



فصلنامه علمی - پژوهشی گیاه و زیست بوم

سال ۱۰، شماره ۳۸، بهار ۱۳۹۳

رفع آلودگی خاک‌های آلوده به کادمیوم و کروم به روش گیاه‌پالایی در گیاه شاهی (*Lepidum Sativum*)

شیرین جهانبخشی^{۱*}، محمدرضا رضایی^۱، محمد حسن سیاری زهان^۲

چکیده

آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین یک مشکل جدی برای زیست‌بوم و سلامتی انسان می‌باشد و گیاه‌پالایی، استفاده از گیاهان برای حذف فلزات سمی از خاک، راهکاری مؤثر و اقتصادی می‌باشد. بنابراین این تحقیق در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار از سطوح مختلف کادمیوم با استفاده از نمک کلرید کادمیوم شامل غلظت‌های ۰، ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم با استفاده از نمک کلرید کروم (III) شامل غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، به‌صورت کشت گلدانی اجرا گردید. نتایج نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم و کروم در خاک میزان غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی شاهی، افزایش و غلظت کروم کاهش نشان داد ($P < 0/01$). بنابراین شاهی برای گیاه‌جذبی کادمیوم و کروم در فناوری گیاه‌پالایی مناسب می‌باشد اما در غلظت‌های بالای کروم استفاده از گیاه شاهی جهت گیاه‌پالایی توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، کادمیوم، کروم، گیاه‌پالایی، شاهی (*Lepidum Sativum*)

۱- دانشگاه بیرجند، گروه محیط‌زیست، بیرجند، ایران

۲- دانشگاه بیرجند گروه خاک‌شناسی، بیرجند، ایران

* مکاتبه‌کننده: (jahanbakhshish@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: زمستان ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: پاییز ۱۳۹۱

مقدمه

فلزات سنگین از راه فعالیت بشر (احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، پالایش سنگ‌های دارای فلز، بهره‌گیری فاضلاب‌های شهری، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و باتری‌ها) و فرسایش طبیعی سنگ‌ها به بیوسفر وارد می‌شوند (Kabata - Pendias, 1992). فلزات سنگین آلاینده خاک، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، سرب و روی هستند (عابدی‌کوپایی و همکاران، ۱۳۸۶). این فلزات به دلیل سمیت و عدم تخریب زیستی نه تنها برای گیاهان و حیوانات بلکه برای انسان‌ها هم ایجاد مشکل کرده و می‌توانند در بافت‌های زنده و در نهایت در زنجیره غذایی تجمع حاصل کنند (Appel & Ma, 2002). فلزات سنگین در محیط تجزیه نمی‌شوند، بنابراین نیاز به خارج کردن آنها از محیط می‌باشد (Ghosh & Singh, 2005) از طرفی هزینه‌های بسیار گزاف روش‌های فیزیکی و شیمیایی سبب تلاش در جهت دستیابی به روش‌های ارزان‌تری شده است. از جمله این روش‌ها گیاه‌پالایی می‌باشد. گیاه‌پالایی، فرآیندی است که در آن از گیاهان برای تجزیه، تثبیت و یا حذف آلاینده‌های خاک استفاده می‌شود (Gerhardt et al., 2009).

در تحقیقی سه گونه کلزا (*Brassica napus*)، سلغم‌هندی (*Brassica juncea*)، خردل حبشی (*Brassica carinata*) و تربچه (*Raphanus sativus*) با آب آلوده به کادمیوم، مس، روی و نیکل آبیاری شدند. نتایج نشان داد که گونه‌های *Brassica* کادمیوم و روی را به صورت یکسان ترجیح دادند در حالی که فاکتور غلظت زیستی برای مس و نیکل بسیار پایین بود (Marchiol et al., 2004). در تحقیق دیگری پژوهشگران با اعمال تیمارهای ۰،

۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم در گیاهان شاهدانه، کتان، کرچک و بادام‌زمینی، گزارش دادند که بیشترین غلظت کادمیوم در ریشه شاهدانه و بادام‌زمینی و بیشترین غلظت آن نیز در حدود ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در اندام هوایی کتان مشاهده گردید (Shi & Cai, 2009). محققان در بررسی گیاه جذبی کادمیوم در سه گیاه مختلف (زراعی و غیرزراعی) یونجه، آفتابگردان و تاج‌خروس گزارش کردند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک غلظت این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاهان افزایش یافت (Motesharezadeh et al., 2010).

