An Investigation on Soil Pollution in Siahrud River Catchment Area

Razeqi, N., Karbassi, A.R., Mehrdadi, N., & Habibabadi, A.B.
Faculty of Environment, Tehran University

Abstract

Investigation on soil pollution in Siahrud River catchment area indicated that concentration of heavy metals are within permissible limits set by various international bodies. Though the concentration of Cr is higher than the permissible levels set for plants in the Parchinak area but cluster analysis showed lithogenous source for this element in the area of study. It should be noted that concentration of As in east farms of Joybar, Shourka, north of Larim and forest area in the south of Chapi area is higher than. Permissible levels and thus possibility of pollution hazards for plants and cattle is high. Though the concentrations of heavy metals are within the permissible levels but it should be noted that most of the studied metals have higher concentrations when compared with reference sample that was taken from inner part of forest where pollution does not prevail. Thus, it can be concluded that agricultural activities have been the main source of increase in the concentration of heavy metals in the area of study. Besides in some areas discharge of municipal sewage can further added to the concentration of heavy metals. The average concentration of organic matters in the agricultural soils of Siahrud River catchment area is about 5% that can lead to chelatation of heavy metals in the presence of PH more than 7. This phenomenon can prepare suitable ground for adsorption of metals by plants in a much easier way. However, such phenomena has not only lead to plant pollution as the concentration of studied elements falls within permissible levels but also may sometimes supply essential elements for the growth of plants.

بررسی آلودگی خاک در حوزه آبریز سیاهرود

(دریافت ۸۰/۱۱/۱۰ پذیرش ۸۱/۹/٤)

ناصر رازقی* عبدالرضا کرباسی* ناصر مهردادی* اکبر بیگی حبیب‌آبادی*

چکیده

بررسی آلودگی خاک در حوزه آبریز سیاهرود حاکی از آن است که غلظت فلزات سنگین در حد قابل قبول می‌باشد. گرچه غلظت عنصر کروم در منطقه پرچینک در حد آستانه مسمومیت گیاهان قرار دارد ولی آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد که منشاء این عنصر طبیعی است. هم‌چنین غلظت عنصر آرسنیک در مزارع شرق جویبار، شورکا، شمال لاریم و منطقه جنگلی در جنوب چپی از حد مسمومیت گیاهان فراتر بوده و امکان آلودگی نباتات، دام و طیور زیاد است. غلظت عناصر در اکثر نمونه‌های خاک در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافته که این موضوع لزوم کنترل بیشتر مصرف سموم و کودهای کشاورزی و هم‌چنین استفاده از پساب‌های خانگی و صنعتی در منطقه را جهت پیشگیری از آلودگی خاک، مشخص می‌سازد. میزان متوسط مواد آلی در خاک‌های کشاورزی حوزه آبریز سیاهرود ۵درصد است که در حضور pH بالاتر از ۷ سبب شلات شدن عناصر کمیاب و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان خواهد شد. البته به دلیل پایین‌تر بودن غلظت عناصر کمیاب در خاک نسبت به مقادیر آستانه و قرار داشتن در حد طبیعی، این مسأله مشکل خاصی را پدید نیاورده است و حتی در بعضی اوقات باعث تأمین عناصر کم مقدار مورد نیاز گیاه خواهد شد.

کلمات کلیدی : خاک، عناصر سنگین، آلودگی، سموم کشاورزی، حوزه آبریز سیاهرود.

مقدمه

از نظر آلودگی، خاک‌های ایران هنوز در حد کشورهای پیشرفته نیست، ولی توسعه سریع صنعتی و کشاورزی و بهره جستن از مواد شیمیایی متنوع و هم‌چنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی امکانات بالقوه‌ای را برای آلوده نمودن خاک‌های ایران فراهم ساخته است. به عنوان مثال میزان مصرف کود شیمیایی و سموم کشاورزی در سال‌های مختلف در استان مازندران در جدول ۱ ارائه گردیده است.

آلودگی خاک به واسطه استفاده از کود شیمیایی در ایران بیشتر مربوط به مصرف بی‌رویه و نابجای آن‌هاست. برای مثال کودی که در خاک‌های اسیدی و مرطوب شمال مصرف می‌شود عیناً در منطقه جنوب شرقی که خشک و خاک‌های آن اغلب شور و قلیایی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این استفاده بی‌رویه از کود شیمیایی باعث ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی و تجمع آن در گیاهان خواهد شد. استفاده از کودهای ناخالص باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌شود [۲].

