

# اثر فعالیت های انسانی بر تجمع فلزات سنگین در آب رودخانه تجن در استان مازندران

دکتر محسن سعیدی<sup>۱\*</sup>، دکتر عبدالرضا کرباسی<sup>۲</sup>  
دکتر غلامرضا نبی بیدهندی<sup>۳</sup>، دکتر ناصر مهردادی<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- عضو هیات علمی دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۳- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۴- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۶/۲۲، تاریخ تصویب: ۱۳۸۵/۵/۲۳)

## چکیده

غلظت فلزات سنگین در رودخانه تجن استان مازندران در بازده ایستگاه و در قسمت های مختلف حوزه و پایین دست منابع آلودگی در طول سال ۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. میانگین غلظت کادمیم، مس، منگنز، نیکل، سرب، روی، کبالت و آهن در ایستگاه های مختلف رودخانه در فصل زمستان به ترتیب ۹/۷، ۴/۵، ۲۸/۵، ۱۰/۹، ۲۰/۳، ۴۹/۸، ۲۳/۱، ۳۹/۱/۵، بهار ۱۲/۱، ۵/۸، ۳۵، ۱۳/۲، ۲۴/۹، ۶۲/۸، ۲۷/۹، ۴۶۵، تابستان ۸۰/۳، ۲۹/۳، ۷۴/۵، ۲۸/۵، ۵۸/۵، ۶۶/۷، ۲۲/۱، ۱۷۶۷/۷ و پاییز ۶۲/۵، ۲۴/۹، ۶۳/۱، ۲۲/۳، ۴۱/۳، ۵۸/۶، ۲۲/۹ و ۹۸۵/۷ میکروگرم در مترمکعب اندازه گیری شد. میانگین غلظت های فلزات کادمیم، نیکل و سرب در رودخانه بخصوص در فصول تابستان و پاییز از حد اکثر غلظت قابل قبول آژانس حفاظت محیط زیست امریکا و توصیه شده سازمان بهداشت جهانی و در آب آشامیدنی به طور چشمگیری بالاتر است. نتایج همچنین نشان داد که غلظت تمامی فلزات بجز کبالت در رودخانه در فصول کم آبی بویژه تابستان، بیش از سایر فصول است. ترتیب بزرگی غلظت فلزات در رودخانه در فصول سال به این شکل است: زمستان، بهار، پاییز، تابستان. اثر آلاینده های منابع آلودگی اصلی رودخانه از جمله شهر ساری و کارخانه چوب و کاغذ مازندران بخصوص در فصول کم آبی بر بالا رفتن غلظت آلودگی در رودخانه ردیابی شد.

## کلید واژه

آلودگی، فلزات سنگین، رودخانه تجن، استان مازندران

## سر آغاز

رودخانه تجن از مهمترین رودخانه‌های استان مازندران بوده و با سرچشمه گرفتن از ارتفاعات شمالی البرز شرقی و مرکزی و عبور از مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل‌های در حال کاهش، وارد مناطق هموارتر شده و و پس از عبور از شهر ساری و گذر از جلگه کاملاً هموار وارد دریای خزر می‌شود. رودخانه دارای آب دائمی بوده و کیفیت آن برای فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی مناسب است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۷۹). میانگین آب ورودی از طریق رود تجن به دریای خزر در حدود ۱۹/۴ مترمکعب در ثانیه گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۷۹). زمین‌شناسی حوزه رودخانه بیشتر متشکل از انواع تشکیلات و رسوبات آهکی، سنگ آهکی، شیلی و ماسه سنگی بوده و این بر کیفیت آب رودخانه مؤثر خواهد بود (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۶۹). در مناطق جنوبی و شرقی حوزه فرسایش خاک به نسبت شدید است (مهندسان مشاور خزر، ۱۳۷۷). انواع فعالیت‌های کشاورزی تقریباً در تمامی سطوح حوزه هر جا که شرایط طبیعی شیب و خاک زمین اجازه داده باشد، وجود دارد. مراکز جمعیتی و به خصوص شهر ساری در مجاورت رودخانه قرار دارند. همچنین در فصول بهار و تابستان بر جمعیت ساکن حوزه به دلیل فعالیت‌های گردشگری و تفریح افزوده می‌شود. انواع فعالیت‌های صنعتی و کارخانه‌های کوچک و کارخانه بزرگ چوب و کاغذ مازندران در حوزه رود تجن وجود داشته و صنایع وابسته به صنعت گردشگری از جمله هتلداری و سایر صنایع خدماتی نیز در سطح حوزه کم و بیش فعالند. مجموع عوامل فوق از یک طرف باعث ایجاد فشار و تخریب منابع زیست محیطی حوزه به خصوص جنگل‌ها و فرسایش خاک گردیده و از طرفی باعث ورود انواع آلاینده‌ها اعم از آلاینده‌های آلی فسادپذیر و غیرقابل تجزیه، سموم، مواد مغذی و فلزات سنگین به درون رودخانه تجن و در نهایت ورود به دریای خزر می‌شود. بنابراین منابع آلاینده انسانی زیادی در حوزه رودخانه تجن وجود دارد که باعث افزایش احتمال ورود عناصر سنگین به این رودخانه می‌شود. مطالعات زیادی در مورد عناصر سنگین در آب، ذرات معلق و رسوبات رودخانه‌ها به انجام رسیده است (Forstner & Muller, 1973; Grieve & Fletcher, 1976; Duinker et al., 1980; Forstner, 1980; Sigleo & Helz, 1981; Forstner, et al., 1982; Karbassi, 1989; Malle, 1990, Forstner et al., 1990; Stone & Dropp, 1996; Neumann & Leipe, 1998; Zhang et al., 1998; Winkles et al., 1998 and Klavins et al., 2000)

