

تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود

سید حمیدرضا صادقی*^۱، محبوبه کیانی هرچگانی^۲ و پری سعیدی^۲

چکیده

شناخت دینامیک رسوبات معلق، انتقال، ته‌نشینی و برهم‌کنش آن‌ها با سایر اجزای یک اکوسیستم نقش مهمی در شناخت یک حوزه آبخیز ایفا می‌کند. تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌ها مثل کادمیم، کروم، نیکل و سرب به صورت محلول در آب و جذب شده توسط رسوبات در حوزه آبخیز زاینده‌رود با مساحت ۴۹۴۶/۲۸ کیلومتر مربع انجام گرفت. برای این منظور نمونه‌برداری رسوب معلق از بالادست سد در ایستگاه‌های قلعه شاهرخ و اسکندری و پایین دست سد در ایستگاه پل زمانخان طی فروردین ۱۳۹۱ تا اسفند ۱۳۹۱ به صورت دو بار در ماه از رودخانه زاینده‌رود برداشت شد. نتایج تحقیق نشان دهنده ارتباط بالایی بین غلظت رسوب معلق با کروم موجود در رسوب معلق با ضریب همبستگی بالای ۶۳ و ۵۲ درصد به ترتیب در ایستگاه قلعه شاهرخ و پل زمان خان بود. طبیعی است نتایج حاصل قابلیت استفاده در مدیریت صحیح منابع آبی حوزه آبخیز مورد مطالعه را خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین موجود در آب، فلزات سنگین موجود در رسوب معلق، حوزه آبخیز زاینده‌رود، کیفیت آب

^۱ - استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

^۲ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

*- نویسنده مسئول مقاله: sadeghi@modares.ac.ir

مقدمه

آب مایه حیات است و به همان اندازه که کمیت آن حائز اهمیت است کیفیت آن نیز برای ادامه حیات ضروری است. رسوبات ناشی از فرسایش در حوزه‌های آبخیز رودخانه‌ها، به‌عنوان یک منبع آلوده‌کننده به‌شمار آمده و با انتقال از بالادست به پایین‌دست، باعث کاهش کیفی آب شده و ضمن کاهش شفافیت آب منجر به بالا رفتن مقدار اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آب^۱ شده که میزان آن در ایام مختلف سال متفاوت است (والینگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ارنجید و همکاران، ۲۰۰۷). آلودگی‌ها ممکن است یا به‌صورت محلول یا جذب شده توسط خاک فرسایش یافته (رسوبات معلق)، در رواناب سطحی حمل شوند. رسوبات معلق یک عامل اصلی در چرخه بیولوژیکی و ژئوشیمیایی عناصر و مواد غذایی و آلاینده‌ها در محیط‌های آبی محسوب می‌شوند (هورویتز، ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر نیز آگاهی از اهمیت زیست محیطی انتقال بارهای رسوبی معلق به‌وسیله نهرها و رودخانه‌ها و هم‌چنین شناخت دینامیک رسوبات معلق رشد زیادی نموده که این شامل اهمیت رسوبات معلق در انتقال مواد غذایی و آلودگی‌ها مانند فسفر، آفت‌کش‌ها، فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا می‌باشد (والینگ و مورهد، ۲۰۰۴). از این‌رو بررسی ارتباط بین رسوبات معلق و آلاینده‌های مختلف مورد توجه محقق متعدد قرار گرفته است. به نحوی که والینگ و همکاران (۲۰۰۰) در چهار رودخانه در انگلستان، لهر و همکاران (۲۰۰۲) در رودخانه‌های رین و میسه^۲ در هلند، دزوک و همکاران (۲۰۰۵) در رودخانه پیت^۳ در کانادا، کرولوک و دبوئر (۲۰۰۷) در امریکا به بررسی نقش رسوبات معلق در انتقال آلاینده‌های مختلف پرداختند. هم‌چنین کیانی‌هرچگانی و همکاران (۲۰۱۰) در رودخانه کجور در استان مازندران به بررسی انتقال فلزات سنگین در آب و رسوب معلق پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها بیان‌گر انتقال چندین ده برابری فلزات سنگین همراه رسوبات معلق و نقش حیاتی و بسیار مؤثر رسوبات معلق به‌عنوان بستری جهت حمل آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین بوده

