پایش آلودگی مس روی چند گونه درختی فضای سبز کارخانه ملی مس و شهرک مسکونی سرچشمه

راضیه‌السادات هاشمی‌نژاد کشکوئی [۱]، مسعود مشهدی‌اکبر بوجار [۲*] (نویسنده مسئول) و سپیده کلاته‌جاری [۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، razieh.hashemi@yahoo.com

*۲- دانشیار، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، aboojar@yahoo.com

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، kalatejari@yahoo.com

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۶

Copper pollution monitoring on several tree species of green space and residential town originates National Copper Plant

Razieh Sadat Hashemi Nejad kashkoee[1*], Masoud Mashhadi Akbar Boojar[2*] and Sepideh kalatejari[3]

1- Ph.D student, Department of Horticulture, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, razieh.hashemi@yahoo.com

2- Associate Professor, Khwarizmi University, Tehran, Iran, aboojar@yahoo.com*

3- Assistant Professor, Department of Horticulture, Agriculture and Natural resources college, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, kalatejari@yahoo.com

**Corresponding author: Masoud Mashhadi Akbar Boojar*

Received: April 2017 Accepted: May 2017

چکیده

گیاهان از طریق ریشه‌ها با حجم قابل توجهی از بستر زمین در تماس هستند تا منابع اولیه برای ساخت غذا را تأمین کنند، در صورتیکه مقدار عناصر در محیط زندگیشان بیش از حد نیاز باشد وادار به پاسخ‌های سازشی شده یا از بین می‌روند. این عناصر سنگین همانند نیترات، فسفات، کروم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، روی، کادمیوم و کبالت تجزیه ناپذیر بوده، ولی از طریق تثبیت یا غیرفعال شدن در بافت‌های گیاهی قابل پالایش می‌باشند. در این تحقیق توجه ویژه‌ای به چهار گونه درختی زبان‌گنجشک (*Fraxinus spp.*)، چنار (*Platanus spp.*)، اقاقیا (*Robinia pseudo-acacia*) و سرونقره‌ای (*Cupressus arizonica*) موجود در فضای سبز کارخانه مس و شهرک مسکونی سرچشمه در طی فصول بهار، تابستان و پاییز شده و شاخص های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و مکانیسم‌های تحمل تنش محیطی و امکان بیش-انباشتگری عنصر مس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطح مس در خاک کارخانه و شهرک به چندین برابر سطح مجاز آن رسیده علاوه براین عنصر سایر عناصر در خاک اطراف کارخانه تغلیظ مس و شهرک مجاور بیشتر بوده ولی این افزایش در مقایسه با افزایش عنصر مس ناچیز است. در کل گیاهان استراتژی‌های متفاوتی را برعلیه سمیت فلزی بکار می‌برند. سطح کلروفیل a و b و وزن خشک اندام‌های هوائی در اکثر گونه‌های گیاهی محوطه کارخانه به نحو معنی‌دار و شاخصی نسبت به گونه‌های موجود در شهرک کاهش یافته بود. برعکس میزان انباشت عنصر مس در برگ‌ها و شاخه‌ها این گیاهان دارای افزایش معنی‌داری در فضای سبز کارخانه نسبت به شهرک داشت. براساس مطالعات انجام گرفته در این سه فصل رشد و تجمع مس در اندام‌های هوائی گونه‌های گیاهی مورد بررسی، درخت زبان‌گنجشک گونه‌ی اصلی انباشتگر، بمنظور کاهش خطرات سمیت این عنصر سنگین در محیط زیست منطقه شناسایی شد.

کلمات کلیدی: تجمع فلزی، گونه‌های گیاهی فضای سبز، سمیت عنصر مس، مکانیسم مقاومت و تحمل

Abstract

plants through the roots with a considerable amount of ground contact To provide basic resources for food preparation, whereas the amount of heavy elements in their environment than is required to induce the adaptive response or of the process .Inseparability of the elements, but the fixation or inactivation of plant tissue can be refined. Mineral contaminants that can be refined by flora containing nitrate, phosphate, chromium, copper, iron, manganese, molybdenum, zinc, cadmium and cobalt. In this study special attention to four trees *Fraxinus spp., Platanus spp., Robinia pseudo-acacia* and *Cupressus arizonica* in residential landscaping plant originated during the spring, summer and autumn, and Indicator mechanisms of physiological and environmental stress tolerance and the possibility accumulator of copper has been studied. The results showed that levels of copper in the soil, plant, and it has allowed the city several times. strategy analysis revealed that different plants against metal toxicity are used. Levels of chlorophyll a and b and the weight of dry air herbal plant species in the most meaningful way and the ratio was reduced in the town. Conversely, accumulation of Cu in leaves and branches. Do plants have a significant increase in the green zone of the plant. Based on studies in the three seasons of growth and accumulation of copper in organs of air species - plant studied, Ash *(Fraxinus spp.)* main way accumulator, in order to reduce the risks of toxic heavy metal was detected in the environment.

