت TOC:TS بالاتر از ۵ نشان‌دهنده شرایط اکسیداسیون، نسبت TOC:TS بین ۵ و ۱/۵ بیانگر نسبتاً احیایی و بالاخره نسبت TOC:TS کم‌تر ۱/۵ نشان‌دهنده شرایط احیایی محیط رسوبی است. فاکتور غنی‌شدگی[4] یکی از پرکاربردترین شاخص‌های کیفیت رسوب در محیط‌های آبی به‌شمار می‌رود (رابطه ۱) که توسط Loring et al. (1995) ارائه‌شده و توسط Sutherland and Tolosa (2000) توسعه داده‌شده است.

$$EF = \frac{C_i / C_{ref}}{B_n / B_{ref}} \qquad (۱)$$

[1]Unified Soil Classification System
[2]Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS
[3]Interim Sediment Quality Guidelines
[4] Enrichment factor

که، C_i غلظت به‌دست‌آمده برای عنصر موردبررسی، C_{ref} غلظت عنصر نرمال‌کننده در همان نمونه، B_n غلظت پایه عنصر موردبررسی و B_{ref} غلظت پایه عنصر نرمال‌کننده است. بر اساس روش Sutherland and Tolosa (2000) ، مقادیر E_f <۲ نشان از کمینه غنی‌شدگی، مقادیر ۲-۵ بیانگر غنی‌شدگی متوسط، مقادیر ۵-۲۰ نشان از غنی‌شدگی قابل ملاحظه، مقادیر بین ۲۰-۴۰ بیانگر غنی‌شدگی زیاد و بالاخره مقادیر بیش از ۴۰ نشان‌دهنده غنی‌شدگی بسیار زیاد است.

جدول ۲- مقادیر استاندارد کیفیت رسوبات برای عناصر اصلی و سمی (mg/kg) (CCME 1995. EPA 2001)

Table 2 Standard values of sediment quality for toxic and nontoxic elements (mg/kg) (CCME 1995. EPA 2001)

Sediment quality indices	As	Cr	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
LEL	6	26	120	16	16	31	0.6
SEL	33	110	270	110	50	110	9
ISQG	5.9	37.3	123	35.7	-	35	0.6
PEL	17	90	315	197	-	93.1	3.5
CBSQG	9.8	43	120	32	23	36	0.99

این شاخص نشان‌دهنده عبور از شرایط طبیعی و افزایش بارمحلول در محیط آبی و ورود عناصر فلزی کاتیونی به فاز جامد یا کانی‌سازی در رسوبات رودخانه است. محیط‌های رسوبی در طول تاریخ زمین‌شناسی، شاهد غنی‌شدگی به عناصر مختلف و ایجاد ذخایر قابل‌شناسایی و استخراج‌شده‌اند. این مهم در محیط‌های آبی دورافتاده در مناطق کوهستانی و جنگلی همچون گذشته دوران زمین‌شناسی رقم خورده است (Gharibreza and Ashraf 2014; Ashraf et al. 2015)، لیکن در مطالعات اخیر از این فاکتور برای بررسی اثر فعالیت‌های انسانی بر آلودگی رسوبات غالب محیط‌های آبی داخلی سرزمین (رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها) و ساحلی (خورها، خلیج‌ها و رودخانه‌های جزرومدی) به‌طور گسترده‌ای استفاده‌شده است. در محاسبات این شاخص، عناصری همچون آلومینیوم، آهن و لیتیم که در پوسته زمین و محیط‌های رسوبی با برخاستگاه‌های متفاوت دارای غلظت زیاد بوده و تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری دچار تغییرات جدی غلظت نمی‌شوند، به‌عنوان عناصر نرمال‌کننده مورداستفاده قرار می‌گیرند. بدین ترتیب سنجش تغییرات غلظت، بر نسبت غلظت پایه همان عنصر بر غلظت پایه عنصر نرمال کننده، وضعیت غنی‌شدگی را آشکار می‌کند. بر اساس مرجع ارائه‌کننده، این شاخص در پنج سطح غنی‌شدگی حداقل، متوسط، قابل‌توجه، بسیار زیاد و فوق‌العاده زیاد تعیین‌شده است. در پژوهش حاضر به‌منظور شناسایی دسته عناصر فلزی دارای رفتار ژئوشیمیایی مشابه در محیط رسوبی رودخانه‌ای و نیز دریافتن مهم‌ترین جاذب کاتیونی مانند مواد آلی و ذرات رسی در بازه‌های موردبررسی از پارامترهای آماری و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی[1](AHC) با ضریب تشابه پیرسون[2]در نرم‌افزار XLSTAT 2020.3.1.25 استفاده‌شده است. با شناسایی جاذب‌ها و حامل‌های اصلی فلزات سمی محیط موردبررسی می‌توان با کاهش غلظت جاذب غالب از افزایش هرچه بیش‌تر غلظت فلز سمی مورد کاست.

۳- یافته‌ها و بحث

بدین ترتیب، پژوهش حاضر دستاوردهای ژئوشیمیایی قابل-توجهی را در پی داشته و منجر به شناخت کافی از وضعیت ژئوشیمیایی و هرگونه تغییر از شرایط طبیعی و آشکارسازی غنی‌شدگی موضعی و موضوعی سطح آلودگی‌ها برای آبزیان و بهره‌برداران به‌ویژه حوزه کشاورزی و چرخه غذایی شده است. نتایج حاصل از بررسی وضعیت ژئوشیمیایی به درصد کربن آلی و بخش ریزدانه سیلتی-رس نمونه‌های رسوبات سطحی رودخانه تجن در جدول (۳) ارائه‌شده است. در این قسمت، علاوه بر تشریح و بحث درباره وضعیت ژئوشیمیایی و کیفیت رسوبات، سطح آلودگی آن‌ها در مقایسه با حدود استاندارد ISQGs, PEL, SEL ارائه‌شده و در شکل‌های

[1] Agglomerative hierarchical clustering

[2] Pearson correlation coefficient similarity

(۲)، (۳) و (۴) برازش غلظت عناصر سمی آرسنیک، کروم و نیکل که دارای مقادیری فراتر از مقادیر استاندارد هستند نیز نمایش داده‌شده است. همچنین، مقادیر غنی‌شدگی هفت عنصر فلزی سمی موردمطالعه به‌منظور آشکارسازی هرچه بیش‌تر اثرگذاری منشأهای پیرامون رودخانه تجن ارائه‌شده است (شکل ۵).

