

جذب جیوه از خاک آلوده توسط بوته برنج، مطالعه موردی: مزارع شهرک صنعتی آمل

نادر بهرامی فر^۳

سید محمود قاسمپوری^۲

فاطمه احمدی پور^۱

(دریافت ۹۰/۱/۲۸ پذیرش ۹۰/۸/۲۴)

چکیده

جیوه یکی از سمی‌ترین عناصر سنگینی است که در بسیاری از صنایع تولید و به محیط دفع می‌شود. مطالعات اندکی در رابطه با تجمع جیوه در خاک و ضریب تجمع زیستی و انتقال آن به گیاه برنج کشت شده در مناطق صنعتی صورت گرفته است. لذا با این هدف در این تحقیق به‌طور تصادفی از ۱۰ مزرعه برنج اطراف شهرک صنعتی آمل که چندین سال با فاضلاب این شهرک آبیاری می‌شدند، نمونه‌برداری با سه تکرار صورت گرفت. غلظت جیوه در نمونه‌های خاک و گیاه با استفاده از دستگاه آنالیز جیوه پیشرفته LECO مدل AMA 254 مطابق روش استاندارد ASTM D-6733 سنجش شد و پارامترهای کیفی خاک اندازه‌گیری شدند. متوسط غلظت جیوه در خاک مزارع 0.031 ± 0.012 میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین غلظت جیوه در ریشه، ساقه و دانه به ترتیب 0.074 ± 0.0163 ، 0.058 ± 0.0083 و 0.051 ± 0.0083 میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. همچنین ضرایب انتقال و تجمع زیستی جیوه به ترتیب کمتر از ۱ و ۲/۴۶ محاسبه شد. نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین غلظت جیوه در خاک با دانه و ارتباط منفی و معنی‌دار بین pH و غلظت جیوه در خاک و ریشه وجود دارد. با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان گفت که گیاه برنج قابلیت بالایی برای جذب جیوه از خاک دارد.

واژه‌های کلیدی: جیوه، برنج، خاک، تجمع زیستی، ضریب انتقال

Absorption of Mercury from Polluted Soil by Rice Plant (Case Study: Farms of Amol Industrial Suburban Area)

Fatemeh Ahmadipour¹

Seyed Mahmoud Ghasempouri²

NaderBahramifar³

(Received Apr. 17, 2011

Accepted Nov. 15, 2011)

Abstract

Mercury has recognized as one of the most toxic heavy metals, which many industries generate and dispose to the environment. Few studies are done about mercury accumulation in soil and bioconcentration and transfer factor of mercury in rice plant cultivated in industrial areas. In this study samples were taken randomly from 10 farms in vicinity of Amol industrial suburban area with three replications. Samples were measured by the LECO AMA 254 Advanced Mercury Analyzer according to ASTM D-6733 method. Also the parameters related to the quality of the soil were measured. The mean of mercury concentration in soil, root, stem and grain were found 0.031 ± 0.012 mg/kg, 0.074 ± 0.0163 mg/kg, 0.058 ± 0.0083 mg/kg and 0.051 ± 0.0083 mg/kg respectively. The calculated transfer factor of mercury to various organs and bioconcentration factor were < 1 and 2.46 respectively. Pearson correlation test showed a positive correlation between mercury concentration in soil with mercury concentration in grain and also a negative correlation between pH with mercury concentration in root and soil. It is concluded that rice plant have high potential for phytoremediation of mercury from soil.

Keywords: Mercury, Rice, Soil, Bioconcentration, Transfer Factor.

1. M.Sc. Student of Environmental Eng., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor (Corresponding Author) (+98 663) 4224237 fahmadipour@gmail.com
2. Faculty Member of Environmental Eng., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor
3. Assist. Prof. of Chemistry, Payam-e-Noor University, Tehran

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور (نویسنده مسئول) ۴۲۲۴۲۳۷ (۰۶۶۳) fahmadipour@gmail.com
- ۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ۳- استادیار گروه شیمی، دانشگاه پیام نور تهران

