Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

خواص تغذیه‌ای خاک و برگ درختان کاج تهران آبیاری شده با فاضلاب شهری

آزاده صالحی[۱]
مسعود طبری کوچکسرایی[*۲]
mtabari@modares.ac.ir

تاریخ دریافت:۸۷/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش:۸۸/۱۱/۴

چکیده

محدودیت منابع آبی و ضرورت استفاده بهینه از این منابع، اهمیت کاربرد فاضلاب های شهری را در مواردی که به کیفیت پایین تری از آب آشامیدنی نیاز است (آبیاری پارک‌ها و فضای سبز)، مشخص می سازد. فاضلاب غیر از تامین آب به عنوان یک منبع سرشار از عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز گیاه نیز مطرح می باشد. در تحقیق حاضر، تاثیر کاربرد طولانی مدت آبیاری با فاضلاب شهری روی غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو (N، P، K، Ca، Mg، Na، Fe، Mn، Zn و Cu) خاک و برگ درختان کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) در اراضی جنگل کاری جنوب تهران بررسی شد.

بدین منظور، چهار پلات ۳۰×۳۰ متر در یک طرح تصادفی- سیستماتیک در دو توده ۱۵ ساله دست کاشت کاج تهران ۱) آبیاری شده با فاضلاب شهری و ۲) آبیاری شده با آب چاه پیاده و نمونه های برگ و خاک جمع آوری گردید. نمونه های آب (فاضلاب شهری و آب چاه) نیز در طول ۶ ماه (از ابتدای تیر تا پایان آذرماه) با ۳ تکرار در هر ماه برداشت شد.

نتایج نشان داد که غلظت عناصر غذایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn) و مس (Cu) در فاضلاب شهری و برگ درختان تحت تیمار با فاضلاب شهری به طور معنی داری بیشتر از غلظت آن ها در عرصه آبیاری شده با آب چاه است. کاربرد فاضلاب شهری افزایش ۱/۵ واحدی عناصر غذایی خاک را به همراه داشت که در هر دو تیمار آبیاری غلظت این عناصر در لایه سطحی خاک (عمق ۱۵-۰ سانتی متری) بیش‌تر از لایه های زیرین بود. آبیاری با فاضلاب شهری موجب سمیت عناصر غذایی خاک و برگ نشد. بررسی ارتباط بین عناصر غذایی خاک و برگ درختان همبستگی خطی مثبت و معنی داری را نشان داد.

نتایج حاصل از این تحقیق می تواند ایده بهره‌برداری از فاضلاب شهری را به عنوان یک منبع آبی و کودی مورد نیاز جنگل‌کاری‌ها و فضای سبز بیش از پیش تقویت کند.

واژه های کلیدی: آبیاری، فاضلاب شهری، عناصر غذایی، کاج تهران، خاک

۱- دانش آموخته دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲- استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس*(مسوول مکاتبات).

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین در شرایط مناسب و مدیریت آگاه، قابل برنامه‌ریزی و بهره‌برداری اقتصادی است (۱). با توجه به توسعه اقتصادی جوامع به سمت شهرنشینی و صنعتی شدن و به دنبال آن تولید حجم انبوهی از فاضلاب‌ها (۲)، استفاده مجدد از فاضلاب‌های تولیدی در امر آبیاری می تواند یک استراتژی مهم برای کاهش فشار روی منابع آب شیرین، توسعه فضای سبز و هم چنین دفع سالم زیست محیطی و اقتصادی فاضلاب باشد (۳). انواع مختلف فاضلاب‌ها شامل فاضلاب تصفیه شده و تصفیه نشده، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی می‌توانند به عنوان آب مورد نیاز پارک‌های شهری و جنگلی حاشیه شهرها و مجتمع‌های صنعتی در جهت توسعه فضای سبز به‌کار روند (۴، ۵).

فاضلاب‌های شهری غیر از تامین آب آبیاری، به دلیل دارا بودن مواد آلی و مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه، به عنوان یک منبع کودی نیز به حساب می‌آیند (۶، ۷). در نتیجه با کاربرد فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری انتظار می‌رود کیفیت عناصر غذایی خاک نیز بهبود یابد (۸، ۹). از طرفی، با کاربرد فاضلاب در عرصه‌های درخت‌کاری و فضای سبز، نه تنها فرصت‌هایی برای تولید بیوماس تجاری و تثبیت و ذخیره عناصر غذایی در سیستم گیاه ایجاد می‌شود (۱۰)، بلکه جذب فلزات سنگین مضر از خاک توسط یک سیستم ریشه‌ای توسعه یافته حاصل از جنگل‌کاری (۱۱) نیز فراهم می‌شود و در نتیجه تخریب اکولوژیکی به وسیله آلاینده‌های خاک به تاخیر می‌افتد (۱۲).

فاضلاب‌های شهری علاوه بر دارا بودن مواد آلی و عناصر غذایی گیاهی، گاهی مواد سمی همانند برخی فلزات سنگین را نیز شامل می‌شوند (۱۳) که حضور آن ها می‌تواند به عنوان یک منبع آلودگی برای خاک (۱۴) و گیاه (۱۵) باشد. بنابراین در صورت کاربرد فاضلاب به عنوان آب آبیاری، تاثیرات متعاقب آن روی خاک و گیاه باید مورد توجه و بررسی قرار گیرد (۱۶).