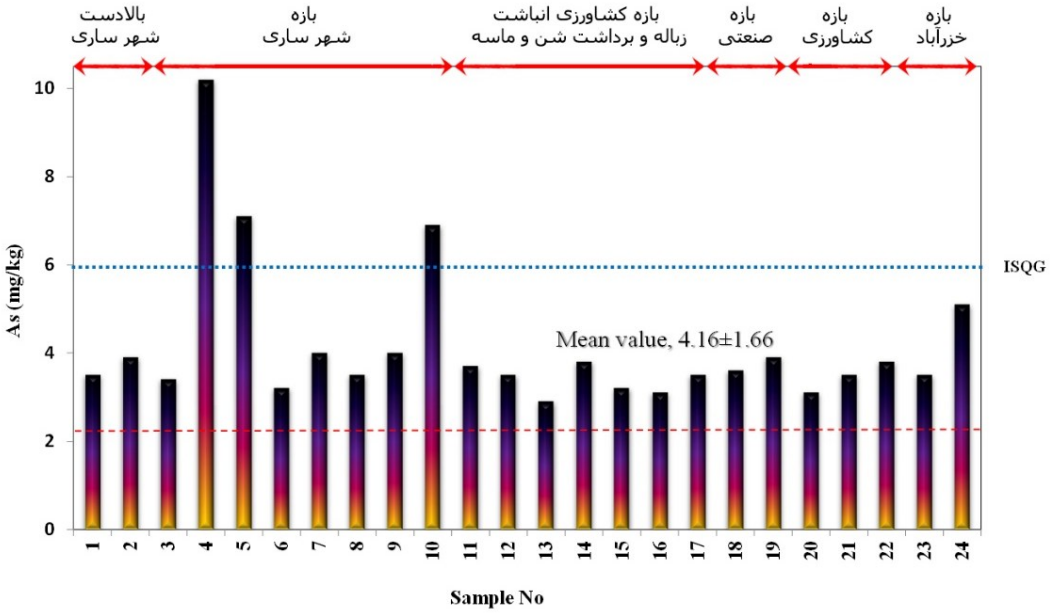
جدول ۳- مقادیر غلظت عناصر سمی (mg/kg)، کربن آلی (٪) و رس (٪) در رسوبات سطحی رودخانه تجن

Table 3 Concentration of toxic elements (mg/kg), TOC (%) and clay (%) contents in the Tajan River surface sediments

Sample No.	Parameters									
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	S	TOC	Clay
1	3.5	0.38	56	19	33	19	51	710	1.26	23.04
2	3.9	0.36	55	18	34	16	49	728	1.88	23.04
3	3.4	0.31	57	15	30	17	44	557	0.79	18.35
4	10.2	0.33	76	33	50	23	72	265	1.18	54.14
5	7.1	0.35	59	18	34	18	50	312	0.17	22.50
6	3.2	0.29	34	12	19	17	28	462	0.20	7.35
7	4.0	0.33	61	21	39	20	60	433	0.86	34.16
8	3.5	0.33	44	13	26	15	37	432	0.54	24.17
9	4.0	0.31	70	21	44	22	66	454	1.11	33.33
10	6.9	0.33	66	22	42	26	62	389	0.94	43.32
11	3.7	0.36	58	19	36	18	51	932	1.00	23.34
12	3.5	0.34	40	14	24	17	37	688	1.45	14.36
13	2.9	0.33	37	12	24	14	44	495	0.23	21.93
14	3.8	0.34	53	18	34	17	52	501	0.60	27.34
15	3.2	0.32	52	16	31	15	48	515	1.21	23.34
16	3.1	0.34	51	16	31	17	44	451	1.10	23.34
17	3.5	0.34	61	17	32	17	47	404	0.58	24.01
18	3.6	0.32	58	20	36	18	57	594	1.21	29.34
19	3.9	0.31	57	18	35	17	51	546	0.71	26.67
20	3.1	0.35	50	17	32	19	50	525	0.89	25.01
21	3.5	0.34	58	22	37	20	58	515	1.28	31.67
22	3.8	0.35	46	15	28	14	41	478	0.41	25.01
23	3.5	0.33	58	21	40	17	58	761	0.89	32.33
24	5.1	0.32	46	15	31	16	44	905	0.58	27.25
Ave	4.16	0.33	54.29	18.00	33.42	17.88	50.04	543.8	0.88	27.01
STD	1.66	0.02	9.86	4.37	6.81	2.80	9.84	167.7	0.42	9.14
CV	0.40	0.06	0.18	0.24	0.20	0.16	0.20	0.31	0.48	0.34
Max	10.2	0.38	76.0	33.0	50.0	26.0	72.0	932.0	1.88	54.14
Min	2.90	0.29	34.0	12.0	19.0	14.0	28.0	265.0	0.17	7.35