Keywords: Copper toxicity, Green-space trees, Metal accumulation, Tolerance mechanism

مقدمه و کلیات

فلزات از ترکیبات طبیعی خاک می‌باشند. تعدادی از فلزات سنگین مانند عناصر غذایی کم مصرف مورد نیاز گیاهان می‌باشند. فلزاتی مانند مس و آهن در غلظت‌های بسیار کم برای تکمیل زندگی گیاهان ضروری هستند. تاکنون ۶۰ فلز سنگین شناسایی شده است. آلودگی بیوسفر توسط سمیت فلزات با شروع انقلاب صنعتی به شدت سرعت گرفته است. در نتیجه فعالیت انسان مانند معدن‌کاری، ریخته‌گری فلزات، آبکاری فلزات، تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی، مصرف کودها، فاضلاب و آفتکش‌ها، زباله-های شهری و غیره، آلودگی فلزات را به یکی از مشکلات طاقت فرسای محیطی تبدیل کرده است. تجمع بیش از حد فلزات سنگین برای اکثر گیاهان سمیت ایجاد می‌کند. هنگامی‌که یون‌های فلزات سنگین در سطوح بالا در محیط وجود داشته باشند، بیش از اندازه توسط ریشه گیاه جذب و به اندام‌های گیاهی منتقل و انباشته می‌شودکه منجر به صدمات متابولیسمی و کاهش رشد می‌شود. آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین مشکل عمده‌ای برای محیط و سلامت انسان ایجاد کرده است. به‌علاوه، بالا بودن غلظت فلزات در خاک‌های آلوده باعث کاهش فعالیت میکروبی، کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد می‌شود (Yan-de *et al*, 2007). منطقه مورد مطالعه این تحقیق شامل کارخانه مس سرچشمه و شهرک مسکونی که در پنج کیلومتری کارخانه قرار گرفته، می‌شد. خاک این ناحیه بدلیل مجاورت با معدن از سطح بالای عنصر مس برخوردار است. معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین مجتمع‌های صنعتی معدنی جهان محسوب می‌گردد و فعالیت‌های صنعتی آن تا مسافت زیادی فضای منطقه از جمله پوشش گیاهی اطراف و حتی شهرک مجاور آنرا تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه چهار گونه درختی زبان گنجشگ، چنار، سرو نقره‌ای و اقاقیا که در فضای سبز شهرک و کارخانه کشت شده مورد بررسی واقع شدند. در فضای سبز دو منطقه محوطه کارخانه و داخل شهرک گیاهان از نظر تأثیرات مس بر شاخص‌های مورفولوژیکی و مکانیسم‌های تحمل تنش محیطی و امکان بیش انباشتگری این فلز مورد ارزیابی قرار گرفتند. در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، گونه‌های خاصی از گیاهان توانایی رشد، سازگاری و جذب زیاد فلزات سنگین را دارند. امروزه با آگاهی بشر از مضرات آلودگی محیط زیست، استفاده از این گیاهان در پاکسازی خاک‌های آلوده در روش گیاه پالایشی (Phytoremediation) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این روش بسیار ساده و مفید و بدون استفاده از هرگونه مواد شیمیایی و روش‌های مصنوعی، با کاشت گیاهان مفیدی از گروه گیاهان مناسب برای فضای سبز که توانایی جذب مواد آلاینده را دارند، به تدریج آلودگی را در منطقه کاهش داده و محیطی سالم ایجاد می‌کند. با این روش علاوه بر ایجاد فضای سبز و زیبا، به پالایش هوا و محیط زیست کمک شایانی خواهد شد.

اهمیت عنصر مس: مس هم یک عنصر ریز مغذی برای گیاه و هم فلز سنگینی است (Thomas *et al*, 1998). این عنصر کم مصرف نقشی مهم در همانندسازی CO_2 و سنتز آدنوزین‌تری‌فسفات (ATP) ایفا می‌کند و جزی از پروتئین‌های متعدد مخصوصاً پروتئین‌های درگیر در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی (پلاستوسیانین) و زنجیره تنفسی (سیتوکروم اکسیداز) می‌باشد (Cholvadova *et al*, 1999). میزان جذب مس از خاک به وسیله گیاهان

به توانایی گیاهان در انتقال فلز از سطح تماس خاک و ریشه و میزان کل مس موجود در خاک بستگی دارد (Agata and Ernest, 1998).

سمیت مس: سمیت مس بواسطه تمایل زیاد به گروه‌های سولفیدریل است که می‌توانند فعالیت آنزیم‌ها را از طریق تأثیر بر ساختمان سوم پروتئین‌ها تغییر دهند. همچنین دیده شده در اثر سمیت مس پراکسیداسیون، تجزیه لیپیدهای غشاء و بخصوص غشاء کلروپلاستی تحریک می‌شود. غلظت‌های بالای مس قادر به تأثیر بر روی واکنش‌های فتوسیستم II و نهایتاً کاهش انرژی گرمایی و کاهش کارایی واکنش‌هایی فتوسنتزی می‌شود (Orcutt *et al*, 1986).

مکانیسم مقاومت به مس: گیاهانی که در محیط‌های آلوده به مس می‌رویند، انواع مکانیسم‌های دفاعی را در مقابل سمیت‌زایی آن انجام می‌دهند. از میان گیاهان، ژنوتیپ‌های مقاوم در برابر مس بهتر قادر به حفاظت از خود در مقابل اختلال در خود تعادلی و آسیب‌های سلولی هستند، که این اقدامات را با برانگیختن القاء آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیوی به عنوان یک پاسخ معمول در مقابل تأثیرات سمی فلزات سنگین انجام می‌دهند (Prasad *et al*, 2001).