تجمع زیستی یعنی نسبت فلزات در ریشه به خاک تعریف می‌شود و توانایی گیاه برای انتقال فلزات از ریشه به ساقه و یا از ساقه به دانه با استفاده از ضریب انتقال بررسی می‌شود. گیاهانی که ضریب انتقال و ضریب تجمع زیستی را کمتر نشان می‌دهند برای گیاه پالایی نامناسب هستند [۱۱]. کریم پور و همکاران اثر فاضلاب صنعتی را بر روی غلظت جیوه در خاک و گیاه ذرت بررسی کرده‌اند. کاربرد فاضلاب صنعتی افزایش معنی‌داری بر غلظت جیوه در خاک و اندامهای مختلف گیاه ذرت داشته است [۲]. در مطالعه‌ای توسط هانگ و همکاران^۷ در سال ۲۰۰۹ میزان فلزات سنگین از جمله جیوه در خاک و برنج در منطقه‌ای در چین اندازه‌گیری شده است، نتایج نشان دهنده خطر پایین فلز جیوه برای سلامت انسان و محیط زیست در این منطقه بوده است [۱۲].

یار قلی و همکاران در سال ۲۰۰۹ جذب و تجمع کادمیم در اندامهای مختلف محصولات غده‌ای در خاکهای آلوده را مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین میزان تجمع این فلز در ریشه، برگ و پوست به ترتیب به چغندر قند و هویج تعلق دارد [۱۳]. لیو و همکاران^۸ در سال ۲۰۰۷ جذب و انتقال برخی از فلزات سنگین از جمله جیوه را در بخشهای مختلف گیاه برنج مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این گیاه پتانسیل خوبی برای تثبیت‌سازی گیاهی دارد [۱۴]. در مطالعه‌ای در اطراف معدن المدن^۹ در اسپانیا قابلیت جذب جیوه توسط چندین گیاه در پلات‌های آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که گیاهان چندساله نسبت به یک‌ساله و دو ساله‌ها قابلیت جذب جیوه بالاتری در اندامهای خود دارند [۵].

یون و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۰۶ گیاه پالایی در ۱۷ گونه گیاهی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در میان این گیاهان اسلیخ^{۱۱} و جیناناپنلیانا^{۱۲} به ترتیب قابلیت بالایی برای دسترس خارج‌سازی گیاهی و تثبیت‌سازی گیاهی دارند [۱۵]. نوری و همکاران در سال ۲۰۱۰ در اطراف معدن آهن‌گران در همدان، توانایی ۱۲ گونه گیاهی به‌منظور گیاه پالایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که اکثر گیاهان یک‌ساله پتانسیل بالایی برای دسترس خارج‌سازی دارند و تعدادی از گیاهان مثل گل گندم بوته‌ای^{۱۳} و کنگرانبوه^{۱۴} قابلیت مناسبی برای تثبیت‌سازی گیاهی دارند [۱۰]. در سالهای اخیر تحقیقات زیادی بر روی جذب فلزات سنگین

هر ساله مقادیر زیادی از فلزات سنگین به روشهای مختلف وارد خاک، آب و هوا می‌شوند. اگر چه آلودگی خاک بعد از قرن بیستم مثل آلودگی آب یا هوا مشهود نبوده است ولی منجر به افزایش نگرانی بسیاری از دانشمندان شده است [۱].

فلزات سنگین قابل تجزیه نیستند، بنابراین زمان‌های طولانی در محیط زیست پایدار باقی می‌مانند [۲ و ۳]. در بسیاری از کشورها برای تأمین نیازهای در حال رشد جمعیت، توسعه زمین و منابع معدنی به‌طور زیادی گسترش یافته است. در بخشهای زیادی از جهان استفاده از فاضلاب صنعتی و شهری بسیار متداول است که با کاهش فرایندهای تصفیه، آلودگی فلزات سنگین در فاضلاب افزایش یافته است [۳]. محصولاتی که در این خاکها یا خاکهای نزدیک به آنها کشت داده می‌شوند، احتمالاً فلزات را جذب و انباشته می‌کنند و منجر به بروز خطرات بالقوه‌ای برای انسان و جانوران می‌گردند [۴].

جیوه یکی از آلاینده مهم و خطرناک در خاکهای مزارع محسوب می‌شود. عنصر جیوه به‌علت تمایل زیادی که به تجمع زیستی در زنجیره غذایی دارد، برای سلامتی انسان و محیط زیست به‌عنوان یک خطر مهم مطرح است [۵ و ۶]. گیاهان به‌عنوان هدایت‌کننده‌هایی برای انتقال جیوه از زیست‌کره به اتمسفر محسوب می‌شوند. مطالعات کمی در رابطه با جیوه در خاک و گیاه صورت گرفته است [۷ و ۸].