همچنین برای انجام محاسبات نرخ بار ورودی فلزات سنگین از طریق رودخانه به محیط‌های دریایی و دریاچه‌ها و انجام محاسبات موازنه

جرمی فلزات سنگین در محیط‌های دریایی، یکی از اجزای مهم که در محاسبات وارد می‌گردد مقدار عناصر سنگین ورودی از طریق آب، ذرات معلق رودخانه و مقادیر عناصر انباشته شونده در رسوبات بستر دریا و رودخانه است. (Chapman, 1992) در این راستا برای بررسی وضعیت آلودگی رودخانه و شناخت اثر منابع آلاینده بر آن، میزان فلزات سنگین در رودخانه در ایستگاه‌های مختلف از بالادست تا نزدیک محل ورود به دریای خزر در طول یک سال مورد بررسی قرار گرفت.

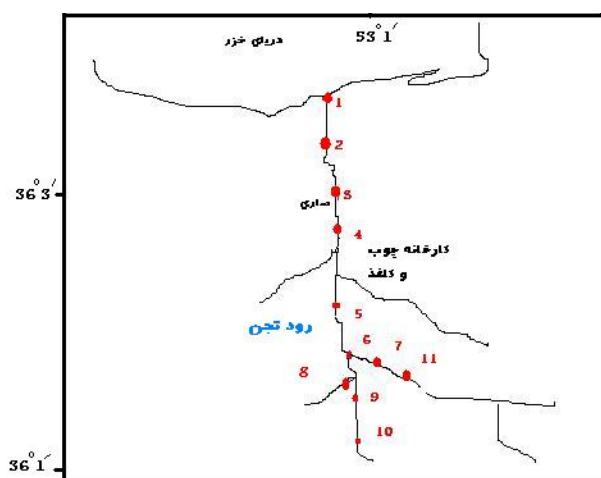
## روش کار

برای انجام نمونه‌برداری ابتدا نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی منطقه و راه‌های دسترسی آن تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن بازدیدهایی از حوزه آبریز تجن از مناطق کوهستانی تا مصب رودخانه انجام گرفت و با توجه به شرایط طبیعی و امکان دسترسی به رودخانه و در نظر داشتن عوارض طبیعی و انسانی، از جمله شاخه‌های فرعی رودخانه تغییر ساختارهای زمین‌شناسی و منابع آلودگی (از جمله کارخانه چوب کاغذ و شهرسازی)، ایستگاه‌هایی برای نمونه‌برداری از آب رودخانه انتخاب گردید. نمونه‌های آب رودخانه از یازده نقطه در طول رودخانه اصلی و دو شاخه فرعی نزدیک به محور مرکز رود و از عمق بیست سانتی متری زیر سطح آب، در ظروف پلی اتیلنی سفید برداشت شد (شکل شماره ۱) و پس از فیلتراسیون و افزودن اسید (تا pH کمتر از دو)، به آزمایشگاه منتقل و غلظت فلزات در آنها به وسیله روش جذب اتمی با کوره گرافیت و بر اساس روش آژانس محیط زیست آمریکا اندازه‌گیری شد (U.S.EPA, 1991). اندازه‌گیری فلزات در نمونه‌های آب در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان انجام شد. نمونه‌ها در هر یک از فصول سال ۱۳۸۰ در طول دو هفته و به طور روزانه برداشت و میانگین نتایج آنها به عنوان نتایج هر فصل در نظر گرفته شد. برای اطمینان از نتایج، همچنین نمونه مرکب از نمونه‌های دو هفته‌ای تهیه و نتایج غلظت فلزات در آن با میانگین نتایج روزانه مقایسه شد که تطابق خوبی مشاهده شد. (نمونه‌های بهار در نیمه اول اردیبهشت، تابستان در نیمه اول شهریور، پاییز در نیمه دوم آبان و زمستان در نیمه اول اسفندماه برداشت شد). شایان ذکر است که از ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ایستگاه شماره ۱ در مصب رودخانه، ایستگاه ۲ در منطقه روستای پنبه چوله بین شهر ساری و ساحل فرح آباد، ایستگاه ۳ زیر پل تجن درست در نقطه‌ای که رودخانه از شهر ساری عبور می‌کند، ایستگاه ۴ نزدیک کارخانه شن و ماسه پایین دست کارخانه چوب و کاغذ مازندران و ایستگاه ۵ بالادست کارخانه چوب و کاغذ در نظر گرفته شد.

برای اطمینان بیشتر از صحت نتایج، نمونه‌های شاهد، بدل<sup>(۱)</sup> و نمونه‌های استاندارد با روش مشابه نمونه‌ها آزمایش شد و در محاسبات نتایج به کار گرفته شد. خطای اندازه‌گیری‌ها کمتر از ۶ درصد است.