فرآیند پژوهش

منطقه مورد مطالعه: معدن مس سرچشمه با مختصات "۲۰ '۵۲ °۵۵ طول شرقی و "۴۰ '۵۶ °۲۹ عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی استان کرمان و ۵۰ کیلومتری شهر رفسنجان قرار دارد. ارتفاع این ناحیه از سطح دریا به‌طور متوسط ۲۶۲۰ متر است و بلندترین نقطه‌ی آن از سطح دریا ۳۲۸۰ متر ارتفاع دارد. تغییرات سالیانه‌ی درجه‌ی حرارت در این ناحیه از ۱۵- تا ۳۲+ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. میزان بارندگی در ارتفاعات ۵۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده و سرعت باد در این ناحیه گاهی به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد.

زمان و مکان انجام آزمایش: در فصول بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نسبت به جمع آوری اندام‌های هوائی درختان زینتی و خاک بستر رویش این گیاهان که در فضای سبز کارخانه مس و شهرک مسکونی سرچشمه پرورش یافته بودند، اقدام گردید.

مواد گیاهی و نحوه‌ی نمونه‌گیری: گونه‌های گیاهی مورد نمونه‌گیری در این تحقیق مطابق جدول ۱ شامل درختان زبان گنجشک، چنار، اقاقیا و سرو نقره‌ای بود. برای اندازه‌گیری صفات مختلف حداقل ۵ نمونه از نقاط مختلف گیاه مورد نظر بطور کامل از برگ‌های سالم و جوان و همچنین شاخه‌ها برداشت گردید.

جدول ۱: نام انگلیسی، علمی و خانواده گونه‌های در ختی

Table 1: Trees sampled, english, scientific and family name

Family	Scientific name	English name
Oleaceae	*Fraxinus spp.*	Ash
Platanaceae	*Platanus spp.*	Plane
Fabaceae	*Robinia pseudo-acacia*	False acacia
Cupressaceae	*Cupressus arizonica*	Cupressus

نحوه‌ی نمونه‌برداری از خاک: خاک مورد آزمایش مربوط به محیط اطراف رویش گیاهان بود که در این تحقیق از عمق ۴۰-۵۰cm خاک نمونه‌ها برداشت گردید. صفات مورد ارزیابی شامل:

سنجش عنصر مس در بافت گیاهی: برای آنالیز عنصر مس موجود در نمونه‌ها، ابتدا بافت گیاهی برداشت شده را کاملاً تمیز کرده و سپس قسمت‌های برگ و شاخه را از هم جدا نموده و آنگاه نمونه‌ها داخل آون با حرارت ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند. پس از خشک شدن کامل، برگ‌ها و شاخه‌ها به ظرفی از جنس پلی تترا فلور اتیلن (PTFE) که مخصوص نگهداری استاندارد بافت‌های گیاهی است، منتقل شدند. برای استفاده در آنالیز

عناصر، این اندام‌های گیاهی توسط هموژنایزر به پودر تبدیل و مخلوط شدند. جهت اندازه‌گیری عنصر فلزی بر روی ۲/۵ گرم از این پودر گیاهی در ظرف ۰/۵ میلی‌لیتر از اسید نیتریک با غلظت ۶۵ درصد، ۴ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک ۳۷ درصد و ۱/۵ میلی-لیتر از اسید فلوریدریک ((FH با غلظت ۴۸ درصد اضافه شد و داخل آون قرار گرفت تا هضم انجام شود. بعد از این مرحله این محلول از کاغذ واتمن No:541 عبور داده و صاف شد، سپس اجازه داده شد تا تبخیر صورت گیرد و بر باقی مانده مجدداً ۱ میلی-لیتر اسید کلریدریک ۲۵ درصد و اسید نیتریک اضافه گردید. برای تعیین سطح عنصر از جذب اتمی استفاده شد، که در آن براساس شدت تابش برافروختگی‌اتم هر عنصر، غلظت آن عنصر تعیین می‌شود. از محلول استاندارد برای تعیین غلظت نمونه مجهول استفاده گردید. هر آزمایش سه بار تکرار شد (Florence *et al*, 2002).

سنجش عنصر مس در بافت خاک: نمونه خاک ابتدا خشک شده و با $HCL+HNO_3+HCLO_4$ با سبت (۳:۱:۱ حجم به حجم) طبق روش Auan (1988) هضم شدند و محلول استخراجی برای تعیین غلظت عنصر مس استفاده گردید. برای تعیین غلظت عنصر قابل دسترسی از روش Tessier (1979) که طی آن ۲ گرم خاک با آب دوبار تقطیر به مدت ۴ ساعت مخلوط شده و پس از سانتریفیوژ مایع رویی جهت کار با جذب اتمی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده شد (Tessier *et al*, 1979. Van-Assche *et al*, 1990).