است. در همین راستا صادقی و همکاران (۲۰۱۲) در خروجی حوزه آبخیز جنگلی کجور به بررسی ارتباط رسوبات معلق و فلزات سنگین پرداختند. نتایج آن‌ها ارتباطات مختلف فلزات سنگین با رسوب معلق در شرایط مختلف دبی پایه و در مقیاس رگبار را تأیید کرد. نتایج حاصل از تحقیقات بر الگوی رفتاری متفاوت رسوبات معلق در شرایط مختلف دلالت داشت. بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها در کشورهای مختلف به‌طریق متفاوتی صورت می‌پذیرد. یکی از روش‌های بررسی کیفیت آب، آنالیز آزمایشگاهی می‌باشد. حال آن‌که هزینه و زمان زیاد لازم برای اندازه‌گیری تعداد زیاد متغیرها از مشکلات اصلی این روش محسوب می‌شود (مفتاح‌هلقی، ۱۳۸۸؛ ودیعی و همکاران، ۱۳۹۲). حال آن‌که بررسی نظام‌مند برآورد رسوب معلق در رودخانه‌ها، به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی کیفی آب و هم‌چنین یکی از مولفه‌های اساسی طراحی سازه‌های حفاظت خاک و آب، امکان ارزیابی ارتباط متغیرهای دیگر توسط رسوبات معلق را فراهم می‌سازد. از این‌رو بررسی این ارتباطات و مدل‌سازی رسوب معلق با استفاده از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب و خصوصاً بررسی تغییرپذیری زمانی و مکانی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کاوه و همکاران، ۱۳۹۲). به‌نحوی که بعضاً پیش‌بینی‌های لازم برای استفاده از برخی نرم‌افزارها (زلکی بدیلی و همکاران، ۱۳۹۲) برای این اهداف مورد تأکید قرار گرفته است. از طرفی در صورت تحلیل روابط بین آلاینده‌های کیفی آب و رسوبات معلق علاوه بر درک برخی دیگر از فرآیندهای حاکم بر انتقال مواد در حوزه‌های آبخیز، امکان ارزیابی هریک از آن‌ها توسط متغیر دیگر نیز فراهم می‌شود. لذا در تحقیق حاضر تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود از قبیل کروم، نیکل، کادمیم و سرب، DO و BOD₅ در سه ایستگاه قلعه‌شاهرخ، اسکندری و پل زمان‌خان در سال ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گرفت.

¹ Biological Oxygen Demand (BOD)

² Rhine and Meuse

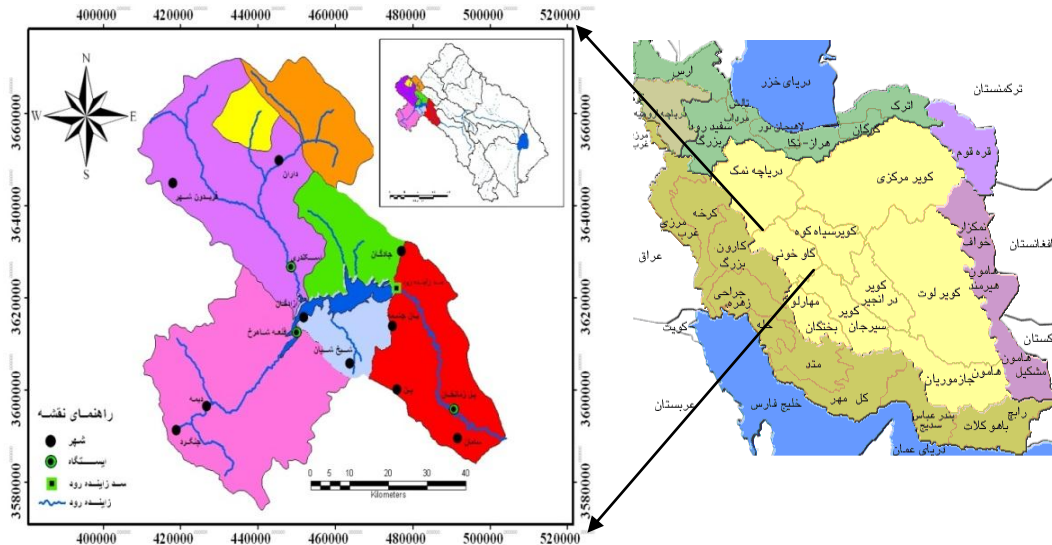
³ Pit

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زاینده‌رود با مساحت ۴۹۴۶/۲۸ کیلومترمربع و در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۲° ۱۸' تا ۳۳° ۱۰' شمالی و در طول‌های جغرافیایی ۵۰° ۰۲' تا ۵۰° ۰۳' شرقی واقع شده است. برای انجام این مطالعه سه ایستگاه هیدرومتری اسکندری (پلاسجان) و قلعه شاهرخ

(علی‌آباد) در بالادست سد زاینده‌رود با اقلیم بسیار سرد و نیمه‌مرطوب و ایستگاه پل زمان‌خان در پایین‌دست سد با اقلیم سرد و نیمه خشک به‌واسطه موقعیت آن‌ها نسبت به سد زاینده‌رود و در نتیجه ضرورت آگاهی از الگوی تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق و فلزات سنگین انتقالی توسط جریان آب به سمت پایین‌دست سد در این حوزه آبخیز به‌صورت ارائه شده در شکل ۱ انتخاب شدند