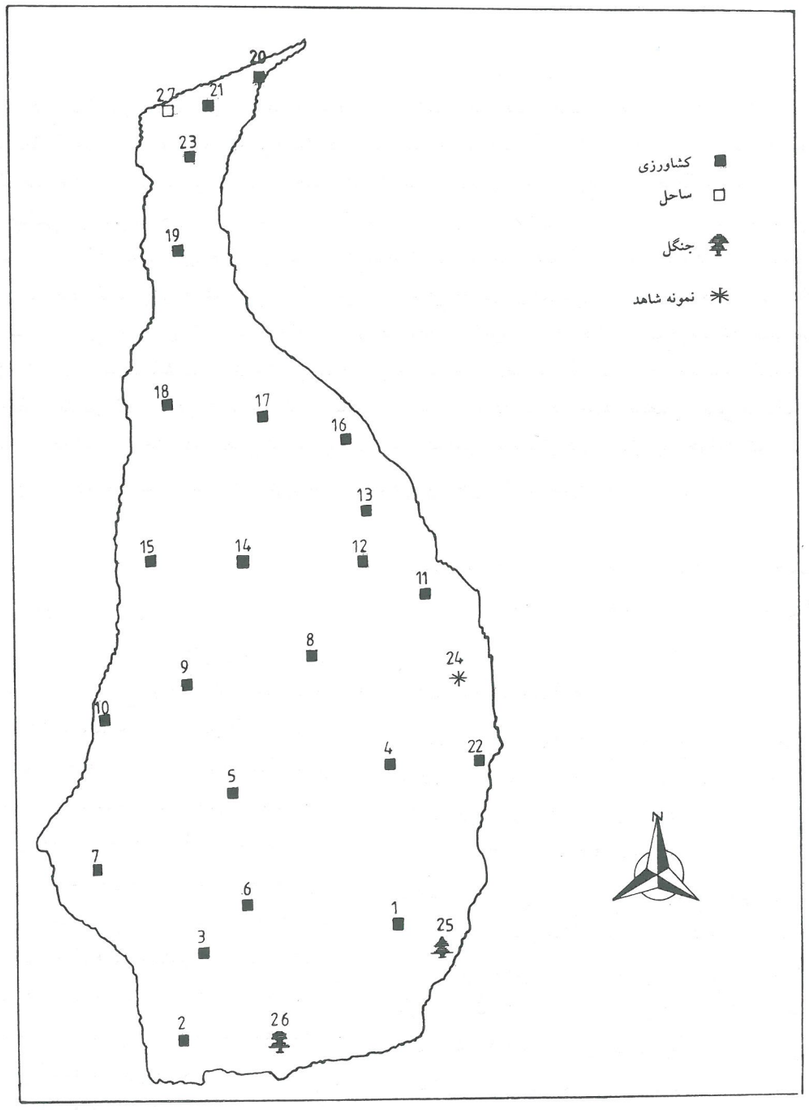
منطقه مورد مطالعه

سیاهرود رودخانه‌ای است واقع در استان مازندران که از قائم‌شهر عبور می‌کند. شاخه اصلی رود از ارتفاعات ۲٦۰متری، از نقطه‌ای به طول ۵۳ درجه و ۲/۸ دقیقه شرقی و عرض ۳٦ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی از شرق روستای پرچینک شروع و پس از پیمودن طولی برابر با ۷۵/٦ کیلومتر به دریای مازندران می‌ریزد. این رودخانه در دو بخش کوهستانی و دشتی قرار گرفته است. پروفیل مقطع طولی از کد ۲٦۰ متر شروع و به ۲۵- متر خاتمه می‌یابد. حدود ۲۲/۵ کیلومتر از طول رودخانه، از سرچشمه تا قائم‌شهر دارای شیب ۰/۸۵ درصد و از قائم‌شهر تا دریای خزر دارای شیب متوسط ۰/۱۵ درصد و از حاجی‌کلا تا

* دانشکده محیط زیست-دانشگاه تهران.

جدول ۱- میزان مصرف کود شیمیایی و سموم کشاورزی از سال ۶۸ الی ۷۲ در استان مازندران (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۳).

سال	کود شیمیایی (تن)	سموم کشاورزی (تن)
۱۳۶۸	۹۷۰۸۸	۱۷۰۳۶
۱۳۶۹	۱۰۵۵٤	۱۹۹۶۳
۱۳۷۰	۱۳۱۵۱٦	۱٤۳۲٤
۱۳۷۱	۱٤۷۱۳۱	۱۲٦۵۲
۱۳۷۲	۷۸۸۳۲	٦۳٤۰



شکل ۱- نواحی نمونه‌برداری از خاک در سطح حوزه آبریز سیاهرود.

زیار محله فاقد شیب می‌باشد. مساحت حوزه‌ی آبریز با استفاده از دستگاه مساحت یاب[1] معادل ٤٦۱/۰۱۱۸ کیلومتر مربع برآورد شده است. حوزه رودخانه مزبور از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران دوم، سوم و چهارم است.

روش تحقیق

در نمونه‌برداری از خاک کشاورزی در حوزه سیاهرود کلیه نمونه‌ها از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری برداشته شده است. برای این منظور یک لوله از جنس فولاد ضد زنگ مجهز به یک پیستون جهت خارج کردن خاک استفاده شد [۸]. جهت به دست آوردن اطلاعات جامع از وضعیت آلودگی خاک حوزه سیاهرود مجموعاً ۷۵ ناحیه نمونه‌برداری شد. مساحت هر ناحیه جهت نمونه‌برداری ۲ تا ۵ هکتار در نظر گرفته شد و از هر ناحیه ۲ تا ۵ نمونه تهیه و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط گردید. در نهایت ۲۷ نمونه خاک مرکب از سطح حوزه آبریز به دست آمد که هر یک از ترکیب ۳ تا ۷ نمونه خاک اولیه به دست آمده بود. محل نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. در میان نواحی انتخاب شده، ۲ نمونه مربوط به ناحیه جنگلی و یک نمونه از زمین کشاورزی که در آن از کود و سم استفاده نشده بود، به عنوان شاهد انتخاب و بقیه از نواحی کشاورزی معمولی بوده است. کلیه نمونه‌ها طبق روش استاندارد [۵] در درجه حرارت ۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده و ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها به خوبی پودر شدند و با استفاده از دستگاه PIXE مورد آنالیز قرار گرفتند [۳]. جیوه و کادمیوم به وسیله جذب اتمی (AAS-model 705 Perkin Elmer) اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین pH و مقدار مواد آلی از روش FAO استفاده شد [۵].

نتایج و بحث

نتایج آنالیز خاک در سطح حوزه آبریز در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار طبیعی مس در خاک، براساس گزارش‌های ارائه شده در حدود ٤۰mg/kg برای خاک‌های

[1] Plany Meter

شنی و برای خاک‌های سیلتی یا رسی ۲۱mg/kg ذکر گردیده که به طور متوسط در کلیه خاک‌ها ۲۸mg/kg می‌باشد [٦]. میزان جذب مس در گیاهان بستگی مستقیم با غلظت مس در خاک دارد، میزان جذب مس در ریشه نسبت به قسمت‌های بالایی گیاه بیشتر است. از طرفی برای بعضی فرآیندهای حیاتی گیاه، وجود مس اهمیت دارد. لذا حداقل میزان مس نبایستی در خاک از حد ۰/۸-۳mg/kg کمتر باشد [٦]. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز خاک در زمین‌های زراعی حوزه آبریز سیاهرود متوسط غلظت مس ٤mg/kg و حداکثر آن ۳٦mg/kg مربوط به منطقه کرچنگ و حداقل آن کمتر از ۱mg/kg در اکثر مناطق است. لذا با توجه به حد آستانه غلظت مس در خاک که ۱۰۰mg/kg می‌باشد، آلودگی خاک وجود نداشته و از نظر حداقل مقدار لازم برای خاک در اکثر مناطق فقیر می‌باشد. هم‌چنین در مقایسه با مناطق جنگلی و نمونه شاهد فقط در چهار نقطه آهنگر کلا، کردخیل، ابوخیل و کرچنک غلظت مس بیشتر است ولی با حد آستانه فاصله زیادی دارد.