تعیین مقدار کلروفیل a و b: جهت اندازه گیری کلروفیل a و b ابتدا ۰/۵ گرم برگ از هر نمونه انتخاب و درون هاون چینی ریخته و به آن ۰/۵ گرم سولفات منیزیم و ۰/۵ میلی‌لیتر استون ۱۰۰٪ اضافه کردیم و آنقدر در هاون سابیدیم تا خمیری حاصل گردید. هاون مربوط را داخل ظرف آب و یخ قرار داده و آزمایشگاه را تا امکان تاریک کردیم تا فعل و انفعالات شیمیایی به حداقل برسد. سپس به آن ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ اضافه کرده و از عصاره صاف شده حاصل cc ۰/۵ در داخل لوله آزمایش ریخته و در داخل سانتریفیوژ با ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه قرار دادیم. بعد از آن مقدار ۱cc از این عصاره هموژن (سوپرناتانت) را داخل لوله‌های دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و در طول موج‌های ۶۴۷ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل b میزان جذب نور قرائت شد و از فرمول‌های زیر کلروفیل a و b بدست آمد. لازم به ذکر است که دستگاه قبل از آزمایش کالیبره گردید (Silvius *et al*, 1977. Cholvadova *et al*, 1999).

$$Chl.b(mgl^{-1})=(12/25\times A663 - 2/79\times A647) \times D$$
$$Chl.a(mgl^{-1})=(21/5\times A647 - 5/1\times A663) \times D$$

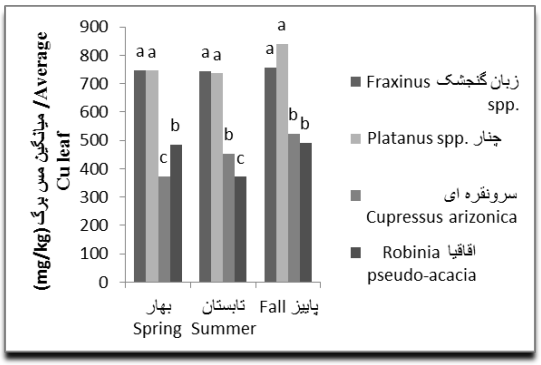
اندازه‌گیری وزن خشک بافت‌های گیاهی: برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ و شاخه، نمونه‌های مورد نظر را در داخل ظروف آلومینیومی به مدت ۸ ساعت در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا وزن خشک آنها به دست آید (Alloway, 1995).

آنالیز داده‌ها و محاسبات آماری: داده‌های به دست آمده با طرح فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم نمودار در Excel صورت پذیرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. برای فهم بهتر مطالب و همچنین مقایسه گیاهان از نظر تأثیرات آلودگی و اثر انباشت عنصر مس در بافت‌های هوائی بر روی وزن خشک و سطح

کلروفیل a و b، مناطق مورد مطالعه به دو مکان تقسیم‌بندی گردید. در این تقسیم‌بندی شهرک مسکونی مکان ۱ و کارخانه مکان ۲ می‌باشد.

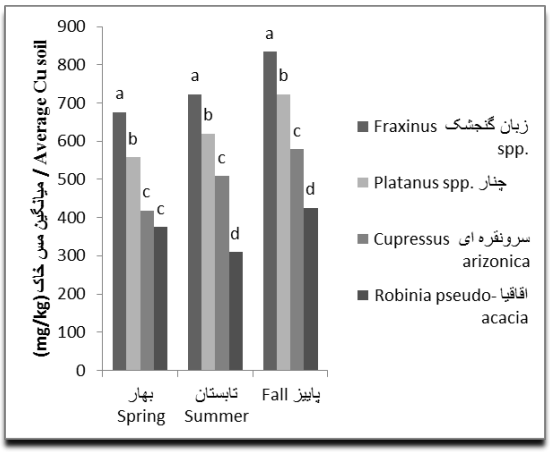
نتایج و بحث

مقایسه مقدار تجمع عنصر مس در برگ چهار گیاه مورد مطالعه در سه فصل بهار، تابستان و پاییز نشان داد که برگ درختان زبان‌گنجشک و چنار در مقایسه با برگ درختان سروتقره‌ای و اقاقیا بیشترین مقدار این عنصر را در اندام‌های خود انباشت کرده بودند (شکل ۱). طبق اندازه‌گیری میزان عنصر مس در شاخه درختان دو مکان مورد بررسی مشخص شد که تجمع این عنصر در شاخه درختان در فصول مختلف رشد متفاوت بوده است. بطوریکه در فصل بهار بین درختان مختلف و در دو مکان کارخانه و شهرک، میزان تجمع مس در شاخه تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲) در حالی که در فصل تابستان که به علت رشد شاخه‌ها و حرکت عنصر مس به سمت بافت‌های در حال رشد و توسعه موجب رقیق شدن این عنصر در بافت‌های شاخه گشته بود، تفاوت معنی‌داری در بین شاخه درختان مختلف مشاهده نگردید (جدول ۳). در فصل پاییز به علت ریزش برگ‌ها، گیاهان برای حفظ و ذخیره عناصر مورد نیاز از جمله عنصر مس، مجدداً این عناصر را به درون بافت‌های شاخه انتقال داده، در این فصل رشد انباشت عنصر مس در بین گیاهان مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). براساس مقایسات میانگین انجام گرفته، شاخه درخت زبان-گنجشک در مقایسه با شاخه دیگر درختان، غلظت بیشتری از این عنصر را در بافت‌های خود انباشت کرده بود (جداول ۵، ۶ و ۷). مطابق اندازه‌گیری مقدار عنصر مس در خاک دو مکان کارخانه و شهرک در فصول بهار، تابستان و پاییز مشاهده گردید که مقدار تجمع این عنصر در خاک مکان‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را داشته که بیشترین تجمع مس در خاک بستر رشد درختانی که در کارخانه رشد یافته بودند تشخیص داده شد (جداول ۲، ۳ و ۴). طبق مقایسات میانگین خاک بستر رشد درخت زبان-گنجشک در این سه فصل، بیشترین میزان مس را در بافت خود انباشت کرده بود (شکل ۲).