برای آلودگی خاک با جیوه می‌توان منابع مختلفی همچون استفاده از لجن یا پساب فاضلابهای صنعتی و شهری در زمین کشاورزی را ذکر کرد [۹]. گیاه پالایی^۱ به‌عنوان استفاده از گیاهان سبز برای کاهش سمیت یک محیط زیست آلوده تعریف می‌شود. برداشت فلزات سنگین توسط گیاهان به سه صورت است: ۱- از دسترس خارج‌سازی گیاهی^۲ که کاشت گیاهان برای تجمع آلاینده‌ها و در نهایت برداشت آنها از خاک به‌منظور برداشت آلاینده‌ها از خاک است، ۲- ریشه پالایی^۳ که استفاده از ریشه گیاهان برای جذب آلاینده‌ها است، ۳- تثبیت‌سازی گیاهی^۴ که استفاده از گیاهان برای کاهش تحرک فلزات سنگین و تثبیت آنها در خاک است [۱۰]. دو پارامتر ضریب انتقال^۵ و ضریب تجمع زیستی^۶ را می‌توان برای تخمین پتانسیل گیاه برای هدف گیاه پالایی استفاده نمود. توانایی گیاهان برای تجمع فلزات از خاکها با استفاده از ضریب

⁷ Hang et al.

⁸ Liu et al.

⁹ Almaden

¹⁰ Yoon et al.

¹¹ Phyla Nodiflora

¹² Gentiana Penneliana

¹³ Centaurea Virgata

¹⁴ Cirsium Congestum

¹ Phytoremediation

² Phytoextraction

³ Rhizophyltration

⁴ Phytostabilization

⁵ Transfer Factor

⁶ Bioconcentration Factor

EC سنج الکترونیکی قرائت شد [۱۷]. ماده آلی خاک به روش والکی - بلاک محاسبه گردید [۱۷]. ظرفیت تبادل کاتیونی^۳ با استفاده از روش استات سدیم اندازه‌گیری شد [۱۸]. بافت خاک با روش دانسیتمتری بایکاس که بر مبنای تئوری وزن مخصوص مخلوط خاک و آب طی رسوب‌گذاری پایه‌گذاری شده است، تعیین گردید [۱۷].

۲-۴- روش آنالیز نمونه‌ها

غلظت جیوه در نمونه‌های خاک و گیاه با استفاده از دستگاه آنالیز جیوه پیشرفته لکو^۴ مدل AMA 254 مطابق روش استاندارد ASTM D-6733 با نمونه‌های استاندارد NIST در سطح کالیبراسیون خطی سطح پایین (1633b) اندازه‌گیری شد. استفاده از این دستگاه نیاز به هضم اولیه نمونه ندارد. درصد بازیابی دستگاه با استفاده از مخلوط ۵۰:۵۰ از دانه برنج و خاک استاندارد SRM انجام گرفت که حدود ۹۶ درصد محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- درصد بازیابی و انحراف معیار به دست آمده برای اندازه‌گیری جیوه در خاک استاندارد و دانه برنج توسط دستگاه سنجش جیوه

| ماده | تعداد | ارزش مشاهده شده | ارزش مورد انتظار | انحراف معیار | بازیابی (درصد) |
|--------------------------|-------|-----------------|------------------|--------------|----------------|
| SRM (NIST-1633b) | ۴ | ۱۴۱ | - | ۴/۲ | ۹۸ |
| برنج | ۴ | ۴۲/۸۹ | - | ۴/۴۵ | - |
| مخلوط ۵۰:۵۰ دانه | | | | | |
| SRM برنج و خاک استاندارد | ۴ | ۹۵/۰۱ | ۹۱/۹۴ | ۶/۴۶ | ۹۶ |

۲-۵- تحلیل آماری داده‌ها

تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و پیرایش ۱۵ انجام شد. در ابتدا با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک^۵ نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی همبستگی بین غلظت جیوه در خاک با بخشهای مختلف گیاه برنج و پارامترهای خاک (pH و کربن آلی)، با توجه به نرمال بودن داده از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

