

بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفید رود
با نگرشی بر منشأ زمین ساختاری آنها

پروانه اقبالی شمس آباد^۱، محمود معماریانی^۲، فرامرز معطر^۳

(۳و۱) دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

(۲) پژوهشگاه صنعت نفت

memarianim@ripi.ir

**Study on the heavy metals (Cr, Cd, Pb,) and
organic materials of sefid-Rud River with
respect to their geological origion**

P. Eghbali Shamsabad¹, M. Memariani²
and F. Moattar³

1,3 .Science and Research Branch, Islamic Azad
University, Tehran, Iran

2. Research Institute of Petroleum Industry (RIPI),
Tehran, Iran

Abstract

In this study, in order to determine physical and chemical properties and measure following heavy metals concentration: Cd, Cr and Pb, water and sediments samples were collected from 5 stations along Sefid-Rud river in autumn and winter 2009-2010. Geographical maps, topography and land useage of areas along the river were determined by Geographical Information System (GIS). The results showed that heavy metals concentration (Cd and Pb) were recorded near or higher than standard level in water samples of Garjeh station and in the sediment of this station, following heavy metals Cr and Cd had the highest level. In this study, industrial activities, Urban and domestic sewage discharge were determined as the main source of Cd and Pb in the sediments. The extracted organic matter from water samples indicated that in addition to petroleum hydrocarbons existence in water, some unknown organic substances with high concentration were present in industrial effluents related to organic materials. Based on the GIS maps, geological structures had no role in contaminating of the river.

Keywords: Sefid-rud, heavy metals, organic materials, pollutant sources, GIS

چکیده

در این مطالعه، به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و اندازه گیری غلظت فلزات سنگین کروم، کادیوم، سرب و مواد آلی، نمونه های آب و رسوب از ۵ ایستگاه در طول مسیر رودخانه سفید رود در پاییز و زمستان سال ۱۳۸۸ جمع آوری گردید. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه زمین شناسی توپوگرافی، پهنه بندی و کاربری اراضی مناطق مجاور رودخانه مشخص گردید. نتایج نشان داد که غلظت کادیوم و سرب در نمونه های آب ایستگاه گنجه نزدیک به حد مجاز و یا بیشتر بود و بالاترین مقدار غلظت فلزات کروم و کادیوم در نمونه های رسوب ایستگاه گنجه مشاهده گردید. این مطالعه، فعالیت های صنعتی و تخلیه فاضلاب های شهری و روستایی را علت آلودگی رسوبات رودخانه به کادیوم و سرب مشخص نمود. مواد آلی استخراجی از نمونه های آب نشان داد که علاوه بر وجود آلودگی هیدروکربن های نفتی، ترکیبات ناشناخته ای با منشأ احتمالی از کود و سموم آلی کشاورزی و یا فعالیت های صنعتی مرتبط با مواد آلی به عنوان آلاینده های آلی در بعضی از ایستگاه ها وجود دارد. بر اساس نقشه های GIS، ساختارهای زمین شناسی واقع در حوضه آبریز بالا و میاندست رودخانه، نقش مستقیم و بارزی در مورد فلزات سنگین سه گانه به رودخانه سفید رود ندارد.

کلمات کلیدی: سفیدرود، فلزات سنگین، مواد آلی، منابع آلاینده، GIS

مقدمه

رودخانه ها، شریان های حیاتی هر کشوری محسوب می شوند. افزایش فعالیت های شهری، صنعتی و بالطبع افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه ها و نقش آنها به عنوان آلاینده از دغدغه های کشورها به حساب می آید (Izquierdo et al., 1997; Welch, 1980; Yu et al., 2001).

وجود آلاینده های مختلف ناشی از فعالیت های انسانی و صنعتی اثرات نامطلوبی را بر گونه های جانوری و گیاهی مصرف کننده برجای می گذارند (Silva et al., 1988). تعیین غلظت فلزات سنگین در بعضی از رودخانه ها (Kalantary and Ebadi, 2006) و بنادر ایران (نادری، ۱۳۷۶) انجام گرفته است. سفیدرود نیز مانند بسیاری از رودخانه های داخل کشور از این معضل مستثنی نیست. رسوبات سفیدرود در مسیر رودخانه و دلتای آن، محل تجمع فلزات سنگینی است که تغییرات قابل ملاحظه ای در چرخه های بیوژئوشیمیایی ایجاد کرده و در عین حال هریک از آنها دارای آثار بیوشیمیایی خاصی در بدن موجودات می باشد. این آلاینده ها از آنجا اهمیت پیدا می کنند که می توانند از طریق چرخه زیستی وارد بدن انسان و جانداران شوند. مصرف کودهای فسفاته در زمین های کشاورزی در اطراف حوضه آبریزو همچنین باقیمانده های ناشی از مصرف سوخت های فسیلی و مکان های دفن زباله می توانند آلوده سازهای پایداری را به خاک و سپس از طریق شستشو به رواناب ها انتقال دهند. مطالعات زیادی در مورد چگونگی راهیابی فلزات سنگین به آب رودخانه ها و منابع آلاینده مرتبط با این معضل به انجام رسیده است (Forstner, 1980; Szalinska et al., 2006; Akoto et al., 2008).

بررسی های گوناگونی در رابطه با قابلیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی از دیدگاه های مختلف تاکنون به انجام رسیده است. پیش بینی وقوع بعضی از پدیده های زمین شناسی، هیدروپنماتیک و اقلیمی در بنادر گیلان (قدرتی و همکاران، ۱۳۸۳)، شناسایی مسیر جریان و پهنه های سیلابی (وجدانی و اسدیانی، ۱۳۸۵)، جلوگیری از اثرات فرسایش خاک در بروز سیلاب های خطرناک (طهماسبی پور و همکاران، ۱۳۷۳)، بررسی روند خشکسالی (رجبی و همکاران، ۱۳۸۴)، پهنه بندی درجه خطر آفرینی منابع آلاینده رودخانه ها و مناطق ساحلی (خوشروان، ۱۳۸۳)، از جمله تحقیقاتی هستند که در انجام آنها از توانمندی های GIS بهره گرفته شده است.