از موازنه روی در خاک‌های سطحی چنین بر می‌آید که میزان ورود این عنصر از طریق اتمسفر به خاک معمولاً بیشتر از مقداری است که به وسیله استخراج یا شسته شدن از خاک خارج می‌شود. مقدار طبیعی این عنصر در خاک در حدود ۸۰mg/kg و حد آستانه آن که باعث مسمومیت گیاهان می‌شود ۳۰۰mg/kg می‌باشد [٦]. حداقل مقدار لازم برای ادامه حیات و رشد گیاه ۸mg/kg ذکر شده است. مقدار جذب روی توسط گیاهان معمولا با افزایش غلظت این عنصر در خاک افزایش می‌یابد. نتایج آنالیز خاک حوزه آبریز سیاهرود از نظر غلظت فلز روی نشان می‌دهد که از ۲۳ نمونه برداشت شده در نواحی زراعی، تعداد ۱۵ نمونه دارای غلظتی بیش از مقدار روی در نمونه شاهد و در ۱۲ نمونه بیش از حد طبیعی است. البته در هیچ یک از نمونه‌ها مقدار روی به حد آستانه نرسیده است. مقدار متوسط روی در مزارع از مقدار شاهد بیشتر و در منطقه ساحلی و جنگلی از منطقه زراعی بالاتر است. لذا نظر به موارد ذکر شده مقدار روی در زمین‌های کشاورزی نسبتاً از حد اولیه افزایش یافته است. بنابراین ضروری است قبل از رسیدن غلظت این عنصر در خاک به حد

جدول ۲- نتایج آنالیز نمونه‌های خاک از لحاظ فلزات سنگین (mg/kg).

شماره	محل نمونه‌برداری	کاربری	منگنز	کروم	نیکل	سرب	مس	روی	آرسنیک	وانادیوم
۱	پرچینگ	کشاورزی	۱۵۰	۹۹	۱۹	۰	۰	۱۰۶	۰	۰
۲	هادی کلای برگ	کشاورزی	۲۱۰	۶۲	۱۲	۱۷	۸	۵۰	۰	۰
۳	آهنگر کلا	کشاورزی	۱۷۰	۳۷	۱۲	۱۲	۲۲	۱۴۲	۰	۱۳
٤	کردخیل	کشاورزی	۱۲۰	۳۸	۱۶	۱۵	۰	۱٤	۰	۲۶
۵	لوخیل رطه	کشاورزی	۱۲۰	۲۲	۱۱	۱٤	۱۷	۱۵۶	۰	۵
۶	کرچنگ	کشاورزی	۱۷۰	۴۳	۱۳	۰	۳۶	۱۵۲	۰	٤۰
۷	شمال قائم‌شهر	کشاورزی	۱٤۰	۵۵	۰	۰	۰	۱۳	۰	۵۳
۸	شرفدار	کشاورزی	۲۰	۲۱	۰	۱۷	۰	۸۲	۰	۰
۹	افرایل	کشاورزی	۱۰۰	۵۹	۱٤	۱۱	۰	۶۲	۰	۰
۱۰	اوجانبندان	کشاورزی	۷۰	۳۶	۲	۲۵	۰	۲۳	۰	۰
۱۱	غرب ساری	کشاورزی	۱۲۰	۵۲	۶	۲۴	۰	۶۳	۰	۰
۱۲	چنارین	کشاورزی	۹۰	۵۸	۳	۲۳	۰	۸۶	۰	۰
۱۳	لمبود	کشاورزی	۸۰	٤۶	۱۱	۲۸	۰	۳۳	۰	۰
۱٤	صفرخیل	کشاورزی	۱۳۰	۳۶	۰	۱۵	۰	۱۰۹	۰	۰
۱۵	دیوکلا	کشاورزی	۱۶۰	۷٤	۱	۱۵	۰	۱٤۱	۰	۰
۱۶	شهاب سر	کشاورزی	۹۰	۳۶	۹	۹	۰	۷۸	۰	۰
۱۷	چهارصوف بن	کشاورزی	۱۵۰	۵٤	۰	۰	۰	۴۳	۰	۱۵
۱۸	شرق جویبار	کشاورزی	۱۳۰	۵۰	۱۰	۱۵	۰	۸۷	۵۸	۲۵
۱۹	شورکا	کشاورزی	۱۲۰	۳۶	٤	۱۳	۰	۱۳	۷۵	۱۰
۲۰	شرق صیدگاه لاریم	کشاورزی	۹۰	۲۷	۵	۲۶	۰	۱۵	۰	۰
۲۱	دهنه لاریم	کشاورزی	۱۲۰	٤۲	۰	۵	۰	۵۵	۱۸	۰
۲۲	بالادر	کشاورزی	۹۰	٤۳	۸	۱۶	۰	۴۵	۳۳	۰
۲۳	شمال لاریم	کشاورزی	۱۱۰	۱۲	۰	۱۲	۰	۵۸	۰	۰
۲٤	سنگریزه	شاهد زراعی	۸۰	۳۳	۱۸	۷	۰	۱۱۶	۰	۰
۲۵	ارتفاعات شمالی	جنگل	۲۰۰	۵۱	۲۸	۹	۰	۱۲۵	۱٤۲	۰
۲۶	جنوب غربی	جنگل	۱۲۰	۵٤	۱۶	۱۳	۰	۹۵	۲۳	۰
۲۷	ساحل لاریم	ساحل	۱۳۰	۳۹	۱۶	۱۳	۳	۸۶	۱۳	۰/۲
متوسط کل			۱۲۸	٤۵	۸	۱۳	٤	۸۳	۸	۸
متوسط زراعی			۱۲۷	٤۵۳	۷	۱۳	٤	٤۱	۰	۰
حداقل			۶۰	۱۲	۰	۰	۳۶	۱۵۶	۷۵	۵۳
حداکثر			۲۱۰	۹۹	۱۹	۲۸	۳۶	۱۵۶	۷۵	۵۳
متوسط جنگل			۲۶۰	۵۳	۲۳	۸	۰	۱۲۰	۲۲	۰
منطقه ساحلی			۱۳۰	۳۹	۱۶	۱۳	۰	۹۵	۲۱	۰
حد طبیعی			٤۹۰	٤۳	۱۹	۲۶	۲۸	۷۸	۷	۶۹
حد آستانه مسمومیت گیاه			۱۵۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۳۰	۱۰۰