در مطالعات متعددی از کشورهای مختلف، تاثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر خواص تغذیه ای خاک و گیاه بررسی شده است که می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط Toze (۳)، Sharma و Ashwath (۱۰)، Ramirez-Fuentes و همکاران (۶)، Meli و همکاران (۷)، Stewart و همکاران (۸)، Singh و Bhati (۱۱) اشاره کرد که نتایج به دست آمده همگی بر افزایش غلظت عناصر غذایی خاک و در نتیجه ازدیاد حاصل خیزی آن همراه با آبیاری فاضلاب تاکید دارند. با توجه به این که مطالعات کمی از ایران در رابطه با تاثیر آبیاری با فاضلاب شهری روی وضعیت عناصر تغذیه‌ای خاک و درختان (به عنوان منبعی کودی) وجود دارد، تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تاثیر ۱۵ سال آبیاری با فاضلاب شهری روی خواص تغذیه‌ای خاک و برگ درختان کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) در اراضی جنگل‌کاری شده جنوب تهران انجام شد. کاج تهران درختی است که رویشگاه اصلی آن در جنوب قفقاز و جنوب شرقی تفلیس قرار دارد و از سالیان گذشته، مبادرت به کاشت نهال آن در مناطق مرکزی، شرقی، غربی و سایر مناطق مستعد کشور به‌ویژه برای فضای سبز شهری شده است (۱۷). استفاده از فاضلاب شهری در رشد کاج تهران در مناطق شهری می‌تواند برای دفع اقتصادی فاضلاب، تولید چوب و ایجاد فواید زیست محیطی سودمند باشد.

مواد و روش‌ها

مکان تحقیق در ۵ کیلومتری جنوب شهر تهران (شهر ری) در ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۱۰۰۵ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه براساس نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (تهران- مهرآباد) به شرح جدول ۱ می‌باشد. با استفاده از تقسیمات اقلیمی خلیلی مبتنی بر شاخص گسترش یافته دومارتن (۱۸)، منطقه دارای اقلیم خشک سرد است.

جدول ۱- برخی اطلاعات هواشناسی مکان مورد مطالعه

درجه حرارت (سانتی‌گراد)					بارندگی (میلی‌متر)			رطوبت نسبی (درصد)	
متوسط درجه حرارت سالیانه	میانگین دمای سردترین ماه سال (دی)	میانگین دمای گرم ترین ماه سال (مرداد)	حداکثر دمای مطلق (تیر)	حداقل دمای مطلق (بهمن)	متوسط بارندگی سالیانه	حاکثر بارندگی ماهیانه (اسفند)	حداقل بارندگی ماهیانه (مرداد)	میانگین حداقل	میانگین حداکثر
۱۳/۴۶	۵/۴۹	۳۱/۰۱	۴۲/۶	-۸/۶	۲۳۲/۳۵	۴۱/۳۲	۰/۸۹	۲۹/۸۵	۵۷/۷۸

www.SID.ir

Archive of SID

تحقیق حاضر در سال ۱۳۸۵ در دو توده دست کاشت (۱۵ ساله) کاج تهران (*Pinus eldarica*) ۱) آبیاری شده با فاضلاب شهری و ۲) آبیاری شده با آب چاه انجام شد. میزان آبیاری، بر اساس نیاز آبی درختان و پتانسیل تبخیر- تعرق انجام شد که به طور فصلی در پاسخ به اقلیم متفاوت بوده است. در هر توده مورد مطالعه، چهار قطعه نمونه ۳۰×۳۰ متر به صورت تصادفی- سیستماتیک پیاده شد. در اواخر فصل رویش (۱۹) در هر یک از قطعات نمونه، ۴ درخت به صورت تصادفی انتخاب و از قسمت نزدیک به انتهای تاج و قسمتی که در مجاورت روشنایی قرار داشت (۲۰) نمونه‌های برگ جمع‌آوری گردید (در کل، از هر تیمار آبیاری ۱۶ نمونه برگ). در انتهای نمونه‌برداری، یک نمونه نماینده از هر قطعه نمونه (به وسیله مخلوط کردن ۴ نمونه برگ هر قطعه نمونه) به منظور کاهش تعداد نمونه‌ها برای آنالیزهای شیمیایی به دست آمد.

نمونه‌های خاک از پای هر درخت انتخابی با حفر پروفیل از عمق‌های ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد (در کل از هر تیمار، ۴۸ نمونه از سه عمق ذکر شده). نمونه‌های خاک هم افق هر قطعه نمونه نیز جهت تقلیل تعداد نمونه‌ها برای آنالیزهای شیمیایی با هم مخلوط شدند (۲۰)؛ بنابراین، ۳ نمونه نماینده از ۳ عمق در هر قطعه نمونه به دست آمد.

نمونه‌برداری از فاضلاب شهری و آب چاه از ابتدای تیر تا اواخر آذر به مدت ۶ ماه به صورت روزانه (با انتخاب ۳ روز در هر ماه) و ۳ بار در روز (ایجاد یک نمونه همگن در طول روز) انجام شد. در کل، ۱۸ نمونه از فاضلاب شهری و آب چاه به دست آمد.