رودخانه سفیدرود از به هم پیوستن دو شاخه اصلی قزل اوزن و شاهرود در منجیل تشکیل شده و پس از پیوستن شاخه های کوچکتر به آن در استان گیلان، از ناحیه کیشهر به دریای خزر می ریزد. مساحت این حوضه حدود ۵/۶ میلیون هکتار از محل سد سفیدرود بوده و جریان آبدهی سالانه آن حدود ۴/۵ میلیارد مترمکعب می باشد. طول رودخانه سفیدرود از شاخه بزرگ آن (قزل اوزن) حدود ۸۰۰ کیلومتر است که از کوههای قروه در کردستان سرچشمه می گیرد (باقرزاده، ۱۳۷۷). رودخانه شاهرود نیز از بخش مرکزی البرز از طالقان و الموت منشأ می گیرد.

هدف از این پژوهش، شناسایی منابع آلاینده صنعتی، کشاورزی و آلودگی های ناشی از فعالیت های انسانی در رودخانه سفیدرود و استفاده از توانمندی های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت بررسی روند این آلودگی ها می باشد.

مواد و روش ها

جهت نمونه برداری ابتدا یک بازدید یک روزه از مسیر رودخانه و شناسایی محل ها و ایستگاه های مورد نظر و قابل دسترسی به رودخانه انجام گرفت (جدول ۱). نمونه های آب از عمق ۵ سانتی متری تا نزدیکی کف رودخانه و نمونه های رسوب از بستر

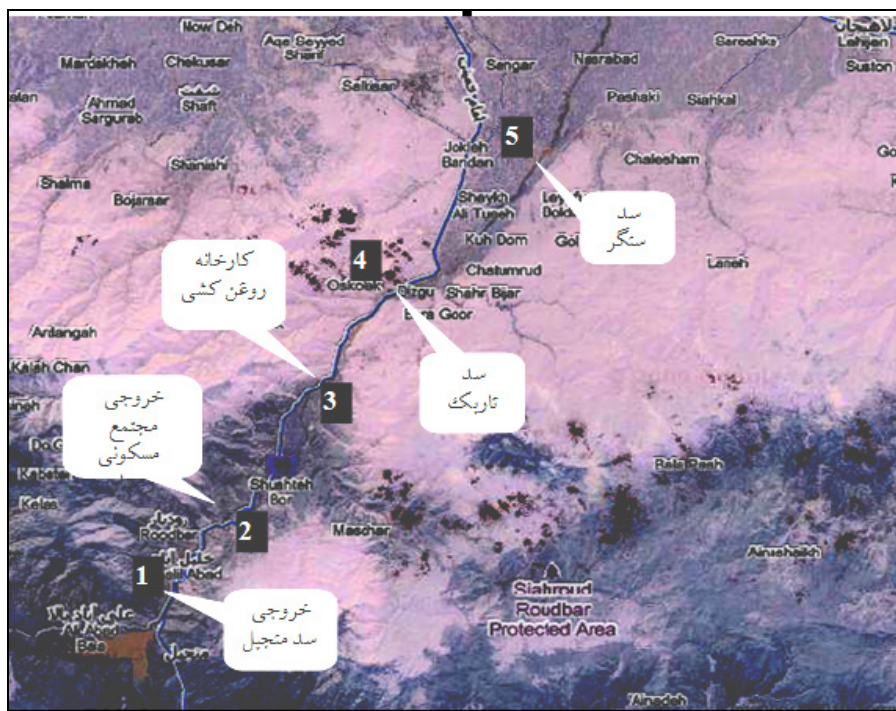
رودخانه (توسط نمونه گیراستوانه ای core sampler) از پنج ایستگاه جمع آوری گردید. ایستگاه های تحت بررسی به ترتیب ایستگاه منجیل، مجتمع مسکونی رودبار، روغن کشی گنجه، سد تاریک و سد سنگر بود که در طی دو مرحله زمانی (آبان و بهمن ۱۳۸۸) نمونه برداری انجام گرفت (شکل ۱). یعنی از هر ایستگاه، یک نمونه آب و یک نمونه رسوب، یکبار در آبان و بار دیگر در بهمن ماه ۱۳۸۸، جمع آوری شد. نمونه های جمع آوری شده پس از فیلتراسیون و افزودن ۳ میلی لیتر اسید سولفوریک به ۱۰۰ میلی لیتر حجم نمونه آب (جهت تثبیت فلزات در نمونه های آب)، بسته بندی و به همراه نمونه های رسوب به آزمایشگاه منتقل شدند. تعیین پارامترهایی مانند PH (با استفاده از PH متر دیجیتالی)، EC (با بکار گیری دستگاه EC متر)، (Dissolved Oxygen) DO (از روش وینکلر) (Chemical Oxygen Demand) COD، (Biological Oxygen Demand) BOD و همچنین غلظت یون های نیتريت و نترات (با استفاده از روش های متداول شیمیایی) روی نمونه های آب انجام گرفت. همچنین اندازه گیری میزان فلزات سنگین کروم، کادمیوم و سرب در نمونه های آب و رسوب تعیین شد. در این مطالعه جهت آنالیز فلزات سنگین در محدوده ppm از روش جذب اتمی شعله ای (از نوع Perkin-Elmer، مدل Analyst-700) و در محدوده ppb از روش ICP (از نوع TERMO، مدل ICAP6000) استفاده شد. برای تعیین نوع مواد آلی موجود در نمونه های آب از روش استخراج مواد آلی بوسیله حلال کلروفرم در کیف جدا کننده و سپس تغلیظ نمونه ها بوسیله دستگاه تبخیر گردان (جهت تبخیر حلال اضافی) استفاده گردید. با تزریق حدود ۱ میکرولیتر از نمونه های تغلیظ شده و برنامه ریزی حرارتی دستگاه، کروماتوگرام های مربوطه بدست آمد. دستگاه کروماتوگراف گازی استفاده شده از نوع Chrompack، دمای اولیه آن ۵۰ درجه سانتی گراد و دمای نهایی ۲۶۰ درجه سانتی گراد با آشکارگر از نوع FID و گاز حامل هلیوم بوده است.