با توجه به نتایج ویژگی‌های کیفی خاک مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که خاک منطقه، تقریباً قلیایی است و میزان مواد آلی، کربن آلی و شوری خاک پایین است و بافت خاک رسی لومی است

با اهمیت دادن نوع خاک و تجمع فلزات سنگین در محلول هیدروپونیک انجام شده است، اما این آزمایش‌ها جذب فلزات سنگین توسط گیاه در شرایط واقعی را نشان نمی‌دهند. شهرک صنعتی آمل بزرگ‌ترین شهرک صنعتی استان مازندران است که پساب صنایع فلزی، رنگ‌سازی و الکتریکی آن بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای وارد این مزارع می‌شوند. با توجه به مصرف بالای برنج در ایران و به‌خصوص در این منطقه و با توجه به سمیت فلز جیوه، این تحقیق با هدف بررسی جذب، تجمع و انتقال این فلز در شرایط طبیعی در گیاه برنج انجام شد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل ۵۰ مزرعه در اطراف شهرک صنعتی آمل بود که با فاضلاب این شهرک آبیاری می‌شوند و مساحتی بالغ بر ۸۰ هکتار را شامل می‌شوند. نمونه‌ها از ۱۰ مزرعه به صورت تصادفی هر کدام با سه بار تکرار انجام گرفت. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر از یک پلات با مساحت ۲ متر مربع جمع‌آوری شدند. به‌طور مشابه نمونه‌های برنج نیز از این نواحی در طول فصل برداشت، جمع‌آوری شدند [۱۶]. از آنجا که بیشتر برنجی که در این منطقه کشت می‌شود از نوع طارم هاشمی است لذا در این تحقیق از این نوع برنج نمونه‌برداری صورت گرفت. این منطقه اقلیم معتدل و مرطوبی دارد.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های خاک پس از برداشت بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای اتاق، خشک شدند و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق در ظروف پلی اتیلنی نگهداری شدند. نمونه‌های برنج نیز ابتدا با آب دیونیزه شسته شدند تا خاک از روی آنها برداشته شود. سرانجام نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شد تا خشک شوند. نمونه‌های خشک شده، آسیاب و الک گردید و به ظروف پلی اتیلنی منتقل شد.

۲-۳- اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

pH خاک از طریق دستگاه pH متر الکترونیکی و به‌کارگیری مخلوط ۱:۵ خاک و آب مقطر اندازه‌گیری شد و برای تعیین هدایت الکتریکی^۱، مخلوط ۱:۵ خاک و آب مقطر با استفاده از دستگاه

³ Cation Exchange Capacity (CEC)

⁴ Leco

⁵ Shapiro-wilk

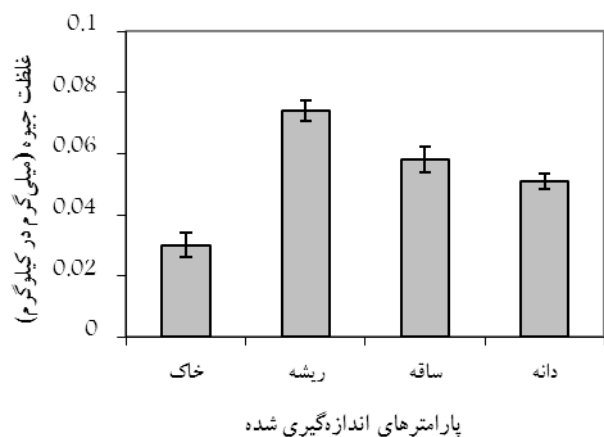
¹ *Oryza sativa L*

² Electrical Conductivity (EC)

(جدول ۲). نتایج مربوط به غلظت جیوه در خاک و اندامهای مختلف گیاهی شامل دانه، ساقه و ریشه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه میانگین غلظت جیوه در خاک 0.12 ± 0.032 میلی‌گرم در کیلوگرم بود، که از حداکثر حد قابل قبول جیوه در خاکهای کشاورزی کشور آلمان پایین‌تر و نیز از استاندارد کشور انگلیس بالاتر بود [۱۹ و ۲۰]. علت کم بودن غلظت جیوه در خاک احتمالاً به دلیل شرایط غرقابی شالیزارها و یا بارشهای باران و شستشو و آبشویی این عنصر به لایه‌های پایین‌تر خاک و یا به آبهای زیرزمینی است، همچنین فرایندهای میکروبی نیز بر غلظت جیوه در خاک تأثیرگذار است. البته مقداری از این فلز نیز جذب گیاهان می‌شود. میانگین غلظت جیوه در ریشه، ساقه و دانه به ترتیب 0.163 ± 0.074 ، 0.08 ± 0.058 و 0.083 ± 0.051 میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