**نتایج و بحث**

بشدت افزایش می یابد. اثر کادمیم ورودی از شاخه لاجیم اگرچه در این فصل کمتر است اما هنوز مشاهده می شود، بدین معنی که غلظت کادمیم پس از ورود شاخه لاجیم به رودخانه به طور چشمگیری افزایش می یابد. در فصل تابستان نیز غلظت و تغییرات آن تا حدی نزدیک به فصل بهار می باشد اما غلظت کادمیم در زمستان در رودخانه حتی کمتر از فصل بهار است و این می تواند به دلیل بارندگی و افزایش دبی رودخانه، افزایش بار معلق و در نتیجه جذب کادمیم و عدم کاربرد کود و سموم در این فصل نسبت به فصل بهار در سطح حوزه آبریز باشد. به طور کلی در تمامی فصول با عبور رودخانه از نزدیکی کارخانه چوب و کاغذ و بویژه عبور از شهر ساری، غلظت کادمیم در آب افزایش می یابد.



شکل شماره (۱): نقاط نمونه برداری از آب رودخانه تجن

جداول ۱ تا ۴ بیانگر نتایج میزان غلظت فلزات در رودخانه در ایستگاه های مختلف در چهار فصل سال می باشد. همچنین شکل شماره (۲) نشان دهنده تفاوت غلظت عناصر در نقاط مختلف رودخانه در فصول مختلف سال است. با توجه به جداول و شکل شماره (۲) در مورد فلزات در آب رودخانه می توان به نتایج زیر دست یافت:

- کادمیم (Cd)

غلظت کادمیم در رودخانه در فصول مختلف بسیار متغیر است. در فصل بهار حداکثر و حداقل غلظت کادمیم به ترتیب ۶ و ۲۳ میکروگرم در مترمکعب می باشد. بیشترین غلظت در ایستگاه ۸ یعنی شاخه فرعی رودخانه لاجیم مشاهده گردید. همچنین غلظت کادمیم در مصب، ۱۵ میکروگرم در متر مکعب بوده که از ایستگاه قبل از مصب مقدار ۵ میکروگرم در متر مکعب کمتر است. به طور کلی، جز در شاخه فرعی لاجیم، غلظت کادمیم در آب، به سمت پایین دست رودخانه افزایش می یابد. در فصل تابستان غلظت کادمیم در آب بشدت افزایش می یابد و بیشترین غلظت در مصب رودخانه و ایستگاه های شماره ۵ و ۴ و ۳ (بالا تر از ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب) مشاهده می شود که متأثر از کارخانه چوب و کاغذ مازندران و شهر ساری هستند. با توجه به اینکه در فصل تابستان دبی رودخانه بشدت کاهش می یابد و ورودی رواناب های سطحی حوزه و بار معلق به رودخانه نیز کاهش می یابد، غلظت کادمیم ورودی به رودخانه با توجه به کاهش دبی، به صورت آلودگی از شهر و کارخانه ها افزایش یافته و در عین حال به علت کاهش بار معلق، میزان جذب آن از فاز محلول به فاز غیر محلول نیز کاهش می یابد. در نتیجه در فصول تابستان و اوایل پاییز (فصل کم آبی) غلظت فلز کادمیم در رودخانه

جدول شماره (۱): غلظت فلزات در ایستگاه های مختلف در رودخانه تجن در فصل زمستان ۱۳۸۰ (µg/m<sup>3</sup>)

ایستگاه	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Co	F
۱	۱۲	۱۴	۴۵	۱۶	۳۳	۲۹	۳۶	۳۸۹
۲	۱۸	۱۳	۲۱	۱۲	۱۶	۸۹	۴۵	۴۱۱
۳	۸	۴	۲۶	۱۵	۵	۲۸	۱۹	۲۵۶
۴	۱۰	۴	۳۷	۱۹	۹	۱۰۹	۲۱	۵۵۵
۵	۱۱	۲	۲۲	۱۳	۱۶	۱۸	۲۶	۱۸۶
۶	۵	۲	۲۴	۹	۷	۲۶	۲۷	۳۶۹
۷	۹	۱	۴۱	۹	۱۶	۲۴	۱۹	۵۴۱
۸	۱۸	۴	۴۵	۶	۹۱	۱۲۶	۲۲	۳۸۹
۹	۵	۱	۲۲	۱۰	۶	۵۴	۱۲	۳۶۹
۱۰	۴	۳	۱۸	۶	۱۳	۱۸	۱۳	۲۴۴
۱۱	۷	۲	۱۲	۵	۱۱	۲۰	۱۴	۵۹۸
حداقل	۴	۱	۱۲	۵	۵	۱۸	۱۲	۱۸۶
حداکثر	۱۸	۱۴	۴۵	۱۹	۹۱	۱۲۶	۴۵	۵۹۸
میانگین	۹/۷	۴/۵	۲۸/۵	۱۰/۹	۲۰/۳	۴۹/۸	۲۳/۱	۳۹۱/۵
انحراف معیار	۴/۸	۴/۵	۱۱/۵	۴/۵	۲۴/۷	۳۹/۴	۱۰/۱	۱۳۲/۴