شکل ۱- موقعیت کلی حوزه آبخیز مورد مطالعه در کشور و ایستگاه‌های انتخابی در حوزه آبخیز زاینده‌رود

صورت پذیرفت (هسو و همکاران، ۲۰۰۷). هم‌زمان با نمونه‌برداری اطلاعات مکمل از قبیل دما، pH، EC، TDS و DO در محل نمونه‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین هم‌زمان با نمونه‌برداری از رودخانه یک نمونه نیم لیتری نیز از هر ایستگاه برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه ابن سینا جهت اندازه‌گیری BOD_5 بر اساس روش تعیین اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پس از n روز (BOD_n) برای نمونه‌های رقیق نشده منتقل شد (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵). جداسازی رسوبات معلق از آب پس از انتقال نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌ها به آزمایشگاه و همگن‌سازی با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ توزین شده از قبل صورت گرفت. سپس کاغذهای صافی حاوی رسوبات در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. رسوبات خشک شده توزین و غلظت رسوب معلق در یک لیتر نمونه آب و رسوب محاسبه شد. در مرحله بعد آماده‌سازی نمونه‌های رسوب معلق به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین کادمیم، کروم، نیکل و استفاده شد. مدل‌های با خطای تخمین کم‌تر از ۴۰ درصد، مجذور میانگین مربعات خطای کم‌تر و ضریب کارایی مثبت و ترجیحا بالای ۶۰ درصد به‌عنوان مدل‌های برتر انتخاب گردید (Sadeghi و Saeidi، ۲۰۱۰).

- بررسی تغییرات زمانی و مکانی دبی، رسوب معلق،

متغیرهای کیفی و فلزات سنگین مورد مطالعه

به‌منظور بررسی تغییرات مکانی متغیرهای کیفی آب و فلزات سنگین پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری Kolmogorov-Smirnov، تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌های مورد مطالعه بررسی گردید. قابل ذکر است که دسته‌بندی نتایج بر اساس نرمال بودن داده‌ها و استفاده از آزمون مناسب صورت پذیرفته است. به‌نحوی که برای داده‌های نرمال و غیر نرمال به ترتیب از آزمون‌های ANOVA و Kruskal-Wallis استفاده شد.

سطح این حوزه از نظر زمین‌شناسی اغلب با سازندهای دوران دوم و به‌خصوص لایه‌های متعلق به کرتاسه پوشیده شده است. هم‌چنین بافت خاک سطحی منطقه عمدتاً سنگین تا خیلی سنگین (لومی و لوم رسی) و در مواردی متوسط است. میزان سنگ‌ریزه خاک سطحی عمدتاً ۵ تا ۲۵ درصد و یا فاقد سنگ‌ریزه است. خاک‌ها عمدتاً کم عمق (۲۵-۵۰ سانتی‌متر) و در بعضی قسمت‌ها عمیق می‌باشند. میزان آهک در خاک سطحی ۵ تا ۳۰ درصد و در خاک عمیق ۲۵ تا ۶۰ درصد می‌باشد.

- روش کار

داده‌های رسوب معلق مورد نیاز این تحقیق از طریق نمونه‌برداری به صورت دو بار در ماه و بر اساس تاریخ‌های مشخص نمونه‌برداری طی بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، در محل ایستگاه‌های هیدرومتری (پل زمان خان، قلعه شاهرخ و اسکندری) به‌طور ثابت، با استفاده از بطری ۴۵۰ میلی‌لیتری (داس، ۲۰۰۰) و از طریق انتگراسیون عمقی در سه مقطع به واسطه اختلاف غلظت رسوبات و فلزات سنگین در لایه‌های مختلف آب سرب با استفاده از دستگاه ICP^۱ صورت گرفت (لیو و همکاران، ۲۰۰۳).

- بررسی ارتباط غلظت رسوب معلق و غلظت فلزات

به‌منظور بررسی ارتباط بین غلظت رسوبات معلق و غلظت فلزات سنگین موجود در آب و رسوب معلق و سایر متغیرها از شکل‌های مختلف رگرسیون دو متغیره^۲ به‌سبب فراوانی محدود داده‌ها در مقایسه با متغیرهای مورد بررسی و نیز ضرورت تحلیل جداگانه هر یک از متغیرهای با متغیرهای مورد بررسی استفاده شد.

در تمام روابط غلظت رسوبات معلق بر حسب میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان متغیر وابسته و غلظت فلزات سنگین به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند.

