



گیاه پالایی خاک های آلوده به فلزات سنگین ناشی از فاضلاب شهرک صنعتی اشتهارد توسط گیاهان بومی و مرتعی

جعفر نوری^۱، امیر حسام حسنی^۲، ایرج مهرگان^۳، فرامرز معطر^۴ و محمد رضا صادقی بنیس^{۵*}

- ۱- استاد گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
- ۳- استادیار گروه زیست شناسی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
- ۴- استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
- ۵- دانشجوی دکتری گروه علوم- محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۶

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۰

Phytoremediation of Contaminated Soils that Have Taken Up Heavy Metals from Eshtehard Industrial City Wastewater

Jafar Nouri,¹ Amir Hssam Hassani,²
Iraj Mehregan,³ Faramarz Moattar⁴ and
Mohammad Reza Sadeghi Benis^{5*}

1. Professor, Faculty of Environmental Management Department, Graduate school of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Environmental Engineering Department, Graduate school of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Biology, Department of Basic Science, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Professor, Faculty of Environmental Engineering Department, Graduate school of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5. PhD. Student of Environmental science, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

Heavy metal phytoremediation is a low cost, practical technique, especially if the plants chosen for this purpose are endemic and pasture plants compatible to the contaminated region. In this paper, some heavy metals such as chromium, zinc, cadmium, lead, and nickel have been studied in the soil and pasture plants around the industrial city of Eshtehard which had become contaminated by raw sewage effluent. As a result, the plants which are able to phytoextract or phytostabilize the soil have been recognized and proposed for purifying regions contaminated by sewage. The plant *Artemisia herba-alba* Asso. Has been recognized as a hyperaccumulator of chromium, *Salsola kali* of chromium, zinc and lead, *Alhagi persarum* Boiss. & Buhse of lead and zinc, *Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desf. of lead, *Astragalus aureus* Wild of lead and zinc, *Salvia aristata* Aucher ex Benth of lead, *Bromus Tectorum* L. of zinc and lead, *Phragmites australis* (Cav) Trin. ex Steud of zinc, cadmium and lead, *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv. of cadmium, *Hordeum vulgare* L. of chromium, zinc, cadmium and lead, *Stipa barbata* Desf. of lead, *Pteropryum Aucheri* Jaub. & Spach of zinc and lead and *Peganum harmala* L. of nickel and lead. Plants with the potential for stabilization are: *Salsola kali* of chromium, *Launaea acanthodes* (Boiss.) O.Kuntze of zinc, *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv. of cadmium, *Alhagi persarum* Boiss. & Buhse and *Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desf., *Astragalus aureus* Wild and *Pteropryum Aucheri* Jaub. & Spach of lead and *Kochia scoparia* (L.) Shrad of nickel. So, it is recommended that these plants would be planted in the polluted area in order to purify contaminated soils. Hyperaccumulator plants can be disposed as industrial waste after harvesting and plants with the potential of stabilization prevent pollution discharge to pure lands such as adjacent farmland.

Keywords: Raw sewage, Heavy metals, Phytoremediation, Eshtehard industrial city.

چکیده

گیاه پالایی فلزات سنگین تکنیکی ارزان و کاربردی برای پالایش خاک های آلوده محسوب می گردد؛ بخصوص اگر از گیاهان بومی و مرتعی سازگار با محیط زیست منطقه آلوده استفاده گردد. در این پژوهش فلزات سنگین، شامل کروم، روی، کادمیوم، سرب و نیکل در خاک و گیاهان بومی و مرتعی اطراف شهرک صنعتی اشتهارد که در اثر ورود فاضلاب خام و تصفیه نشده آلوده شده اند، مورد مطالعه و سنجش قرار گرفته اند. براین اساس گیاهان دارای توانایی استخراج یا پایدار سازی گیاهی شناسایی گردیده و برای پاکسازی مناطق آلوده به فاضلاب پیشنهاد شدند. در میان گیاهان مورد پژوهش، گیاهان درمنه صخره ای در کروم، شور خاردار در کروم، روی و سرب، خار شتر ایرانی در سرب و روی، خار شتر خزری در سرب، گون طلائی در سرب و روی، مریم گلی سیخکدار در سرب، علف بام در روی و سرب، نی در روی، کادمیوم و سرب، برنج ارزنی در کادمیوم، گیاه جو در کروم، روی، کادمیوم و سرب، استپی ریش دار در سرب، پرند در روی و سرب، اسپند در نیکل و سرب فرابناشته کننده فلزات مذکور محسوب می گردند. گونه های با پتانسیل پایدار سازی نیز شامل گیاهان شور خاردار در کروم، کاهوسای بیابانی در روی، برنج ارزنی در کادمیوم، گیاهان خار شتر ایرانی و خار شتر خزری، گون طلائی و پرند در فلز سرب، جاروی قزوینی در نیکل می باشند. در نتیجه پیشنهاد می گردد از گونه های گیاهی ذکر شده به منظور پاکسازی خاک های آلوده به فاضلاب استفاده گردد. گیاهان فرابناشته کننده می توانند پس از جمع آوری به راحتی مانند زباله های صنعتی دفع گردند و گیاهان دارای قابلیت پایدار سازی گیاهی نیز در منطقه آلوده مانع از انتشار آلودگی ها به محیط های فاقد آلودگی همانند زمین های کشاورزی اطراف می گردند.

واژه های کلیدی: فاضلاب خام، فلزات سنگین، گیاه پالایی، شهرک صنعتی اشتهارد.