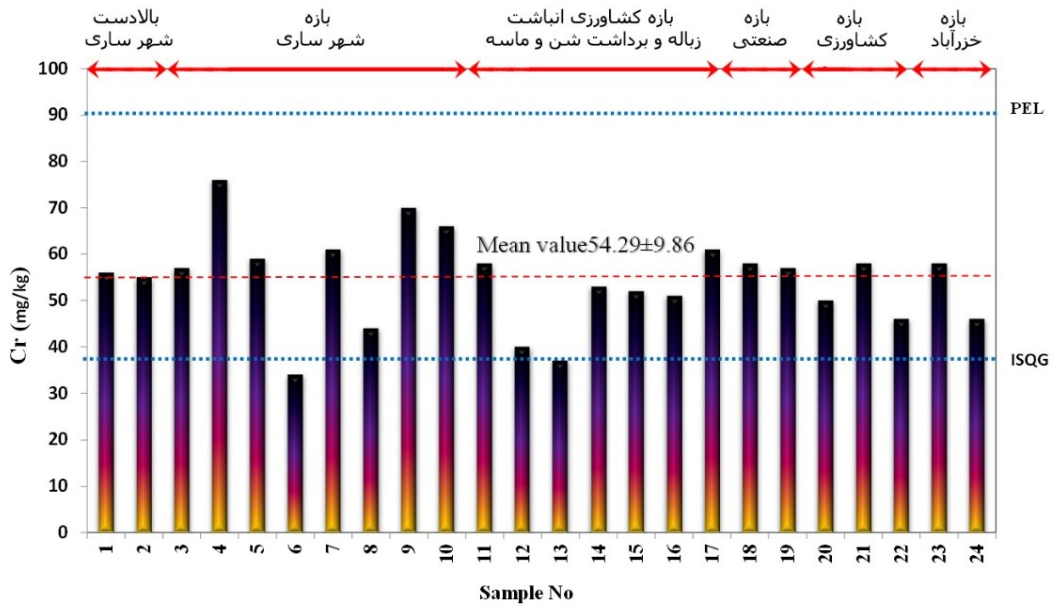
تعیین بازه‌های آلوده به فلزات سمی و شناسایی عوامل آلاینده و نزدیک به کانون‌های پرمخاطره از اهداف این پژوهش قرار بوده، لذا پراکنش جغرافیایی موقعیت نمونه‌های سطحی در طول رودخانه تجن استان مازندران با استفاده از مقیاس بزرگی غلظت عناصر متناسب با دامنه تغییرات آن‌ها ارائه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان از تقدم و تأخر هفت عنصر سمی به‌ترتیب Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>As>Cd از منظر غلظت در رسوبات سطحی رودخانه تجن است. توالی کاهنده Cr>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Cd برای عناصر سمی در پوسته زمین توسط Taylor (1964) گزارش‌شده است. بدین ترتیب توالی کاهنده عناصر رسوبات سطحی رود تجن با کمترین تغییر، بیشترین شباهت را با توالی این عناصر در پوسته زمین داشته و به تعبیری علی‌رغم ورود انواع آلاینده‌ها هنوز تابع آورد بار محلول از برخاست‌گاه‌های رسوب در حوزه آبخیز است. Alahabadi and Malvandi (2018) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که رودخانه تجن نقش

مهمی در انتقال آلاینده‌ها به بوم‌سازگان دریای خزر ندارد
بلکه غالب آلودگی‌ها ورودی به آن جذب رسوبات سطحی
شده‌اند.



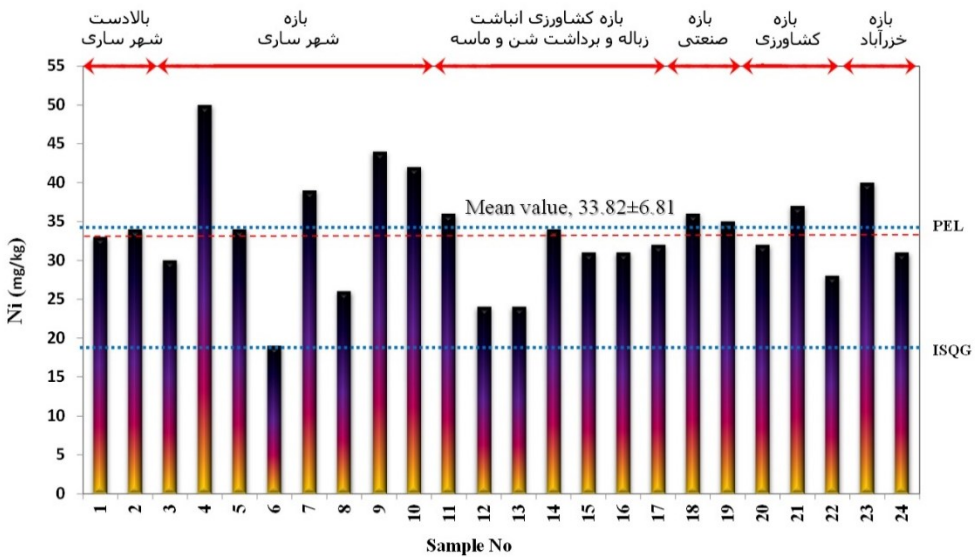
شکل ۲- مقایسه غلظت آرسنیک نمونه‌های سطحی رودخانه تجن با استانداردهای کیفیت رسوب

Fig. 2 Comparison of As concentrations in surface samples of Tajan River with sediment quality standards



شکل ۳- مقایسه غلظت کروم نمونه‌های سطحی رودخانه تجن با استانداردهای کیفیت رسوب

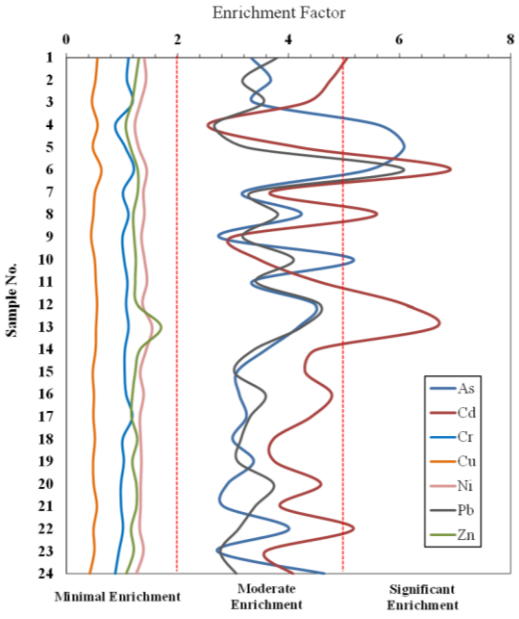
Fig. 3 Comparison of Cr concentrations in surface samples of Tajan River with sediment quality standards



شکل ۴- مقایسه غلظت نیکل نمونه‌های سطحی رودخانه تجن با استانداردهای کیفیت رسوب

Fig. 4 Comparison of Ni concentrations in surface samples of Tajan River with sediment quality standards