برای ارزیابی کارایی روابط تهیه شده از معیارهای ضریب تبیین و سطح معنی‌داری یک یا پنج درصد، خطای تخمین^۳، مجذور میانگین مربعات خطا^۴ و ضریب کارایی^۵

^۱ Inductively Coupled Plasma

^۲ Bivariate regression

^۳ Relative error

^۴ Root mean square of error

^۵ Coefficient of efficiency

جدول ۱- آماره‌های توصیفی دبی، رسوب معلق متغیرهای کیفی در دوره یک‌ساله ۱۳۹۱ در ایستگاه‌های مطالعاتی قلعه‌شاهرخ، اسکندری و پل زمان‌خان

ایستگاه	متغیرهای کیفی								
	آماره‌های توصیفی	دبی (متر مکعب در ثانیه)	رسوب معلق (میلی‌گرم در لی‌تر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	EC (میلی‌موهس بر سانتی‌متر)	DO (میلی‌گرم در لیتر)	BOD ₅ (میلی‌گرم در لیتر)	pH	TDS (میلی‌گرم در لیتر)
قلعه شاهرخ	حداقل	۶/۶۵	۷/۵۰	۴/۹۰	۲۶۱/۰۰	۴/۴۶	۰/۷۰	۸/۰۰	۱۳۱/۰۰
	حداکثر	۸۵/۲۰	۸۶۳/۰۰	۱۸/۵۰	۵۷۱/۰۰	۱۲/۵۰	۹۱/۰۰	۸/۷۰	۲۸۵/۰۰
	میانگین	۲۷/۴۶	۸۵/۴۳	۱۱/۶۸	۳۸۳/۶۳	۸/۵۱	۱۱/۲۶	۸/۴۱	۱۹۱/۷۱
	انحراف معیار	۲۱/۳۰	۱۷۰/۳۱	۴/۶۳	۷۷/۴۷	۲/۵۱	۱۹/۶۷	۰/۲۰	۳۸/۶۵
	ضریب تغییرات (درصد)	۷۸	۱۹۹	۴۰	۲۰	۳۰	۱۷۵	۲	۲۰
	چولگی	۱/۱۹	۴/۴۹	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۳/۳۲	-۰/۳۹	۰/۲۶
	حداقل	۰/۰۱	۲۳/۰۰	۱/۰۰	۳۳۱/۰۰	۴/۱۳	۰/۲۵	۷/۴۸	۱۶۵/۰۰
اسکندری	حداکثر	۱۵/۹۰	۱۴۵/۵۰	۲۴/۲۰	۵۷۳/۰۰	۱۲/۴۰	۴۱/۰۰	۸/۸۰	۲۸۵/۰۰
	میانگین	۴/۳۱	۵۹/۸۹	۱۲/۱۱	۴۴۵/۸۱	۷/۸۴	۶/۷۸	۸/۳۱	۲۲۲/۷۱
	انحراف معیار	۴/۴۱	۳۱/۸۵	۷/۳۸	۶۷/۰۵	۱/۸۰	۸/۶۷	۰/۲۷	۳۳/۳۸
	ضریب تغییرات (درصد)	۱۰۲	۵۳	۶۱	۱۵	۲۳	۱۲۸	۳	۱۵
	چولگی	۱/۲۱	۱/۲۲	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۶۳	۳/۳۷	-۱/۲۴	-۰/۰۱
	حداقل	۱۰/۷۰	۱۱/۲۵	۵/۰۰	۳۰۷/۰۰	۴/۱۰	۰/۶۵	۸/۰۶	۱۵۴/۰۰
	حداکثر	۷۱/۱۰	۸۸/۰۰	۲۰/۲۰	۴۹۶/۰۰	۱۳/۰۰	۵۲/۰۰	۹/۰۰	۲۴۸/۰۰
پل زمان‌خان	میانگین	۲۸/۱۳	۴۶/۹۲	۱۲/۷۸	۳۹۱/۱۷	۸/۲۰	۸/۰۷	۸/۴۲	۱۹۵/۶۷
	انحراف معیار	۱۷/۷۹	۲۳/۳۶	۴/۸۲	۴۸/۵۳	۲/۴۵	۱۱/۱۶	۰/۲۱	۲۴/۲۷
	ضریب تغییرات (درصد)	۶۳	۵۰	۳۸	۱۲	۳۰	۱۳۸	۲	۱۲
	چولگی	۱/۳۲	۰/۴۱	-۰/۰۱	-۰/۱۶	۰/۰۸	۳/۰۹	۰/۶۸	-۰/۱۷
	حداقل	۱/۳۲	۰/۴۱	-۰/۰۱	-۰/۱۶	۰/۰۸	۳/۰۹	۰/۶۸	-۰/۱۷

جدول ۲- آماره‌های توصیفی فلزات سنگین در دوره یک‌ساله ۱۳۹۱ در ایستگاه‌های مطالعاتی قلعه‌شاهرخ، اسکندری و پل زمان‌خان