نمونه‌های آب موجود در بطری‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و از کاغذ صافی ۴۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه داری شدند (۲۱). آنگاه، غلظت عناصر غذایی ماکرو شامل NH_4-N، NO_3-N، PO_4-P، K، Ca، Mg و Na (روش ارایه شده توسط APHA، ۲۲) و میکرو شامل Fe، Mn، Zn و Cu (روش تیزاب سلطانی Jackson، ۲۳) نمونه‌های آب در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک، خرد و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. غلظت کل عناصر غذایی ماکرو و میکرو نمونه‌های خاک (به جز فسفر و نیتروژن) پس از هضم اسیدی با تیزاب سلطانی (محلول ۳:۱، $HCl: HNO_3$) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (۱۵)، فسفر قابل جذب و ازت کل به ترتیب از روش‌های Olsen (۲۴) و کجلدال (۲۵) و غلظت تبادلی عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم و سدیم پس از عصاره‌گیری با آب مقطر با استفاده از دستگاه جذب اتمی (۲۶) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ نیز پس از انتقال به آزمایشگاه، با آب شیر و سپس آب مقطر شسته، در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک (۱۱)، سپس آسیاب و برای آنالیز عناصر غذایی نگه‌داری شدند. اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو نمونه‌های برگ (به غیر از فسفر و نیتروژن) توسط روش ارایه شده Jackson (۲۳) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (با شعله مدل PU9400 فیلیپس، ساخت آمریکا) انجام شد. غلظت فسفر و ازت نمونه‌های برگ نیز به ترتیب با استفاده از روش‌های اسپکتروفتومتری و کجلدال تعیین گردید (۲۷). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SPSS (Ver.۱۲) استفاده شد. در ابتدا توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی گردید. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای مقایسه غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو آب (چاه و فاضلاب)، خاک و برگ دو تیمار آبیاری از آزمون تی غیر جفتی (Independent-Sample T test)، برای بررسی تغییرات عمقی عناصر غذایی در پروفیل خاک در هر یک از تیمارهای آبیاری از آزمون دانکن (Duncan) و تعیین رابطه بین عناصر غذایی خاک و برگ از رگرسیون حداقل مربعات (A Least Squares Linear Regression) استفاده شد (۲۸).

نتایج و بحث

آب: نتایج نشان می‌دهد که غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو (N، P، K، Ca، Mg، Na، Fe، Mn، Zn و Cu) فاضلاب شهری به طور معنی‌داری ($P<$۰/۰۱) بیشتر از آب چاه است (جدول ۲). به طوری‌که غلظت آمونیوم ۴/۲، نیترات ۶/۸، فسفات، پتاسیم، کلسیم و منیزیم ۲/۵، آهن ۸/۵، روی ۷/۶، مس ۱۴ و منگنز ۹/۸ برابر غلظت آن ها در آب چاه بود. غلظت عناصر غذایی نمونه‌های آب در فصل پاییز کاهش و در فصل تابستان افزایش یافت که بر درجه حرارت بالا و تبخیر آب دلالت دارد (۱۱). با وجود افزایش معنی دار غلظت عناصر غذایی فاضلاب شهری نسبت به آب چاه، تنها مقدار آمونیوم و کلسیم فاضلاب شهری و آب چاه، و منیزیم، روی و آهن فاضلاب شهری بیش از حد استاندارد WHO (۲۹) و غلظت سایر عناصر غذایی در محدوده‌های مجاز ارایه شده برای آبیاری اراضی بود. با توجه به غلظت بالای برخی عناصر در آب آبیاری، این عناصر می‌توانند برای خاک و گیاه سمی و پرخطر باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسه عناصر غذایی ماکرو و میکرو فاضلاب شهری و آب چاه