با استفاده از اطلاعات ژئومتری یا مکانی، داده های توصیفی مرتبط با اطلاعات مکانی پایه، تعیین مختصات مکانی برحسب UTM، جمع آوری انواع نقشه ها، طبقه بندی داده ها و با استفاده از نرم افزار Arc GIS، نقشه های مورد نیاز و پهنه بندی اراضی از دیدگاه های مختلف تهیه گردید. موقعیت ایستگاه های پنج گانه در مسیر رودخانه به طرف شمال برای نمونه برداری در جدول و شکل شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱: عرض، طول جغرافیایی و اهمیت ایستگاه های نمونه برداری در رودخانه سفیدرود (سال ۱۳۸۸)

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	محل ایستگاه	نوع نمونه	اهمیت / ویژگی ها
خروجی سد منجیل	N=36°46'08"	E=49°23'49"	سد منجیل	نمونه	تأمین آب شرب منطقه، مجاورت با بزرگ راه تهران شمال
مجتمع مسکونی رودبار	N=36°49'06"	E=49°25'59"	شهر رودبار		تأثیر پذیری از فعالیت های صنعتی و تخلیه فاضلاب شهری
کارخانه روغن کشی گنجه	N=36°51'13"	E=49°28'53"	گنجه		فعالیت های صنعتی وجود مزارع زیتون و کشاورزی
سد تاریک	N=36°59'28"	E=49°34'05"	رستم آباد		وجود فعالیت های کشاورزی تأمین آب زمین های کشاورزی و زراعت ناحیه
سد سنگر	N=37°07'02"	E=49°43'51"	سنگر		تأثیر پذیری از فعالیت های صنعتی، شهری واقع در پایین رودخانه

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری شده رودخانه سفید رود (www.maplandia.com)

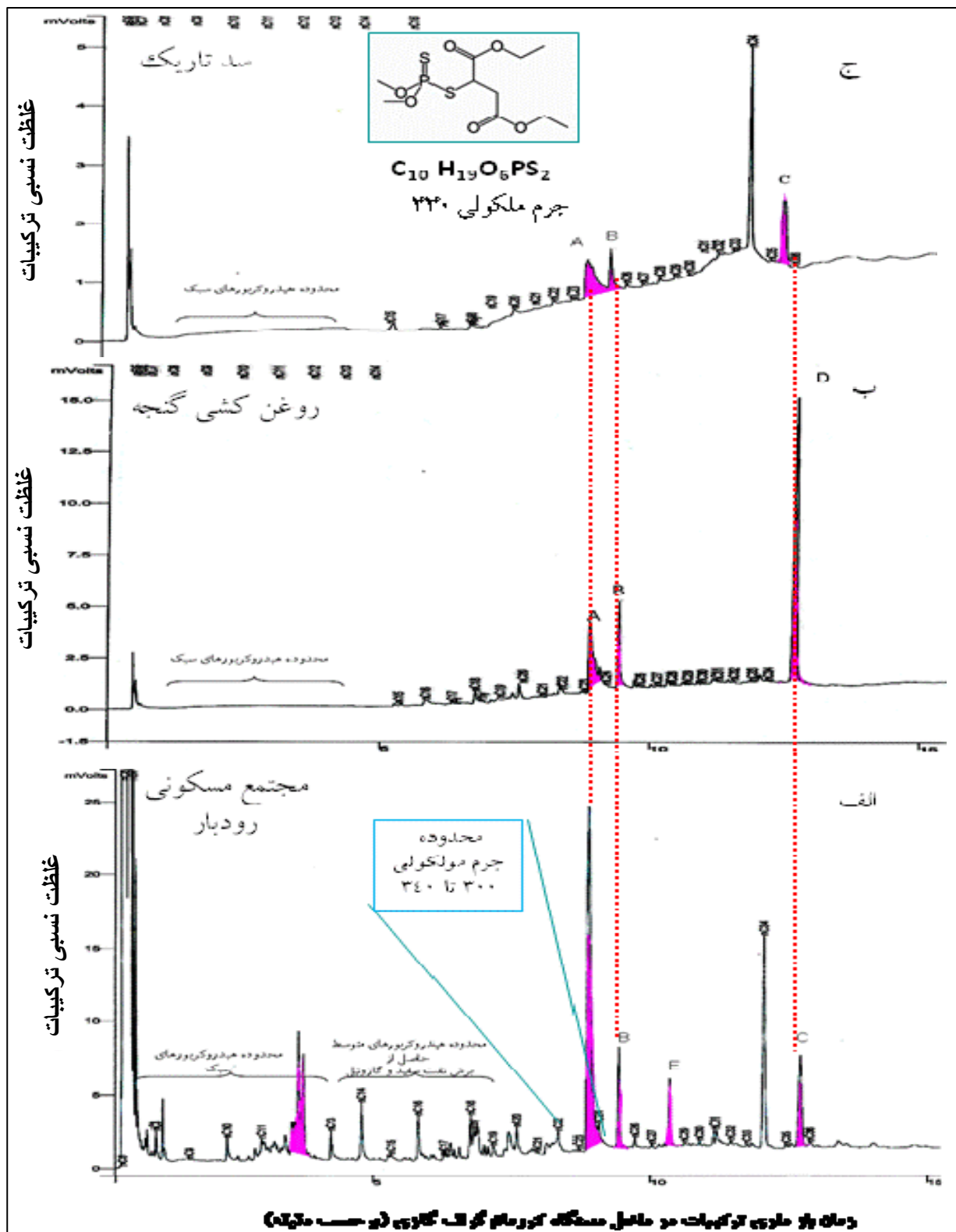


نتایج

نتایج بدست آمده از آنالیزهای مقدماتی شامل اطلاعات پارامترها و شاخص های فیزیکوشیمیایی در جدول ۲ و ۳ دیده می شود. یافته های حاصل از آزمایشات تعیین میزان فلزات سنگین کروم، کادمیوم و سرب از نمونه های آب جمع آوری شده از دو مرحله نمونه برداری در جدول ۴ و ۵ آورده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایشات تعیین میزان فلزات سنگین در نمونه های رسوب از ایستگاه های تحت مطالعه در جدول ۶ و ۷ دیده می شود.