**– مس (Cu)**

غلظت عنصر مس نیز در آب رودخانه در فصل تابستان و پاییز افزایش و در زمستان و بهار کاهش می‌یابد که دلیل اصلی آن می‌تواند افزایش دبی، افزایش بار معلق رسوبی و جذب فلزات از فاز محلول باشد. تفاوت غلظت‌ها در تابستان نسبت به پاییز و در بهار نسبت به زمستان می‌تواند به دلیل عدم کاربرد یا استفاده کمتر کود و سموم در پاییز نسبت به تابستان و در زمستان نسبت به بهار باشد. به طور کلی غلظت مس در طول رودخانه از مصب، به سمت بالادست کاهش می‌یابد. این الگو در ایستگاه‌های شماره ۴ (پایین دست صنایع چوب و کاغذ مازندران)، ایستگاه ۳ (پل تجن در جوار شهر ساری) و ایستگاه ۸ (شاخه فرعی لاجیم) متفاوت به نظر می‌رسد که در موارد اول و دوم می‌تواند به دلیل پساب‌ها و آلودگی‌های ناشی از کارخانه و شهر ساری و در مورد شاخه لاجیم احتمال وجود منبعی طبیعی نظیر زمین‌شناسی و فرسایش زیاد در زیر حوزه این رودخانه باشد. این فرضیه با توجه به اینکه افزایش غلظت فلزات در این ایستگاه در فصول پر آبی (بهار و زمستان) شدیدتر است، تأیید می‌شود و به نظر می‌رسد که در فصول بارندگی فرسایش شدید در این حوزه باعث انحلال و انتقال فلزات سنگین به صورت محلول در طول رودخانه و ورود به رودخانه تجن می‌گردد. محدوده غلظت مس در آب رودخانه در فصول مختلف به این ترتیب است:

بهار:  $2-17 \mu\text{g}/\text{m}^3$       تابستان:  $21-61 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
پاییز:  $16-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$       زمستان:  $1-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**– منگنز (Mn)**

محدوده غلظت منگنز در طول رودخانه در فصول مختلف سال به این ترتیب است:

بهار:  $20-53 \mu\text{g}/\text{m}^3$       تابستان:  $11-182 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
پاییز:  $10-145 \mu\text{g}/\text{m}^3$       زمستان:  $12-45 \mu\text{g}/\text{m}^3$

الگوی تغییرات منگنز در طول رودخانه چندان منظم نیست. به طور کلی می‌توان گفت غلظت منگنز به سمت بالا دست حوزه کاهش می‌یابد. اما همانند عنصر مس، افزایش ناگهانی غلظت منگنز در رودخانه در ایستگاه شماره (۳) (به خصوص در تابستان و پاییز) نشان دهنده اثر شهر ساری بر کیفیت آب رودخانه است. در ایستگاه ۸ (شاخه فرعی لاجیم) و تا حدی

ایستگاه شماره (۴) (پایین دست کارخانه چوب و کاغذ) نیز افزایش غلظت منگنز مشاهده می‌شود که اثر زیر حوزه شاخه فرعی لاجیم و پساب کارخانه چوب و کاغذ ممکن است از دلایل اصلی این موضوع باشد.

**– نیکل (Ni)**

طیف غلظت عنصر نیکل در فصول مختلف در آب رودخانه به این ترتیب است:

بهار:  $6-23 \mu\text{g}/\text{m}^3$       تابستان:  $16-86 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
پاییز:  $12-71 \mu\text{g}/\text{m}^3$       زمستان:  $5-19 \mu\text{g}/\text{m}^3$

غلظت نیکل در رودخانه به سمت دریا به طور چشمگیری افزایش می‌یابد که اثر آلاینده‌ی کارخانه چوب و کاغذ مازندران و شهر ساری را نشان می‌دهد. افزایش غلظت نیکل در شاخه فرعی لاجیم بشدت سایر عناصر مشاهده نمی‌شود و می‌توان گفت که عنصر نیکل منشاء زمین‌ساختی از زیر حوزه شاخه لاجیم ندارد. همانند سایر فلزات در فصول تابستان و پاییز، غلظت نیکل در آب رودخانه بویژه در مناطق پایین دست افزایش می‌یابد. این افزایش به خصوص در فصول تابستان و پاییز در نزدیکی مصب رودخانه به طور چشمگیری مشاهده می‌شود.

**– سرب (Pb)**

طیف غلظت سرب در آب رودخانه در فصول مختلف به این ترتیب است:

بهار:  $7-111 \mu\text{g}/\text{m}^3$       تابستان:  $27-244 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
پاییز:  $19-166 \mu\text{g}/\text{m}^3$       زمستان:  $5-91 \mu\text{g}/\text{m}^3$

به طور کلی غلظت سرب نیز در رودخانه در فصول تابستان و پاییز بیشتر از زمستان و بهار است. غلظت عنصر سرب در طول رودخانه به خصوص در شاخه فرعی لاجیم افزایش شدیدی نشان می‌دهد. همچنین غلظت سرب در تمام سال در نزدیکی مصب رودخانه نسبت به ایستگاه پیش از آن افزایش دارد. در فصل تابستان و پاییز در پایین دست کارخانه چوب و کاغذ نیز افزایش غلظت سرب در آب رودخانه مشاهده می‌شود. افزایش شدید غلظت سرب در شاخه لاجیم نسبت به سایر نقاط رودخانه و حتی نسبت به سایر عناصر نشان می‌دهد که منشأ ورود فلزات به رودخانه لاجیم از زیر حوزه بیشتر شامل عنصر روی و سرب است. و سایر فلزات به عنوان فلزات فرعی نسبت به سرب از این منبع وارد رودخانه می‌شود.