مقدمه

آلودگی خاک ناشی از فاضلاب‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی بوده و پاکسازی این خاک‌ها بسیار پرهزینه می‌باشد (Nori, 1992). در این خصوص گیاه پالایی^۱ یکی از روش‌های زیست‌پالایی است که در برای اصلاح و پالایش خاک‌های آلوده به فاضلاب ارائه شده است. مزیت این روش ارزان بودن و امکان بهره‌گیری در سطح وسیع است (Melinda Paz and Gilbert Sigua, 2013).

گیاه پالایی به کاربرد گیاهان سبز برای تیمار و رفع آلودگی در محل خاک‌ها و آب‌های زیر زمینی اطلاق می‌گردد که به روش‌های گوناگون انجام می‌شود (Branquinho et al., 2006). در این مقاله دو روش آن مورد بررسی قرار می‌گیرد:

الف) گیاه انباشتی^۲: این روش برداشت فلزات سنگین از خاک به توانایی طبیعی گیاه برای جذب این فلزات بستگی دارد. بهترین گزینه برای حذف فلزات سنگین در این روش استفاده از گیاهان فرا انباشته کننده^۳ می‌باشد (Zofen et al., 2013).

ب) پایدارسازی گیاهی^۴: کارایی این روش به توانایی ریشه گیاه برای دور ساختن و کاهش قابلیت دسترسی زیستی مواد آلوده کننده در خاک بستگی دارد. هدف از این روش جلوگیری از جابجایی آلاینده‌های فلزی و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی است (Yoon et al., 2006).

غلظت عادی فلزات سنگین در گیاهان طبق استاندارد جهانی برای نیکل ۱/۵، روی ۵۰، کادمیوم ۰/۰۵، سرب ۱ و کروم ۱ گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Dunn, 2007; iubs, 1994). گیاه فرا انباشته با دو تعریف مشخص می‌گردند. در تعریف اول که

توسط Baker در ۱۹۸۱ انجام شد، آستانه گیاهان فرا انباشتگی، فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاه (شامل برگ‌ها، ساقه و گل) می‌بایست به صورت زیر باشد: در رابطه با فلزات کادمیوم ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کروم ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و فلزات نیکل، سرب ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فلز روی ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم. اما در تعریف دوم، که بر اساس تعریف EPA در سال ۲۰۰۰ می‌باشد، گیاه فرا انباشته کننده گیاهی است که مجموعاً در اندام هوایی و ریشه فلزات را با غلظت‌های زیر تجمع نماید: ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم و سرب و بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و نیکل. لازم به ذکر است این تعریف با حذف تاکید بر انباشتگی فلز در اندام هوایی، محدودیت تعریف انباشتگی فقط در اندام‌های هوایی Baker را تا حدی برطرف نمود. لازم به ذکر است مفهوم بیش انباشتی به طور عمده اشاره به زیستگاه طبیعی گیاه دارد و نمی‌تواند برای گیاهانی که تحت شرایط آزمایشگاهی مصنوعی رشد می‌کنند به کار برده شود

(Lin et al., 2012). گیاهان مناسب برای پایدارسازی گیاهی نیز می‌بایست فاکتور تغلیظ زیستی بالاتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک را داشته باشند (Yoon et al., 2006).

در شهرک صنعتی اشتهارد صنایع موجود اکثراً از نوع شیمیایی می‌باشند و مشخصات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه متأثر از این گروه از صنایع است. به سبب در نظر نگرفتن ظرفیت تولید در طراحی تصفیه‌خانه در گذشته حجم بالایی از فاضلاب خام وارد

مراتع گردیده که می بایست پاکسازی گردد (Mehravaranzist Co, 2011).

در پژوهش پیش رو غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان منطقه بررسی و گیاهان فراانباشته کننده و پایدار ساز معرفی می گردند. در این میان گیاهان شور خاردار، خار شتر خزری، مریم گلی سیخک دار، استپی ریش دار و پرند برای اولین بار است با توجه به شرایط اقلیمی و ادافیکی زیستگاه آلوده محل تحقیق به عنوان فراانباشته کننده معرفی می گردند.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مناطق آلوده شده به فاضلاب شهرک صنعتی اشتهارد با طول ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه شرقی انجام گردیده است. این منطقه دارای ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ متر از سطح دریا، اقلیم نسبتاً خشک با بارندگی متوسط ۲۲۰ میلی متر در سال، میانگین متوسط سالانه رطوبت نسبی ۵۵٫۳ درصد، مجموع ساعات آفتابی سالانه ۳۰۲۳ ساعت، متوسط ایام یخبندان سالانه ۷۸ روز و دارای باد غالب شمال غرب و غرب با سرعت غالب ۴ تا ۶ نات می باشد.

نمونه برداری

جمع آوری نمونه ها در سال ۱۳۹۰ از اواسط خرداد تا اواخر شهریور ماه انجام شد. نمونه برداری از گیاهان بالغ در دو منطقه آلوده و شاهد به نحوی صورت گرفت که کلیه اندام های هوایی به انضمام ریشه از خاک خارج گردید. با توجه به تنک بودن پوشش

گیاهی مناطق آلوده نمونه برداری با روش سیستماتیک - تصادفی (بدون قاب و با مشاهده نظری) انجام شد (Neishabori, 2011). نمونه های پس از انتقال به هیرباریوم دانشگاه علوم و تحقیقات مورد شناسایی قرار گرفتند. نمونه برداری خاک هم از عمق صفر تا بیست سانتی متری خاک و در محل نمونه برداری هر گیاه به صورت جداگانه انجام گردید.

اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه ها

برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در نمونه های خاک، روش هضم اسیدی بکار رفت (Sposito *et al.*, 2010; khorasani *et al.*, 1982).

مقدار ۲ گرم از هر نمونه خاک را در ارلن درب دار ریخته و به آن ۱۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه گردید. سپس به مدت ۱۲ ساعت ارلن ها در حمام آب گرم در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار داده و بعد از عبور از صافی، با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل Varian Spectra 200 ساخت کشور استرالیا غلظت فلزات سنگین قرائت گردید. ویژگی های فیزیکی شیمیایی خاک نیز با استفاده از روش های استاندارد مورد بررسی قرار گرفت (ISRIC, 2002).

برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در نمونه های گیاهی از روش عصاره گیری خاکستر خشک استفاده شد (Shaw, 1989; khorasani *et al.*, 2010). بدین ترتیب که ۲ گرم از هر نمونه گیاهی به درون بوته چینی انتقال داده شد. نمونه ها در آون در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. پس از آن ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به

نمونه‌ها اضافه شد. پس از عبور از صافی غلظت فلزات سنگین با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل Varian Spectraa 200 ساخت کشور استرالیا قرائت گردید.

روش‌های تعیین فاکتور های گیاه پالایی

برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی^۵، غلظت فلز سنگین در ریشه گیاه را بر غلظت فلز سنگین در خاک تقسیم نموده و به منظور تعیین فاکتور انتقال^۶، غلظت فلز سنگین در بخش هوایی بخش بر غلظت فلز سنگین در بخش ریشه‌ای شده است (Tukura et al., 2012).

نتایج

نتایج بخش خاک

اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین در نمونه‌های خاک دو منطقه آلوده و شاهد انجام گردیده است. انتخاب منطقه شاهد از روی تشابهات مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه شاهد با آلوده صورت پذیرفته است. در جدول ۱ غلظت کل فلزات سنگین با میانگین سه تکرار در منطقه آلوده به فاضلاب خام ملاحظه می‌گردد. لازم به ذکر است محل نمونه‌برداری خاک به منظور سهولت در تشخیص با نام گیاه روییده شده بر روی آن مشخص شده است.

جدول ۱ - غلظت فلزات سنگین در خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و انحراف استاندارد^۷

محل نمونه‌برداری خاک (نام گیاه)	کروم	روی	کادمیوم	سرب	نیکل
کاهوسای بیابانی	262,48 ± 39,0	448,32 ± 23,11	63,2 ± 0,77	3211,32 ± 199,32	377,34 ± 44,85
تونیتای ایرانی	321,22 ± 48,3	2443,12 ± 111,43	22,53 ± 3,49	1915,81 ± 277,32	1259,33 ± 143,74
گلرنگ زرد	265,97 ± 18,82	2599,15 ± 134,5	59,55 ± 6,82	4952,29 ± 432,88	1277,44 ± 16,6
درمنه صخره‌ای	276,64 ± 11,26	692,42 ± 34,66	45,74 ± 5,28	2038,33 ± 87,32	1292,92 ± 77,5
تاج خروس	260,79 ± 39,10	2462,55 ± 126,04	57,87 ± 5,99	3429,23 ± 328,93	1268,85 ± 49,03
چشم گربه‌ای ایرانی	332,36 ± 47,01	2407,72 ± 178,39	53,83 ± 6,01	1854,24 ± 98,22	4546,97 ± 200,48
شور سودی	255,34 ± 29,87	652,65 ± 34,2	36,25 ± 0,99	1761,73 ± 50,21	1218,86 ± 108,42
سلمکی	249,70 ± 53,77	2307,34 ± 113,72	49,51 ± 2,82	150,79 ± 9,32	1199,65 ± 85,89
جاروی قزوینی	257,28 ± 10,72	2430,99 ± 215,55	56,64 ± 3,14	1891,88 ± 12,65	251,55 ± 16,2
شور خاردار	287,85 ± 68,09	2680,98 ± 139,6	62,41 ± 3,98	2150,98 ± 69,33	137,31 ± 11,43
سر شاخی	254,59 ± 13,44	2415,43 ± 213,5	22,43 ± 10,91	1862,39 ± 110,99	1249,22 ± 29,94
شور ایرانی	259,15 ± 32,90	986,22 ± 46,23	56,22 ± 3,89	1929,25 ± 32,77	1264,32 ± 53,9
خار شتر ایرانی	284,54 ± 92,20	2607,44 ± 153,77	62,37 ± 2,91	2224,49 ± 33,89	1324,42 ± 117,63
خار شتر خزری	85,11 ± 10,74	2426,55 ± 199,98	55,12 ± 7,32	1871,74 ± 138,88	1250,26 ± 93,53
گون طلائی	280,90 ± 18,32	2597,42 ± 128,89	62,25 ± 32,90	2119,23 ± 433,89	1317,96 ± 52,9
خار شتر	252,69 ± 22,75	2361,34 ± 119,99	51,44 ± 11,80	3865,67 ± 36,92	1239,25 ± 39,11
نوک لک لکی دراز	443,23 ± 54,9	2503,38 ± 123,55	98,33 ± 3,80	1990,32 ± 298,33	3282,78 ± 82,09
مریم گلی سیخک دار	278,10 ± 48,95	368,41 ± 77,5	61,89 ± 2,82	2019,64 ± 558,32	1258,36 ± 66,02
علف بام	285,48 ± 32,40	2710,25 ± 144,66	62,27 ± 4,38	2136,87 ± 89,11	1332,27 ± 73,99
نی	286,40 ± 92,76	2673,16 ± 163,82	62,16 ± 5,21	2141,21 ± 51,35	892,72 ± 80,1
برنج ارزنی	278,72 ± 49,21	2575,13 ± 139,97	61,49 ± 3,98	2060,63 ± 77,26	1529,41 ± 29,03
جو	290,84 ± 22,80	2707,93 ± 149,44	63,67 ± 5,51	2154,28 ± 437,22	1373,76 ± 117,43
استپی ریش دار	282,33 ± 86,56	2617,79 ± 138,1	62,37 ± 6,73	2128,66 ± 66,28	1298,84 ± 99,5
خشخاش تهرانی	198,43 ± 59,03	2381,56 ± 123,09	13,44 ± 8,11	1828,64 ± 43,22	3488,76 ± 147,2
هفت بند پا کوتاه	251,28 ± 40,63	2346,44 ± 120,12	51,35 ± 6,72	781,39 ± 13,38	1293,54 ± 67,93
پرنده	279,41 ± 41,16	2583,31 ± 121,12	62,64 ± 12,95	2081,55 ± 98,89	1380,67 ± 44,63
اسپند	267,04 ± 36,59	3847,49 ± 256,74	29,69 ± 7,05	1974,41 ± 219,32	1237,92 ± 119,63