پس از آنالیزهای آزمایشگاهی بر روی آب و رسوب با استفاده از نقشه های زمین شناسی با عنوان پایه و تهیه اطلاعات اولیه مکانی، زمانی، متغیرهای مختلف در مورد سفیدرود، اقدام به یکپارچگی سازی داده ها به عمل آمد. با استفاده از بانک اطلاعاتی GIS، نقشه های مربوط به محدوده تحت مطالعه از جمله نقشه شبکه توزیع آب های سطحی حوضه آبخیز سفیدرود (شکل ۲)، نقشه توپوگرافی (شکل ۳) و همچنین نقشه مرتبط با لایه های زمین شناسی (شکل ۴) تهیه گردید.

یافته های بدست آمده از نمونه های آب تغلیظ شده با استفاده از تکنیک کروماتوگرافی گازی جهت بررسی مواد آلی به صورت طیف هایی در شکل ۵ الف، ب و ج آورده شده است. کروماتوگرام های حاصل نشان داد که مجموعه ای از ترکیبات اشباع از نوع آلکان های خطی یا نرمال با غلظت های بسیار کم در زمینه طیف وجود دارند.



شکل ۵: طیف های حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی بر روی مواد آلی استخراج شده از نمونه های

(الف) مجتمع مسکونی رودبار، (ب) روغن کشی گنجه و (ج) سد تاریک

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمایشات تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه های آب در آبان ۱۳۸۸

شماره نمونه	ایستگاه نمونه پرداری	سنتی متر اسمول بر میکرومول ($\mu\text{mos/cm}$)	(mg/lit) (میلی گرم بر لیتر)					
			EC	pH	DO	NO ₂	NO ₃	COD
۱	زیر سد منجیل	۱۳۴۱	۸.۱۵	۷.۶	۰.۰۵	۱.۷۷	۱۳.۸۶	۶
۲	مجتمع مسکونی رودبار	۴۵۸	۷.۸۹	۹.۳	۰.۰۸	۳.۹۸	۱۷.۸۲	۷.۵
۳	روغن کشی (گنجه)	۱۵۱۴	۷.۹۳	۸.۸	۰.۰۶	۱.۳۲	۳۰.۰۰	۲۲
۴	سد تاریک	۴۸۷	۷.۹۲	۹.۴	۰.۰۵	۰.۴۴	۳۷.۶۲	۱۰
۵	سد سنگر	۱۱۰۰	۷.۷۹	۹.۲	۰.۰۴	۰.۴۴	۱۲.۸۸	۱۰
میانگین کل ایستگاه ها		۹۸۰	۷.۹۳	۸.۸۶	۰.۰۵	۱.۵۹	۲۲.۴۳	۱۱.۱
انحراف معیار		۴۸۶.۱۶	۰.۱۳	۰.۷۴	۰.۰۱	۱.۴۵	۱۰.۸۸	۶.۳۲

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمایشات تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه های آب در بهمن ۱۳۸۸

شماره نمونه	ایستگاه نمونه پرداری	سنتی متر اسمول بر میکرومول ($\mu\text{mos/cm}$)	(mg/lit) (میلی گرم بر لیتر)					
			EC	pH	DO	NO ₂	NO ₃	COD
۱	زیر سد منجیل	۱۱۲۱	۵	۱۲	۰.۰۳	۲.۱۲	۱۴.۲	۷.۱
۲	مجتمع مسکونی رودبار	۵۱۲	۶	۱۱.۵	۰.۰۶	۲.۸۷	۱۸.۱۲	۸.۸
۳	روغن کشی (گنجه)	۱۴۲۳	۵	۱۲.۴	۰.۰۵	۲.۸۷	۳۳.۴	۱۸.۳۴
۴	سد تاریک	۵۱۹	۶	۱۲	۰.۰۴	۰.۵۶	۳۲.۱	۱۳.۵
۵	سد سنگر	۹۸۵	۵	۱۲.۵	۰.۰۳	۰.۵۹	۱۳.۳	۹.۵
میانگین کل ایستگاه ها		۹۱۲	۵.۴	۱۲.۰۸	۰.۰۴	۱.۸۰	۲۲.۲۲	۱۱.۴۴
انحراف معیار		۳۹۵.۱۵	۰.۵۴	۰.۳۹	۰.۰۱	۱.۱۶	۹.۷۸	۴.۵۱

جدول ۴: غلظت عناصر سنگین Cr, Cd و Pb بر حسب میکروگرم بر لیتر (ppb) در نمونه های آب در آبان ماه ۱۳۸۸

و مقایسه آنها با استانداردهای مختلف

نوع فلز	نام ایستگاه					میانگین کل ایستگاه ها	انحراف استاندارد	WHO ¹	EPA ²		Iran
	زیر سد منجیل	مجمع مسکونی رودبار	روغن کشی گنجه	سد تاریک	سد سنگر			بهداشت جهانی	MCLG ³	MCL ⁴	مؤسسه استاندارد ⁵
Cr	۱.۹	۲.۳	۱.۶۷	۰.۱	۲.۴۴	۱.۶۸	۰.۹۳	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
Cd	۱.۷۹	۱.۳۷	۶.۴۶	۰.۰۷	۱.۱	۲.۱۵	۲.۴۸	۵	۵	۵	۵
Pb	۸.۹	۷.۸	۲۴	۱۰.۷	۲۰.۳	۱۴.۳۴	۷.۳۲	۵۰	۰	۱۵	۵۰

۱- WHO = سازمان بهداشت جهانی

۲- سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا: US. Environmental Protection Agency, 1999

۳- Maximum Contaminant Level Goal=(MCLG): حداکثر سطح آلودگی مورد هدف

۴- Maximum Contaminant Level=(MCL): حداکثر سطح آلودگی

۵- مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران - (مأخذ: مؤسسه استاندارد، نشریه شماره ۱۰۵۳، ۱۳۷۶)

جدول ۵: غلظت عناصر سنگین Cr, Cd و Pb بر حسب میکروگرم بر لیتر (ppb) در نمونه های آب در بهمن ماه ۱۳۸۸