جدول شماره (۲): غلظت فلزات در ایستگاههای مختلف در آب رودخانه تجن در فصل بهار ۱۳۸۰ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

ایستگاه	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Co	Fe
۱	۱۵	۱۷	۵۳	۱۸	۳۸	۳۴	۴۸	۴۲۸
۲	۲۰	۱۷	۲۸	۱۵	۲۰	۱۰۴	۵۱	۵۲۹
۳	۱۰	۵	۲۳	۲۰	۶	۴۲	۲۲	۳۴۱
۴	۱۲	۶	۴۸	۲۳	۱۲	۱۳۶	۲۵	۶۵۴
۵	۱۴	۲	۳۰	۱۵	۲۴	۲۲	۲۹	۱۹۹
۶	۶	۳	۳۰	۱۱	۸	۳۱	۳۰	۴۱۸
۷	۱۱	۲	۴۸	۱۰	۱۸	۳۳	۲۵	۶۸۰
۸	۲۳	۵	۵۱	۷	۱۱۱	۱۷۵	۳۰	۴۴۶
۹	۸	۲	۳۰	۱۲	۷	۶۹	۱۵	۴۰۰
۱۰	۶	۲	۲۵	۸	۱۶	۲۱	۱۵	۳۱۰
۱۱	۸	۳	۲۰	۶	۱۴	۲۴	۱۷	۷۱۰
حداقل	۶	۲	۲۰	۶	۶	۲۱	۱۵	۱۹۹
حداکثر	۲۳	۱۷	۵۳	۲۳	۱۱۱	۱۷۵	۵۱	۷۱۰
میانگین	۱۲/۱	۵/۸	۳۵	۱۳/۱۸	۲۴/۹	۶۲/۸	۲۷/۹	۴۶۵
انحراف معیار	۵/۵	۵/۷	۱۲/۳	۵/۵	۲۹/۹	۵۲/۶	۱۲	۱۶۲/۶

**- روی (Zn)**

محدوده غلظت روی در آب رودخانه در فصول مختلف به این ترتیب

است:

بهار:  $21-175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، تابستان:  $32-106 \mu\text{g}/\text{m}^3$

پاییز:  $33-96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، زمستان:  $18-126 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**- کبالت (Co)**

طیف غلظت کبالت در آب رودخانه در فصول مختلف سال به این

شرح است:

بهار:  $15-51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، تابستان:  $17-28 \mu\text{g}/\text{m}^3$

پاییز:  $18-32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، زمستان:  $12-45 \mu\text{g}/\text{m}^3$

تغییرات غلظت کبالت در طول رودخانه نوساناتی بشدت سایر عناصر از جمله سرب و روی ندارد. علاوه بر آن بر خلاف سایر عناصر غلظت کبالت در رودخانه در فصول کم آب و پر آب تفاوت عمده نداشته و حتی در فصول پر آب در برخی ایستگاهها بیشتر از فصول کم آب است که نشان دهنده این واقعیت است که منشاء کبالت بیشتر از زمین شناسی و خاک حوزه است و به وسیله فرسایش خاک و انحلال بستر وارد آب رودخانه می گردد و منشاء آلودگی برای آن چندان متصور نیست. این فرضیه را عدم افزایش جدی غلظت کبالت در ایستگاههای شاخص نشان دهنده اثر آلودگی (ایستگاه ۳ شهر ساری، ایستگاه ۴ پایین دست کارخانه چوب و کاغذ) تأیید می کند.

غلظت روی در طول رودخانه دارای نوسان است اما به طور مشخص افزایش غلظت این عنصر در ایستگاه شماره (۳) در فصول کم آبی (تابستان و بهار) و ایستگاه ۴ در کلیه فصول بخصوص فصول پرآبی قابل مشاهده است که نشان دهنده اثر شهر ساری و کارخانه چوب و کاغذ مازندران است. ایستگاه ۸ در فصول زمستان و بهار بشدت و در فصول تابستان و پاییز با شدت کمتری افزایش غلظت روی را در آب نشان می دهد که نشان دهنده منشأ ورود این عنصر از زیر حوزه شاخه فرعی لاجیم، بخصوص در فصول پر باران است که احتمال حمل آن از سطح حوزه به وسیله رواناب ها و انحلال آن را در آب بشدت تقویت می کند.

جدول شماره (۳): غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف در آب رودخانه تجن در فصل تابستان ۱۳۸۰ (µg/m<sup>3</sup>)

ایستگاه	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Co	Fe
۱	۱۰۶	۲۶	۶۱	۸۶	۵۶	۷۹	۲۷	۸۰۶
۲	۹۱	۲۳	۷۱	۱۶	۳۵	۳۷	۲۴	۲۱۳۰
۳	۱۰۲	۴۵	۱۸۲	۳۴	۳۹	۱۰۵	۲۱	۳۸۳۰
۴	۱۰۰	۶۱	۱۰۲	۴۳	۵۱	۸۲	۲۰	۲۰۶۶
۵	۱۱۲	۲۲	۴۴	۲۲	۴۲	۴۷	۲۵	۸۳۳
۶	۹۲	۲۵	۵۴	۱۳	۴۰	۵۸	۱۹	۲۰۱۰
۷	۹۰	۱۹	۷۳	۱۹	۴۶	۴۵	۲۶	۲۶۵۰
۸	۹۳	۳۰	۹۴	۲۱	۲۴۴	۱۰۶	۲۸	۲۱۷۰
۹	۴۱	۲۱	۱۱	۱۷	۲۷	۱۰۲	۱۷	۶۳۷
۱۰	۲۵	۲۴	۸۵	۲۵	۳۲	۳۲	۱۷	۴۸۲
۱۱	۳۲	۳۱	۴۲	۱۸	۳۲	۴۱	۱۹	۱۸۳۱
حداقل	۲۵	۱۹	۱۱	۱۳	۲۷	۳۲	۱۷	۴۸۲
حداکثر	۱۱۲	۶۱	۱۸۲	۸۶	۲۴۴	۱۰۶	۲۸	۳۸۳۰
میانگین	۸۰/۳	۲۹/۷	۷۴/۵	۲۸/۵	۵۸/۵	۶۶/۷	۲۲/۱	۱۷۶۷/۷
انحراف معیار	۳۱/۵	۱۲/۵	۴۴/۱	۲۰/۹	۶۲/۱	۲۸/۸	۴	۱۰۱۰/۲