غلظت عنصر سمی کادمیوم در رسوبات سطحی دارای مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۲۹ و mg/kg ۰/۳۳±۰/۰۲ با ضریب تغییر ۰/۰۶ است. مقادیر به‌دست‌آمده همگی دارای غلظتی کمتر از غلظت حداقل سطح آلودگی mg/kg ۰/۶ است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان از غلظت یکسان فلز سمی کادمیوم با حداقل ضریب تغییر ممکن در سراسر رسوبات سطحی تجن دارد. بدین ترتیب، رودخانه تجن دارای رسوباتی پاک از منظر عنصر کادمیوم است. اگرچه مقادیر به‌دست‌آمده کم‌تر از ترازهای سمی است. از طرفی بیش‌ترین تمرکز کادمیم در پیش و پس از بازه شهری و در مجاورت بخش شهرک‌های صنعتی رودخانه تجن مشاهده می‌شوند. غنی‌شدگی عنصر کادمیوم در نمونه‌های ۶، ۸، ۱۲، ۱۳ و ۲۲ در سطح قابل‌ملاحظه به‌دست‌آمده و در سایر نمونه‌ها در سطح متوسط است. این در حالی است که بر اساس نتایج پژوهش Nasrabadi et al (2010)، مقادیر غلظت کادمیوم در رسوبات رودخانه هراز بیش از حداقل سطح آلودگی mg/kg ۰/۶ بوده (جدول ۴) و نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر رودخانه هراز از کانون‌های آلاینده پیرامون می‌باشد. نتایج حاصل از غنی‌شدگی (شکل ۵) نشان داد که در بازه شهرهای ساری و خزر آباد، عنصر فلزی سمی کادمیوم دچار غنی‌شدگی شده که نشان‌دهنده تأثیر آلاینده‌های شهری در این محدوده است.



شکل ۵- نشان‌دهنده وضعیت غنی‌شدگی عناصر سمی در رسوبات سطحی رودخانه تجن

Fig. 5 Showing Enrichment factor of toxic elements at superficial sediments of the Tajan River

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیشینه، کمینه و میانگین غلظت فلز سمی آرسنیک در رسوبات سطحی رودخانه به‌ترتیب ۱۰/۲، ۴/۹ و ۴/۱۶±۱/۶۶ mg/kg با ضریب تغییر ۰/۴ به‌دست‌آمده است. میانگین حاصله دارای غلظتی زیر حد حداقل سطح آلودگی ۶ mg/kg است (شکل ۲). نمونه‌های شماره ۴ و ۵ از رسوبات سطحی رودخانه تجن در جنوب شرق شهر ساری و نمونه ۱۰ در پایین‌دست منطقه شهری دارای غلظتی فراتر از ISQG و به تعبیری در آستانه مخاطره‌آمیزی می‌باشد. نتایج پژوهش Alahabadi (2018) and Malvandi نیز سطح آلودگی رسوبات رودخانه تجن در محدوده شهری فراتر از ISQG بیان نموده (جدول ۴) که مؤید نتایج حاصله از پژوهش حاضر است. شرایط نشان از وجود منشأهای طبیعی و انسانی آرسنیک به‌ویژه در محدوده شهری ساری است (شکل ۲). بررسی وضعیت غنی‌شدگی آرسنیک نشان داد که این فاکتور در همه نمونه‌ها به جز نمونه‌های ۴، ۵، ۶ و ۱۰ در سطح متوسط بوده و در این نمونه‌ها در سطح قابل‌ملاحظه است (شکل ۵). این شرایط بیانگر تأثیر آلاینده‌های شهری در غنی‌شدگی در بازه شهرهای ساری و خزر آباد است.

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر بیشینه، کمینه و میانگین غلظت مس در رسوبات سطحی تجن به‌ترتیب ۳۳، ۱۲ و mg/kg ۱۸.±۴/۳۷ با ضریب تغییر ۰/۲۴ است. با این تفاسیر تغییرات غلظت عنصر سمی مس در رسوبات سطحی دامنه قابل‌ملاحظه‌ای ندارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌ها دارای غلظتی کمتر از حداقل تراز آلودگی ISQG ۳۵/۷ بوده و صرفاً در نمونه چهار با غلظت mg/kg ۳۳ نزدیک به حداقل تراز آلودگی است. نتایج پژوهش‌های Gharibreza (2019) et al. و Nasrabadi et al (2010) نیز نشان‌دهنده سطح پایین آلودگی مس در رسوبات سطحی رودخانه‌های روضه چای و هراز هستند (جدول ۴). این امر نشان از غلظت اندک عنصر مس در منابع طبیعی تأمین‌کننده رسوبات رودخانه‌ای است.

بیشینه، کمینه و میانگین غلظت فلز کروم در رسوبات سطحی رودخانه تجن به ترتیب ۷۶، ۳۴ و mg/kg ۵۴/۲۹±۷ با ضریب تغییر ۰/۱۸ است. شواهد نشان از دامنه تغییرات قابل‌توجه در غلظت این عنصر سمی در رسوبات سطحی این رودخانه دارد. غالب مقادیر به‌دست‌آمده دارای غلظتی فراتر از غلظت حداقل سطح آلودگی mg/kg ۳۷ است. همان‌گونه که قبلاً در شکل (۳) نشان داده شدمه نمونه‌ها به‌جز نمونه‌های ۶ و ۱۳ دارای غلظتی فراتر از ISQG هستند. بیشینه غلظت مشاهده‌شده در بازه بالادست شهر و نمونه‌های بلافصل پایین‌دست آن و نمونه‌های مجاور خروجی پساب صنعتی مشاهده‌شده است. شواهد نشان می‌دهد که فعالیت معادن شن و ماسه در رهاسازی بخش ریزدانه آغشته به آلاینده‌ها در نمونه‌های پیرامون آن‌ها بسیار تأثیرگذار بوده است. نتایج پژوهش‌های Malvandi (2017) و Gharibreza (2019) et al نیز نشان‌دهنده آلودگی رسوبات سطحی رودخانه‌های زرین گل و روضه چای به عنصر کروم هستند. این در حالی است که غلظت عنصر کروم در رسوبات رودخانه تجن در پژوهش Alahabadi and Malvand (2018)، ۲۰ mg/kg بیان‌شده است. با توجه تعداد نمونه‌های رسوب بررسی‌شده در پژوهش مذکور (۱۰ نمونه) و پراکنش مکانی آن‌ها، نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر از دقت بیش‌تری برخوردار است.