نتایج بخش گیاهی

صورت جداگانه در دو بخش هوایی شامل ساقه، برگ، دانه و بخش ریشه شامل ریشه و ریزوم اندازه‌گیری شده است. بر این اساس و با توجه به غلظت فلزات سنگین در خاک فاکتورهای گیاه پالایی در جدول ۳ آورده شده است.

نمونه‌های گیاهی پس از جمع‌آوری و پرس شدن در آزمایشگاه هیرباریوم دانشگاه علوم و تحقیقات شناسایی گردیده و در جدول ۲ پیوست آورده شده است. کلیه گیاهان در این پژوهش با سه تکرار نمونه‌برداری شده‌اند و غلظت فلزات سنگین به

جدول ۳- فاکتورهای گیاه پالایی شامل فاکتور انتقال (TF) و فاکتور تغلیظ زیستی (BCF)

نام گیاه	کروم		روی		کادمیوم		سرب		نیکل	
	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF	TF	BCF
کاهوسای بیابانی	۱,۲۵	۰,۰۲	۰,۵۱	۱,۸۵	۱,۲۴	۰,۰۸	۰,۷۷	۰,۳۷	۰,۷۱	۰,۵۳
تونینتای ایرانی	۰,۶۶	۰,۰۵	۱,۴۴	۱,۰۳	۱,۰۷	۰,۱۰	۰,۹۰	۰,۲۸	۰,۷۷	۰,۷۴
گلرنگ زرد	۰,۷۵	۰,۰۳	۰,۶۳	۱,۸۴	۰,۷۱	۰,۰۸	۱,۴۱	۰,۵۳	۱,۰۷	۰,۶۹
درمنه صخره ای	۳,۰۴	۰,۳۷	۱,۱۳	۱,۳۷	۱,۳۱	۳,۳۹	۱,۱۳	۰,۹۹	۱,۳۳	۰,۶۳
تاج خروس	۰,۴۹	۰,۰۲	۰,۵۶	۱,۷۳	۱,۰۵	۰,۰۶	۰,۶۹	۰,۳۷	۰,۷۴	۰,۷۴
چشم گربه ای ایرانی	۰,۷۰	۰,۰۱	۰,۸۱	۱,۱۴	۰,۷۹	۰,۱۵	۰,۷۷	۰,۴۸	۰,۱۸	۰,۰۲
شور سودی	۰,۱۳	۰,۰۴	۰,۴۹	۰,۳۸	۰,۶۰	۰,۱۰	۰,۴۶	۰,۵۴	۰,۳۱	۰,۰۳
سلمکی	۰,۳۴	۰,۰۳	۰,۵۳	۰,۳۳	۰,۶۵	۰,۲۹	۱,۴۴	۰,۳۱	۰,۵۵	۰,۷۲
جاروی قزوینی	۰,۴۴	۰,۲۰	۰,۵۱	۱,۲۲	۱,۹۹	۰,۱۸	۰,۵۳	۲,۲۷	۰,۴۱	۲,۶۴
شور خاردار	۰,۷۳	۱۳,۹۴	۱,۴۱	۱,۰۶۷	۰,۸۰	۰,۰۵	۳,۵۹	۱,۶۷	۰,۴۵	۰,۴۴
سر شاخی	۰,۸۱	۰,۰۳	۰,۵۱	۱,۳۳	۰,۴۷	۰,۱۴	۰,۵۴	۰,۸۳	۰,۷۰	۶,۷۴
شور ایرانی	۱,۲۵	۰,۰۳	۰,۵۸	۱,۶۳	۰,۷۳	۰,۰۸	۰,۷۵	۰,۶۲	۰,۱۷	۱,۳۴
خار شتر ایرانی	۰,۴۳	۰,۰۲	۱,۲۷	۹,۸۱	۰,۰۲	۳,۳۲	۰,۴۸	۱۰,۳۷	۰,۳۵	۱,۶۲
خار شتر خزری	۰,۶۱	۰,۰۴	۰,۴۵	۰,۷۵	۰,۵۴	۰,۱۱	۰,۵۴	۱۰,۲۶	۰,۴۴	۰,۶۶
گون طلائی	۰,۶۳	۰,۵۴	۱,۹۶	۶,۳۹	۰,۷۸	۰,۱۳	۰,۸۰	۱۹,۲۸	۰,۶۲	۴,۸۴
خار شتر	۰,۶۶	۰,۰۴	۰,۵۷	۱,۲۴	۰,۶۵	۰,۱۷	۰,۳۶	۰,۴۶	۱,۳۰	۰,۰۹
نوک لک لکی دراز	۰,۷۳	۰,۰۳	۰,۷۹	۱,۷۸	۰,۷۷	۰,۰۸	۰,۹۲	۱,۱۲	۰,۸۲	۰,۲۳
مریم گلی سیخک دار	۰,۷۲	۰,۴۰	۰,۵۹	۱,۴۱	۰,۷۴	۰,۰۹	۰,۶۰	۴,۳۱	۰,۸۴	۰,۰۴
علف بام	۱,۱۱	۰,۰۳	۱,۵۰	۱۰,۳۱	۱,۴۴	۰,۰۶	۰,۹۴	۴,۶۳	۰,۹۱	۰,۲۱
نی	۰,۹۴	۰,۹۶	۱,۱۶	۱۶,۳۶	۱,۰۵	۱۰,۹۳	۱,۰۵	۸,۴۴	۱,۰۵	۳,۱۶
برنج ارزنی	۱,۲۰	۰,۴۵	۰,۹۴	۱,۸۴	۰,۹۹	۱۲,۸۴	۰,۹۰	۰,۸۶	۱,۲۸	۰,۹۴
جو	۱,۲۷	۱,۵۶	۱,۱۰	۳۲,۷۳	۱,۲۳	۲۴,۸۶	۱,۰۵	۸,۹۲	۰,۹۰	۰,۶۳
استپی ریش دار	۱,۰۸	۰,۰۴	۱,۰۹	۶,۷۷	۰,۶۴	۰,۴۷	۱,۰۸	۷,۴۹	۱,۶۱	۰,۰۲
خشخاش تهرانی	۰,۵۷	۰,۰۲	۰,۴۶	۱,۳۹	۰,۷۷	۰,۰۹	۰,۵۹	۰,۷۴	۰,۰۰	۰,۰۱
هفت بند پا کوتاه	۰,۵۶	۰,۰۲	۰,۵۵	۰,۳۸	۰,۶۴	۰,۲۵	۱,۹۷	۰,۴۱	۰,۴۹	۰,۵۹
پرنده	۰,۶۶	۰,۰۸	۳,۸۳	۹,۲۸	۰,۸۶	۰,۰۹	۰,۶۴	۹,۹۹	۰,۶۲	۰,۹۵
اسپند	۲,۱۴	۰,۰۶	۰,۳۶	۱,۶۰	۰,۵۳	۰,۹۶	۰,۴۹	۴,۳۲	۲,۴۳	۲۴,۹۳