### - آهن (Fe)

محدوده غلظت آهن در آب رودخانه در فصول مختلف به این ترتیب است:

بهار: ۷۱۰-۱۹۹ µg/m<sup>3</sup>، تابستان: ۳۸۳۰-۴۸۲ µg/m<sup>3</sup>  
 پاییز: ۲۱۸۰-۳۱۲ µg/m<sup>3</sup>، زمستان: ۵۹۸-۱۸۶ µg/m<sup>3</sup>

به طور کلی میزان غلظت آهن در رودخانه در فصول تابستان و پاییز (فصل کم آبی) بیشتر از فصول زمستان و بهار است. غلظت آهن در طول رودخانه در نقاط مختلف نوسان داشته و در فصول کم آبی در نزدیکی شهر ساری بشدت افزایش می‌یابد و در تمامی فصول در پایین دست کارخانه چوب و کاغذ نیز افزایش نشان می‌دهد. به طور کلی نمی‌توان گفت غلظت آهن در طول رودخانه از مصب تا بالا دست کاهش می‌یابد بلکه حتی در نقاطی از بالا دست رودخانه غلظت آهن در آب بیشتر از مقادیر پایین دست است.

شکل شماره (۲) نشان دهنده تفاوت غلظت عناصر در نقاط مختلف آب رودخانه در فصول مختلف سال است. به طور کلی به روشنی مشاهده

می‌شود که غلظت تمامی فلزات به جز کبالت در فصول کم آبی بویژه تابستان، بیش از سایر فصول است. در این مورد می‌توان گفت ترتیب بزرگی غلظت فلزات در آب رودخانه در فصول سال به این شکل است: زمستان، بهار، پاییز، تابستان. وقوع حداکثر غلظت در فصل تابستان می‌تواند به دلیل کاهش شدید دبی آب رودخانه و ورود انواع آلاینده‌ها و رواناب‌ها و زهاب‌های کشاورزی به رودخانه و استفاده از کود و سموم مختلف در حوزه باشد که در فصل پاییز با وجود عدم افزایش قابل توجه دبی به دلیل کاهش مصرف سموم و کود و فعالیت‌های کشاورزی از بار آلودگی تا حدی کاسته می‌شود. در فصول بهار و زمستان به دلیل افزایش دبی و افزایش بار مواد معلق رسوبی در رودخانه و جذب این فلزات از فاز محلول غلظت فلزات در آب به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد. بزرگ‌تر بودن غلظت فلزات در بهار نسبت به زمستان می‌تواند به دلیل آغاز مصرف سموم و کود در سطح حوزه باشد. عدم تبعیت عنصر کبالت از این الگو نشان می‌دهد که کبالت در آب رودخانه منشأ انسان ساخت نداشته و ورود آن بیشتر به صورت نامحلول به همراه خاک و رسوبات در اثر فرسایش از سطح حوزه در فصول زمستان و بهار و سپس انحلال نسبی آن در آب است.

جدول شماره (۴): غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف در آب رودخانه تجن در فصل پاییز ۱۳۸۰ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

ایستگاه	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Co	Fe
۱	۸۳	۲۳	۵۳	۷۱	۴۲	۷۱	۳۲	۶۰۸
۲	۷۰	۲۰	۶۱	۱۵	۲۴	۳۳	۲۵	۱۱۴۰
۳	۸۱	۳۸	۱۴۵	۲۵	۲۸	۹۶	۲۲	۲۱۸۰
۴	۷۵	۵۱	۸۸	۳۳	۳۶	۷۷	۲۳	۱۲۳۰
۵	۹۱	۱۷	۳۷	۱۷	۳۳	۴۱	۲۴	۵۳۳
۶	۷۱	۲۳	۴۵	۱۱	۳۱	۴۹	۲۱	۱۱۱۲
۷	۶۹	۱۶	۶۷	۱۷	۳۶	۳۸	۲۵	۱۰۸۹
۸	۷۶	۲۴	۸۱	۱۵	۱۶۶	۸۸	۲۲	۱۲۷۰
۹	۳۱	۱۷	۱۰	۱۵	۱۹	۹۱	۱۸	۴۲۸
۱۰	۱۹	۲۰	۷۰	۱۴	۲۱	۲۷	۱۹	۳۲۱
۱۱	۲۲	۲۵	۳۷	۱۲	۱۹	۳۴	۲۱	۹۳۲
حداقل	۱۹	۱۶	۱۰	۱۱	۱۹	۲۷	۱۸	۳۲۱
حداکثر	۸۳	۵۱	۱۴۵	۷۱	۱۶۶	۹۶	۳۲	۲۱۸۰
میانگین	۶۲/۵	۲۴/۹	۶۳/۱	۲۲/۳	۴۱/۳	۵۸/۶	۲۲/۹	۹۸۵/۷
انحراف معیار	۲۵/۷	۱۰/۵	۳۵/۱	۱۷/۳	۴۲	۲۶/۲	۳/۷	۵۲۱/۶