بیشینه، کمینه و میانگین غلظت فلز روی در رسوبات سطحی تجن به‌ترتیب ۷۲، ۲۸ و mg/kg ۵۰±۹/۸ با ضریب تغییر ۰/۲ است. شرایط نشان از تغییرات اندک غلظت در قسمت‌های مختلف رودخانه تجن دارد. همه نمونه‌های سطحی دارای غلظت کم‌تری از حداقل تراز آلودگی mg/kg ۱۲۳ بوده که نشان‌دهنده شرایط پاک از منظر این عنصر است. اثر کاربری شهری و صنعتی در افزایش غلظت نمونه‌های پیرامون این کانون‌ها به‌وضوح در پراکنش سطحی غلظت روی (نمونه‌های ۹، ۱۰، ۱۸و ۲۱) مشهود است. مقادیر غنی‌شدگی در بازه کشاورزی پایین‌دست شهر ساری نیز نشان‌دهنده تأثیر آلاینده‌های کشاورزی در افزایش غلظت عنصر فلزی سمی روی است. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش‌های Malvandi (2017)، Alahabadi and Malvandi (2018) و Gharibreza et al. (2019) همگی نشان‌دهنده شرایط پاک رسوبات از منظر عنصر روی هستند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت عناصر سمی (mg/kg) رودخانه تجن با سایر پژوهش‌های مشابه

Table 4 Comparison of average toxic element concentrations (mg/kg), in Tajan River surface sediments with previous workes

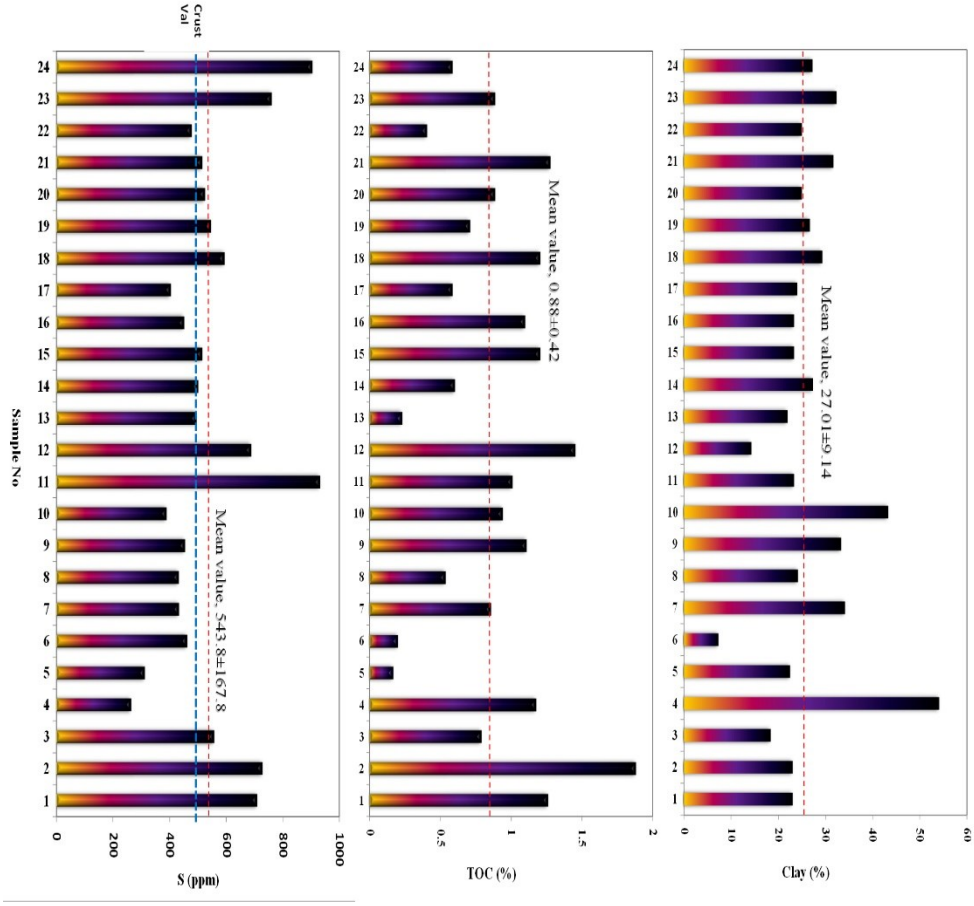
River/Area	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	References
Tajan	4.16	0.33	54.29	18	33.42	17.88	50	This study
Rozechai	10.5	0.28	69.7	22.4	36	20	85	Gharibreza et al. (2019)
Tajan	12.8	-	20	-	8.2	-	19.7	Alahabadi and Malvandi (2018)
Zarrin Gol	21.9	-	37.7	-	12.4	-	32.7	Malvandi (2017)
Haraz	33.55	3.45	28.1	32.1	43.6	26.35	73.8	Nasrabadi. et al. (2010)

غلظت عنصر سرب روند متفاوتی با عنصر نیکل دارد. لذا رسوبات سطحی رود تجن از شرایط جذب سرب کمی برخوردار بوده یا منشأهای سرب در منطقه ناچیز بوده است. این رسوبات دارای بیشینه، کمینه و میانگین غلظت سرب به‌ترتیب ۲۶، ۱۴ و ۲/۸±۱۷/۸۸ mg/kg با ضریب تغییر ۰/۱۶ است. کاربری شهری و زهکش شدن سرب ناشی از سوخت فسیلی از سطح معابر شهر ساری در افزایش قابل‌توجه سرب در نمونه پایین‌دست پل کمربندی (نمونه ۱۰) کاملاً مشهود است. مقادیر به‌دست‌آمده نشان داد نمونه‌های موردمطالعه، همگی دارای غلظتی کم‌تر از حداقل تراز آلودگی ۳۵ mg/kg هستند. به تعبیری، رودخانه تجن از نظر آلودگی سرب، برای آبزیان و بهره‌برداران آب دارای وضعیت مطلوبی است. این نتیجه در پژوهش‌های Nasrabadi et al (2010) و Gharibreza et al. (2019) نیز حاصل‌شده و مؤید نتایج حاصله می‌باشند (جدول ۴). نتایج حاصل از غنی‌شدگی (شکل ۵) نشان داد که در بازه شهرهای ساری و خزر آباد، عنصر فلزی سمی سرب دچار غنی‌شدگی شده که بیانگر افزوده شدن زهاب‌های سرشار از سرب ناشی از سوخت فسیلی در ناحیه شهری است. همچنین، فعالیت‌های کشاورزی نقش قابل‌ملاحظه‌ای در غنی‌شدگی عنصر سرب در بازه کشاورزی پایین‌دست شهر ساری داشته‌اند.