ایستگاه	فلزات سنگین				موجود در آب				موجود در رسوب				
	آماره‌های توصیفی	کادمیم (میلی‌گرم در لیتر)	کروم (میلی‌گرم در لیتر)	نیکل (میلی‌گرم در لیتر)	سرب (میلی‌گرم در لیتر)	کادمیم (میلی‌گرم در لیتر)	کروم (میلی‌گرم در لیتر)	نیکل (میلی‌گرم در لیتر)	سرب (میلی‌گرم در لیتر)	کادمیم (میلی‌گرم در لیتر)	کروم (میلی‌گرم در لیتر)	نیکل (میلی‌گرم در لیتر)	سرب (میلی‌گرم در لیتر)
قلعه شاهرخ	حداقل	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۷				
	حداکثر	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۷۸	۳/۵۳	۰/۴۲	۳/۳۰				
	میانگین	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۱۲	۱/۰۵				
	انحراف معیار	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۶۶	۰/۰۸	۰/۶۸				
	ضریب تغییرات (درصد)	۶۰	۹۶	۶۱	۴۴	۷۹	۱۰۰	۷۰	۶۵				
	چولگی	۳/۲۵	۳/۳۷	۲/۵۸	۰/۲۹	۴/۰۷	۳/۸۹	۲/۶۷	۱/۵۹				
اسکندری	حداقل	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۳۲				
	حداکثر	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۴	۲/۲۴	۰/۲۴	۲/۱۸				
	میانگین	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۶۶	۰/۱۴	۱/۲۴				
	انحراف معیار	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۵۲	۰/۰۵	۰/۶۲				
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۷	۴۶	۲۹	۴۹	۲۱	۷۹	۳۳	۵۰				
	چولگی	۲/۶۹	۰/۴۱	-۱/۵۱	-۰/۴۱	-۰/۰۶	۲/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۱۷				
پل زمان‌خان	حداقل	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۲۳				
	حداکثر	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲۳	۱/۳۹	۱/۴۴	۱/۹۹				
	میانگین	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۹۸				
	انحراف معیار	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۴۴				
	ضریب تغییرات (درصد)	۳۱	۵۱	۵۰	۴۸	۲۱	۵۴	۱۶۷	۴۵				
	چولگی	۱/۵۲	۱/۳۴	-۰/۰۱	۰/۵۶	۰/۶۳	۱/۶۶	۴/۸۳	۰/۵۹				

جدول ۳- روابط برتر بین رسوب معلق و غلظت فلزات سنگین موجود در آب و رسوب معلق در سال ۱۳۹۱ در ایستگاه‌های مطالعاتی قلعه‌شاهرخ و پل‌زمان خان

ایستگاه	شماره معادله	فلزات سنگین	معادله		ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	خطای استاندارد	درصد خطا		ضریب کارایی	
			X: غلظت رسوب معلق (میلی‌گرم در لیتر)	Y: غلظت فلز سنگین (میلی‌گرم در لیتر)				تخمین	تایید		
قلعه شاهرخ	۱	فلزات موجود در نیکل	$Y = 0.043 + 3.88 \times 10^{-6} X^2$		۰/۷۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۱۵۴/۱۶	۴۲۷/۱۸	۲۳/۲۹	۰/۹۹
	۲	آب سرب	$Y = 0.039 + 0.001X - 2.29 \times 10^{-5} X^2 + 9.65 \times 10^{-8} X^3$		۰/۷۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۳۲/۷۴	۶۴۵۱/۲۷	۵۷/۰۱	۰/۹۹
	۳	کادمیم	$Y = 0.001X + 0.112$		۰/۶۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۲۶/۱۷	۲۸/۶۴	۲۲/۰۴	۰/۹۹
	۴	فلزات موجود در کروم	$Y = 0.004 X + 0.331$		۰/۶۳	۰/۰۰۸	۰/۲۴	۲۴/۶۸	۳۶/۳۹	۴/۵۱	۰/۹۹
	۵	رسوب نیکل	$Y = 0.016 + 0.006X - 9.23 \times 10^{-5} X^2 + 3.69 \times 10^{-7} X^3$		۰/۸۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۴۰/۸۵	۵۱۳۰/۰۸	۳۳/۲۱	۰/۹۹
	۶	سرب	$Y = -0.023X + 1.56$		۰/۶۱	۰/۰۰۴	۰/۵۷	۱۸۳/۲۹	۱۴۱/۸۴	۰/۷۰	۰/۹۹
	پل زمانخان	۷	فلز موجود در رسوب کروم	$Y = 0.003X + 0.329$		۰/۵۲	۰/۰۰۴	۰/۱۵	۲۹/۹۳	۶۸/۶۸	۷/۲۷

نتایج و بحث

این تحقیق با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود در سه ایستگاه قلعه شاهرخ، اسکندری و پل زمان خان طی دوره سالانه انجام شد. که تنها نتایج آن در قالب جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. بدین منظور بعد از نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مربوطه بانک اطلاعاتی داده‌ها در نرم‌افزار Excel 2010 تهیه و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SPSS 18 اقدام به بررسی آماره‌های توصیفی، تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای مورد نظر، ارتباط بین آلاینده‌ها و رسوب معلق و تحلیل آن‌ها به شرح زیر گردید.

- نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی

بر اساس نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی موجود در جدول ۱، حداکثر دبی با مقدار $85/20$ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه قلعه شاهرخ و در فصل بهار بود در حالی که حداقل میزان دبی مربوط به ایستگاه اسکندری $0/01$ متر مکعب بر ثانیه و در فصل تابستان رخ داد. مقادیر میانگین دبی برای سه ایستگاه قلعه شاهرخ، اسکندری و پل زمان خان به ترتیب $27/46 \pm 21/30$ ، $4/41 \pm 4/31$ و $28/13 \pm 17/79$ متر مکعب بر ثانیه بود که دلالت بر تغییرپذیری مکانی دبی ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت. هم‌چنین بر اساس نتایج جدول ۱ حداکثر و حداقل مقدار رسوب با مقدار $863/00$ و $7/50$ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه قلعه شاهرخ بود. میانگین غلظت رسوب معلق در سه ایستگاه قلعه شاهرخ، اسکندری و پل زمان خان به ترتیب به مقدار $170/31 \pm 85/43$ ، $31/85 \pm 59/89$ و $46/92 \pm 23/36$ میلی‌گرم در لیتر بود. هم‌چنین دقت در جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر مقادیر دما، EC و TDS به ترتیب $24/20$ درجه سانتی‌گراد، $573/00$ میلی‌موهس بر سانتی‌متر و $285/00$ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه اسکندری و حداکثر DO و BOD₅ به ترتیب $12/50$ و $91/00$ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه قلعه شاهرخ و حداکثر قلی‌آئی‌ت به مقدار ۹ در ایستگاه پل زمان خان بوده است.

بر اساس آماره‌های توصیفی فلزات سنگین موجود در آب در جدول ۲ میانگین بالای فلزات کادمیم، کروم، نیکل و سرب با مقادیر به ترتیب $0/01 \pm 0/02$ ، $0/05 \pm 0/01$ ، $0/04 \pm 0/01$ و $0/06 \pm 0/03$ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه اسکندری نشان‌دهنده وجود تغییرات مکانی فلزات سنگین مذکور در سه ایستگاه می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک نیز هم‌خوانی دارد. هم‌چنین نتایج جدول ۲ نشان داد که بیش‌ترین مقدار میانگین فلزات سنگین کادمیم، کروم و سرب موجود در رسوب با مقادیر به ترتیب $0/04 \pm 0/19$ ، $0/52 \pm 0/66$ و $1/26 \pm 0/62$ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه اسکندری و بالاترین مقدار میانگین نیکل به میزان $0/27 \pm 0/16$ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه پل زمان خان بود که با توجه به نتایج آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک ANOVA و Kruskal-Wallis دارای تغییرات مکانی در سه ایستگاه مذکور بود.

- نتایج حاصل از تغییرات زمانی و مکانی

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک ANOVA و Kruskal-Wallis برای دوره یک‌ساله مطالعاتی ۱۳۹۱ در سه ایستگاه قلعه شاهرخ، اسکندری و پل زمان خان دبی و TDS و نیکل موجود در آب دارای تغییرات زمانی بودند. در حالی که برای رسوب معلق تغییرات زمانی فقط در ایستگاه قلعه شاهرخ و اسکندری مشاهده شد و برای ایستگاه پل زمان خان تغییرات زمانی به‌دست نیامد که می‌توان به نقش سد به‌عنوان یک تله‌انداز رسوب اشاره نمود که نقش کنترلی در آزاد سازی رسوب معلق در دوره مطالعاتی داشته است که با یافته‌های لیو و همکاران (۲۰۰۳) در چین و محمدی‌رجبی و ملکی‌نژاد (۱۳۹۱) در حوزه آبخیز زاینده‌رود مبنی بر نقش سد به‌عنوان تله‌انداز رسوب مطابقت دارد. اما در ایستگاه قلعه شاهرخ سرب و نیکل موجود در آب و هم در رسوب دارای تغییرات زمانی سالانه بودند. در ایستگاه اسکندری سرب موجود در آب و کادمیم و کروم موجود در رسوب دارای تغییرات زمانی بود که دلیل این امر را می‌توان به پساب‌های حاصل از صنایع مختلف مانند چرم‌سازی، رنگ‌رزی، فولاد، نازک‌کاری