شکل ۱: میانگین مقدار عنصر مس در برگ درختان

Fig. 1. Average amount of Cu in the leaves

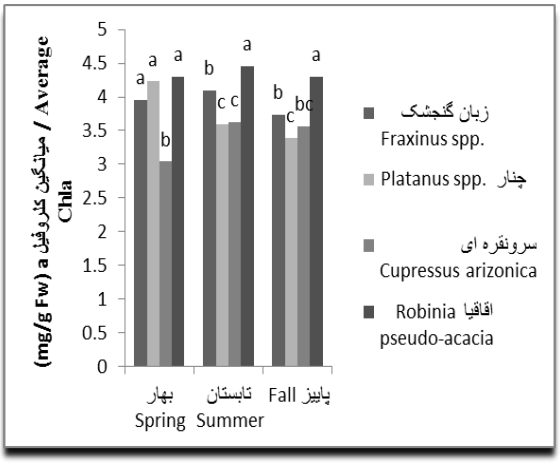


شکل ۲: میانگین مقدار مس خاک

Fig 2. Average amount Cu soil

مقدار کلروفیل a و b در برگ درختان چنار و سرونقره‌ای بر خلاف توانایی این گیاهان در انباشت غلظت زیادی از عنصر مس در فصول مورد مطالعه، در اثر سمیت این عنصر کاهش معنی‌داری را نشان داد (جداول ۲، ۳ و ۴). درخت اقاقیا با ممانعت از

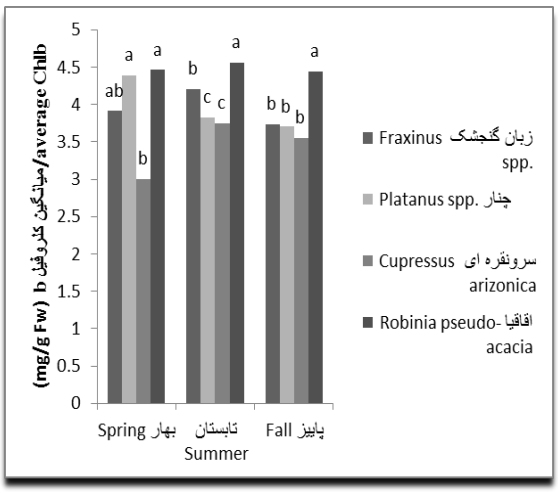
تجمع زیاد مس در بافت‌های هوائی خود باعث شد که در مقایسه با سایر درختان سطح بالاتری از کلروفیل a و b را در برگ‌ها خود دارا باشد (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳: میانگین مقدار کلروفیل a

Fig. 3. Average chlorophyll a values

مقایسه نسبت مقدار وزن خشک اندام‌های هوائی بین چهار درخت مورد مطالعه که در فصول بهار، تابستان و پاییز در معرض غلظت‌های متفاوتی از عنصر مس قرار گرفته بودند، نشان داد که درخت اقاقیا با اجتناب از جذب و انباشت زیاد مس به درون بافت‌های خود در مقایسه با دیگر درختان، بیشترین مقدار وزن خشک برگ و شاخه را داشته بود (جداول ۵، ۶ و ۷).



شکل ۴: میانگین مقدار کلروفیل b

Fig. 4. Average chlorophyll b values

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات در فصل بهار و در مکان

Table 2: Analysis of variance characteristics in the spring in place

		میانگین مربعات						
منبع	درجه آزادی	برگ مس (mg/kg)	مس شاخه (mg/kg)	مس خاک (mg/kg)	کلروفیل a (mg/g.Fw)	کلروفیلB (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه (mg/g.dw)
گیاه	3	147705.766^{ns}	93779.019*	107106.041**	0.854*	2.016*	223.544**	124.501^{ns}
مکان گیاه	3	91740.528**	103487.586*	27734.613**	o.895*	1.118*	246.514**	1108.837**
خطا		3835.896	17791.708	3705.562	0.288	0.398	28.416	167.281

****، * و ns بترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی دار می‌باشد.**

****: Significantly different (pr<0.01) *: Significantly different (pr<0.05), ns: nonsignificantly**

جدول ۳: خلاصه تجزیه واریانس برای صفات در فصل تابستان و در مکان

Table 3: Analysis of variance for characteristics in the summer in place

منبع	درجه آزادی	مس برگ (mg/kg)	مس شاخه (mg/kg)	مس خاک (mg/kg)	کلروفیل a (mg/g.Fw)	کلروفیلB (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه (mg/g.dw)
گیاه	3	140089.138^{ns}	33145.194^{ns}	138062.243^{ns}	0.553**	0.354**	158.185**	1070.414**
مکان گیاه	3	16289.388**	42713.111^{ns}	20517.409**	0.038^{ns}	0.098**	23.978^{ns}	47.254^{ns}
خطا		1370.416	15716.833	1104.66	0.018	0.022	13.610	