نتایج و بحث

فلزات سنگین در خاک

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ میزان عناصر کروم، روی، کادمیوم، سرب و نیکل در کلیه نمونه‌های منطقه آلوده نسبت به حد استاندارد ارائه شده توسط Pendis و Kabata-pendis بالاتر بوده و با قرار گرفتن در محدوده بحرانی، نشان‌دهنده آلودگی شدید خاک به فلزات سنگین در منطقه آلوده می‌باشند (kabata-Pendias, 2004). اکثر نمونه‌های برداشت شده در منطقه شاهد در این استاندارد جزو غلظت‌های مجاز بوده بنابراین منشاء آلودگی خاک در منطقه آلوده، فاضلاب خام رها شده در خاک می‌باشد.

معرفی گونه‌های گیاهی با پتانسیل گیاه پالایی

گیاه درمنه صخره‌ای با غلظت $309/31 \text{ mg/Kg}$ فلز کروم در اندام هوایی طبق تعریف Baker و با غلظت $410/91 \text{ mg/Kg}$ در کل گیاه طبق تعریف EPA فراانباشته کننده فلز کروم محسوب می‌گردد. Ashraf و همکاران نیز در رابطه با گیاه درمنه صخره‌ای به یافته‌های مشابه دست یافته‌اند (Ashraf et al., 2010). گیاه شور خاردار با $2937/40 \text{ mg/Kg}$ فلز کروم در اندام هوایی و $6948/97 \text{ mg/Kg}$ در کل گیاه و با تجمع $1291/97 \text{ mg/Kg}$ فلز سرب در اندام هوایی و $1651/40 \text{ mg/Kg}$ در کل گیاه طبق دو تعریف فراانباشته کننده محسوب می‌گردد. این گیاه با انباشت $4043/90 \text{ mg/Kg}$ فلز روی طبق تعریف Baker فراانباشته ساز معرفی می‌گردد. این گیاه تاکنون مورد تحقیق گیاه پالایی قرار نگرفته است. گیاه خار شتر ایرانی با جذب فلز سرب در اندام هوایی و کل گیاه