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود صورت پذیرفت. از نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که طی دوره یک‌ساله ۱۳۹۱ تغییرات ارتباط بین رسوب معلق و فلزات سنگین کادمیم، کروم، نیکل و سرب تحت تأثیر پیچیدگی‌ها و پاسخ‌های هیدرولوژی متفاوت مناطق مورد مطالعه و تأثیرپذیری روابط بین متغیرها از سایر عوامل محیطی مؤثر بوده و دارای روابط متفاوتی در ایستگاه‌های واقع در بالادست سد (قلعه شاهرخ و اسکندری) در مقایسه با ایستگاه پل زمان‌خان در پایین‌دست سد می‌باشد که می‌توان به نقش تنظیم‌کنندگی سد زاینده‌رود و برنامه‌های مدیریت بهره‌برداری آب آن اشاره نمود. به طوری که از نتایج تحقیق حاضر چنین استنباط شد که فلزات سنگین موجود در فاز محلول با افزایش DO و کاهش pH و دما افزایش و در فاز جامد به صورت معکوس در ایستگاه‌های قلعه شاهرخ و پل زمان‌خان مشاهده شده است. از طرفی بررسی تغییرات در مقیاس‌های زمانی مختلف و همچنین لحاظ سایر شرایط حاکم بر اکوسیستم‌های طبیعی تحت تأثیر دخالت‌های انسانی و تغییرات مصنوعی ناشی از آن مکمل خوبی برای ارائه جمع‌بندی‌های نهایی محسوب می‌شود. هم‌چنین دست‌یابی به جمع‌بندی‌های نهایی و ارائه خط‌مشی‌های کلی مدیریتی منوط به انجام مطالعات مشابه با دوره طولانی‌تر تحقیق و نیز توسعه آن به سایر حوزه‌های آبخیز و با ویژگی‌های متنوع می‌باشد.

قدردانی

مقاله ارائه شده حاصل جمع‌آوری و تحلیل بخشی از داده‌های مربوط به پروژه "تغییرات زمانی و مکانی ارتباط غلظت رسوبات معلق با برخی آلاینده‌های رودخانه زاینده‌رود" به کارفرمایی آب منطقه‌ای اصفهان و مشاوره دانشگاه تربیت مدرس و اجرای نویسندگان با کد پروژه ESE-۸۹۰۳۱ بوده و بدین‌وسیله از مساعدت‌های کارفرما و دانشگاه تربیت مدرس در این خصوص تقدیر می‌گردد.

فلزات و مواد ننگه‌دارنده چوب واقع در اطراف رودخانه نسبت داد که با یافته‌های طباطبایی و ذهب‌صنیدی (۱۳۸۹) مطابقت دارد. در حالی که در ایستگاه پل زمان‌خان کروم موجود در آب و رسوب معلق و کادمیم موجود در آب و سرب موجود در رسوب معلق دارای تغییرات زمانی بود که دلیل این امر را می‌توان به نقش مؤثر افزایش کاربرد سموم و کودهای کشاورزی در حاشیه رودخانه زاینده‌رود و وجود استخرهای پرورش ماهی و استفاده گسترده از مواد ضدعفونی‌کننده در این استخرها نسبت داد. هم‌چنین نتایج حاصل از آزمون‌های مذکور در دوره یک‌ساله ۱۳۹۱ نشان‌دهنده تغییرات مکانی دبی، TDS، کادمیم، کروم، نیکل و سرب موجود در آب هم‌چنین کادمیم و نیکل موجود در رسوب در سطح معنی یک درصد بین سه ایستگاه بود.

- نتایج حاصل از روابط غلظت رسوب معلق و فلزات سنگین موجود در آب و رسوب معلق

نتایج حاصل از برازش انواع روابط رگرسیونی دو متغیره نشان‌دهنده رابطه درجه دو و درجه سه (رابطه‌های شماره ۱ و ۲) با ضریب همبستگی ۰/۷۵ و ۰/۷۳ ($P < 0/05$) و ضریب کارایی ۰/۹۹ بین غلظت نیکل و سرب موجود در آب و غلظت رسوب معلق در ایستگاه قلعه شاهرخ می‌باشد و بین بقیه متغیرها و در ایستگاه‌های اسکندری و پل زمان‌خان ارتباطی مشاهده نشد در حالی که بین غلظت رسوب معلق و غلظت فلزات کادمیم، کروم، نیکل و سرب موجود در رسوب (رابطه‌های ۳ تا ۶) در ایستگاه قلعه شاهرخ با ضریب کارایی ۰/۹۹ و ضریب همبستگی بالای ۰/۶۱ و بین غلظت رسوب معلق با غلظت کروم موجود در رسوب معلق (رابطه ۷) در ایستگاه پل زمان‌خان نیز روابط خطی به‌دست آمد که با تأکیدات سینگ (۱۹۹۲) مبنی بر غلبه روابط غیر خطی بین اغلب متغیرهای مورد مطالعه در سامانه‌های آبخیز هم‌سو نمی‌باشد. هم‌چنین دقت در جدول ۳ دهنده عدم وجود رابطه معنی‌دار بین غلظت فلزات دیگر و غلظت رسوب معلق در ایستگاه اسکندری و پل زمان‌خان می‌باشد.