و مقایسه آنها با استانداردهای مختلف

نوع فلز	نام ایستگاه					میانگین کل ایستگاه ها	انحراف استاندارد	WHO ¹	EPA ²		Iran
	زیر سد منجیل	مجمع مسکونی رودبار	روغن کشی گنجه	سد تاریک	سد سنگر			بهداشت جهانی	MCLG ³	MCL ⁴	مؤسسه استاندارد ⁵
Cr	۱.۶	۱.۱۷	۱.۲	۱.۱۴	۱.۱	۱.۲۴	۰.۲۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
Cd	۰.۷	۱	۱.۳	۰.۹	۱.۳	۱.۰۴	۰.۲۶	۵	۵	۵	۵
Pb	۱۵	۱.۱	۱۴.۵	۲۱	۶.۹	۱۱.۷	۷.۷۵	۵۰	۰	۱۵	۵۰

جدول ۶: تغییرات غلظت عناصر Cr, Cd و Pb بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم (ppm) در

نمونه های رسوب رودخانه سفید رود در آبان ۱۳۸۸

ایستگاه / نوع فلز	زیر سد منجیل	مجتمع مسکونی رودبار	روغن کشی گنجه	سد تاریک	سد سنگر	میانگین کل ایستگاه ها	انحراف معیار
Cr	۲۹.۱	۲۴.۲	۳۱	۲۳.۳	۲۷.۱	۲۶.۹۴	۳.۲۲
Cd	۲.۱۶	۳.۲	۵.۴۵	۱.۹۸	۳.۳۱	۳.۲۲	۱.۳۸
Pb	۲۱.۹	۲۱.۸	۱۸.۱	۲۱.۶	۲۱.۱	۲۰.۹	۱.۵۹

جدول ۷: تغییرات غلظت عناصر Cr, Cd و Pb بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم (ppm) در

نمونه های رسوب رودخانه سفید رود در بهمن ۱۳۸۸

ایستگاه / نوع فلز	زیر سد منجیل	مجتمع مسکونی رودبار	روغن کشی گنجه	سد تاریک	سد سنگر	میانگین کل ایستگاه ها	انحراف معیار
Cr	۲۵	۲۳	۲۶	۲۴	۲۶	۲۴.۸	۱.۳
Cd	۱.۱	۱.۵	۳.۶	۱.۸	۲.۴	۶.۰۸	۸.۴۳
Pb	۲۱.۵	۲۰	۱۷	۲۱.۹	۲۰.۲	۲۰.۱۲	۱.۹۲

بحث

میزان هدایت الکتریکی (EC) نمونه های آب در ایستگاه کارخانه روغن کشی گنجه در هر دو مرحله نمونه برداری دارای بیشترین مقادیر به ترتیب ۱۵۱۴ و ۱۴۲۳ ($\mu\text{mos/cm}$) بود (جدول ۲ و ۳) در حالی که همین پارامتر در ایستگاه های مجتمع مسکونی رودبار و سد تاریک به کم ترین مقادیر خود به ترتیب ۴۵۸ و ۴۸۷ ($\mu\text{mos/cm}$) رسیده بود. افزایش و کاهش متناوب مقادیر EC از ایستگاه منجیل به طرف سد سنگر بواسطه افزایش یون های املاح مختلف در طول فصل پاییز، کم بودن جریان آب، تبخیر نسبی آب در این فصل و راهیابی نمک های محلول از دیگر شعبات رودخانه های مجاور به سفیدرود بویژه در سد سنگر بوده است. در فصل زمستان با افزایش جریان آب و رقیق شدن نمک های محلول، در مجموع شاخص هدایت الکتریکی کاهش یافته است.

pH نمونه های آب در فصل پاییز در تمامی ایستگاه های تحت بررسی در محدوده ۷/۷۹ تا ۸/۱۵ قرار داشت، در حالی که pH نمونه های فصل زمستان به میزان قابل توجهی کاهش را نشان داده و این شاخص به حدود ۶ تا ۵ تنزل یافته بود. این کاهش ناشی از: ۱) کاهش فعالیت های بیولوژیکی جانداران آبی و جلبک ها در زمستان، ۲) راهیابی آلاینده ها با پایه اسیدی بوسیله رواناب های صنعتی و کشاورزی به رودخانه، ۳) افزایش یون های کربنات، اسیدهای معدنی، نمک های حاصل از اسیدهای قوی و بازهای ضعیف ناشی از فعالیت های صنعتی و ۴) راهیابی نمک های کربناته (کربنات کلسیم، منیزیم) به واسطه شستشو از لایه های زمین شناسی از جنس کربناته می باشد.

شاخص DO در فصل پاییز محدوده ای بین ۷/۶ تا ۹/۴ میلی گرم در لیتر و در فصل زمستان ۱۱/۵ تا ۱۲/۵ میلی گرم در لیتر را نشان داده است (جدول ۲ و ۳). از آن جایی که املاح در میزان DO اثرات متفاوتی دارند و اگر میزان املاح در آب بالا رود، میزان اکسیژن مولکولی محلول در آن کاهش می یابد (جایگزینی املاح با اکسیژن مولکولی) در نتیجه با توجه به وجود آلودگی بیشتر در پاییز، مقدار DO در تمامی ایستگاه ها کاهش یافته بود. همچنین فعالیت میکروارگانیسم ها با تغییرات دمای پاییز و زمستان، در افزایش و کاهش DO تأثیر داشته است. کاهش دما در فصل زمستان و افزایش جریان و تلاطم آب و همچنین کاهش تبخیر، موجب شده است که میزان اکسیژن محلول در آب افزایش پیدا کند. در مجموع بیلان کل DO در رودخانه سفیدرود مطلوب به نظر می رسد (سبحانی و خیردوش، ۱۳۸۴).

میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) در پاییز از سد منجیل به سمت سد تاریک بطور تدریجی افزایش یافته است (جدول ۲ و ۳). تغییر تدریجی مقدار COD از ایستگاه سد منجیل به طرف پایین دست رودخانه و افزایش حداکثری آن در محدوده مجتمع مسکونی رودبار، کارخانه روغن کشی گنجه و سد تاریک در هر دو فصل نشان می دهد که میزان آلودگی در این مناطق نسبتاً بالا بوده است. این ایستگاه ها از لحاظ اثرات منابع آلاینده، وضعیت مناسبی ندارند.