جدول ۳- حد آستانه غلظت برخی عناصر کمیاب در خاک از لحاظ ایجاد مسمومیت در گیاه [۶].

نام عنصر	حد آستانه mg/kg	نام عنصر	حد آستانه mg/kg
منگنز	۱۵۰۰	وانادیوم	۱۰۰
کروم	۱۰۰	جیوه	۵
نیکل	۱۰۰	کادمیوم	۵
سرب	۱۰۰	سلنیوم	۱۰
مس	۱۰۰	قلع	۱۰
روی	۳۰۰	کبالت	۵۰
آرسنیک	۳۰	آنتیموان	۱۰

خطرناک از مصرف لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و استفاده از کودهای با ناخالصی زیاد جلوگیری شود. سرب در طبیعت به صورت ترکیب pbo وجود دارد و به تدریج طی فرایندهای اکسیداسیون به ترکیبات دیگر تبدیل می‌شود. اکثر ترکیبات سرب مانند سولفات، سولفوره، هیدرواکسید، کربنات و فسفات سرب دارای پتانسیل مسمومیت در خاک هستند [۹]. میزان طبیعی این عنصر در خاک براساس گزارش‌های مربوط به کشورهای مختلف به طور متوسط ۲۶mg/kg می‌باشد [۶]. غلظت این عنصر از نظر مسمومیت گیاهی ۱۰۰mg/kg گزارش شده است (جدول ۳).

میزان جذب سرب در برگ، ریشه و پوست گیاهان وابستگی مستقیم با غلظت سرب در خاک دارد و در شاخه و تنه درختان این وابستگی مشاهده نمی‌شود. نتایج آنالیز نمونه‌های خاک در حوزه آبریز رودخانه سیاهرود نشان می‌دهد که متوسط آلودگی خاک حوزه به سرب از حد طبیعی و حد آستانه کمتر است. لذا در هیچ یک از نقاط حوزه آلودگی سرب وجود ندارد.

تبدیل بیولوژیکی سموم دفع آفات آرسنیک‌دار از حالت معدنی به آلی اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده است. زیرا بدین طریق ترکیبات معدنی حاوی آرسنیک به مواد خیلی سمی تبدیل می‌گردد. براساس مطالعات انجام شده پایین‌ترین مقدار آرسنیک در خاک‌های شنی یافت می‌شود [۶]. ترکیب خطرناک آرسنیک در خاک ترکیبات آرسنات می‌باشد [۹].

حد آستانه آرسنیک در خاک از نظر مسمومیت گیاهی ۳۰mg/kg ذکر شده است (جدول ۳) و مقدار طبیعی آن ۷mg/kg می‌باشد. مقدار جذب این عنصر در گیاهان ارتباط مستقیم با غلظت آن در خاک دارد. در حوزه آبریز سیاهرود، میزان متوسط آرسنیک در مناطق کشاورزی ۸ mg/kg، حداکثر آن ۷۵mg/kg و حداقل آن صفر است. از ۲۳ نمونه زراعی، چهار نمونه دارای غلظتی بیش از مقدار شاهد و حد طبیعی و سه نمونه حتی از حد آستانه غلظت که باعث مسمومیت و عدم رشد گیاه می‌شود هم بیشتر است. این نواحی که غلظت آرسنیک در حد خطرناکی قرار دارد به ترتیب عبارتنداز از منطقه شورکا با۷۵mg/kg، منطقه شرق جویبار با ۵۸mg/kg و منطقه شمال لاریم در نزدیک ساحل دریا با ۳۳mg/kg، هم‌چنین در ناحیه بالادر با۱۸mg/kg، غلظت آرسنیک نزدیک به حد آستانه است. علاوه بر این و نظر به این که غلظت این عنصر در یکی از نقاط جنگلی در جنوب ناحیه چپی با ۱٤۲mg/kg و ناحیه شن‌های ساحلی با ۲۲mg/kg از حد طبیعی خارج می‌باشد، می‌توان علت را مربوط به منابع طبیعی دانست.

رفتار وانادیوم در خاک از نظر تأثیر در خاک و گیاه کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. منبع اصلی این عنصر در خاک‌های سطحی عموماً زغال سنگ و نفت خام است. مقدار متوسط جهانی این عنصر در خاک ۹۰mg/kg، حد طبیعی آن در خاک‌های سطحی به طور متوسط۶۹mg/kg و حد آستانه از نظر مسمومیت گیاهی ۱۰۰mg/kg ذکر شده است [۶]. جذب وانادیوم توسط گیاه از خاک مانند عناصر دیگر بستگی مستقیم به مقدار آن دارد.

با توجه به جدول ۲ در سطح حوزه آبریز رودخانه سیاهرود مقدار متوسط این عنصر در نواحی زراعی ۸/۵mg/kg و مقدار این عنصر در نمونه شاهد صفر می‌باشد. در نتیجه ۸ نمونه از ۲۳ نمونه دارای غلظتی بیش

از حد شاهد می‌باشد. در هیچ یک از نمونه‌ها غلظت وانادیوم به حد آستانه و حتی حد طبیعی این عنصر در خاک نمی‌رسد. لذا از این لحاظ در حال حاضر مشکلی مشاهده نمی‌شود. حداکثر غلظت این عنصر در ناحیه قائم‌شهر و بعد از آن در ناحیه کرچنگ مشاهده می‌شود. استفاده از سوخت‌های نفتی برای سیستم گرمایش خانگی و کارخانجات و رسوب اتمسفری بر روی خاک‌های نواحی قائم‌شهر احتمالاً در این مسئله دخیل می‌باشد.