به ترتیب با $1111/57 \text{ mg/Kg}$ و $3418/23 \text{ mg/Kg}$ جزو گیاهان فراانباشته کننده در دو تعریف شناخته می‌شود. این گیاه در رابطه با فلز روی فقط طبق تعریف Baker با $3245/03 \text{ mg/Kg}$ فلز روی در اندام هوایی فراانباشته معرفی می‌گردد. قادریان و همکاران به یافته‌های مشابه در رابطه با گیاه خار شتر ایرانی دست یافته‌اند (Ghaderian et al., 2007). گیاه خار شتر خزری با $1039/67 \text{ mg/Kg}$ فلز سرب در اندام هوایی و $2959/01 \text{ mg/Kg}$ در کل گیاه طبق دو تعریف فراانباشته کننده محسوب می‌گردد. این گیاه نیز تاکنون مورد تحقیق در رابطه با گیاه پالایی قرار نگرفته است. گیاه گون طلایی با جذب $3257/67 \text{ mg/Kg}$ و $7343/68 \text{ mg/Kg}$ سرب در اندام هوایی و کل گیاه طبق دو تعریف فراانباشته ساز معرفی می‌گردد، ولی با جذب $3249/50 \text{ mg/Kg}$ فلز روی طبق تعریف Baker فراانباشته ساز فلز روی معرفی می‌گردد. سالاری و همکاران و حاجی بلند در مقالاتشان به یافته‌های مشابه دست یافتند (Salari et al., 2012; Hajiboland, and Mirmanafi, 2007). گیاه مریم گلی سیخک دار فقط طبق تعریف EPA در رابطه با فلز سرب با جذب $1376/60 \text{ mg/Kg}$ فراانباشته ساز این فلز می‌باشد. این گونه گیاهی نیز تاکنون مورد تحقیق در رابطه با گیاه پالایی قرار نگرفته است. گیاه علف بام با تجمع $4192/53 \text{ mg/Kg}$ فلز روی در اندام هوایی طبق تعریف Baker و با تجمع $1676/40 \text{ mg/Kg}$ فلز سرب در کل گیاه طبق تعریف EPA فراانباشته ساز این دو فلز معرفی می‌گردد. لازم به ذکر است در رابطه با گیاه علف بام Sinigani و پارسادوست به نتایج مشابه دست یافته‌اند (Sinigani and Dastjerdi, 2009;)

گیاه پرند با جذب $9187/26 \text{ mg/Kg}$ و فلز سنگین روی در اندام هوایی و کل گیاه و با تجمع $1327/68 \text{ mg/Kg}$ و فلز سنگین سرب در اندام هوایی و کل گیاه فرآینبافته کننده فلزات فوق، طبق دو تعریف معرفی می‌گردد. قادریان و همکاران نیز به نتایج بالایی از جذب این دو عنصر دست یافتند اما به علت کم بودن آلودگی در خاک منطقه فرآینبافته بودن این گیاه را نتوانستند اثبات نمایند (Ghaderian *et al.*, 2007). در این تحقیق میزان بالای آلودگی و پی-اچ و دیگر شرایط محیطی در فرآینبافته شدن گیاه پرند موثر واقع شده است. گیاه اسپند با جذب $7760/0 \text{ mg/Kg}$ و فلز سنگین نیکل در اندام هوایی و کل گیاه طبق دو تعریف فرآینبافته ساز معرفی می‌گردد، ولی با جذب $1274/37 \text{ mg/Kg}$ فلز سرب طبق تعریف EPA فرآینبافته کننده فلز سرب معرفی می‌گردد. زمانی و همکاران در سال 2013 به نتایج مشابه با توجه به نسبت آلودگی دست یافته‌اند (Zamani *et al.*, 2013).

معرفی گونه‌های با پتانسیل پایدارسازی گیاهی

طبق تعریف گیاهان پایدارساز گیاهی ارائه شده در مقدمه، گیاهان، شورخاردار (BCF: $13/94$; $0/73$; TF: در فلز کروم، کاهوسای بیابانی ($1/02$; BCF: $0/51$; TF: در فلز روی، برنج ارزنی ($1/29$; BCF: $0/99$; TF: در فلز کادمیوم پایدار ساز گیاهی معرفی می‌گردند. همچنین خار شتر ایرانی ($1/04$; BCF: $0/48$; TF: خار شتر خزری ($1/03$; BCF: $0/54$; TF: گون طلایی ($1/93$; BCF: $0/80$; TF: و پرند

(Parsa doost, 2007). گیاهانی با تجمع $5073/77 \text{ mg/Kg}$ فلز روی در اندام هوایی طبق تعریف Baker و $140/23 \text{ mg/Kg}$ فلز کادمیوم در کل گیاه طبق تعریف EPA و با تجمع $1896/60 \text{ mg/Kg}$ و $3703/30 \text{ mg/Kg}$ سرب در اندام هوایی و کل گیاه طبق دو تعریف فرآینبافته کننده فلزات فوق معرفی می‌گردد. Al-Taisan و Deng و همکاران نیز در مقالاتی به یافته‌های مشابهی دست یافتند (Deng *et al.*, 2006 ; Al-Taisan, 2009). گیاه برنج ارزنی با جذب $158/21 \text{ mg/Kg}$ فلز کادمیوم در کل گیاه فرآینبافته کننده این فلز طبق تعریف EPA معرفی می‌گردد. Messou و همکاران نیز برنج ارزنی را فرآینبافته ساز فلز کادمیوم معرفی کرده‌اند (Messou *et al.*, 2013). گیاه جو با تجمع $577/23 \text{ mg/Kg}$ و $1032/37 \text{ mg/Kg}$ فلز کروم در اندام هوایی و کل گیاه و جذب $9768/50 \text{ mg/Kg}$ و $18628/83 \text{ mg/Kg}$ فلز روی در اندام هوایی و کل گیاه و تجمع $194/40 \text{ mg/Kg}$ و $352/83 \text{ mg/Kg}$ فلز کادمیوم در اندام هوایی و کل گیاه و جذب $2009/03 \text{ mg/Kg}$ و $3930/70 \text{ mg/Kg}$ سرب در اندام هوایی و کل گیاه طبق دو تعریف فرآینبافته کننده فلزات فوق محسوب می‌گردد. Ciura و همکاران نیز در رابطه با این گیاه به نتایج مشابهی دست یافتند (Ciura *et al.*, 2005). گیاه استپی ریش دار با جذب $3316/40 \text{ mg/Kg}$ و $1722/73 \text{ mg/Kg}$ فلز سنگین سرب فرآینبافته کننده طبق دو تعریف معرفی می‌گردد. لرستانی و همکاران طی تحقیقاتی به فرآینبافته بودن این گیاه در رابطه با فلز منگنز پی برده بودند ولی برای اولین بار در این تحقیق فرآینبافته بودن این گیاه در رابطه با فلز سرب نشان داده شده است (Lorestani *et al.*, 2011).