شاخص اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) در فصل پاییز از ایستگاه اول به طرف ایستگاه های میاندست افزایش یافته و در ایستگاه گنجه به طور ناگهانی به حداکثر ۲۲ میلی گرم اکسیژن در لیتر می رسد و مجدداً روند کاهشی در ایستگاه های بعدی مشاهده می شود. این شاخص در زمستان نیز همین روند را دنبال کرده است.

بررسی دامنه تغییرات این پارامترها حاکی از آن است که در ایستگاه های میانی، آلودگی به حداکثر میزان خود رسیده است. این مسأله به سبب ورود فاضلاب های صنعتی و شهری به این قسمت از رودخانه می باشد.

جهت بررسی منابع آلوده کننده با منشأ مواد آلی که غالباً در فاضلاب های شهری دیده می شوند، از سنجش میزان آمونیاک، نیتريت و نیترات موجود در نمونه های آب کمک گرفته شد.

وجود مقادیر کم آنیون نیتريت در ایستگاه ها، نشان از ظرفیت بالای خود پالایی رودخانه سفیدرود بوده و آلودگی جدید از منابع آلاینده فعال در این فصل، اثرات کم تری بر روی خصوصیات آب داشته است. مقادیر نسبتاً بالای میزان نیتريت در ایستگاه های مجتمع مسکونی رودبار و روغن کشی گنجه نشان دهنده وجود آلودگی کم در این مناطق بوده است که از تخلیه فاضلاب های شهری به رودخانه و یا فعالیت های صنعتی ناشی شده است. غلظت نیترات و دیگر ترکیبات نیتروژنی به عواملی چون فرسایش، آلودگی های ناشی از مصرف بی رویه کود و سموم در کشاورزی بستگی دارد (Izquierdo et al., 1997). وجود مقادیر بالای آنیون نیترات در ایستگاه های مجتمع مسکونی رودبار و کارخانه روغن کشی گنجه، حاکی از وجود نقش آلاینده های قدیمی تر (کودهای کشاورزی) در محدوده ایستگاه های مورد نظر می باشد. در بین کودهای شیمیایی، کود اوره بالاترین میزان مصرف را در کشاورزی ایران دارد. در شمال کشور نیز از این کود به میزان بالا استفاده می شود. کود اوره نیز پس از تجزیه به آمونیاک، آمونیوم، نیتريت و نیترات تبدیل می شود. فراتر رفتن میزان نیترات از ۱ میلی گرم در لیتر بیانگر آلودگی آب است (Klavins, 2000, Kalantary and Ebadi, 2006).

نتایج حاصل از آنالیزهای نمونه های آب در رابطه با غلظت عناصر سرب، کروم و کادمیوم (جدول ۴ و ۵) نشان داد که غلظت عنصر کروم در پاییز به ترتیب در مجتمع مسکونی رودبار و سد سنگر دارای بیشترین مقدار به ترتیب ۲/۳ و ۲/۴۴ میکروگرم در لیتر آب بوده است. در فصل زمستان، تمامی ایستگاه ها (بجز سد تاریک)، روند کاهشی این عنصر را نشان داده است. ایستگاه روغن کشی گنجه در فصل پاییز با حداکثر مقدار کادمیوم ۶/۴۶ میکروگرم در لیتر آب، آلوده ترین ایستگاه بوده است. بیشترین میزان سرب در فصل پاییز، در ایستگاه روغن کشی گنجه و در فصل زمستان، در ایستگاه سد تاریک بوده است. در مجموع، میزان غلظت عناصر سنگین کادمیوم و سرب فقط در ایستگاه گنجه نسبت به سایر ایستگاه ها بیشتر بود، در حالی که کروم فقط در ایستگاه های رودبار و سد سنگر بیشترین میزان را داشت.

وجود یون نیترات با غلظت بالا در ایستگاه های سد منجیل، مجتمع مسکونی رودبار و روغن کشی گنجه و همچنین میزان بالای فلزات سنگین را می توان به منابع آلاینده پساب های شهری و روستایی و استفاده بی رویه از کودهای اوره و فسفات (با ناخالصی های همراه مانند کادمیوم) نسبت داد زیرا خاک ایران در اغلب مناطق کشور از نوع آهکی بوده و تحت چنین شرایطی حلالیت عناصر ریزمغذی به ویژه روی، آهن، منگنز و مس در آن کم است و کشاورزان برای افزایش مقدار و کیفیت محصولات کشاورزی ناچار به استفاده از کودهای فسفات می گردند. بنابراین کادمیوم به عنوان ناخالصی های همراه کودهای فسفات به طور ناخواسته به محیط زیست راه می یابد.

مقایسه غلظت های عناصر سه گانه (کروم، کادمیوم و سرب) در نمونه های آب آنالیز شده با استانداردهای EPA و WHO (Clescerl, 1999) و مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران نشان می دهد که کروم از نظر آلاینده بودن مشکلی

بوجود نمی آورد اما به نظرمی رسد میزان غلظت کادمیوم در ایستگاه روغن کشی گنجه در آبان، اندکی بیشتر از حد مجاز استانداردهای مورد اشاره بوده است. مقادیر سرب در نمونه های ایستگاه های منجیل، روغن کشی گنجه، سد تاریک و سد سنگر در پاییز و زمستان، بیش از حد استاندارد EPA و یا نزدیک به حداکثر مجاز غلظت بود.