**نتیجه گیری**

غلظت فلزات سنگین در رودخانه تجن استان مازندران در یازده ایستگاه در طول رودخانه و پایین دست منابع آلودگی در طول سال ۱۳۸۰ نمونه برداری و بررسی شد. محدوده غلظت فلزات مختلف در آب رودخانه در فصول مختلف سال به ترتیب زیر به دست آمد:

**مس:**

بهار:  $۲-۱۷ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۲۱-۶۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۱۶-۵۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۱-۱۴ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**منگنز:**

بهار:  $۲۰-۵۳ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۱۱-۸۲ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۱۰-۱۴۵ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۱۲-۴۵ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**نیکل:**

بهار:  $۶-۲۳ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۱۶-۸۶ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۱۲-۷۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۵-۱۹ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**سرب:**

بهار:  $۷-۱۱۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۲۷-۲۴۴ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۱۹-۱۶۶ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۵-۹۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**روی:**

بهار:  $۲۱-۱۷۵ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۳۲-۱۰۶ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۳۳-۹۶ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۸-۱۲۶ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**کبالت:**

بهار:  $۱۵-۵۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۱۷-۲۸ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۱۸-۳۲ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۱۲-۴۵ \mu\text{g}/\text{m}^3$

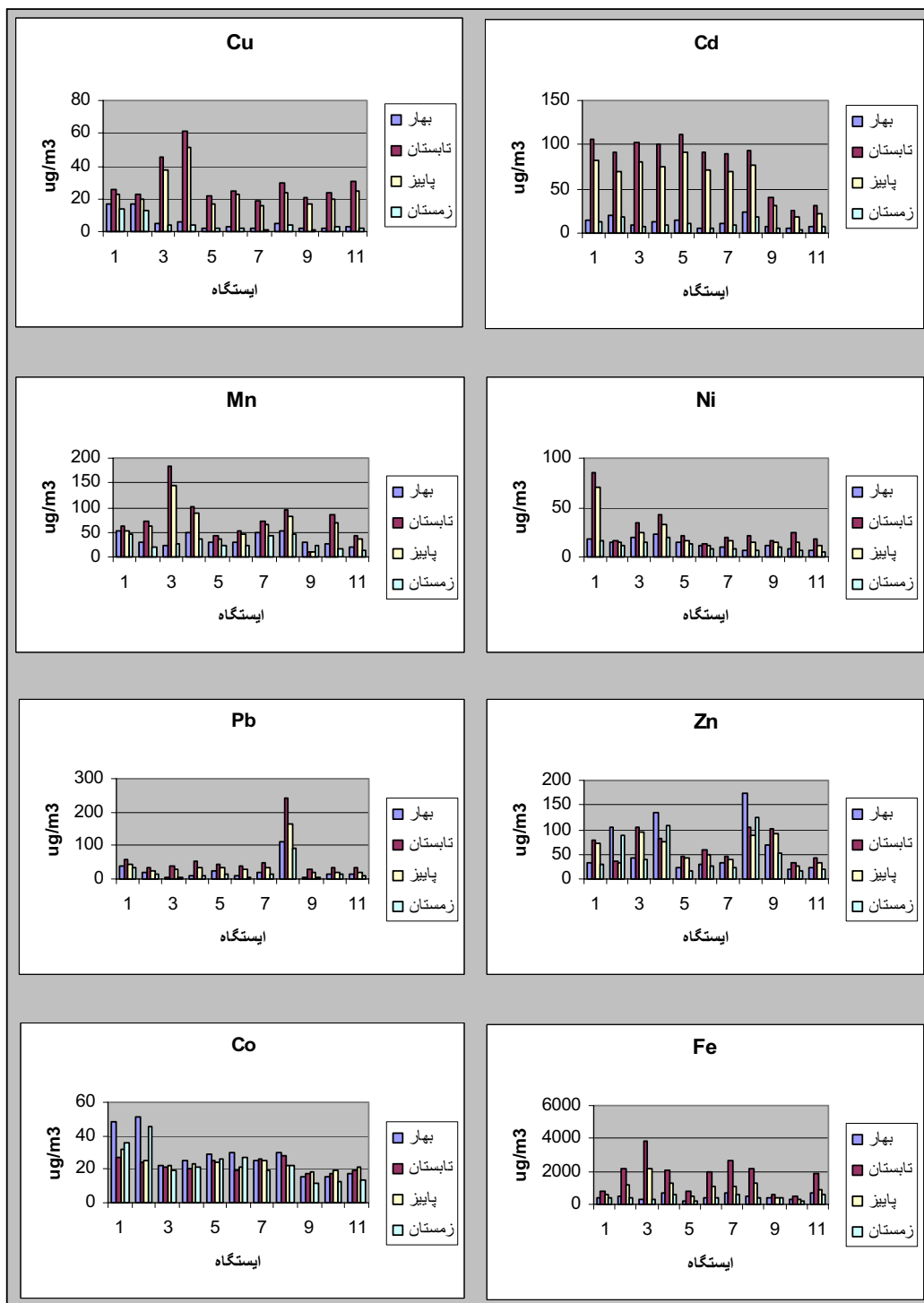
**آهن:**

بهار:  $۱۹۹-۷۱۰ \mu\text{g}/\text{m}^3$  تابستان:  $۴۸۲-۳۸۳۰ \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 پاییز:  $۳۱۲-۲۱۸۰ \mu\text{g}/\text{m}^3$  زمستان:  $۱۸۶-۵۹۸ \mu\text{g}/\text{m}^3$