عناصر غذایی	فاضلاب شهری		آب چاه		WHO*
	دامنه	میانگین ± اشتباه معیار	دامنه	میانگین ± اشتباه معیار	
آمونیوم (NH_4-N)	۸/۱-۱۰/۲۴	۹/۰۵ ± ۰/۱۱ [a]	۱/۸۳-۲/۴۹	۲/۱۵ ± ۰/۱۹ [b]	۱/۵
نیترات (NO_3-N)	۱/۵۸-۱/۸۹	۱/۶۳ ± ۰/۰۹ [a]	۰/۱۹-۰/۳۳	۰/۲۴ ± ۰/۰۸ [b]	۳
فسفات (PO_4-P)	۱۱/۴۵-۱۴/۱۳	۱۲/۶۹ ± ۰/۱۶ [a]	۴/۶۲-۵/۶۴	۵/۰۳ ± ۰/۰۱ [b]	-------
پتاسیم (K)	۳۳/۰۶-۴۶/۳۱	۳۹/۹۳ ± ۰/۸۳ [a]	۱۷/۴۸-۲۲/۷۵	۱۹/۷۲ ± ۰/۳۶ [b]	-------
کلسیم (Ca)	۲۳۵/۵۴-۲۹۶/۲۰	۲۵۵/۲۲ ± ۴/۵۷ [a]	۶۶/۷۰-۱۰۱/۵۷	۹۶/۷۷ ± ۱/۲۶ [b]	۷۵
منیزیم (Mg)	۱۰۰/۹-۱۲۴	۱۰۹/۸۵ ± ۱/۸۳ [a]	۲۸/۹۰-۴۲	۳۵/۲۲ ±۰/۷۹ [b]	۵۰
سدیم (Na)	۱۳۵/۹۰-۱۵۰/۲۲	۱۴۰/۴۵ ± ۰/۱۸ [a]	۳۰/۱۸ -۴۱/۰۳	۳۵/۱۸ ± ۰/۱۳ [b]	۲۰۰
آهن (Fe)	۵/۴۴-۷/۲۵	۶/۳۳ ± ۰/۱۲ [a]	۰/۵۷-۰/۷۷	۰/۷۳ ± ۰/۰۱ [b]	۳
روی (Zn)	۲/۹۱-۴/۲۰	۳/۳۰ ± ۰/۰۶ [a]	۰/۳۸-۰/۵۶	۰/۴۳ ± ۰/۰۷ [b]	۳
مس (Cu)	۱/۰۶-۱/۹۷	۱/۲۶ ± ۰/۰۳ [a]	۰/۰۵-۰/۱۶	۰/۰۹ ± ۰/۰۱ [b]	۱-۲
منگنز (Mn)	۳/۵۷-۶/۷۱	۵/۰۱ ± ۰/۱۱ [a]	۰/۲۹-۰/۷۸	۰/۵۱ ± ۰/۰۹ [b]	۱

غلظت عناصر برحسب میلی‌گرم بر لیتر (mg/l) است؛ حروف انگلیسی متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین گروه‌های مورد بررسی می‌باشد؛ * World Health Organization (سازمان بهداشت جهانی) (۲۹).

خاک: در مطالعه حاضر، خاک هر دو توده مورد بررسی لومی- رسی با ۳۲/۵ درصد رس، ۳۴/۱۲ درصد لای و ۳۳/۳۸ درصد شن در عرصه آبیاری شده با فاضلاب شهری و ۲۸/۵۲ درصد رس، ۳۶ درصد لای و ۳۵۵/۴۸ درصد شن در عرصه آبیاری شده با آب چاه بود. نتایج آزمون تی غیر جفتی نشان داد که ۱۵ سال کاربرد فاضلاب شهری حدودا" ۱/۵ واحد افزایش در غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو خاک ایجاد کرده است. با وجود این، سطح عناصر غذایی خاک از محدوده‌های مجاز گزارش شده توسط سالاردینی (۳۰) تجاوز نکرده است. این روند نشان می‌دهد که کاربرد مداوم فاضلاب شهری سطح عناصر غذایی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۳۱) که تغییرات ایجاد شده اهمیت قابل توجهی برای تحقیق در زمینه استفاده پایدار اراضی و تاثیر کاربرد مداوم فاضلاب در خواص تغذیه‌ای خاک دارند (۱۶).

افزایش غلظت عناصر غذایی خاک در تیمار آبیاری با فاضلاب می‌تواند به دلیل اضافه شدن این عناصر از طریق فاضلاب شهری به‌رغم جذب آن‌ها از طریق رشد درختان تحت کشت باشد (۳۲). در واقع استفاده از فاضلاب شهری به دلیل بالا بودن غلظت عناصر غذایی آن، افزایش غلظت عناصر غذایی خاک و در نتیجه ازدیاد حاصل خیزی خاک را به همراه دارد (۷، ۸). نظر به کمبود عناصر غذایی خاک در نواحی خشک، عناصر غذایی فاضلاب جهت افزایش حاصلخیزی خاک سودمند بوده و می‌توانند به عنوان کود برای اصلاح خاک مورد استفاده قرار گیرند (۳۳، ۳۴). از طرفی، تجمع زیاد عناصر غذایی در خاک می‌تواند آسیب‌پذیری گیاهان را نسبت به پاتوژن‌ها (عوامل بیماریزا از قبیل قارچ، ویروس، انگل، باکتری و ...) افزایش دهد؛ در نتیجه کنترل و کاهش این عناصر نیز اهمیت دارد (۳، ۳۵).

با توجه به تغییرات ایجاد شده در میزان کربن آلی خاک (میزان ماده آلی خاک توده تحت تیمار فاضلاب از ۱/۱۷ تا ۱/۲۹ درصد نوسان داشت، در حالی که این مقدار در تیمار آبیاری با آب چاه بین ۰/۸۸ تا ۱/۱۴ درصد در تغییر بود)، مشاهده می‌شود که استفاده از فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری حدودا" ۱/۵ واحد افزایش در محتوای کربن آلی خاک ایجاد کرده است. ماده آلی یکی از مهم ترین شاخص‌های کیفیت خاک است که نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی خاک ایفا می‌کند (۱۳) و افزایش آن در خاک می‌تواند به علت کاربرد فاضلاب شهری باشد (۶، ۳۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه غلظت عناصر غذایی و ماده آلی عمق های مختلف خاک در عرصه های آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه (میانگین ± انحراف معیار)