گزینه مناسب جهت پایدارسازی گیاهی فلز نیکل به
 شماره می‌رود. (TF: ۰,۶۴ ; BCF: ۱,۰)
 پایدارسازی گیاهی برای فلز سرب به شماره می‌روند و
 نهایتاً گیاه جاروی قزوینی (TF: ۰,۴۱ ; BCF: ۱,۳۱)

پیوست

جدول ۲- نمونه‌های گیاهی گردآوری شده در شهرک صنعتی اشتهارد

خانواده	فارسی	گونه
Asteraceae	کاهوسای بیابانی - کاهوسای خاردار - چرخه	Launaea acanthodes (Boiss.) O.Kuntze
	توینتای ایرانی	Thevenotia persica
	گلرنگ زرد - خار خزون	Carthamus oxyacantha M.B
	درمنه صخره‌ای - درمنه زاگرسی	Artemisia herba-alba Asso.
Amaranthaceae	تاج خروس	Amaranthus graecizans
Boraginaceae	چشم گربه ای ایرانی	Noea Persica Boiss.
Chenopodiaceae	شور سودی	Salsola nitraria Pall.
	سلمکی	Atriplex aucheri Moq.
	جاروی قزوینی	Kochia scoparia (L.) Shrad
	شور خاردار	Salsola kali
	سر شاخی - بادبر - تازی تیکانی	Ceratocarpus arenarius L.
	شور ایرانی - شور آذری	Salsola persica Bunge ex Boiss.
Fabaceae	خار شتر ایرانی - خار شتر کاشانی	Alhagi persarum Boiss. & Buhse
	خار شتر خزری - شبه خار شتر	Alhagi pseudalhagi (M.B.) Desf.
	گون طلایی	Astragalus aureus Wild
	خار شتر - ترنجبین	Alhagi camelerum Fisch.
Geraniaceae	نوک لک لک دراز	Erodium Cicutarium (Jusl) L'Her.exaition
Lamiaceae	مریم گلی سیخک دار	Salvia aristata Aucher ex Benth
Poaceae	علف بام - جارو علفی بامی	Bromus Tectorum L.
	نی	Phragmites australis (Cav) Trin. ex Steud
	برنج ارزنی - سوروف	Echinochloa crus-galli (L.) P.Beauv.
	جو	Hordeum vulgare L.
	استپی ریش دار	Stipa barbata Desf.
Papaveraceae	خشخاش تهرانی	Papaver Piptostigma Bienert ex Fedde
Polygonaceae	هفت بند پا کوتاه - هفت بند گسترده	Polygonum patulum M.B.
	پرنده	Pteropyrum Aucheri Jaub. & Spach
Zygophyllaceae	اسپند	Peganum harmala L.

5. Bioconcentration Factor
6. Translocation Factor
7. Standard Deviation

منابع

- Ashraf, M., M. Qasim Hayat and A. S. Mumtaz (2010). A study on elemental contents of medicinally important species of *Artemisia L.* (Asteraceae) found in Pakistan. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(21): 2256-2263.
- Al-Taisan, W.A. (2009). Suitability of Using *Phragmites australis* and *Tamarix aphylla* as Vegetation Filters in Industrial Areas. *American Journal of Environmental Sciences*, 5 (6): 740-747.
- Branquinho, C., H. C. Serrano, M. J. Pinto and M.A. Martins-Loucao (2006). Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. *Environmental Pollution Journal*, DOI: 10.1016/j. 146 (2): 437-443.
- Ciura, J., M. Poniedziałek, A. Sęka and E. Jędrszczyk (2005). The Possibility of Using Crops as Metal. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14 (1): 17-22.
- Deng, H., Z.H. Ye and M. Wong (2006). Lead and zinc accumulation and tolerance in populations of six wetland plants. *Environ Pollut j.* 141(1): 69-80.
- Dunn, C.E. (2007). new perspectives on biogeochemical exploration. Paper 12. *Advances in prospect-scale geochemical methods*. In: Milkereit B (ed) *Proceedings of Exploration 07: Fifth decennial international conference on mineral exploration*, 249-261.
- Ghaderian, S.M., G.R. Hemmat, R.D. Reeves and A.J.M. Baker (2007). Accumulation of lead and zinc by plants colonizing a metal mining area