| پارامتر خاک | مقدار |
|-----------------|-------------------|
| رس (درصد) | 30.73 ± 1.06 |
| شن (درصد) | 35.21 ± 1.8 |
| لائی (درصد) | 34.05 ± 1.4 |
| بافت | رسی لومی |
| pH | 7.81 ± 0.43 |
| کربن آلی (درصد) | 1.11 ± 0.05 |
| مواد آلی (درصد) | 1.65 ± 0.62 |
| EC (ds/m) | 0.395 ± 0.003 |
| CEC (cmol/kg) | 27 ± 1.5 |



شکل ۱- میانگین غلظت جیوه در خاک و اندامهای مختلف گیاه برنج ± انحراف معیار

از نتایج بالا مشخص می‌شود که غلظت جیوه در ریشه بیشتر از ساقه و دانه است که با نتایج دیگر تحقیقات که در آن غلظت جیوه در ساقه کمتر از ریشه و بیشتر از دانه است، مطابقت داشت [۱۴]. اگر چه علت تجمع بالای غلظت جیوه در ریشه به‌طور قطع معلوم نیست ولی نتایج مشابه نشان دادند که اکسیدهای آهن در اطراف ریشه گیاه برنج به فلزات متصل شده و انتقال آنها را به بافتهای بالایی کاهش می‌دهند [۱۶]. غلظت جیوه در دانه 0.083 ± 0.051 میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد که از حد مجاز اعلام شده غلظت جیوه در دانه برنج توسط سازمان بهداشت جهانی^۱ و سازمان خواروبار کشاورزی آمریکا^۲ (0.02 میلی‌گرم در کیلوگرم) بالاتر بود. بنابراین با توجه به مصرف سرانه 165 گرم برنج در روز در بین ساکنان محلی و متوسط وزن 60 کیلوگرم، هر فرد روزانه 0.14 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن خود جیوه جذب می‌کند. بنابراین هر فرد در طول یک هفته 0.98 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن جیوه جذب می‌کند که از میزان جذب قابل تحمل هفتگی اعلام شده توسط WHO/FAO (5 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن)، پایین‌تر است [۲۱]. با توجه به تولید 3000 کیلوگرم دانه برنج در هکتار در هر فصل زراعی و متوسط میزان جیوه دانه (0.051 میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌طور متوسط 153 میلی‌گرم جیوه توسط دانه برنج از هر هکتار خاک در هر فصل زراعی جذب شده و از خاک خارج می‌گردد.

ضریب همبستگی r^2 بین غلظت جیوه در خاک با اندامهای مختلف گیاه برنج در جدول ۳ آورده شده است. نتایج همبستگی نشان می‌دهد که بین غلظت جیوه در خاک و دانه همبستگی مثبتی وجود دارد که با نتایج لیو و همکاران مطابقت دارد، آنها گزارش داده‌اند جیوه در مقایسه با دیگر فلزات تمایل بیشتری به انتقال به بخشهای خوراکی گیاه به‌ویژه در دانه برنج دارد [۱۴].

pH و کربن آلی دو عامل مهم خاک در دسترسی زیستی گیاهان به عناصر هستند. ضرایب همبستگی بین pH و کربن آلی با بخشهای مختلف گیاه در جدول ۳ آمده است. بین pH و مقدار غلظت جیوه در خاک و ریشه ارتباط منفی دیده شد، علت این است که با کاهش pH انحلال فلزات سنگین افزایش یافته و بالعکس که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۱۹، ۲۲ و ۲۳].

مقدار ضریب انتقال از ریشه به ساقه و از ساقه به دانه در جدول ۴ ذکر شده است. مقدار این فاکتور از ریشه به ساقه کمتر از ساقه به دانه بود. این امر نشان دهنده توانایی بالای ریشه در نگهداری جیوه در خود است که با نتایج باتاچاریا^۳ و همکاران مطابقت دارد [۲۲].