****، * و ns بترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی دار می‌باشد.**

****: Significantly different (pr<0.01) *: Significantly different (pr<0.05), ns: nonsignificantly**

جدول ۴: تجزیه واریانس برای صفات در فصل پاییز و در مکان

Table 4: Analysis of variance for characteristics in the fall in place

		میانگین مربعات						
منبع	درجه آزادی	مس برگ(mg/kg)	مس شاخه (mg/kg)	مس خاک(mg/kg)	a کلروفیل (mg/g.Fw)	B کلروفیل (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه (mg/g.dw)
گیاه /	3	133817.388**	28909.806**	147284.694^{ns}	0.515**	0.546**	150.210^{ns}	548.532**
گیاه مکان	3	19886.472^{ns}	19859.389^{ns}	31407.361^{ns}	0.066^{ns}	0.064^{ns}	17.335**	105.965^{ns}
خطا		88.0	8745.417	854.833	0..30	0.063	1.360	172.250

****، * و ns بترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی دار می‌باشد.**

****: Significantly different (pr<0.01) *: Significantly different (pr<0.05), ns: nonsignificantly**

جدول ۵: مقایسه میانگین برای صفات در فصل بهار و در مکان

table 5: To compare the traits in the spring and in places

		صفات						
گیاه	تعداد	مس برگ (mg/kg)	مس شاخه (mg/kg)	مس خاک (mg/kg)	کلروفیل a (mg/g.Fw)	کلروفیلB (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه (mg/g.dw)
زبان گنجشک	4	746.75 a	691 b	675 a	3.96 a	3.912 ab	54.050 b	156.375 a
چنار	4	745.75 a	775.25 b	557.50 b	4.23 a	4.397 a	67.800 a	137.250 a
سرونقره‌ای	4	372.25 c	691.50 b	417.75 c	3.04 b	3.007 b	48.400 b	152.825 a
اقاقیا	4	485 b	824.75 a	374.752 c	4.30 a	4.465 a	68.425 a	139.400 a

جدول ۶: مقایسه میانگین برای صفات در فصل تابستان و در مکان

table 6: To compare the traits in the summer and in places

		Traits / صفات						
Plant/ گیاه	/تعداد N	Leaf مس برگ Cu (mg/kg)	مس شاخه Branch Cu (mg/kg)	مس خاک Soil Cu (mg/kg)	Chla کلروفیل a (mg/g.Fw)	Chlb کلروفیلB (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ dw leaf (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه dw branch (mg/g.dw)
زبان گنجشک	4	745 a	688 a	722 a	4.10 b	4.212 b	61.475 b	141.025 a
چنار	4	735.76 a	658.50 a	619.50 b	3.59 c	3.832 c	57.575 bc	134.525 a
سرونقره‌ای	4	453.75 b	640 a	508.25 c	3.632 c	3.757 c	55.275 c	118.125 b
اقاقیا	4	371.50 c	572.50 a	309 d	4.462 a	4.565 a	71.900 a	100.175 c

جدول ۷: مقایسه میانگین برای صفات در فصل پاییز و در مکان

table 7: To compare the traits in the fall and in places

		Traits/ صفات						
گیاه	تعداد	مس برگ (mg/kg)	مس شاخه (mg/kg)	مس خاک (mg/kg)	کلروفیل a (mg/g.Fw)	کلروفیلB (mg/g.Fw)	وزن خشک برگ (mg/g.dw)	وزن خشک شاخه (mg/g.dw)
زبان گنجشک	4	757.50 a	679.50 a	834 a	3.732 b	3.730 b	54.450 b	140.250 a
چنار	4	839.75 a	533.75 a	723 b	3.392 c	3.702 b	48.775 c	133.500 a
سرونقره‌ای	4	523 b	539.25 a	578.75 c	3.567 bc	3.55 b	50.025 c	111.325 b
اقاقیا	4	491.25 b	632.50 a	424.75 d	4.302 a	4.440 a	65.375 a	126.675 ab

بر اساس نتایج تجمع عنصر مس در خاک کارخانه که در مکان ۲ واقع شده بودند در مقایسه با خاک شهرک مسکونی بیشتر بود. مهم‌ترین دلیل برای این یافته غلظت زیاد این عنصر در خاک کارخانه این است که منطقه اصلی پخش آلودگی در ناحیه مرکزی کارخانه واقع شده، علاوه براین، باد غالب منطقه که به سمت کارخانه شروع به وزیدن می‌کند، باعث پراکندگی و پخش ذرات عناصر سنگین معلق در هوا و نشست بیشتر این عناصر در این مکان می‌شود. به طور کلی در خاک‌های غیر آلوده به مس میزان آن ۲ تا ۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد، اما در مناطق آلوده میزان آن در خاک تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد (Alloway, 1995). در نتیجه با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌ها، خاک هر دو مکان مورد نمونه-