با نگاهی به گیاهان مقاوم در برابر آلودگی با فلزات سنگین، گیاه شاهی با نام علمی *Lepidium Sativum* از خانواده چلیپاییان (Brassicaceae)، به لحاظ مقاومت در شرایط آلودگی، داشتن ریشه‌های افشان، سریع‌الرشد و بومی بودن ایران انتخاب گردید. این پژوهش با هدف بررسی توان گیاه‌پالایی شاهی در حذف یا کاهش غلظت فلزات سنگین (کروم و کادمیوم) از خاک آلوده و همچنین تعیین میزان غلظت و تجمع فلزات سنگین (کروم و کادمیوم) در اندام‌های هوایی شاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این پژوهش، از عمق ۳۰ - ۰ سانتی‌متری خاک‌های مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با نام علمی Coarse loamy mixed (calcareous), thermic, typic Ref torrifluent تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از هوا خشک کردن، خاک مورد نظر از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد (Sayyari-Zahan et al., 2009) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن بر

یکنواخت به خاک اضافه شد تا مخلوط یکنواخت و یکدستی حاصل شود سپس به گلدان منتقل گردید و عملیات کاشت بذور انجام شد در طول دوره داشت، رطوبت خاکها در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد به این منظور آبیاری گلدانها به صورت وزنی و به طور همزمان در حد رطوبت ظرفیت زراعی با آب مقطر انجام گرفت. بعد از سپری نمودن طول دوره رشد (حدود چهار هفته)، اندامهای هوایی (شامل ساقه و برگ) برداشت شد و با آب مقطر شستشو داده شد. نمونه‌ها، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شوند. سپس تمام نمونه‌ها وزن شده و وزن خشک اندامهای هوایی ثبت شد. اندامهای هوایی خشک‌شده، به‌وسیله هاون چینی کوبیده و آسیاب شد و غلظت فلزات سنگین در بافت گیاه به روش هضم اسیدی تر و با استفاده از اسید نیتریک (HNO₃) و اسیدپیرکلریک (HClO₄) به نسبت ۵ به ۱/۵ انجام شد (Ebrahimpour & Mushrifah, 2008b) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله مدل Shimadzu 6300 AA اندازه‌گیری شد.

تعیین فاکتور غلظت زیستی

(Bioconcentration Factor)

فاکتور غلظت زیستی (BCF) شاخصی برای توانایی گیاه در تجمع یک فلز خاص نسبت به غلظت آن فلز در بستر خاک است (Ghosh and Singh, 2005) که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{میانگین غلظت عنصر در بافت گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)} \\ \text{فاکتور غلظت زیستی} = \frac{\text{غلظت اضافه شده به خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}}{\text{میانگین غلظت عنصر در بافت گیاهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)}}$$

اساس روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین گردید (جدول ۱).

قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت سنج (Rhoades, 1982)، میزان مواد آلی با استفاده از روش Walkly Black (Nelson & Sommers, 1986)، تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، pH در عصاره اشباع (Thomas, 1996)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم نرمال در عصاره اشباع Lindsay & Norvell, 1978) و غلظت کل فلزات سنگین در خاک قبل و بعد رشد گیاهان به روش هضم اسیدی صورت گرفت و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu 6300 AA اندازه‌گیری شد (Ebrahimpour & Mushrifah, 2008a).