بیشینه، کمینه و میانگین غلظت فلز نیکل در رسوبات سطحی رودخانه تجن به‌ترتیب ۵۰، ۱۹ و ۶/۸۱±۳۳/۴۲ mg/kg با ضریب تغییر ۰/۲ است. نتایج نشان داد همه نمونه‌ها دارای غلظتی بیش از حداقل تراز آلودگی ۱۸ mg/kg هستند. همچنین نمونه‌های شماره ۴، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۳ دارای غلظتی بیش از تراز آلودگی PEL بودند که بیشینه غلظت در بخش بالادست بازه شهری (نمونه ۴) با غلظت ۵۰ mg/kg به‌دست‌آمده است (شکل ۴). تحلیل میدانی کانون‌های آلودگی بیانگر تأثیر قابل‌ملاحظه کاربری‌های معدنی، شهری و صنعتی و تأثیر ناچیز فعالیت کشاورزی در افزایش غلظت فلز سمی نیکل در طول رودخانه تجن است. نتایج نشان داد، شرایط محیطی به‌گونه‌ای است که قابلیت جذب عنصر نیکل در رسوبات سطحی رودخانه فراهم بوده و در غالب نقاط آن وارد فاز کانی سازی شده است. عنصر سمی نیکل در شرایط کاتیونی قادر به ورود به فاز محلول و آب مصرفی بهره‌برداران است. بدین ترتیب رودخانه تجن از ابتدای مقطع مطالعه تا مصب آن دارای بازه‌ای آلوده از منظر عنصر سمی نیکل است. بخش عمده محدوده مطالعه دارای غلظتی بیش از تراز PEL داشته و احتمال بروز مسمومیت برای آبزیان و بهره‌برداری آب وجود دارد. همچنین در بازه کشاورزی پایین‌دست شهر ساری نیز تأثیر آلاینده‌های ناشی از این فعالیت به‌طور مشخص در غلظت فلزی سمی نیکل نمایان است.

همان‌گونه که قبلاً عنوان شد، در این پژوهش در صد TOC و درصد بخش ریزدانه (ریزتر از ۰/۰۶۳ mm) به‌منظور شناخت تأثیرگذار آن در جذب و غنی‌شدگی فلزات سمی در طول رودخانه تجن اندازه‌گیری شد. بر این اساس، تمرکز مواد آلی بیانگر بیشینه، کمینه و میانگین تمرکز مواد آلی در رسوبات سطحی تجن به‌ترتیب ۱/۸۸، ۰/۱۷ و ۰/۸۸±۰/۴۲٪ با ضریب تغییر ۰/۴۸ است. همچنین بخش عمده‌ای از رسوبات رودخانه را ذرات در اندازه رس تشکیل داده، طوری‌که در اغلب آن‌ها میزان رس بیش از ۲۰٪ است (شکل ۵). بازه‌های بالادست و بلافصل پایین‌دست شهر

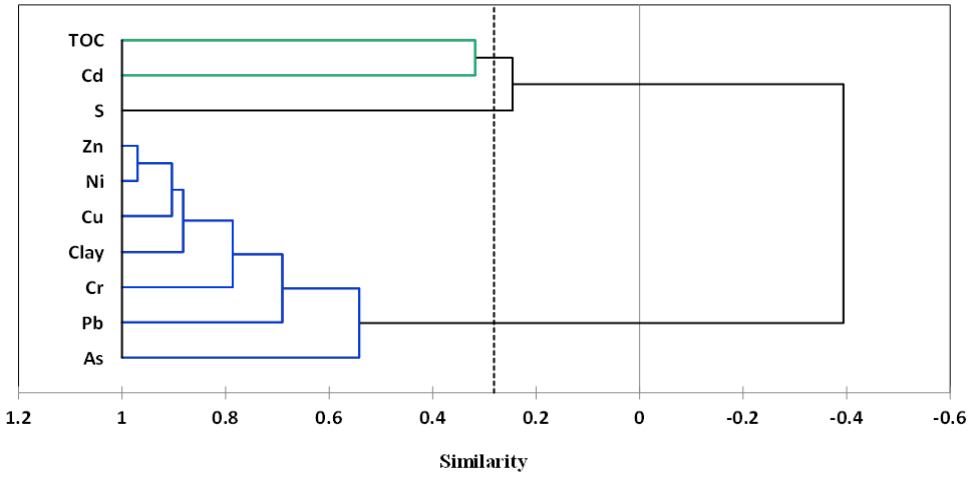
ساری به‌دلیل تجمع مواد آلی در شرایط نسبتاً احیایی بند های تنظیمی و آبگیر ها، دارای مواد آلی بیش از ۱٪ هستند. همچنین مقاطع پیچ آن رود رودخانه بین رو ستای مرز رود تا خزرآباد نیز به دلیل ورود پساب قابل‌ملاحظه کشاورزی دارای غلظتی بیش از غلظت متوسط آن در طول رودخانه تجن هستند. ذرات رس و مواد آلی از حامل‌ها و جاذب‌های عناصر سمی به فرم کاتیونی به‌شمار می‌روند (Gharibreza and Ashraf 2014). وجود مواد آلی بیانگر شرایط احیایی کم اکسیژن و ورود عناصر سنگین به فاز کانی‌زایی و رسوبات است. درصد قابل‌ملاحظه رس و مواد آلی می‌تواند شرایط را برای افزایش سطح آلودگی و مسمومیت آبزیان و دام و بهره بردان آب به‌ویژه بخش کشاورزی فراهم کند. در بازه موردمطالعه فزونی مواد آلی مستقیماً تحت تأثیر کود مازاد رهاشده از زمین‌های کشاورزی و دامداری‌های پیرامون می‌باشد درصورتی‌که میزان ذرات رس یک پارامتر نا شی از رژیم رسوبی رودخانه است.