میزان طبیعی عنصر کروم در خاک ۱۰۰mg/kg ذکر شده است (جدول ۳). برای حداقل مقدار لازم از این فلز جهت رشد گیاهان رقمی ذکر نشده اما مطالعات به عمل آمده، اثرات مثبت کاربرد کروم به میزان بسیار ناچیزی در خاک را تأیید می‌کند [۷].

براساس آزمایشهای انجام شده بر روی خاک‌های سطحی حوزه آبریز سیاهرود (جدول ۲)، از تعداد ۲۳ نمونه خاک زراعی، هیچ یک از حد آستانه تجاوز نکرده و فقط یک مورد در روستای پرچینک از نظر غلظت کروم در حد آستانه (۹۹mg/kg) قرار دارد ولی از نظر مقایسه با نمونه شاهد (شماره ۲۴)، ۱۹ مورد دارای آلودگی بیش از نمونه شاهد و ۱۰ مورد دارای غلظت بیشتر از حد طبیعی می‌باشد. مهم‌ترین عوامل آلوده کننده خاک به عنصر کروم در درجه اول لجن تصفیه‌خانه‌ها و سپس کودهای فسفاته است.

از نظر توزیع در خاک، شباهت زیادی بین کبالت و آهن با عنصر نیکل وجود دارد. مقدار طبیعی فلز کبالت در خاک در حدود ۱۰۰mg/kg ذکر شده است. حداقل مقدار لازم جهت حیات عادی گیاه رقمی ارائه نشده ولی تحقیقات نشان می‌دهد مقدار کم این عنصر در خاک جهت فعالیت آنزیم اوره آز ضروری است [۶].

در حوزه آبریز رودخانه سیاهرود متوسط مقدار نیکل در زمین‌های زراعی ۷/۱mg/kg، در مناطق جنگلی ۲۳mg/kg، در ساحل ۱۶mg/kg و در نمونه شاهد صفر می‌باشد. ماکزیمم غلظت نیکل در نواحی زراعی ۱۹mg/kg که معادل حد طبیعی آن می‌باشد و با حد آستانه برای مسمومیت گیاهی فاصله زیادی دارد. در مناطق زراعی مهم‌ترین عامل آلودگی نیکل مربوط به استفاده از کودها، سموم و لجن تصفیه‌خانه می‌باشد.

منگنز یکی از فراوان‌ترین عناصر کم مقدار در لیتوسفر می‌باشد. مقدار طبیعی این عنصر در خاک در حدود ۵۵۰mg/kg ذکر شده است. حداقل مقدار مورد نیاز این عنصر فرآیندهای حیاتی گیاهان بین ۲۰ تا ۱۰۰mg/kg است[۶]. به دلیل این که ترکیبات محلول منگنز در خاک، به راحتی جذب گیاه می‌شود، مقدار منگنز گیاه تابع مستقیمی از منگنز موجود در خاک است. نشان داده شده است که غلظت منگنز در گیاهان نسبت معکوس با افزایش pH و نسبت مستقیم با مقدار مواد آلی خاک دارد [۶].

میزان این فلز در خاک‌های زراعی حوزه آبریز سیاهرود به طور متوسط ۱۲۷mg/kg، حداکثر آن ۲۱۰mg/kg در منطقه قادی کلای بزرگ و حداقل آن ۶۰mg/kg در ناحیه شرفدار می‌باشد. لذا خاک حوزه از نظر کمبود یا ازدیاد منگنز مشکل خاصی ندارد. در مقایسه با مقدار نمونه شاهد، نمونه ۲۰ نمونه دارای غلظتی بیش از غلظت منگنز در نمونه شاهد (۸۰mg/kg) می‌باشد. مقدار منگنز در هیچ نقطه‌ای از حد طبیعی تجاوز نمی‌کند.

عناصر جیوه و کادمیوم از عناصری هستند که مقدار کم آن‌ها در خاک سبب آلودگی آن می‌شود. حد آستانه این دو عنصر که باعث مسمومیت گیاه می‌شود ۵mg/kg ذکر شده است. مقدار طبیعی کادمیوم در خاک‌های سطحی ۰/۶mg/kg و برای جیوه ۰/۱۷mg/kg ذکر شده است [۶]. مقدار جذب این دو عنصر در خاک مانند کلیه عناصر ارتباط مستقیم با غلظت آن در خاک دارد و فقط مقدار تجمع در قسمت‌های مختلف گیاه مثل ریشه، ساقه، برگ و پوست متفاوت است.

تعداد ۸ نمونه از ۲۷ نمونه‌ای که قبلاً تهیه شده بود جهت آنالیز به وسیله جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی انتخاب گردید. مقادیر غلظت این دو عنصر در نواحی نمونه‌برداری شده همراه با مقدار متوسط حداقل و حداکثر آن در جدول ٤ آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده در هیچ یک از نقاط حوزه مقادیر غلظت کادمیوم و جیوه به حد خطرناک نرسیده و از این لحاظ آلودگی به عناصر جیوه و کادمیوم خاک وجود ندارد.

عناصر دیگری چون آهن، کلسیم و پتاسیم در نمونه‌های خاک حوزه آبریز سیاهرود اندازه‌گیری شده است که نه از لحاظ آلودگی بلکه از نظر کیفیت خاک و زمین‌شناسی به عنوان شاخص آلودگی خاک به عوامل

جدول ٤- مقادیر غلظت جیوه و کادمیوم در خاک حوزه آبریز سیاهرود (میکروگرم بر کیلوگرم).

شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	کادمیوم	جیوه
۱	پرچینگ	۱۵۲	۳/۲
۵	ابوخیل ارطه	۱٤۰	۵/٦
۷	شمال قائم‌شهر	۱۰٤	۱۵/٦
۱۲	چنارین	۱۰٤	۱٦/۱
۱۸	شرق جویبار	۸٤	۱۷/٦
۱۹	شورکا	۸۸	۱۷/٦
۲۲	بالادرا	۹۲	۱٦/٤
۲۳	شمال لاریم	۲٤	۱۳/٦
۲٤-شاهد	سنگریزه	<۱۰	<۱
متوسط		۹۷	۱۲/٤٦
حداکثر		۱۵۲	۱۷/٦
حداقل		۲٤	۳/۲
حد آستانه		۵۰۰۰	۵۰۰۰
حد طبیعی		٦۰۰	۱۷۰

مختلف، ممکن است اهمیت داشته باشد. بالاترین مقدار کلسیم مربوط به ناحیه ساحلی به خاطر رسوبات دریایی (نمونه‌های ۲۳ و ۲۷) و حداقل آن در ناحیه بالادر می‌باشد. مقدار متوسط پتاسیم در خاک‌های زراعی ۰/٦۸ درصد بوده که در حاصلخیزی خاک موثر است. مقادیر این عناصر در خاک همراه با متوسط زراعی، جنگل، ناحیه ساحلی، حداکثر و حداقل آن‌ها در جدول ۵ آمده است.

مواد آلی موجود در خاک ناشی از مراحل مختلف تجزیه گیاهان و فضولات و بقایای حیوانی می‌باشد که به طور شیمیایی یا بیولوژیکی در خاک ساخته می‌شود. این مواد به طور وسیعی در خاک، رسوبات و آب‌های طبیعی پخش شده است. محصول این تجزیه معمولاً عبارت از مواد هوموس، اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و زیاد، هیدروکربن‌ها، پروتئین‌ها، پپتیدها و الکل‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از اجزا لیگنین می‌باشد. باید توجه کرد که ترکیب و خواص مواد آلی بستگی به شرایط اقلیمی، نوع خاک و کاربردهای کشاورزی دارد. میزان متوسط مواد آلی موجود در خاک‌های کشاورزی حدود ۵٪ می‌باشد که با توجه به مطالب ذکر شده در سطح بالایی قرار داشته و این خود سبب شلات شدن عناصر کمیاب خاک و جذب بهتر آن توسط گیاهان خواهد شد. البته به دلیل پائین بودن غلظت عناصر کمیاب در خاک، نسبت به مقدار آستانه و قرار داشتن در محدوده میزان طبیعی، این مسئله مشکل خاصی را پدید نیاورده و حتی بعضی اوقات باعث تأمین عناصر کم مقدار مورد نیاز در گیاه خواهد شد.

پارامترهای به دست آمده از آنالیز خاک شامل عناصر کمیاب، آهن، پتاسیم، کلسیم مواد آلی و pH با یکدیگر ارتباط داشته و منشا برخی عناصر و پارامترها می‌تواند زمینی، آلی، بیولوژیک یا آلودگی‌های نفتی باشد. به این منظور به کمک آنالیز خوشه‌ای ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده مشخص می‌گردد. برای انجام آنالیز خوشه‌ای محاسبه ضریب همبستگی بین عناصر ضروری است. در جدول ٦ ضریب همبستگی بین پارامترها ارائه شده است. پس از محاسبه ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای صورت پذیرفت. در این راستا ابتدا نتایج به صورت نمودار خوشه‌ای رسم شد (شکل ۲).

با توجه به نمودار، آنالیز خوشه‌ای از ۵ شاخه تشکیل شده است. در شاخه A دو عنصر منگنز وانادیوم تحت ضریب تشابه نسبتاً بالایی یعنی ۰/٦٦۹ به هم متصل

جدول ۵- نتایج آنالیز نمونه‌های خاک از لحاظ مواد آلی، pH کلسیم، آهن و پتاسیم.

محل نمونه‌برداری	کاربری	کلسیم٪	آهن٪	پتاسیم٪	مواد آلی٪	pH
پرچینگ	کشاورزی	۳/۱	۳/٤۷	۰/۹۳	۳/٦	۷/٤٤
هادی کلای بزرگ	کشاورزی	۱/٦٦	٤/۲۸	۱/۱۲	۷/٦	۷/٤
آهنگر کلا	کشاورزی	۱/۹	۳/۱۱	۰/۸٤	۲/۸	۷/۲۵
کردخیل	کشاورزی	۳/٤	۲/٤۲	۰/٦۵	۳/۸	۷/۲۰
لوخیل رطه	کشاورزی	۱/۷	۲/۸۸	۰/۷	۵/٦	۷/٦۰
کرچنگ	کشاورزی	۱/۰	٤/۱۹	۰/۹۳	٤/۸	۷/۱۲
شمال قائم‌شهر	کشاورزی	۱/۹	۳/۵۸	۰/۸٦	۵	۷/٦۷
شرفدار	کشاورزی	۲/۵	۲/۵٦	۰/٦۳	۷	۷/۸
افراپل	کشاورزی	۳/۹	۲/۸٦	۰/٦٤	۳/۵	۷/۷
اوجانبندان	کشاورزی	۲/۵٦	۱/۹۲	۰/٤۳	۸/۲	۷/٦
غرب ساری	کشاورزی	۳/۵	۲/۹۷	۰/٦۷	۵/۲	۷/۷
چنارین	کشاورزی	۱/۵۸	۳/۳۸	۰/۷۷	۲/۵	۷/٦
لمبود	کشاورزی	٤/٦	۲/٤	۰/٦۲	۷/۱	۷/٦
صفرخیل	کشاورزی	۱/٤۹	۲/۰	۰/٦۰	٤/۲	۷/٦۵
دپوکلا	کشاورزی	۱/۲۹	۳/۹٦	۰/۹۱	۳/۹	۷/٦۸
شهاب سر	کشاورزی	۷/۵	۲/۳۷	۰/۷۳	۸/۱	۷/۷۵
چهارصوق بن	کشاورزی	۱/٤٤	۳/۹۳	۰/۷٤	۵/۳	۷/۷۵
شرق جویبار	کشاورزی	۱	۲/٤٦	۰/٤٤	٤/٤	۷/٦٤
شورکا	کشاورزی	۲/۱	۳/۲۸	۰/۷۲	٦/٦	۷/٦٦
شرق صیدگاه لاریم	کشاورزی	۵/٦	۲/۱۹	۰/۳٤	۲/۷	۷/۳
دهنه لاریم	کشاورزی	۷/۲	۲/۹۹	۰/۳۵	۳/٦	۷/۸
بالادر	کشاورزی	۰/٤۳	۲/٦	۰/۵۸	۳/٦	٦/۸۸
شمال لاریم	کشاورزی	۹/٦۱	۱/۸۸	۰/۵٤	۲/۸	۷/۹
سنگریزه	شاهد زراعی	٤/۰۵	۲/٤۳	۰/٦٤	۳/٤	۷/۸۳
ارتفاعات شمالی	جنگل	۷/۱	۳/۲	۰/۷۸	۷/۲	۷/٦۷
جنوب غربی	جنگل	۵/۱	۲/٦۸	۰/٦۵	۷/۲	۷/٦۳
ساحل لاریم	ساحل	۱۳/۲	٤/۰۷	۰/٤۹	۳/۲	۷/۹
متوسط کل		۳/٦۹	۲/۹٦	۰/٦۸	۵	۷/۵۹
متوسط زراعی		۳/۰۵	۲/۹٤	۰/٦۸	٤/۷٦	۷/۵٦
حداکثر زراعی		٦/۹	٤/۲۸	۱/۱۲	۸/۲	۷/۸
حداقل زراعی		۰/٤۳	۱/۸۷	۰/۳٤	۱/٤	٦/۸۸
متوسط جنگل		٦/۱	۲/۸۵	۰/۷۲	۹/۲	۷/٦۵
منطقه جنگلی		۱۳/۲	٤/۰۷	۰/٤۹	۳/۲	۷/۹