این تحقیق در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار از سطوح مختلف کادمیوم با استفاده از نمک کلریدکادمیوم شامل غلظت‌های ۰، ۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (صفر به‌عنوان شاهد) و کروم با استفاده از نمک کلریدکروم (III) شامل غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (صفر به‌عنوان شاهد) به‌صورت کشت گلدانی اجرا گردید. برای ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک هر گلدان، عناصر کادمیوم و کروم به‌صورت نمک‌های موردنظر در مقدار مشخصی آب مقطر حل و به‌طور

کروم در محدوده ۱۴۳/۹۲ تا ۵۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک از خود نشان داد و قادر به تجمع مقادیر بالایی از کادمیوم و کروم در اندام هوایی بود.

فاکتور غلظت زیستی

(Bioconcentration factor)

براساس فاکتور غلظت زیستی پتانسیل گونه گیاهی برای تثبیت و استخراج گیاهی مشخص می‌شود و از میزان $BCF > 1$ برای همین منظور استفاده می‌شود (Ghosh & Singh, 2005). بررسی مقادیر BCF برای عناصر کادمیوم و کروم در گیاه شاهی بیانگر آن است که این گیاه توانایی تجمع کادمیوم و کروم را در اندام‌های هوایی خود دارد (جدول ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

غلظت کادمیوم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کلرید کادمیوم بیشتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۲) به نحوی که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان غلظت آن در اندام‌های هوایی روند افزایشی نشان داد (جدول ۳). بنابراین براساس این نتایج می‌توان دریافت که گیاه شاهی در کاهش غلظت این عنصر در خاک مفید واقع شود. بنابراین با توجه به این نتایج مهمترین فاکتور خاکی مؤثر در جذب کادمیوم توسط گیاه، غلظت این عنصر در محلول خاک بوده است.

ریشه گیاه، کادمیوم را به صورت یون فلزی Cd^{+2} از محلول خاک جذب می‌کند جذب فلزات سنگین از جمله کادمیوم به دو صورت جذب فعال و غیرفعال می‌باشد (Alloway, 1995). یون کلرید بسته به غلظت آن در محلول می‌تواند با کادمیوم تشکیل

پس از به دست آوردن نتایج، تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) و Macro صورت گرفت. جدول‌ها و نمودارهای مربوطه با نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج

میزان غلظت کادمیوم و کروم در اندام‌های

هوایی شاهی

نتایج تجزیه واریانس میانگین غلظت کادمیوم و کروم در اندام‌های هوایی گونه شاهی نشان داد که در بین غلظت‌های مختلف اعمال شده اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد ($P > 0/01$). به این معنی که غلظت کادمیوم در اندام هوایی گونه شاهی به طور معنی‌دار تحت تأثیر تیمار کادمیوم به کاررفته در خاک بوده است (جدول ۲). به عبارت بهتر در این گونه با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان غلظت آن در اندام‌های هوایی روند افزایشی نشان داد در حالی که با افزایش غلظت کروم در خاک میزان غلظت آن در اندام‌های هوایی کاهش نشان داد (جدول ۳). به طوری که میزان غلظت کروم در اندام‌های هوایی شاهی در تیمارهای غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، به صورت $0 < 150 < 100 < 50 < 100 < 150$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

بررسی ارتباط غلظت کل کادمیوم و کروم در

خاک و اندام هوایی شاهی

با توجه به جدول ۳، علی‌رغم اینکه میزان کادمیوم انباشته شده در نمونه‌های خاکی متعلق به گیاه شاهی، برای کادمیوم کمتر از ۵۱ و برای کروم کمتر از ۲۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، اما این گیاه توانایی بالایی را در تجمع فلز در اندام‌های هوایی برای کادمیوم در محدوده ۲۹/۸۸ تا ۱۸۵/۲۲ و برای

کاتیونی ریشه و غیرمتحرک شدن آن می‌باشد. بنابراین بیشترین مقدار کروم جذب شده توسط گیاه در ریشه‌ها باقی می‌ماند و تنها بخش کوچکی از آن به اندام هوایی منتقل می‌شود. مطالعه بر روی جذب کروم به وسیله گیاهان نشان داده است که جذب و جابجایی کروم توسط گیاهان پایین می‌باشد. یکی از دلایل عدم جذب کروم پیوند Cr^{+3} با گروه‌های COOH در دیواره سلول‌های ریشه می‌باشد که از جابجایی این فرم یونی به اندام هوایی ممانعت می‌کند (ذاکر و همکاران، ۱۳۸۴).