به طور کلی به وضوح مشاهده شد که غلظت تمامی فلزات بجز کبالت در فصول کم آبی به خصوص تابستان، بیش از سایر فصول است. ترتیب بزرگی غلظت فلزات در آب رودخانه در فصول سال به این شکل است: زمستان، بهار، پاییز، تابستان. وقوع حداکثر غلظت در فصل تابستان می تواند به دلیل کاهش شدید دبی آب رودخانه و ورود انواع آلاینده ها و رواناب ها و زهاب های کشاورزی به رودخانه و استفاده از کود و سموم مختلف در حوزه باشد که در فصل پاییز علیرغم عدم افزایش قابل توجه دبی به دلیل کاهش مصرف سموم و کود و فعالیت های کشاورزی از بار آلودگی تا حدی کاسته

صورت نامحلول به همراه خاک و رسوبات و سپس انحلال نسبی آن در آب است. اثر آلاینده‌های منابع آلودگی اصلی رودخانه از جمله شهر ساری و کارخانه چوب و کاغذ مازندران به خصوص در فصول کم آبی بر بالا رفتن غلظت آلودگی در رودخانه ردیابی گردید.

می‌شود. در فصول بهار و زمستان به دلیل افزایش دبی و افزایش بار مواد معلق رسوبی در رودخانه و جذب این فلزات از فاز محلول غلظت فلزات در آب به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد. عدم تبعیت عنصر کبالت از این الگو نشان داد که عنصر نامبرده در آب رودخانه منشاء انسان ساخت نداشته و ورود آن بیشتر در اثر فرسایش از سطح حوزه در فصول زمستان و بهار به



شکل شماره (۲): مقایسه غلظت فلزات در رودخانه تجن در فصول مختلف سال ۱۳۸۰



Forstner, U., Ahlf, W., Calmano, W., and Kersten, M. 1990. Sediment criteria development, in: *Sediments and Environmental Geochemistry*, Heling, D., Rothe, P., Forstner, U. and Stoffers, P., (eds), Springer Verlag, 363 p.

Grieve, D.A., and Fletcher, W.K. 1976. Heavy metals in deltaic sediments of Fraser River, British Columbia, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13:1683-1693.

Karbassi, A.R. 1989. *Geochemical and Magnetic Studies of Marine, Estuarine and Riverine Sediments*, Mangalore University, India. 196 p.

Klavins, M. and et al. 2000. Heavy metals in rivers of Latvia, the *Science of the Total Environment*, 262:175-183.

Malle, K.G. 1990. The pollution of river Rhine with heavy metals, in: *Sediments and Environmental Geochemistry*, Heling et al. (eds), Springer-Verlag, Berlin. 239 p.

Neumann, T., and Leipe, T. 1998. Heavy metals enrichments in surficial sediments in the Older River discharge area: Source or sink for heavy metals?, *Applied Geochemistry*, 13:329-337.

Sigleo, A.C., and Helz, G.R. 1981. Composition of estuarine colloidal material: major & trace elements, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45:2501-2507.

Stone, M., and Droppo, I.G. 1996. Distribution of lead, copper and zinc in size-fractionated river bed sediment in two agricultural catchments of southern Ontario, Canada, *Environmental Pollution*, 93 (3): 353-362.

## یادداشت

1- Duplicate

## منابع مورد استفاده

سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۳۶۹. نقشه زمین‌شناسی، ورق ساری.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران. ۱۳۷۹. مطالعات طرح مدیریت زیست محیطی اکوسیستم های آبی در حوزه آبریز رودخانه تجن، بخش اول، جلد اول و دوم.

مهندسان مشاور خزر. ۱۳۷۷. فرسایش خاک در حوزه تجن، گزارش داخلی، تهران-ایران.

Chapman, D. 1992. *Water Quality Assessment*, Chapman & Hall, London.

Duinker, J.C., Hillebrand, M.T.J., and Nolting, R.F. 1980. The river Varde: Processes affecting the behavior of metals and organochlorines during estuarine mixing, *Netherlands Journal of Sea research*, 14 (3/4): 237-267.

Forstner, U., and Muller, G. 1973. Heavy metal accumulation in river sediments: a response to environmental pollution, *Geoforum*, 14:53-61.

Forstner, U. 1980. Inorganic pollutants, particularly heavy metals in estuaries, in: *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*, Olausson, E., and Cato, I., (eds), John Wiley & Sons, 297 p.

Forstner, U., Calmano, W., and Schoer, J. 1982. Heavy metals in bottom sediments and suspended material from the Elbe, Weser and Ems estuaries and from the German Bight (south eastern North Sea), *Thalassia Jugoslavica*, 18: (1-4): 97-122.

Winkles, H.J. and et al. 1998. Geochemistry of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danub delta in comparison with the Rhine delta, *Applied Geochemistry*, 13:581-591.

Zhang, C., Wang, L., Zhang, S., and Li, X. 1998. Geochemistry of rare earth elements in the main stream of the Yangtze River, China, *Applied Geochemistry*, 13:451-462.