ویژگی‌های خاک	مقادیر متوسط در خاک *	عمق خاک (سانتی‌متر)								
		۰-۱۵			۱۵-۳۰			۳۰-۶۰		
		T_1	T_2	p-value	T_1	T_2	p-value	T_1	T_2	p-value
کربن (٪)	_____	^{a}۰/۸۳۵ ± ۰/۰۳۴	^{b}۰/۷۰۵ ± ۰/۰۸۱	<۰/۰۵	^{a} ۰/۷۴۰ ± ۰/۰۴۳	^{b} ۰/۵۰۷ ± ۰/۰۸۵	<۰/۰۱	^{a} ۰/۵۱۰ ± ۰/۰۶۴	^{b} ۰/۳۵۰ ± ۰/۰۲۵	<۰/۰۱
ماده آلی (٪)	_____	^{a}۱/۴۵ ± ۰/۰۴	^{b} ۱/۲۱ ± ۰/۱۴	<۰/۰۵	^{a} ۱/۲۶ ± ۰/۰۹	^{b} ۰/۸۷۲ ± ۰/۱۴	<۰/۰۱	^{a} ۰/۸۶۴ ± ۰/۱۰۳	^{b} ۰/۶۰۲ ± ۰/۰۴۴	<۰/۰۱
ازت کل (gr/kg)	۰/۲-۵	^{a} ۰/۸۸۷± ۰/۰۵۹	^{b} ۰/۶۱۵ ± ۰/۰۸۶	<۰/۰۱	^{a} ۰/۷۳۵ ± ۰/۱۰۷	^{b} ۰/۴۶۰ ± ۰/۱۰۱	<۰/۰۵	^{a} ۰/۶۰۲ ± ۰/۰۵۶	^{b} ۰/۳۶۵ ± ۰/۱۲۷	<۰/۰۵
فسفر قابل جذب(mg/kg)	۱۰۰-۲۰۰۰	^{a} ۲۰/۰۰ ± ۰/۸۱	^{b} ۱۶/۷۵ ± ۰/۹۵	<۰/۰۵	^{a} ۱۸/۲۵ ± ۰/۹۵	^{b}۱۴/۷۵ ± ۰/۹۵	<۰/۰۱	^{a} ۱۶/۵۰ ± ۱/۲۹	^{b}۱۳/۷۵ ± ۱/۲۵	<۰/۰۵
پتاسیم کل (gr/kg)	۱/۷ – ۳۳	^{a} ۳/۷۶ ± ۰/۱۹	^{b} ۲/۷۷ ± ۰/۱۴	<۰/۰۱	^{a} ۳/۵۵ ± ۰/۲۲	^{b}۲/۴۷ ± ۰/۱۹	<۰/۰۱	^{a} ۳/۱۱ ± ۰/۱۳	^{b}۲/۱۵ ± ۰/۰۵	<۰/۰۱
پتاسیم تبادلی (gr/kg)	_____	^{a} ۰/۱۱۲ ± ۰/۰۱۰	^{b} ۰/۰۸۹ ± ۰/۰۰۳	<۰/۰۵	^{a} ۰/۰۸۵ ± ۰/۰۰۶	^{b} ۰/۰۷۰ ± ۰/۰۰۲	<۰/۰۵	^{a} ۰/۰۷۷ ± ۰/۰۰۵	^{b} ۰/۰۵۴ ± ۰/۰۰۴	<۰/۰۱
کلسیم کل (gr/kg)	۰/۷ – ۳۶	^{a} ۲۶/۴۱ ± ۰/۸۱	^{b} ۱۹/۷۰ ± ۱/۱۳	<۰/۰۱	^{a} ۲۵/۵۸ ± ۰/۸۸۵	^{b} ۱۷/۹۳ ± ۱/۰۴	<۰/۰۱	^{a} ۲۳/۹۶ ± ۰/۸۴	^{b}۱۷/۰۸ ± ۰/۷۸	<۰/۰۱
کلسیم تبادلی (mEq/l)	_____	^{a} ۴/۵۷ ± ۰/۱۲	^{b} ۲/۱۳ ± ۰/۱۵	<۰/۰۱	^{a} ۳/۴۲ ± ۰/۴۸	^{b}۲/۰۴ ± ۰/۲۰	<۰/۰۱	^{a} ۳/۲۲ ± ۰/۴۵	^{b}۱/۷۶ ± ۰/۰۹	<۰/۰۱
منیزیم کل (gr/kg)	۱/۲ – ۱۵	^{a} ۰/۳۹۵ ± ۰/۰۲۴	^{b} ۰/۳۱۹ ± ۰/۰۱۴	<۰/۰۱	^{a} ۰/۳۶۴ ± ۰/۰۳۰	^{b} ۰/۳۰۲ ± ۰/۰۱۳	<۰/۰۵	^{a} ۰/۳۴۶ ± ۰/۰۱۳	^{b} ۰/۲۶۰ ± ۰/۰۳۰	<۰/۰۱
منیزیم تبادلی (mEq/l)	_____	^{a} ۰/۵۲۶ ± ۰/۰۵۲	^{b} ۰/۴۰۵ ± ۰/۰۲۰	<۰/۰۱	^{a} ۰/۴۶۸ ± ۰/۰۳۱	^{b} ۰/۳۵۷ ± ۰/۰۱۹	<۰/۰۱	^{a} ۰/۴۴۸ ± ۰/۰۱۶	^{b} ۰/۳۰۶ ± ۰/۰۴۵	<۰/۰۱
سدیم کل (mg/kg)	_____	^{a} ۱/۲۴ ± ۰/۰۵	^{b} ۱/۰۷ ± ۰/۰۶	<۰/۰۵	^{a} ۱/۱۴ ± ۰/۰۶	^{b} ۰/۸۹۵ ± ۰/۰۲۰	<۰/۰۱	^{a} ۱/۰۱ ± ۰/۰۷	^{b} ۰/۸۳۰ ± ۰/۰۲۱	<۰/۰۵
سدیم تبادلی (mg/kg)	_____	^{a} ۰/۹۵۰ ± ۰/۰۴۳	^{b} ۰/۸۵۰ ± ۰/۰۳۵	<۰/۰۵	^{a} ۰/۹۲۷ ± ۰/۰۶۲	^{b} ۰/۷۲۵ ± ۰/۰۳۴	<۰/۰۱	^{a} ۰/۸۱۷ ± ۰/۰۳۵	^{b} ۰/۵۹۴ ± ۰/۰۴۱	<۰/۰۱
آهن (gr/kg)	۵ -۵۰	^{a} ۲۵/۱۲ ± ۰/۸۲	^{b} ۱۹/۸۵ ± ۰/۵۳	<۰/۰۱	^{a} ۲۳/۸۵ ± ۰/۷۳	^{b} ۱۸/۹۰ ± ۰/۴۰	<۰/۰۱	^{a} ۲۱/۲۹ ± ۰/۴۸	^{b} ۱۶/۵۲ ± ۰/۴۹	<۰/۰۱
روی (mg/kg)	۱۰ -۵۰۰	^{a} ۱۷۵/۵۴ ± ۷/۸۰	^{b} ۱۱۳/۱۲ ± ۲/۱۶	<۰/۰۱	^{a} ۱۴۹/۲۸ ± ۷/۸۰	^{b} ۹۴/۸۷ ± ۱/۲۵	<۰/۰۱	^{a} ۱۲۵/۳۹ ± ۶/۰۲	^{b} ۸۳/۰۳ ± ۳/۵۸	<۰/۰۱
منگنز (mg/kg)	۲۰۰-۱۰۰۰۰	^{a} ۷۶۵/۲۰ ± ۸/۷۹	^{b} ۶۶۷/۶۶ ± ۱۰/۹۱	<۰/۰۱	^{a} ۷۳۹/۴۵ ± ۴/۹۰	^{b} ۶۴۲/۱۷ ± ۴/۱۶	<۰/۰۱	^{a} ۷۱۷/۸۲ ± ۴/۶۶	^{b} ۵۷۶/۵۵ ± ۵/۸۱	<۰/۰۱
مس (mg/kg)	۵ -۴۰۰	^{a} ۴۵/۴۸ ± ۰/۸۱	^{b} ۲۹/۶۸ ± ۰/۳۶	<۰/۰۱	^{a} ۴۲/۳۳ ± ۰/۶۷	^{b} ۲۶/۹۷ ± ۰/۷۱	<۰/۰۱	^{a} ۳۷/۶۲ ± ۰/۹۴	^{b} ۲۴/۵۹ ± ۰/۲۶	<۰/۰۱