حداکثر غلظت کروم در ایستگاه روغن کشی گنجه به میزان ۳۱ ppm در آبان ماه بوده است. محدوده تغییرات غلظت کروم در نمونه برداری آبان در ایستگاه های تحت مطالعه بین حداقل ۲۳/۳ تا حداکثر ۳۱ ppm متغیر بوده است. در فصل زمستان محدوده تغییرات غلظت کروم اندکی کاهش یافته اما ایستگاه گنجه هنوز بیشترین مقدار را نشان می دهد. میزان کادمیوم نیز در فصول پاییز و زمستان در ایستگاه روغن کشی گنجه، نسبت به سایر ایستگاه ها بیشتر بود. همچنین ایستگاه های منجیل، رودبار و سد تاریک دارای بیشترین مقادیر سرب در نمونه های رسوب در ماه های آبان و بهمن بودند (جدول ۶ و ۷). الگوی افزایش و کاهش متناوب عناصر کروم و کادمیوم نشان داد که نوع منابع آلاینده کروم، کادمیوم و سرب و میزان تخلیه آن، از منابع گوناگونی با منشأهای مختلف به رودخانه صورت گرفته است.

نقشه و مدل ارتفاع رقومی تهیه شده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استان گیلان و حوضه آبریز سفیدرود نشان داد که ساختارهای زمین شناسی بخشهای پایین دست این رودخانه که اغلب از آبرفت های عهد حاضر تشکیل شده است تا ۲۰۰ متر و بخشهای بالادست آن بین پانصد تا هزار متر ارتفاع دارند.

توزیع رودها وجویبارهای موجود در حوضه آبریز سفیدرود به گونه ای است که رواناب های سطحی از جهات مختلف جغرافیایی از جمله از طرف نواحی جنوب شرقی، شرق، غرب و جنوب غربی که از مسیر های اصلی جریان آب به طرف رودخانه هستند، به سمت رودخانه سرازیر می شوند. بنابراین هرگونه آلودگی ناشی از فعالیت های کشاورزی، صنعتی، فاضلاب های شهری و روستایی شهرهای واقع در اطراف سفیدرود مانند لوشان، منجیل، رودبار، کلشتر، شوشته بار، جلیل آباد و رستم آباد به رودخانه هدایت می شوند (شکل ۲ و ۳).

نقشه حاصل از سیستم GIS بیانگر وجود لایه ها و رخنمون های گوناگون از سازندهای مختلف از دوران پرمین (قدیمی ترین) تا سنوزوئیک (جدیدترین لایه های زمین شناسی) در حوضه آبخیز سفیدرود می باشد (شکل ۴). واحدهای سنگی و چینه شناسی گستره پیرامون بخش علیای رودخانه سفیدرود بر اساس اختصارات لایه های مختلف عمدتاً از آهک، شیل، ماسه و شیل، آهک های مارونی، آهک ها و اربیتولین های خاکستری، توف های اسیدی، آهک های آتشفشانی، رسوبات دلتایی و دریایی تشکیل شده اند (درویش زاده، ۱۳۷۰).

با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می رسد ساختارهای زمین شناسی نقش مستقیمی در راهیابی فلزات سنگین کروم، کادمیوم و سرب به آب و رسوب رودخانه را ندارند مگر این که فعالیت های صنعتی ناشی از فرآورش کانسارهای فلزی و

راهیابی ضایعات به رودخانه باعث نمایان شدن این عناصر در رودخانه سفیدرود باشند؛ بویژه صنایع معدنی و فلزی فعال که در مجاورت شهرهای رودبار، لوشان و منجیل وجود دارند.

بخش ابتدایی طیف حاصل از نمونه رودبار (شکل ۵ الف)، دارای مجموعه ای از هیدروکربن های سبک و متوسط بوده، در حالی که این ترکیبات در طیف های مربوط به نمونه های گنجه و سد تاریک (شکل ۵ ب و ج) تقریباً از زمینه طیف ناپدید شده است.

در جداول شماره ۲ و ۳ نشان داده شد که ایستگاه مجتمع مسکونی رودبار بیشترین غلظت نیتريت و نترات را داشت. همین ایستگاه از طرف دیگر بیشترین آلودگی مواد آلی را نشان می دهد. در این طیف، مجموعه ای از ترکیبات آلکان های سبک و همچنین ترکیبات اشباع و آروماتیکی با تعداد کربن های بیشتر که برشی شبیه به ترکیبات موجود در برش های فرآورده های نفتی مانند نفت سفید و گازوئیل (قسمت های میانی طیف)، دیده شد.

از طرف دیگر ترکیبات آلی ناشناخته A, B, E و C در زمینه طیف (با غلظت های بیشتر در مقایسه با غلظت ترکیبات هیدروکربنی) دیده شد که کاملاً متفاوت از هیدروکربن هایی با منشأ نفتی بوده است. این ترکیبات می توانند ناشی از فعالیت های واحدهایی که با مواد نفتی و یا ترکیبات آلی سرو کار دارند مانند تعویض روغنی ها، صنایع حلال های آلی، واحدهای رنگسازی، کارواش ها و سوخت کوره واحدهای نانوایی باشد که به رودخانه راه یافته اند.

در حرکت به طرف ایستگاه های میان دست رودخانه، از غلظت ترکیبات سبک هیدروکربنی کاسته شده (نمونه های گنجه و سد تاریک) اما ترکیبات سنگین A و B هنوز در زمینه طیف، با غلظت های کم تری نمایان بوده است. علاوه بر این، ترکیب دیگر یعنی ترکیب D فقط در نمونه گنجه به چشم می خورد. ترکیب C در نمونه گنجه وجود نداشته است اما در نمونه آب سد تاریک مجدداً ظاهر گردید.

با توجه به وجود ترکیبات A و B در نمونه های آب هر سه ایستگاه به نظر می رسد که این مواد دارای منشأیی واحد بوده اند. کاهش غلظت این ترکیبات در نمونه های گنجه و سد تاریک بواسطه تبخیر و تجزیه تدریجی این ترکیبات در طول مسیر رودخانه بوده است. از طرف دیگر، ماده آلی ناشناخته C موجود در نمونه های رودبار و سد تاریک نشان داد که سرچشمه و یا منبع آلاینده آن، از ایستگاه رودبار آغاز شده است. ترکیب D فقط در نمونه آب گنجه دیده شده است. با توجه به جرم مولکولی، نقطه جوش و تعداد کربن ترکیب A، این ماده قاعدتاً باید از ترکیبات پیچیده سموم و حشره کش های کشاورزی مانند سم "مالاتیون"، با فرمول $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ و یا "دیازینون" با فرمول $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$ و مصرف بی رویه آن ها ناشی شده باشد (تقوی و همکاران، ۱۳۸۸).