برداری مقدار مسی بیش از حد استاندارد برای خاک-های غیرآلوده را دارا بودند. در دو گونه درختی Plane و Ash مقدار مس در شاخه‌ها از برگ‌ها کمتر است و اما در False acacia و Cupressus برگ‌ها دارای مس بیشتری هستند. نتایج نشان می‌دهد، مقدار مس در شاخه‌ها و برگ‌ها براساس گونه گیاهی تغییر می‌کند. در برگ و شاخه تمام گونه‌ها نسبت عنصر مس در محوطه کارخانه مس ۲-۳ برابر همان گیاهان در شهرک سرچشمه است. توانایی Ash در انباشت عناصر سنگین از جمله مس و کادمیوم در بافت‌های هوائی بخصوص برگ‌ها در مقایسه با بسیاری از درختان همانند False acacia توسط تعدادی از محققین دیگر نیز گزارش شده است. مقایسه گونه‌ها نشان می‌دهد که درخت Ash در محوطه کارخانه در شاخه‌های خود و سپس در برگ‌هایش بیش از سایر گونه‌ها عنصر مس را جمع کرده است. در این دو مکان ترتیب انباشتگری عنصر مس در برگ‌ها و همچنین شاخه‌ها به ترتیب: Ash، Plane، False acacia و نهایتاً Cupressus بود. با این حال مقدار مس در هیچ کدام از درختان به مقدار استانداردی که بتوان آنها را بیش انباشتگر نامید نرسید (Icrcl, 1987). از اثرات مهم افزایش مس در بافت‌ها، سمیت آن بر کلروفیل است که از یک طرف باعث کاهش تولید آن و از طرف دیگر باعث افزایش تخریب آن می‌شود (Prasad *et al*, 2001). تأثیر سمیت مس بر روی مقدار کلروفیل بسته به گونه درختی کاملاً متفاوت بود. سمیت مس عامل اصلی کلروز و نکروز در Plane بود (Reichman, 2002). کاهش در مقدار کلروفیل به افزایش تولید اتیلن (Mattoo *et al*, 1986). القای کمبود آهن (Florence *et al*, 2002. Prasad *et al*, 2001). و یا تحریک پراکسیداسیون لیپیدهای غشائی از جمله غشای کلروپلاست‌ها (Sandmann *et al*, 1983. Mattoo *et al*, 1986). نسبت داده شده است. در این بررسی درخت False acacia در مقایسه با دیگر درختان در این سه فصل رویش مقدار کمتری از عنصر مس را در برگ‌های خود انباشت کرده بود که این اجتناب موجب عدم سمیت مس بر روی سطح کلروفیل a و b در برگ‌ها گشته بود. مس می‌تواند از طریق اعمال اثرات زیان بار بر فرآیندهای فیزلوژیکی مهم موجب ناهنجاری-هایی در رشد و نمو گیاه شود (Yruela, 2005). در مورد کاهش رشد مشاهده شده در گیاهان مورد آزمایش، در گزارش‌های متعددی بیان شده که غلظت زیاد مس در محلول غذایی موجب کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه Bentgrass (Faust *et al*, 2000)، ذرت (Chaffai *et al*, 2005)، آفتابگردان (El-Tayeb *et al*, 2006) و همچنین کاهش رشد ریشه و ساقه در گیاه علفی *Chloris gayana* شده است (Sheldon *et al*, 2004). در این تحقیق سمیت مس موجب کاهش وزن خشک برگ و شاخه در درخت Cupressus گشت. تصور می‌شود که اتصال Cu^{2+} به صورت مستقیم یا با جایگزینی قسمتی از Ca^{2+} دیواره سلول انعطاف پذیری آن را کاهش داده در نتیجه موجب کاهش رشد برگ و شاخه در حضور مس اضافی می‌شود (Sossé *et al*, 2004). با این وجود درخت Ash با اینکه در مقایسه با سه گونه درختی دیگر مقدار زیادتری از عنصر مس را درون بافت‌های هوائی خود انباشت کرده و همچنین میزان تجمع این عنصر در خاک اطراف محل رویش این درختان زیاد بود اما با استراتژی خاصی مانع از اثر سمیت غلظت بالای مس بر روی فعالیت و سنتز

پروتئین‌های درون بافتی شده بود و در نتیجه دارای وزن خشک برگ و شاخه بیشتری بود.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه که در سه فصل بهار، تابستان و پاییز انجام گرفت، نشان می‌دهد که توان انباشتگری مس در درخت زبان‌گنجشک بیشتر از سایر گونه‌های گیاهی مورد مطالعه می‌باشد و این گیاه دارای بالاترین غلظت عنصر مس در اندام‌های هوائی خود بوده که با هرس شاخ و برگ و خاکستر کردن این اندام‌ها می‌توان به کاهش آلودگی محیط زیست منطقه کمک زیادی را کرد. در بین چهار گونه درختی چنار، اقاقیا، زبان گنجشک و سرونقره‌ای، درخت زبان‌گنجشک مقدار مس بیشتری را در برگ‌ها و شاخه‌های خود انباشت کرده، که در بین سایر درختان از قدرت انباشتگری بالاتری برخوردار است. همچنین این گونه درختی دارای سازگاری مناسبی با محوطه کارخانه و شهرک سرچشمه است و نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه از زیبایی بیشتری در هر دو منطقه برخوردار است. در نتیجه برای کاهش آلودگی می‌توان از این گونه گیاهی در فضای سبز هر دو محوطه استفاده کرد. مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار مس در گیاهان نشان می‌دهد که توان انباشتگری مس در گونه سرونقره‌ای نسبت به سایر گونه‌ها کمتر است و این گونه درختی در مقایسه با سایر درختان قادر با انباشت مقدار کمی از این عنصر در اندام‌های هوائی خود می‌باشد. مشاهدات ما در هر دو منطقه نشان می‌دهد که درخت سرونقره‌ای سازگاری کمی با شرایط این مناطق دارد، زیرا این گونه درختی نمی‌تواند غلظت بالائی از مس را در اندام‌های خود انباشت کرده و به کاهش آلودگی محیط زیست منطقه کمک کند. لازم به ذکر است که در این تحقیق مقدار عنصر مس در هیچ کدام از گونه‌های درختی به مقدار استانداردی که بتوان آنها را بعنوان گیاهان بیش‌انباشتگر تلقی کرد، نرسید.