شکل ۶- تغییرات میزان رس، مواد آلی و سولفور در نمونه‌های سطحی رودخانه تجن
Fig.6 Changes of Clay, TOC and S in surface samples of Tajan River

تغییرات غلظت عنصر مغزی سولفور در طول رودخانه تجن بسیار جزئی بوده و مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین به‌ترتیب ۹۳۲، ۲۶۵ و ۵۴۳/۸±۱۶۷/۸ mg/kg با ضریب تغییر ۰/۳۱ رقم خورده است. میانگین مقادیر به‌دست‌آمده با میانگین استاندارد Taylor (1964) که عدد ۲۶۰ mg/kg است، دارای اختلاف فاحشی می‌باشد. بیشینه غلظت این عنصر در مصب رودخانه تجن درجائیکه تحت نفوذ آب‌شور دریا است، مشاهده می‌شود (شکل ۵). با استفاده از مقادیر غلظت سولفور و مواد آلی نسبت بین درصد TOC و درصد سولفورکل (TS) به‌دست‌آمده است. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین غلظت

این نسبت به‌ترتیب ۴۴/۳۲، ۴/۳۷ و ۹±۱۷٪ با ضریب تغییر ۰/۵۴ حاصل‌شده است (شکل ۶). شرایط رسوب‌گذاری فقط در تشکیل تراس‌های قدیمی رودخانه تجن در حوالی رودخانه تجن احیایی و در نزدیکی مصب آن نزدیک به احیایی به‌دست‌آمده، حال آن‌که مابقی نمونه‌ها در شرایط اکسیدان نهشته شده‌اند. نمونه ۴ که به‌عنوان شاهد از تراس آبرفتی سخت شده رودخانه تجن برداشت‌شده است، بیانگر محیط رسوبی نسبتاً عمیقی‌تری است که در آن لایه‌بندی ستون آب منجر به ایجاد لایه کم اکسیژن تحتانی و انباشت سولفیدهای غیرقابل‌حل فلزاتی همچون آهن، مس، روی، سرب، کبالت، نیکل و نقره شده است.



شکل ۷- خوشه‌بندی عناصر سمی، ذرات رس، مواد آلی و سولفور در نمونه‌های سطحی رودخانه تجن

Fig. 7 AHC correlation of toxic elements, Clay, TOC and S in surface samples of Tajan River

تحلیل خوشه‌بندی عناصر نشان می‌دهد که مواد آلی حامل اصلی عنصر کادمیوم و ذرات رس حامل اصلی عناصر روی، نیکل و مس هستند. همچنین در مورد عناصر کروم، سرب و آرسنیک نیز ذرات رس نقش اصلی را ایفا می‌کنند (شکل ۷). نتایج بیانگر رابطه معنی‌دار ذرات رسی و عناصر فلزی سمی Ni, Cu, Zn با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۸۵، رابطه معنی‌داری بین ذرات رسی و فلز سمی کروم با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۸، رابطه معنی‌دار بین ذرات رسی و فلز سمی سرب با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۷ و بالاخره رابطه معنی‌دار متوسط بین ذرات رسی و فلز سمی آرسنیک با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۵۶ است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به صورت زیر قابل بیان است:

۱- عنصر آرسنیک رسوبات سطحی رودخانه تجن در جنوب شرق شهر ساری و پایین‌دست منطقه شهری دارای غلظتی فراتر از حداقل تراز ISQG و در آستانه مخاطره‌آمیز است. شرایط نشان از وجود منشأهای طبیعی و انسانی آرسنیک به‌ویژه در محدوده شهر ساری دارد. عنصر کروم رسوبات سطحی رودخانه تجن غالبا دارای غلظتی فراتر از حداقل تراز ISQG، به‌ویژه متأثر از بازه شهر ساری و نمونه‌های مجاور خروجی پساب صنعتی است. شواهد نشان داد که فعالیت معادن شن و ماسه در رهاسازی بخش ریزدانه آغشته به آلاینده‌ها در نمونه‌های پیرامون آن‌ها بسیار تأثیرگذار بوده است. به‌همین ترتیب، عنصر سمی نیکل رسوبات سطحی در طول رودخانه تجن دارای غلظتی فراتر از حداقل تراز ISQG و بیش از تراز آلودگی اثرگذار PEL است. بدین ترتیب، احتمال بروز مسمومیت برای آبزیان و بهره‌برداری آب توسط عنصر سمی نیکل وجود دارد.

۲- رودخانه تجن در بازه موردمطالعه از نظر آلودگی به عناصر مس، کادمیوم، سرب و روی دارای رسوباتی پاک و با درجه آلودگی اندک است.

۳- تواتر غلظت عناصر فلزی سمی در رسوبات سطحی تجن، مشابه با توالی این عناصر در پوسته زمین بوده و به تعبیری

فعالیت‌های انسانی بیش‌تر در غلظت آرسنیک، کروم و نیکل اثرگذاربوده است.

۴- شرایط رسوب‌گذاری در بستر رودخانه تجن اکسیدان و در نزدیکی مصب آن نزدیک به احیایی است.

۵- حمل و پراکنش عنصر کادمیوم تحت تأثیر مواد آلی بوده و در مورد عناصر روی، نیکل، مس، کروم، سرب و آرسنیک حامل اصلی ذرات رس بوده‌اند.

۵- سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران و بخش آبخیزداری آن مرکز در اجرای عملیات میدانی و بخش خدمات فنی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در اجرای عملیات میدانی و خدمات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Alahabadi A. and Malvandi H. (2018). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. Mar. Pollut. Bull., 133, 741-749.

Ali-Beigi H., Mirzaei R. and Mahmoodi R. Z. A. (2017). Investigation of heavy metals concentration in surface sediments of Choghakhor wetland. J. Environ. Stud., 43, 149–161 [In Persian].

Ashraf M. A., Sarfaraz M., Rizwana N. and Gharibreza M. (2015). Environmental Impacts of Metallic Elements. Singapore. Springer. 434.

Berner R. A. and Raiswell R. (1984). C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. Geol., 12(6), 365-368.

CBSQG. (2003). Recommendations for Use & Application Interim Guidance, in Consensus-Based Sediment Quality Guidelines, J. Dovle, Editor. Department of Natural Resources: Wisconsin. 40.

CCME. (1995). Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, E.C.G.a.S. Division, Editor. Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines: Ottawa.

Cevik F., Goksu M. Z. L., Derici O. B. and Findik O. (2009). An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses,Environ. Monit. Assess., 152(1-4), 309-317.

EPA. (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. Environmental Protection Agency.

Fortescue J. A. C. (1992). Landscape geochemistry: retrospect and prospect. Appl. Geochem., 7(1), 1-53.