نتیجه گیری

در میان گیاهان مورد پژوهش، گیاهان درمنه صخره‌ای در کروم، شور خاردار در کروم، روی و سرب، خار شتر ایرانی در سرب و روی، خار شتر خزری در سرب، گون طلائی در سرب و روی، مریم گلی سیخک دار در سرب، علف‌بام در روی و سرب، نی در روی، کادمیوم و سرب، برنج ارزنی در کادمیوم، گیاه جو در کروم، روی، کادمیوم و سرب، استپی ریش دار در سرب، پرند در روی و سرب، اسپند در نیکل و سرب، فراانباشته کننده فلزات مذکور محسوب می گردند. گونه‌های با پتانسیل پایدارسازی نیز شامل گیاهان شور خاردار در کروم، کاهوسای بیابانی در روی، برنج ارزنی در کادمیوم، گیاهان خار شتر ایرانی و خار شتر خزری، گون طلائی و پرند در فلز سرب، جاروی قزوینی در نیکل، می‌باشند. در این میان گیاهان شور خاردار، خار شتر خزری، مریم گلی سیخک دار، استپی ریش دار و پرند برای اولین بار است با توجه به شرایط اقلیمی و ادا فیکسی زیستگاه آلوده محل تحقیق به عنوان فراانباشته کننده معرفی می گردند. گیاهان فراانباشته کننده فلزات سنگین می‌توانند پس از جمع‌آوری به راحتی مانند زباله‌های صنعتی دفع گردند و گیاهان دارای قابلیت پایدارسازی گیاهی نیز در منطقه آلوده مانع از انتشار آلودگی‌ها به محیط‌های فاقد آلودگی همانند زمین‌های کشاورزی اطراف می‌گردند.

پی‌نوشت‌ها

1. Phytoremediation
2. Phytoextraction
3. Hyperaccumulator
4. phytostabilization

- on the Akouedo landfill (Abidjan, Côte d'Ivoire). *African Journal of Biotechnology*, 12(3):253-264. DOI:10.5897/AJB12.1664.
- Melinda Paz, A. and C. Gilbert Sigua (2013). Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. *American Journal of Climate Change*, 2(1):71-86, DOI: 10.4236/ajcc.2013.21008.
- Neishabori, A. (2011). *Partical Ecology*. Tehran: payam noor university publication.
- Nouri, j., (1992). Environmental contamination and chemical forms of heavy metals in wastewater and soil. *Science (Science and Research Branch, Islamic Azad University) Journal (jsiau)*, 7 (5): 401-406.
- Parsa doost, F., B. Bahreini Nejad, A. K. Safari Sanjani. and M. M. Kaboli (2007). Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils. *Pajouhesh & Sazandegi J*, 75: 54-63.
- Salari, H., H. Oloumi, D. Afzali and E. Ahmadi Mosavi (2012). Lead contamination in soil and vegetation of areas surrounding different mining activity zones in Kerman Province of Iran. *African Journal of Biotechnology*, 11(77): 14146-14152, DOI: 10.5897/AJB11.3613.
- Sinegani, A. and F. Dastjerdi (2009). The Accumulation of Zinc and Nickel in Irankoh Indigenous Plant Species on a Contaminated Land. *Soil & sediment contamination J*, 8(4):8-15.
- Shaw, A. J. (1989). *Heavy Metal Tolerance in Plant: Evolutionary Aspects*. Florida: CRC press.
- Sposito., G., J. Land and A. Change (1982). Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in soil Phases. *Soil Science Society of America Journal (SSAJ)*, 46 (2): 260-264.
- in Central Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1): 145 – 150.
- Hajiboland, R. and H. Mirmanafi (2007). Flora of heavy metal-rich soils in NW Iran and some potential hyper-accumulator and accumulator species. *Acta Bot Croat*. 66 (2), 177–195.
- kabata-Pendias, A. (2004). Trace elements in soils and plants an environmental issue. *Elsevier*, 122 (2–4):143–149
- Khorasani, N., Nouri, J., M. Karami, A. Hassani and B. Lorestani (2010). Survey of concentration of heavy metals in contaminated areas of soil in hamedan province and possibility of elimination them by plant species of native hyperaccumulator. Ph.D thesis. Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- Lin, W., T. Xiao, Y. Wu, Z. Ao and Z. Ning (2012). Hyperaccumulation of zinc by *Cordalis davidii* in Zn-polluted soils. *Chemosphere journal*, doi:10.1016 /j. 86 (8):837-42.
- Lorestani, B., M. Cheraghi and N. Yousefi (2011). Phytoremediation Potential of Native Plants Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 53.
- International Union of Biological Sciences (iubs) (1994). Progress report on the element concentrations cadastre project (ECCP) of INTERCOL/IUBS. Markert, B, Paris: iubs.
- Mehravaran zist CO (2011). Quantitative and qualitative upgrade project of Eshtehard Industrial city Wastewater Treatment. Tehran Environmental Report Organization. Karaj: Eshrwahrd Industrial town.
- Messou, A., L. Coulibaly, L. Doumbia and G. Gourene (2013). Plants diversity and phytoaccumulators identification

- Tukura, B.W., B.Anhwange, Y. Mohammed and N.L.Usman (2012). Translocation of Trace Metals in Vegetable Crops Grown on Irrigated Soil along Mada River, Nasarawa State, Nigeria. *Inter-national Journal of Modern Analytical and Separation Sciences*, 1 (1):13-22.
- International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) (2002). Procedure for soil analysis. van Reeuwijk, L.P, ISBN: 90-6672-044-1, Washington: ISRIC.
- Yoon, j., X.Cao and O.Zhou (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of total Environment Journal*, 368 (2-3): 456-464.
- Zamani, A., A. R. Shokri, M. R. Yafian and A. H. Parizanganeh (2013). Adsorption of lead, zinc and cadmium ions from contaminated water onto *Peganum harmala* seeds as biosorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(1): 93-102.
- Zofen, P., A.Sadatkah, S.Rastgarzadeh (2013). Comparing the ability of concentration of heavy metals in the flora surrounding the steel industry on the road Imam Port - Mahshahr, Ahvaz. Department of Biology and Chemistry, Chamran University, IJPB, 5 (16): 1-3.