¹ World Health Organization (WHO)

² Food and Agriculture Organization (FAO)

³ Battacharya

جدول ۳- ضرایب همبستگی پیرسون

| مواد آلی | pH | دانه | ساقه | ریشه | خاک |
|----------|----|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | خاک |
| | | | | ۱ | ۰/۲۳۵ |
| | | | ۱ | ۰/۰۶۵ | ۰/۱۴۷ |
| | | ۱ | -۰/۰۹۲ | ۰/۰۹۳ | *۰/۴۰۵ |
| | ۱ | -۰/۱۹۶ | -۰/۰۶۵ | *۰/۴۲۴ | *۰/۴۵۴ |
| مواد آلی | ۱ | -۰/۱۴۷ | ۰/۰۵۹ | -۰/۱۸۸ | ۰/۲۳ |

مصرف خوراکی برای انسان و حیوان دارد. پیشنهاد می‌شود از آبیاری این مزارع با فاضلاب آلوده شهرک صنعتی خودداری شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه میانگین غلظت جیوه در خاک و اندامهای مختلف گیاه برنج به منظور بررسی قابلیت جذب جیوه توسط گیاه برنج اندازه‌گیری شد که میانگین غلظت جیوه در ریشه بیشتر از ساقه و دانه بود. همچنین ارتباط مثبتی بین غلظت جیوه در دانه برنج با غلظت جیوه در خاک و ارتباط منفی بین pH با غلظت جیوه در خاک و ریشه، مشاهده شد. با توجه به یافته‌های این تحقیق که ضرایب BCF بزرگ‌تر از یک و TF کوچک‌تر از یک محاسبه شدند، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه برنج قابلیت خوبی برای جذب جیوه دارد.

۵- قدردانی

تحقیق حاضر با استفاده از پشتیبانی مالی و علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، صورت گرفت. نویسندگان این مقاله بر خود واجب می‌دانند که مراتب تشکر و قدردانی خود را به عمل آورند.

نتایج ضریب تجمع زیستی نیز در جدول ۴ آمده است. اگر ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک باشد، نشان دهنده این است که گیاه علاوه بر جذب می‌تواند فلز مورد نظر را در ریشه خود نیز انباشته کند. در این تحقیق ضریب تجمع زیستی ۲/۴۶ به دست آمد که در توافق با نتایج لیو و همکاران بود [۱۴].

جدول ۴- ضرایب TF و BCF در گیاه برنج

| TF | BCF |
|--------------|--------------|
| ریشه به ساقه | ساقه به دانه |
| ۰/۷۸ | ۰/۸۷ |

*TF غلظت جیوه در اندام پایینی / غلظت جیوه در اندام بالایی، BCF غلظت جیوه در خاک / غلظت جیوه در ریشه است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه برنج می‌تواند فلز جیوه را در خود انباشته کند. گیاهانی که ضریب انتقال و تجمع زیستی بیشتر از یک دارند پتانسیل بالایی برای دسترس خارج سازی گیاهی دارند و زمانی که ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک و ضریب انتقال کمتر از یک باشد آنگاه پتانسیل برای تثبیت سازی گیاهی بالا خواهد بود [۱۰]. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، گیاه برنج قابلیت بالایی برای جذب جیوه دارد. با توجه به اینکه این گیاه

۶- مراجع

- 1- Tiwari, R.C., and Kumar, B.M. (1982). "A suitable extracting for assessing plant-available copper in different soils (peaty, red and alluvial)." *J. of Plant Soil*, 68, 131-134.
- 2- Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Liu, W., Wang, T., Zhang, Q., and Jiang, G. (2008). "High levels of heavy metals in rice (*Oryza Sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health." *J. of Chemosphere*, 71, 1269-1275.
- 3- Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F. (2007). "Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India." *J. of Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 258-266.
- 4- Sarfaraz, M., Mehdi, S.M., Hassan, G., and Abbas, S.T. (2007). "Metal contamination in nullah dek water and accumulation in rice." *J. of Pedosphere*, 17, 130-136.
- 5- Millan, R., Gamarra, R., Schmid, T., Sierra, M.J., Quejido, A.J., Sanchez, D.M., Cardona, A.I., Fernández, M., and Vera, R. (2006). "Mercury content in vegetation and soils of the Almadén mining area, Spain." *J. of Science of the Total Environment*, 368, 79-87.