T_1: تیمار فاضلاب شهری، T_2: تیمار آب چاه. حروف انگلیسی متفاوت در هر دریف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است. * سالاردینی (۳۰).

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با نتایج تحقیقات Yadav و همکاران (۲۱) و Bansal و همکاران (۳۶)، نتایج ما نیز کاهش غلظت عناصر غذایی خاک را با افزایش عمق در هر تیمار آبیاری نشان داد، به طوری‌که بیشترین غلظت عناصر غذایی در عمق ۱۵-۰ سانتی متری خاک مشاهده شد. از آن جایی که لایه سطحی، غلظت بیشتری از عناصر غذایی را در مقایسه با لایه‌های زیرین دارا می‌باشد (جدول ۴)، این امر می‌تواند به دلیل کاربرد سطحی فاضلاب شهری (۳۲)، تبخیر زیاد رطوبت از سطح خاک، وجود بافت لومی رسی (بافت نیمه سنگین) و در نتیجه کاهش نفوذپذیری عناصر به لایه‌های زیرین خاک باشد. با وجود این، روند معکوسی توسط Singh و Bhati (۱۱) در مورد عناصر غذایی میکرو گزارش شده است که می‌تواند به علت طبیعت شنی و پایین بودن میزان کربن آلی خاک باشد.