بار آلودگی ناشی از فعالیت انسانی و تخلیه پساب های شهری و روستایی در ایستگاههای مجتمع مسکونی رودبار و کارخانه روغن کنجی گنجه در فصل پاییز کاملاً مشهود بوده است. با افزایش دبی رودخانه در زمستان، پارامترهای شاخص کیفیت آب اندکی بهبود یافته اما ایستگاه های گنجه و مجتمع مسکونی رودبار هنوز دارای بار آلودگی بوده اند.

محدوده تغییرات pH در تمامی نمونه ها تقریباً در حد بهینه بوده و مزاحمت و محدودیتی برای آبریان بوجود نیاورده است (سبحانی، ۱۳۸۴). غلظت عناصر کروم، کادمیوم و سرب در نمونه های رسوب به مراتب بیشتر از نمونه های آب بود. فراوانی کروم در نمونه های آب بر اساس استانداردهای موجود از نظر آلایندهگی مشکلی برای کیفیت آب بوجود نیاورد اما میزان کادمیوم در ایستگاه گنجه اندکی بیشتر از حد مجاز بود. غلظت سرب در ایستگاه های تحت مطالعه در هر دو فصل نزدیک و یا اندکی بالاتر از حد مجاز بوده است (Clescerl, 1999). وجود غلظت های بالای کروم و کادمیوم در پاییز ناشی از راهیابی آثار و بقایای کود و سموم کشاورزی از اراضی اطراف رودخانه به آب و رسوب بوده است و با افزایش جریان آب و بارندگی، اندکی از غلظت آنها کاسته گردید. با توجه به گستره ساختارهای زمین شناسی در اطراف رودخانه، نقش طبیعی این ساختارها در ایجاد آلودگی و راهیابی فلزات سه گانه به رودخانه بعید بنظر می رسد. با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز مواد آلی نمونه های آب، وجود آلودگی هایی ناشی از ورود پساب های شهری و روستایی در ایستگاه رودبار به چشم می خورد. از طرف دیگر، آلاینده هایی با منشأ مواد آلی مانند ترکیبات نفتی و یا کود و سموم شیمیایی باعث آلودگی آب ایستگاه های منجیل، گنجه و سد تاریک شده است.

منابع

۱. باقرزاده، آ.، ۱۳۷۷. مدیریت زیست محیطی رودخانه سفیدرود قبل و بعد از باز شدن دریچه های تخلیه رسوبات سد منجیل، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
۲. تقوی، ک.، نقی پور، د.، محققیان، آ.، جمالی، م. و رفیعی، ز.، ۱۳۸۸. تعیین مقدار سه آفت کش در رودخانه سفیدرود و آب آشامیدنی شهر رشت در سال ۱۳۸۷، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران.
۳. خوشروان، ه.، ۱۳۸۳. پهنه بندی درجه خطر آفرینی منابع آلاینده رودخانه ها و مناطق ساحلی استان گیلان در محیط GIS، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران.
۴. درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰. زمین شناسی ایران. انتشارات امیر کبیر.

۵. رجبی، م.، مرادی، ح. ر. و فرج زاده، م.، ۱۳۸۴. بررسی مشخصات خشکسالی استان فارس در محیط GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۶. سبحانی، ش. و خیردوش، ف. ۱۳۸۴. اصول آزمایشگاهی آب و فاضلاب. انتشارات طاق بستان.
۷. طهماسبی پور، ن.، نجفی دیسفانی، م. و مهدوی م.، ۱۳۷۳. کاربرد و ارزیابی مدل M.P.S.I.A.C با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (G.I.S.) در حوزه آبخیز جاجرود- لوارک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۸. قدرتی، ع.، کرمی خانیکی، ع.، صبح زاهدی، ش. و داداشی، م.ع.، ۱۳۸۳. بررسی ویژگی های سواحل گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره ای ETM، ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران.
۹. نادری، س.، ۱۳۷۶. بررسی آلودگی ناشی از هفت فلز سنگین و هیدروکربن های نفتی در آب رسوبات بندر انزلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۱۰. وجدانی، نوذر، ع. و اسدیانی، ا.، ۱۳۸۵. کاربرد فن آوری های RS و GIS در حفاظت رودخانه و کنترل سیلاب، سومین کنگره بین المللی بهداشت، درمان و مدیریت بحران در حوادث غیرمترقبه.
11. Akoto, O., Bruce, T.N. and Darko, G., 2008. Heavy metal pollution Profiles in streams serving the Owabi Reservoir. African J. of Env. Sci. and Tech, 2(11), 354-359.
12. Clescerl, L.S., Greenberg, A.E. and Eaton A.D., 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. ۱۷۶ 1pp.
13. Forstner, U., 1980. Inorganic pollutants, particularly heavy metals in estuaries, in: Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Wiley, 307-348.
14. Izquierdo, C., Usero, J. and Gracia, I., 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. Marine Pollution Bulletin, 34(2), 123-128.
15. Kalantary, M. R. and Ebadi, A.G., 2006. Measurement of some Heavy Metals in Sediments from two rivers (Tajan and Neka) of Iran. Journal of Applied Science, 6(5), 1071-1073.
16. Klavins, M. and *et al.*, 2000. Heavy metals in rivers of Latvia. The Science of the Total Environment, 262, 175-183.
17. Silva, M.P.D., Karunatikeke, R. and Thiemann, W., 1988. Study of some physicochemical properties of Newalla River water in Southern Srilanka with special reference to effluents resulting from anthropogenic activities. J. Environ.Sic. health., 23(4), 381-398.

18. Szalinska, E., Ken, G. Drouillal, Fryer, B. and Douglas Haffner, G., 2006. Distribution of Heavy Metals in Sediments of Detroit River. *J.Great Lake Reservoir*, 32, 442-454.
19. Welch. E.B.,1980. Ecological effects of wastewater. Cambridge University Press. Cambridge, 337.
20. Yu K. C., Tsal L. J., Chen S. H., Ho S. T., 2001. Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments. *Water Research*, 35 (17), 4086-4096.