- 6- Nakagawa, R., and Yumita, Y. (1998). "Change and behavior of residual mercury in paddy soils and rice of Japan." *J. of Chemosphere*, 37(8), 1483-1487.
- 7- Karimpoor, M., Afyuni, M., Esmaili Sari, A., and Ghasempouri, S.M. (2009). "Effect of sewage sludge on mercury accumulation in soil and corn." *J. of Residuals Science and Technology*, 6(4), 247-254.
- 8- Zheng, Y.M., Liu, Y.R., Hu, H.Q., and He, J.Z. (2008). "Mercury in soils of three agricultural experimental stations with long-term fertilization in China." *J. of Chemosphere*, 72, 1274-1278.
- 9- UNEP. (2002). *Global mercury assessment*, UNEP Chemicals, United Nations Environment Program, Switzerland, Geneva.
- 10- Nouri, J., Lorestani, B., Yousefi, N., Khorasani, N., Hasani, A.H., Seif, F., and Cheraghi, M. (2010). "Phytoremediation potential of native plants grown in the vicinity of Ahangaran lead-zinc mine (Hamedan, Iran)." *J. of Environment Earth Science*, 62, 639-644.
- 11- Yan-Feng, Zh., Xue-Zheng, Sh., Biao, H., Dong-Sheng, Y., Hong-Jie, W., Wei-Xia, S., Oboern, I., and Blomback, K. (2007). "Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based peri-urban area in wuxi, China." *J. of Pedosphere*, 17(1), 44-51.
- 12- Hang, X., Wang, H., Zhou, J., Ma, C., Du, C., and Chen, X. (2009). "Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza Sativa* L.) in a typical area of the Yangtze river delta." *J. of Environmental Pollution*, 157, 2542-2549.
- 13- Yargholi, M., Azimi, A.A., Baghvand, A., Abasi, F., Lyaghat, A., and Asadollah Fardi, G. (2009). "Investigation of Cd adsorption and accumulation from contaminated soil in different parts of root crops." *J. of Water and Wastewater*, 72, 60-70. (In Persian)
- 14- Liu, W.X., Shen, L.F., Liu, J.W., and Wang, Y.W. (2007). "Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza Sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zheng Zhou city, people's republic of China." *J. of Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 79, 209-213.
- 15- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L.Q. (2006). "Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site." *J. of Science of the Total Environment*, 368, 456-464.
- 16- Liu, W.X., Li, H.H., Li, S.R., and Wang, Y.W. (2006). "Heavy metal accumulation of edible vegetables cultivated in agricultural soil in the suburb of Zheng Zhou city, people's republic of China." *J. of Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 76, 163-170.
- 17- Zarin Kafsh, M. (1983). *Applied soil, evaluation, morfology and quantitative analysis soil-water-plant*, 2nd Ed., Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 18- Rhoades, J.D. (1982). "Cation exchange capacity." Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2 :Chemical and Biological Properties*, 2nd Ed., Soil Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
- 19- Singh, B.R. (1994). *Contamination by heavy metals, advances soil science*, Lewis Pub., London.
- 20- WRAP. (2006). "Introduction to PAS 100., 2005. Summary for the BDI specification for compostedmaterials".< www.wrap.org.uk/materials/organics/compost_pecifications/bsi_pas_100_1.html>. (Apr. 25, 2009)
- 21- WHO/FAO. (1996). *Trace elements in human nutrition and lealth*, World Health Organization/Food and Agriculture Organization, Geneva, Switzerland.
- 22- Bhattacharya, P., Samal, A.C., Majumdar, J., and Santra, S.C. (2009). "Accumulation of arsenic and its distribution in rice plant (*Oryza Sativa* L.) in Gangetic West Bengal, India." *J. of Paddy Water Environment*, 8, 63-70.
- 23- Mandal, B.K., Chowdhury, T.R., Samanta, G., Basu, G.K, Chowdhury, P.P., Chanda, C.R., Lodh, D., Karan, N.K., Dhar, R.K., Tamili, D.T., Das, D., Saha, K.C., and Chakraborty, D. (1996). "Chronic arsenic toxicity in West Bengal." *J. of Current Science*, 72, 114-117.