منابع

1- Agata, F., Ernest, B., 1998. Meta–metal interactions in accumulation of V5+, Ni2+, Mo6+, Mn2+ and Cu2+ in under and above ground parts of Sinapis alba. Chemosphere 36, 1305–1317.

2- Alloway, B.J. 1995. Soil Processes and the behavior of Metals. In: Heavy Metals in Soil. Blackie Academic & Professional, London.

3- Bergmann W. 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Fischer Verlag, Jena.

4- Chaffai, R., Tekitek, A. and El-Ferjani, E. 2005. Comparative Effects of copper and cadmium on Growth and Lipd content in maize seedlings (*Zea mays* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 8 (4): 649-655

5- Cholvadova, B.Erdelsky, K.Masarovicova, E.:Praktikumz Fyziologierastlin. Bratislava: univerzita komenskeho, 1999, 136 s.ISBN 80-223.1326-2.

6- Demirevska-kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Holzer, R., Feller, U., 2004. Biochemical changes in barely plants after excessive supply of copper and manganese. Environ. Exp. Bot. 52, 253–266.

7- El-Tayeb, M. A., El-Enany, A. E. and Ahmed, N. L. 2006. Salicylic acid-induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Plant Growth Regulation 50:191-199.

8- Faust, M. B. and Christians, N. E. 2000. Copper Reduces Shoot Growth and Root Development of Creeping Bentgrass. Crop Science 40:498-502

9- Florence V,D., Daniel E., Badr A. Effect of Copper on growth and photosyntehesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. Plant sci. 2002. 163:53-58.

10- Icrcl, 1987. Inter-departmental committee on the redevelopment of contaminated land: Guidance notes (59/83). Guidance on the assessment and redevelopment of

contaminated land, second ed. HMSO, London, p. 19.

11- Mattoo A.K., J.E. Baker and H.E. Moline. 1986: Induction by copper ions of ethylene production in *Spirodela oligorrhiza*: evidence for a pathway independent of 1-amminocyclopropane-1-carboxylic acid. *J. Pl. Physiol.* 123: 193-202.

12- Orcutt, D. M and E. T. Nilsen. 2000. *The physiology of plant under stress: Soil and biotic fsctors.* Pp. 481-517. John Wiley Publishing.

13- Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., 2001. Physical responses of Lemma trisulca L. to cadmium and copper bioaccumulation. Plant Sci. 161, 881–889.

14- Reichman, S. M. 2002. The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals & Energy Environment Foundation 13: 1-54.

15- Sandmann G., Böger P. 1983: The enzymatological function of heavy metals and their role in electron transfer process of plants. In A. Laeuchli, R.L. Bieleski (eds), Encyclopedia of plant physiology. Springer Verlag, Berlin, New Series, 15A: 263-596.

16- Sheldon, A. and Menzies, N. W. 2004. The effect of copper toxicity on the growth and morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana*) in solution culture. Journal of American Science 8: 1-8.

17- Silvius J.E.R.R. Johnson and D.B.peter. 1977. crop Sci 17(5):713-719.

18- Sossé, B. A., Genet, P., Dunand, F. V., Toussaint, M. L., Epron, D. and Badot, P. M. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. Plant Science 166: 1213–1218.

19- Taylor G.J., Foy C.D. 1985: Differential uptake and toxicity of ionic and chelated copper in *Triticum aestivum*. *Can. J. Bot*. 63: 1271-1275.

20- Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for speciation of particular trace metals. Anal. Chem. 51, 844-851.

21- Thomas, F., Malick, C., Endreszl, E.C., Davies, K.S., 1998. Distinct responses to copper stress in the halophyte, Mesembryan-themum crystallium. Physiol. Plant. 102, 360–368.

22- Van-Assche, F., Clijsters, H. 1990. Effect of the metals on enzyme activity in plants. Plant Cell Environ. 13 (3), 195–206.

23- Yan-de, J., H. E. Zhen-li and Y. Xiao-e. 2007. Role of solid rhizo bacterio in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Journal of zhejiong university science B. 8: 192-207.

24- Yruela, I.2005. Copper in plants. *Braz. J. Plant Physiology*. 17(1):145-156.

25- Yuan, D. W. 1988. Compared study on the pre-treatment methods for measuring soil total copper, zinc, lead, cadmium, nickel and manganese. Agro-Environmental Protection Sinica. 7, 34-36.