جدول ۴- بررسی تغییرات عمقی عناصر غذایی و ماده آلی خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه با استفاده از آزمون دانکن (میانگین ± انحراف معیار)

ویژگی‌های خاک	تیمار فاضلاب شهری				تیمار آب چاه			
	۱۵-۰	۳۰-۱۵	۶۰-۳۰	*p*-value	۱۵-۰	۳۰-۱۵	۶۰-۳۰	*p*-value
کربن (٪)	^{a} ۰/۸۳۵ ± ۰/۰۳۴	^{b} ۰/۷۴۰ ± ۰/۰۴۳	۰/۵۱۰ ± ۰/۰۶۴ ^{c}	۰/۰۱>	۰/۷۰۵ ± ۰/۰۸۱ ^{a}	۰/۵۰۷ ± ۰/۰۸۵ ^{b}	۰/۳۵۰ ± ۰/۰۲۵ ^{c}	۰/۰۱>
ماده آلی (٪)	^{a} ۱/۴۵ ± ۰/۰۴	^{b} ۱/۲۶ ± ۰/۰۹	۰/۸۶۴ ± ۰/۱۰۳ ^{c}	۰/۰۱>	۱/۲۱ ± ۰/۱۴ ^{a}	۰/۸۷۲ ± ۰/۱۴ ^{b}	۰/۶۰۲ ± ۰/۰۴۴ ^{c}	۰/۰۱>
ازت کل (gr/kg)	^{a} ۰/۸۸۷ ± ۰/۰۵۹	۰/۷۳۵ ± ۰/۱۰۷ ^{b}	۰/۶۰۲ ± ۰/۰۵۶ ^{c}	۰/۰۱>	۰/۶۱۵ ± ۰/۰۸۶ ^{a}	۰/۴۶۰ ± ۰/۱۰۱ ^{ab}	۰/۳۶۵ ± ۰/۱۲۷ ^{b}	۰/۰۵>
فسفر قابل جذب (mg/kg)	۲۰/۰۰۰ ± ۰/۸۱ ^{a}	۱۸/۲۵ ± ۰/۹۵ ^{b}	۱۶/۵۰ ± ۱/۲۹ ^{c}	۰/۰۱>	۱۴/۷۵ ± ۰/۹۵ ^{a}	۱۴/۷۵ ± ۰/۹۵ ^{b}	۱۳/۷۵ ± ۱/۲۵ ^{b}	۰/۰۱>
پتاسیم کل (gr/kg)	۳/۷۶ ± ۰/۱۹ ^{a}	۳/۵۵ ± ۰/۲۲ ^{a}	۳/۱۱ ± ۰/۱۳ ^{b}	۰/۰۱>	۲/۷۷ ± ۰/۱۴ ^{a}	۲/۴۷ ± ۰/۱۹ ^{b}	۲/۱۵ ± ۰/۰۵ ^{c}	۰/۰۱>
پتاسیم تبادلی (gr/kg)	۰/۱۱۲ ± ۰/۰۱۰ ^{a}	۰/۰۸۵ ± ۰/۰۰۶ ^{b}	۰/۰۷۷ ± ۰/۰۰۵ ^{b}	۰/۰۱>	۰/۰۸۹ ± ۰/۰۰۳ ^{a}	۰/۰۷۰ ± ۰/۰۰۲ ^{b}	۰/۰۵۴ ± ۰/۰۰۴ ^{c}	۰/۰۱>
کلسیم کل (gr/kg)	۲۶/۴۱ ± ۰/۸۱ ^{a}	۲۵/۵۸ ± ۰/۸۸۵ ^{a}	۲۳/۹۶ ± ۰/۸۴ ^{b}	۰/۰۱>	۱۹/۷۰ ± ۱/۱۳ ^{a}	۱۷/۹۳ ± ۱/۰۴ ^{b}	۱۷/۰۸ ± ۰/۷۸ ^{b}	۰/۰۵>
کلسیم تبادلی (mEq/l)	۴/۵۷ ± ۰/۱۲ ^{a}	۳/۴۲ ± ۰/۴۸ ^{b}	۳/۲۲ ± ۰/۴۵ ^{b}	۰/۰۱>	۲/۱۳ ± ۰/۱۵ ^{a}	۲/۰۴ ± ۰/۲۰ ^{a}	۱/۷۶ ± ۰/۰۹ ^{b}	۰/۰۱>
منیزیم کل (gr/kg)	۰/۳۹۵ ± ۰/۰۲۴ ^{a}	۰/۳۶۴ ± ۰/۰۳۰ ^{ab}	۰/۳۴۶ ± ۰/۰۱۳ ^{b}	۰/۰۵>	۰/۳۱۹ ± ۰/۰۱۴ ^{a}	۰/۳۰۲ ± ۰/۰۱۳ ^{a}	۰/۲۶۰ ± ۰/۰۳۰ ^{b}	۰/۰۱>
منیزیم تبادلی (mEq/l)	۰/۵۲۶ ± ۰/۰۵۲ ^{a}	۰/۴۶۸ ± ۰/۰۳۱ ^{b}	۰/۴۴۸ ± ۰/۰۱۶ ^{b}	۰/۰۱>	۰/۴۰۵ ± ۰/۰۲۰ ^{a}	۰/۳۵۷ ± ۰/۰۱۹ ^{a}	۰/۳۰۶ ± ۰/۰۴۵ ^{b}	۰/۰۱>
سدیم کل (mg/kg)	۱/۲۴ ± ۰/۰۵ ^{a}	۱/۱۴ ± ۰/۰۶ ^{a}	۱/۰۱ ± ۰/۰۷ ^{b}	۰/۰۱>	۱/۰۷ ± ۰/۰۶ ^{a}	۰/۸۹۵ ± ۰/۰۲۰ ^{b}	۰/۸۳۰ ± ۰/۰۲۱ ^{b}	۰/۰۱>
سدیم تبادلی (mg/kg)	۰/۹۵۰ ± ۰/۰۴۳ ^{a}	۰/۹۲۷ ± ۰/۰۶۲ ^{a}	۰/۸۱۷ ± ۰/۰۳۵ ^{b}	۰/۰۱>	۰/۸۵۰ ± ۰/۰۳۵ ^{a}	۰/۷۲۵ ± ۰/۰۳۴ ^{b}	۰/۵۹۴ ± ۰/۰۴۱ ^{c}	۰/۰۱>
آهن (gr/kg)	۲۵/۱۲ ± ۰/۸۲ ^{a}	۲۳/۸۵ ± ۰/۷۳ ^{a}	۲۱/۲۹ ± ۰/۴۸ ^{b}	۰/۰۱>	۱۹/۸۵ ± ۰/۵۳ ^{a}	۱۸/۹۰ ± ۰/۴۰ ^{a}	۱۶/۵۲ ± ۰/۴۹ ^{b}	۰/۰۵>
روی (mg/kg)	۱۷۵/۵۴ ± ۷/۸۰ ^{a}	۱۴۹/۲۸ ± ۷/۸۰ ^{b}	۱۲۵/۳۹ ± ۶/۰۲ ^{c}	۰/۰۱>	۱۱۳/۱۲ ± ۲/۱۶ ^{a}	۹۴/۸۷ ± ۱/۲۵ ^{b}	۸۳/۰۳ ± ۳/۵۸ ^{b}	۰/۰۱>
منگنز (mg/kg)	۷۶۵/۲۰ ± ۸/۷۹ ^{a}	۷۳۹/۴۵ ± ۴/۹۰ ^{a}	۷۱۷/۸۲ ± ۴/۶۶ ^{a}	۰/۰۵>	۶۶۷/۶۶ ± ۱۰/۹۱ ^{b}	۶۴۲/۱۷ ± ۴/۱۶ ^{b}	۵۷۶/۵۵ ± ۵/۸۱ ^{b}	۰/۰۱>
مس (mg/kg)	۴۵/۴۸ ± ۰/۸۱ ^{a}	۴۲/۳۳ ± ۰/۶۷ ^{a}	۳۷/۶۲ ± ۰/۹۴ ^{b}	۰/۰۱>	۲۹/۶۸ ± ۰/۳۶ ^{a}	۲۶/۹۷ ± ۰/۷۱ ^{b}	۲۴/۵۹ ± ۰/۲۶ ^{c}	۰/۰۱>