شده‌اند. از آنجا که وانادیوم به صورت شاخص آلودگی نفتی شناخته شده است، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسان و سوخت انرژی توانسته است باعث پراکنش وانادیوم در بخش‌هایی از حوزه سیاهرود گردد. منگنز نیز دارای منشا یکسان با وانادیوم است.

روی و مس که شاخه B را تحت ضریب تشابه ۰/۵۶۷ تشکیل می‌دهند در شاخه خود دارای شاخصی برای تجزیه و تحلیل نمی‌باشد و از آنجاکه تحت ضریب تشابه بسیار پایین ۰/۱۲۷ به شاخه A متصل می‌گردند، منشا آن‌ها نمی‌تواند آلودگی نفتی محسوب شود. در شاخه C،سه عنصر کروم، پتاسیم و آهن تحت ضریب تشابه معنی‌دار۰/۵۳٦ به یکدیگر اتصال یافته‌اند و از آنجا که آهن شاخص زمینی محسوب می‌شود، می‌توان استنتاج نمود که منشا کروم و پتاسیم در خاک‌های حوزه سیاهرود

کاملاً زمینی است. در شاخه Dسه عامل آرسنیک، مواد آلی و نیکل قرار گرفته‌اند. رابطه آرسنیک و مواد آلی نسبتاً معنی‌دار است. (ضریب تشابه برابر با ۰/٤۸۳). بنابراین آرسنیک موجود در خاک‌های سیاهرود دارای منشا آلی است. از طرفی بخشی از نیکل نیز می‌تواند دارای چنین منشایی باشد، ولی این وابستگی به اندازه آرسنیک نیست. با در نظر گرفتن این که سموم و کودهای کشاورزی در منطقه استفاده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از نیکل و آرسنیک مشتق از مواد آلی، انسان ساخت است. در شاخه Eسه عامل pH ، کلسیم و سرب قرار گرفته‌اند. ارتباط کلسیم با pH نشان می‌دهد که pH خاک عمدتاً توسط مواد آهکی کنترل می‌شود. از طرفی مواد بیوژنیک در تجمع سرب بی‌تأثیر نبوده است. اگرچه ارتباط سرب با کلسیم در حد ناچیزی قرار گرفته، ولی معمولاً در نواحی ساحلی و خصوصاً آب‌های کم عمق دریاها این ارتباط بسیار محسوس است. ارتباط ضعیف شاخه E با سایر شاخه‌ها، حاکی از عدم رفتار یکسان، بین فاکتورهای این شاخه با شاخه‌های دیگر است.

نتیجه‌گیری

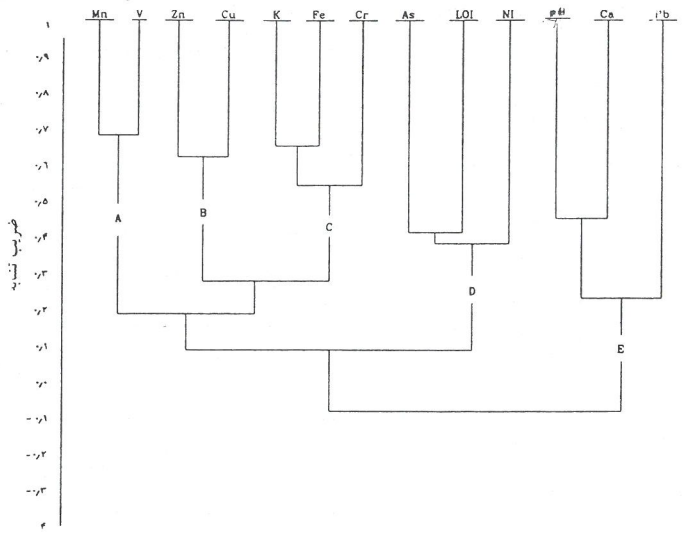
بررسی آلودگی خاک کشاورزی درحوزه نشان داد که از نظر فلزات سنگین به جز در چند مورد، غلظت عناصر در حد قابل قبول است. مواردی که غلظت عناصر کمیاب در حد بالایی قرار دارد، عبارتست از :

- غلظت عنصر کروم در منطقه پرچینگ که در حد آستانه مسمومیت گیاه قرار دارد. اما آنالیز خوشه‌ایی نشان داد که منشا آن طبیعی است.
- غلظت عنصر آرسنیک در مزارع شرق جویبار، شورکا، شمال لاریم و منطقه جنگلی در جنوب چپی که از حد مسمومیت گیاه فراتر و امکان آلودگی نباتات، دام و طیور زیاد است. به دلیل وجود غلظت بالای این عنصر در منطقه جنگلی احتمالاً آلودگی نواحی کشاورزی ناشی از یک منبع طبیعی است.
- علاوه بر این موارد، در اکثر نمونه‌ها غلظت عناصر خاک در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافته است که این موضوع لزوم کنترل بیشتر مصرف سموم و کودهای

جدول ٦- ضریب همبستگی بین عوامل اندازه‌گیری شده در خاک حوزه آبریز سیاهرود.