محققان در بررسی امکان پالایش خاک‌های آلوده به سرب توسط گیاه شاهی نشان دادند که مقدار سرب جذب شده از خاک توسط شاهی با افزایش آلودگی خاک تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش ولی در آلودگی خاک از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدار سرب جذب شده از خاک توسط شاهی رو به کاهش گذاشت. بر این اساس گیاه شاهی برخلاف توانایی در تحمل آلودگی‌های بالای سرب، در زدودن آن از خاک توانا نیست بنابراین از آن، می‌توان برای کاهش آلودگی فلز تا حدی معین استفاده کرد که این نتایج با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد (خداوردی‌لو و همکاران، ۱۳۸۶). در گیاهان بیش تجمع‌دهنده غلظت فلز کادمیوم در اندام هوایی بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و برای کروم بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک می‌باشد (Baker & Brooks, 1989). نتایج جدول (۳) حاکی از آن است که گیاه شاهی از نظر تجمع کادمیوم در اندام‌های هوایی جزء گیاهان بیش تجمع‌دهنده می‌باشد اما از نظر تجمع کروم این خصوصیت را دارا نمی‌باشد و به‌عنوان گیاهی که پتانسیل مناسبی در حذف کروم از محیط دارد معرفی می‌گردد.

کمپلکس دهد به طوری که اگر غلظت کلرید (Cl^-) در محلول به بیش از ۱۰ میلی‌مولار (۳۵۵ میلی‌گرم در لیتر) افزایش یابد، گونه $CdCl^+$ در محلول از Cd^{+2} فراوان‌تر خواهد بود و محلول خاک ممکن است به دلیل تبخیر و تعرق دارای غلظت‌های بیشتر یون کلرید شود که کمپلکس‌های $CdCl_n^{2-n}$ شیمی کادمیوم محلول در خاک‌های شور را کنترل می‌کنند و مشخص شده است که این کمپلکس‌ها می‌توانند تحرک کادمیوم در خاک را از طریق واکنش‌های زدایش و یا واجذب و تشکیل کمپلکس افزایش دهند (Grant et al., 1999). در پژوهش حاضر نیز افزایش غلظت کادمیوم در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کلرید کادمیوم را می‌توان به تأثیر یون کلرید نسبت داد. با افزایش غلظت کلرید در محلول Cd^{+2} پیوندی با کلونیدهای خاک کمپلکس می‌گردد و غلظت کل کادمیوم در محلول افزایش یافته که جذب بعدی کادمیوم کمپلکس شده توسط ریشه را به دنبال دارد. همچنین با افزایش غلظت کلر در محلول Cd^{+2} به شکل کمپلکس در می‌آید و انتشار مؤثر کادمیوم در خاک و محلول به مکان‌های جذب در ریشه افزایش می‌یابد. (Sloan et al (1997) نشان دادند که غلظت کادمیوم در کاهو با غلظت این عنصر در خاک همبستگی دارد که نتایج آنها با نتیجه این تحقیق مطابقت دارد.

در گیاه شاهی با افزایش غلظت کروم در خاک میزان غلظت آن در اندام‌های هوایی روند کاهشی نشان داد. بیشترین میزان غلظت کروم در تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کلرید کروم (III) مشاهده شد (جدول ۳). به‌طور کلی میزان انباشت کروم در بخش‌های مختلف گیاه متفاوت است زیرا در انتقال کروم از ریشه به رأس گیاه محدودیت وجود دارد که به دلیل اتصال این فرم یونی در جایگاه‌های مبادله

براساس نتایج آزمایش گلدانی و تجزیه‌های آزمایشگاهی، شاهی برای گیاه جذبی کادمیوم و کروم در فناوری گیاه‌پالایی مناسب می‌باشند و در پالایش خاک‌های آلوده به کادمیوم و کروم توصیه می‌شوند. اما در غلظت‌های بالای کروم استفاده از آن جهت گیاه‌پالایی توصیه نمی‌شود. بنابراین در مناطقی که هدف از کاشت شاهی (مصرف خوراکی آن است و نه به‌عنوان گیاه پالایی) بایستی به مشکل بالابودن کادمیوم و کروم در بافت این گیاه توجه ویژه گردد.