منابع

10. Dessouki, T. C. E., Hudson, J. J., Neal, B. R. and Bogard, M. J. 2005. The Effect of Phosphorus Addition on the Sediment of Contaminants in a Uranium Mine Pite _ Lake. *Water Research*. 39: 3055-3061.
11. Horowitz, A. J. 2008. Determining Annual Suspended Sediment and Sediment-Associated Trace Element and Nutrient Fluxes. *Sci. Total Environ*. 400, 315-343.
12. Hsu, P., Matthai, A., Heise, S. and Ahlf, W. 2007. Seasonal variation of sediment toxicity in the Rivers Dommel and Elbe. *Environ pollut*. 148(3): 817-823.
13. Kiani Harchegani, M., Sadeghi, S. H. R. and Younesi, H. A. 2010. Comparison of Heavy Metals Content in Water and Suspended Sediment Concentration. The 6th International Symposium on "Protection and Utilization of Ecosystems in Arid and Semi- Arid Regions", 2nd-6th October 2010, Karaj, Iran.
14. Koroluk, S. L. and de Boer, D. H. 2007. Land Use Change and Erosional History in a Lake Catchment System on the Canadian prairies. *Catena*. 70: 155-168.
15. Lahr, J., Mass-Diepeveen J, L., Stuijtz and Suzanne, C., G. Leonads, P. E., Druke, J. M., Lucker, S., Espeldoorn, A., C. M. Kerkum, L., L.P. Van Stee, L., and Hendriks, A. J. 2002. Response in Sediment Bioassays used in Netherlands: Can Observed Toxicity be Explained by Monitored Priority Pollutant? *Water Res*. 37: 1691-1710.
16. Liu, W. X., Li, X. D., Shen, Z. G., Wang, D. C., Wai, O. W. H. and Li, Y. S. 2003. Multivariate Statistical Study of Heavy Metal Enrichment in Sediments of the Pearl River Estuary. *Environ Pollut*. 121: 377-388.
۱. زلکی بدیلی ن، سالاری م، صیاد غ ع و حمادی ک، ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات فراسنج های کیفی آب رود مارون درحوضه‌ی آبخیز سد مارون. مهندسی منابع آب. ۶(۱۶): ۳۷-۵۰.
۲. طباطبایی ج و ذهب‌صنعی ا، ۱۳۸۹. ارزیابی غلظت فلزات سمی سنگین و تغییرات آن‌ها در رودخانه زاینده‌رود اصفهان. در مجموعه چکیده مقالات همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، تهران، ۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، ۸ ص.
۳. کاوه ع ر، حبیب نژاد روشن م، شاهدی ک و قربانی ج، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب (مطالعه‌ی موردی: رود تالار، استان مازندران). مهندسی منابع آب. ۶(۱۸): ۴۹-۶۲.
۴. محمدی رجبی ف و ملکی نژاد ح، ۱۳۹۱. بررسی اثر سد زاینده‌رود بر مقدار رسوب و کیفیت آب. همایش ملی انتقال آب بین حوزه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها)، شهرکرد، خرداد، ۱۳۹۱، ۷ ص.
۵. مفتاح‌هلقی م، ۱۳۸۸. برآورد حداکثر بارآلودگی مجاز قابل تخلیه به گرگان‌رود. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۶ (۱): ۱۹-۳۵.
۶. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵. آب- تعیین اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پس از n روز (BOD_n). قسمت دوم: روش آزمون برای نمونه‌های رقیق نشده. استاندارد ملی ایران. چاپ اول. ۲۲ ص.
۷. ودیعتی م، نخعی م، امیری امرایی و و میرعربی ع، ۱۳۹۲. ارزیابی کیفیت آب رود کارون با استفاده از شبیه‌استنتاج فازی، مهندسی منابع آب. ۶(۱۸): ۳۹-۴۸.
8. Arncheidt, J., Jordan, P., Li, S., Mc Cormick, S., Mc Faul, R., Mc Grongan, H. J., Neal, M. and Sims, J.T. 2007. Defining the Source of Low Flow Phosphorus Transfer in Complex Catchment. *Sci. Total Environ*. 382: 1-9.
9. Das, G. 2000. *Hydrology and Soil Conservation Engineering*. Prentice -Hal of India Press. 489 p.

17. Singh, V. P. 1992. Elementary hydrology. Eastern Economy Edition, New Delhi. India. 973p.
18. Sadeghi, S.H.R., Kiani Harchegani, M. and Younesi, H. A. 2012. Suspended Sediment Concentration and Particle Size Distribution and Their Relationship with Heavy Metal Content, J Earth Sys Sci. 121 (1): 63–71.
19. Walling, D. E. and Moorehead, P. W. 2004. Sediment Dynamics, Transport and Deposition, and Distribution the Particle Size Characteristics of Fluvial Suspended Sediment an Overview. Hydrobiologia. 176-177: 25-149.
20. Walling, D.E., Russell, M. R. and Webb, B. W. 2000. Controls on the Nutrient Content of Suspended Sediment Transport by British Rivers. Sci. Total Environ. 266: 113-123.