	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	As	V	Ca	Fe	K	Lol*	pH
Mn	۱/۰	۰/۱٦۰	-۰/۱٦۳	-۰/۳۷٦	-۰/۰۳٦	-۰/۰٦۳	-۰/۰۷٦	۰/٦۹۹	۰/۱۲۱	۰/۲۵۲	۰/۲٦۲	-۰/۰۰۷	۰/۰٤٤
Cr		۱/۰	۰/۲۷۰	-۰/۲۸۳	-۰/۱۲۵	۰/۱۸۵	-۰/۰۲٦	-۰/۱٤٦	-۰/۲٦۰	۰/۵٤٤	۰/۵۲۸	-۰/۲٤۲	-۰/۱۲۲
Ni			۱/۰	۰/۲۷۹	۰/۲۱۹	۰/۳۳٤	۰/٤٤٦	-۰/۰۲۲	۰/۳۳۱	۰/۱۳۱	۰/۱۷۹	۰/۲۸۳	-۰/۱۵٤
Pb				۱/۰	۰/۵٦۷	-۰/۳۱۳	-۰/۲۰۱	-۰/٤۹۲	۰/۱۷۳	-۰/۲۸۲	-۰/۳۱۱	۰/۰۹۰	۰/۲٦٦
Cu					۱/۰	۰/۵٦۷	-۰/۱۰٤	۰/٤۳۱	-۰/۳٤۲	۰/۳۳۰	۰/۳۵۸	۰/۰٦۲	-۰/٤٦۵
Zn						۱/۰	۰/۰۵۰	۰/۰۸٦	-۰/۲۳٦	۰/۵۰۱	۰/۵۹۳	۰/۰۳۲	-۰/۱٦۸
As							۱/۰	۰/۰٦۵	۰/۱۰۷	-۰/۱۰٦	-۰/۱٦۳	۰/٤۸۳	۰/۰۷٦
V								۱/۰	-۰/۲۹٤	۰/۲۳۹	۰/۲۱٦	-۰/۰٦۲	-۰/۳۲۵
Ca									۱/۰	-۰/۱۳٦	-۰/٤۱۰	۰/۰۹۰	۰/٤۵۹
Fe										۱/۰	۰/٦٦۵	-۰/۱۹۸	-۰/۱۰۹
K											۱/۰	۰/۱۰۲	-۰/۲۵۲
Lol*												۱/۰	۰/۱۵۹
pH													۱/۰

*مواد آلی



شکل ۲- انالیز خوشه‌ای عوامل اندازه‌گیری شده در خاک.

کشاورزی و هم‌چنین استفاده از پساب‌های خانگی و صنعتی در منطقه را، جهت پیشگیری از آلودگی خاک، مشخص می‌سازد. مقدار مصرف سموم نباتی در زمین‌های کشاورزی باید حساب شده باشد تا از آلودگی آب‌ها و خاک حوزه جلوگیری شود.

با توجه به این که در خاک‌های اسیدی، پایداری مواد کمپلکس حاصل از مواد آلی و فلزات سنگین بیشتر می‌شود، مواد آلی موجود در خاک به عنوان یک منبع جذب عناصر سنگین عمل می‌کند. ترکیبات ساده مواد آلی مانند اسیدهای آمینه، هیدروکسیل و اسیدهای فسفر عامل موثر در شلات شدن و جذب عناصر سنگین توسط گیاه است. میزان متوسط مواد آلی در خاک‌های کشاورزی حوزه آبریز سیاهرود ۵٪ برآورد گردید. وجود مواد آلی و داشتن pH>۷ سبب شلات شدن عناصر کمیاب و جذب بهتر آن توسط گیاهان خواهد شد. البته به دلیل پایین‌تر بودن غلظت عناصر کمیاب در خاک نسبت به مقادیر آستانه و قرار داشتن در حد طبیعی، این مسئله مشکل خاصی را پدید نیاورده و حتی در بعضی اوقات باعث تأمین عناصر کم مقدار مورد نیاز گیاه خواهد شد.

تشکر و قدردانی

هزینه اجرای طرح فوق در قالب طرح آلودگی‌های آب و خاک استان مازندران از طرف دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران تأمین گردیده است که بدینوسیله نگارندگان کمال تشکر را از مسئولین ذیربط ابراز می‌دارند.

منابع و مراجع

۱- بیگی حبیب‌آبادی، ا.، (۱۳۷۵). *"ارزیابی اثرات آلودگی ناشی از مواد زائد جامد در حوزه آبریز سیاهرود"*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۲- کردوانی، پ.، (۱۳۷۳). *"حفاظت خاک"*. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم.

۳- معینی، ر.، (۱۳۷۲). *"بهینه‌سازی سیستم آنالیز PIXE"*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

٤- وزارت کشاورزی، (۱۳۷۳). *"گزارش فعالیت و عملکرد شرکت پخش کود در استان مازندران"*.

5- Cottenie, A. (1980). "*Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendation*", FAO, Rome.

6- Kabata, A. (1980). "*Trace Element in Soils and Plants*", CRC Press Inc., Florida.

7- Mertz, W. (1969). "*Chromium Occurrence and Function in Biological Systems*", Physiol Rev., V.49, No.163.

8- Miller, R.W. & Donahue, R.L. (1995) "*Soils in our Environment*", 7th Edition, Prentice Hall, London, pp. 346-362.

9- Ross, S.M. (1994) "*Toxic Metals in Soil-Plant Systems*", John Willey & Sons, Singapore.