با در نظر گرفتن ضریب فاکتور غلظت زیستی بزرگتر از یک، این گیاه پتانسیل بالایی در انتقال و انباشت فلزات مورد مطالعه در بخش هوایی خود دارد (جدول ۴).

غلظت کادمیوم و کروم در اندام هوایی شاهی به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر غلظت تیمارهای به‌کاررفته در خاک بود. با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان غلظت آن فلز در اندام‌های هوایی افزایش نشان داد. اما در مورد فلز کروم، با افزایش غلظت کروم، میزان غلظت آن کاهش یافت. بنابراین

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۷/۵	pH	لومی - رسی	کلاس بافت خاک
۰/۰۴	نیتروژن کل (درصد)	۳۳/۲	درصد رس
۱۰	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	۴۱/۵۲	درصد شن
۲۵۰	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)	۲۵/۲۸	درصد سیلت
۲	Cd (mg kg ⁻¹)	۰/۴	درصد مواد آلی
۴۵	Cr (mg kg ⁻¹)	۱۵	درصد ظرفیت زراعی
		۲/۲۱	EC (dS m ⁻¹)

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت کادمیوم و کروم در اندام هوایی شاهی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
غلظت	۳	کادمیوم ۱۶۸۳۱/۴۳** کروم ۸۰۶۸۴/۴۸**	کادمیوم ۹۲۹/۵۵ کروم ۱۶/۱۵
خطا	۸	۱۸/۱۰	۱۳۱۹/۴۰
کل	۱۱		

** معنی‌داری در سطح یک درصد

جدول ۳- میانگین غلظت کادمیوم و کروم در خاک‌های آلوده و اندام هوایی شاهی (میلی گرم بر کیلوگرم)

عنصر	غلظت	غلظت کل در خاک اشتباه معیار ± میانگین	غلظت در اندام هوایی اشتباه معیار ± میانگین
کادمیوم	۰	۱/۲۶±۰/۵۶ ^a	۲۹/۸۸±۰/۷ ^a
	۵	۳/۵±۱/۱۵ ^a	۷۱/۱۰±۱/۵۲ ^b
	۵۰	۳۱/۶۰±۱۰/۲۰ ^{ab}	۱۶۷/۳۳±۴/۵۶ ^c
	۱۰۰	۵۰/۲۰±۱/۵۰ ^b	۱۸۵/۲۲±۰/۷ ^d
کروم	۰	۳۵/۹۹±۰/۳۲ ^a	۱۴۳/۹۲±۲۲/۸۸ ^a
	۵۰	۲۵۲±۳/۹۲ ^b	۵۲۱±۲۳/۶۷ ^b
	۱۰۰	۲۵۷/۸±۴/۶۵ ^b	۴۴۷/۴±۱۰/۵۷ ^b
	۱۵۰	۲۸۷/۶±۶/۶۹ ^c	۴۰۳/۱۰±۲۳/۷۳ ^b

حروف یکسان، عدم تفاوت معنی‌دار آماری و حروف ناهمسان، تفاوت معنی‌دار آماری را در سطح یک درصد نشان می‌دهد.

جدول ۴- تعیین میزان فاکتور غلظت زیستی کادمیوم و کروم در شاهی

گونه	عنصر	غلظت	فاکتور غلظت زیستی
شاهی	کادمیوم	۵	۱۴/۲۲
	کادمیوم	۵۰	۳/۳۴
	کادمیوم	۱۰۰	۱/۸۵
کروم	کروم	۵۰	۱۰/۴۲
	کروم	۱۰۰	۴/۴۷
	کروم	۱۵۰	۲/۶۸