Gharibreza M. and Ashraf M. A. (2014). Applied Limnology. Tokyo, Heidelborg, New York, Dordrecht, London. Springer. 199.

Gharibreza, M., Mahdizadeh, M. and Masoumi H. (2019). Ecological risk assessment of Rozechai River sediments using sediment quality indices. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. P 45 [In Persian].

IWRM. (2011). Division and coding of watersheds and study areas of Iran. Ministry of Energy, Iran Water Recourece Management Co [In Persian].

Júnior J. B. S., Abreu I. M., Oliveira D. A. F., Hadlich G. M. and Albergaria Barbosa A. C. R. (2020). Combining geochemical and chemometric tools to assess the environmental impact of potentially toxic elements in surface sediment samples from an urban river. Mar. Pollut. Bull., 155, 111146.

Kingston H. M. and Jassie L. B. (1998). Introduction to Microwave Sample Preparation Theory and Practice. ACS Professional Reference Book Series. Washington, DC: American Chemical Society.

Liu J., Yin P., Chen B., Gao F., Song H. and Li M. (2016). Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. Mar. Pollut. Bull., 109, 633–639.

Loring D. L., Naes K., Dahle S., Matishov G. G. and Illind D. (1995). Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia. Mar. Geol., 128, 152-167.

Malvandi H. (2017). Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin Gol River sediments, Iran. Mar. Pollut. Bull., 117. 547–553.

Milačič R., Zuliani T., Vidmar J., Bergant M., Kalogianni E., Smeti E., Skoulikidis N. and Ščančar J. (2019). Potentially toxic elements in water, sediments and fish of the Evrotas River under variable water discharges. Sci. Total Environ., 648. 1087–1096.

Miller J. R. (1997). The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. J. Geochem. Explor., 58(2–3), 101-118.

Mirzaee Mahmoodabadi R. (2019). Evaluation of water quality and bed load sediment contamination of Qareaqhaj River to heavy metals, Kahfr Watershed, Fars province. J. Environ. Sci. Stud., 4(3). 1696-1706 [In Persian].

Nasrabadi T., Nabi Bidhendi G., Karbassi A. and Mehrdadi N. (2010). Evaluating the efficiency of sediment metal pollution indices in interpreting the pollution of Haraz River sediments, southern Caspian Sea basin. Environ. Monit. Assess., 171, 395–410.

Persaud D., Jaagumagi R. and Hayton A. (1993). Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario, O. Water Resources Branch, Editor. Ministry of the Environment: Ontario.

Rickwood P. C. (1983). Crustal abundance, distribution, and crystal chemistry of the elements; in Handbook of Exploration Geochemistry. G.J.S. Govett, Editor. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 347-387.

Rudnick R. L. and Gao S. (2014). 4.1 - Composition of the Continental Crust, in Treatise on Geochemistry (Second Edition), H.D. Holland and K.K. Turekian, Editors. Elsevier: Oxford. p. 1-51.

Suresh G., Sutharsan P., Ramasamy V. and Venkatachalapathy R. (2012). Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. Ecotoxicol. Environ. Saf., 84, 1–8.

Sutherland R. A. and Tolosa C. A. (2000). Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. Environ. Pollut., 110, 483-495.

Taylor S. R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim. Cosmochim. Act., 28(8), 1273-1285.

Unlu S., Topcuoglu S., Alpar B., Kirbasoglu C., Yilmaz Y. Z. (2008). Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik, Environ. Monit. Assess., 144(1-3), 169–178.

Ustaoğlu F. and Islam S. (2020). Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. Ecol. Indicat. 113, 106237.

Walkley A. and Black I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci., 37(1), 29-38.

Wernimont G.T. and Spendley W. (1985). Use of Statistics to Develop and Evaluate Analytical Methods, in AOAC Int. Arlington, VA.

Assessing the Quality of Surface Sediments in the Tajan River and Determining the Level of Ecological Pollution

Mohammadreza Gharibreza[1], Hamidreza Masoumi[2*], Behnoush Jafari Gorzin[3], Hosein Rahimzadeh[4], Nezam Asgharipour Dashtbozorg[5]

[1]Assist. Professor, Research Department of River and Shore Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[2]Assist. Professor, Department of Geology, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran
[3]Research Lecturer, Department of Watershed Management Research, Agricultural Research, Education and Natural Resources of Mazandaran Province, Sari, Iran
[4]Research Expert, Department of Watershed Management Research, Agricultural Research, Education and Natural Resources of Mazandaran Province, Sari, Iran
[5]Research Expert, Research Department of River and Shore Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

*Corresponding author: h.masoumi@iauba.ac.ir

Original Paper
Received: August 04, 2020 **Revised:** October 26, 2020 **Accepted:** October 31, 2020

Abstract
Rivers, as the living artery of the watershed, have caused its life and have long determined the extent and establishment of civilizations, especially in the coastal plains. The Tajan River in the coastal plain of Sari has been directly polluted by water and sediment resources as a result of industrialization, agricultural development, and towns, and villages. The aim of this study was to determine the quality of surface sediments of Tajan River in the city to sea range based on the concentration of toxic elements As, Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn and to detect the level of pollution caused by them. The sampling strategy was designed to collect 25 surface sediment samples based on the distribution of point and non-point pollution sources and river morphology. Samples were conditioned and concentration of toxic elements and sulfur were measured using ICP-MS at dry weight with accuracy of mg/kg and percentage of total organic carbon. Using enrichment factor and sediment quality standards (ISQGs, PEL, SEL), the level of contamination caused by toxic elements was detected. The results well identified the polluted and clean ranges of the Tajan River. Accordingly, the southeast and downstream of the urban area of Sari were polluted by the toxic metal of As and upstream of the urban area, and adjacent to the effluent of industrial estates to the river were contaminated considerably by the toxic metal of chromium. Finally, superficial sediments of the Tajan River along the studied range were polluted significantly by the toxic metal of Ni at a risky level. Also, Pb enrichment was proven in the downstream sediments of the urban area due to fossil fuels. The research results emphasize the effect of urban-rural pollution (surface water drainage, construction waste and rubbish), industrial and agricultural effluents and sand mines on the pollution of water resources and sediment of Tajan River.

Keywords: Ecological Pollutants; Enrichment; Surface Sediments; Tajan River; Toxic Elements.