منابع

- خداوردی‌لو، ح.، م. همایی، ع. ا. لیاقت، س. خ. میرنیا. ۱۳۸۶. ارزیابی کمی امکان پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب به وسیله شاهی (*Barbarea verna*)، ویژه نامه علوم کشاورزی، ۱۳: ۳۷۰-۳۵۷.
- ذاکر، آ.، م. لاهوتی، پ. ابریشم‌چی، و ح. اجتهادی. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر انباشتگی Cr^{+3} و Cr^{+6} بر رشد و میزان کلروفیل در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*)، مجله زیست‌شناسی ایران، ۱۸: ۱۰۹-۱۰۱.
- عابدی کوپایی، ج.، ر. دادمهر. و ف. جولازاده. ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی روشی برای کاهش آلاینده‌های پسماندهای صنعتی، یازدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان، ایران.

Alloway, B. 1995. Heavy metals in soils, 2 th Edition, Blackie and sons Ltd, New York.

- Appel, C., and L. Ma.** 2002. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils, *Journal of Environmental Quality*, 31: 581-589.
- Baker, A.J.M., and R.R. Brooks.** 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Journal of Biorecovery*, 1: 81-126.
- Bremner, J.M.** 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. et al., *Method of soil analysis*, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Ebrahimipour, M., and I. Mushrifah.** 2008b. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in TasikChini, Malaysia. *Environmental Geology*, 54: 689- 698.
- Ebrahimipour, M., and I. Mushrifah.** 2008a. Heavy metal concentrations in water and sediments in TasikChini, a freshwater lake, Malaysia, *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 297-307.
- Gerhardt, K.E., X.D. Huang, B.R. Glick, and B.M. Greenberg.** 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges, *Plant Science*, 176: 20-30.
- Gee, G.W., and J.W. Bauder.** 1986. Particle size analysis. In Klute (ed.) *Methods of soil analysis Part 2nd ed.* Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. P. 383-409.
- Ghosh, M., and S.P. Singh.** 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products, *Applied Ecology and Environmental Research*, 3: 1-18.
- Grant, C., L. Bailey, M. McLaughlin, and R. Singh.** 1999. Management factors which influence cadmium concentration in crops. In: M. McLaughlin and B. Singh (editors) : *Cadmium in soils and plants*, Kluwer Academic publishers Netherlands.
- Kabata - Pendias, A.** 1992. Trace metals in soils in Poland – occurrence and behavior, *Soil Science*, 140: 53 – 70.
- Kuo, S.** 1996. Phosphorus. P. 869-920. In Sparks, D.L. et al., *Method of soil analysis*. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Lindsay, W.L., and W.A. Norvell.** 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- Marchiol, L., P. Sacco, S. Assolari, and G. Zerbi.** 2004. Reclamation of polluted soil: phytoremediation potential of crop-related Brassica species, *Water, air, and Soil Pollution*, 158: 345-356.
- Motesharezadeh, B., Gh. R. Savaghebi-Firoozabadi, H. Mirseyed Hosseini, and H. A. Alikhani.** 2010. Study of the enhanced phytoextraction of cadmium in a calcareous soil, *International Journal of Environmental Research*, 4 (3): 525-532.

- Nelson, B.W., and L.E. Sommers.** 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A.L. Page et al. (Ed). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. p: 539-577.
- Rhoades, J.D.** 1982. Soluble salts. In: A.L. Page (Editor). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. monoger. 9. ASA and SSSA, Madison, WI., pp. 167-179.
- Sayyari-Zahan, M.H., U.S. Sadana, B. Steingrobe, and N. Claassen.** 2009. Manganese efficiency and manganese-uptake kinetics of raya (*Brassica juncea*), wheat (*Triticum aestivum*), and oat (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172: 425-434.
- Shi, G., and O. Cai.** 2009. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops, *Biotechnology Advances*, 27: 555-561.
- Sloan, J.J., R.H. Dowdy, M.S. Dolan, and D.R. Linden.** 1997. Long term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils, *Journal of Environmental quality*, 26: 966-974.
- Thomas, G.W.** 1996. Soil pH and soil acidity. P. 475-490. In Sparks, D.L. et al., *Method of soil analysis*, Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