حروف انگلیسی متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.

www.SID.ir

Archive of SID

برگ: غلظت عناصر غذایی ماکرو برگ درختان کاج تهران در تیمار فاضلاب شهری بدون رسیدن به مقادیر بحرانی به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آب چاه بود (جدول ۵). تغییرات ایجاد شده در غلظت عناصر غذایی ماکرو برگ می‌تواند به دلیل کاربرد فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری باشد (۱۱). در واقع، بالا بودن غلظت عناصر غذایی در فاضلاب نسبت به آب چاه سبب افزایش غلظت این عناصر در خاک و در نهایت افزایش غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاهی می‌شود (۳۷، ۳۸و ۳۹). نتایج تحقیقات Singh و Bhati (۱۱) و Guo و Sims (۴۰) به ترتیب روی برگ گونه‌های *Dalbergia sissoo* و *Eucalyptus globules* نیز منطبق با نتایج ما در این زمینه می‌باشد. با وجود این، Guo و همکاران (۴۱) عدم اختلاف غلظت عناصر منیزیم و کلسیم برگ درختان اکالیپتوس آبیاری شده با فاضلاب شهری را در مقایسه با عرصه کنترل گزارش کردند. در واقع کمیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه، به غلظت عناصر غذایی موجود در فاضلاب، ویژگی‌های خاک و نوع گونه گیاهی وابسته است (۲۷).

بررسی عناصر غذایی میکرو (Fe، Mn، Zn و Cu) برگ نیز افزایش ۱/۵ واحدی غلظت این عناصر را در برگ درختان آبیاری شده با فاضلاب شهری نسبت به تیمار آب چاه نشان داد. به طور مشابه، Madejo´n و همکاران (۱۲) و Singh و Bhati (۱۱) نیز افزایش غلظت عناصر غذایی میکرو در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب شهری را گزارش کردند. به‌طور کلی، میزان بسیار کم عناصر غذایی میکرو (آهن، روی، مس، منگنز و ...) برای رشد گیاهان ضروری است، اما در صورت افزایش جذب و تجمع آن‌ها در خاک و گیاه، ممکن است اختلالاتی در تغذیه گیاه به‌وجود آید (۳، ۴۲). در تحقیق ما، با وجود افزایش غلظت عناصر غذایی میکرو در برگ درختان آبیاری شده با فاضلاب شهری، سطح آنها با توجه به مقادیر متوسط ذکر شده توسط سالاردینی (۳۰)، در گیاه به مرز زیان‌آور نرسید.

جدول۵- مقایسه غلظت عناصرغذایی برگ درختان کاج تهران تحت تیمار فاضلاب شهری و آب چاه (میانگین ± انحراف معیار)

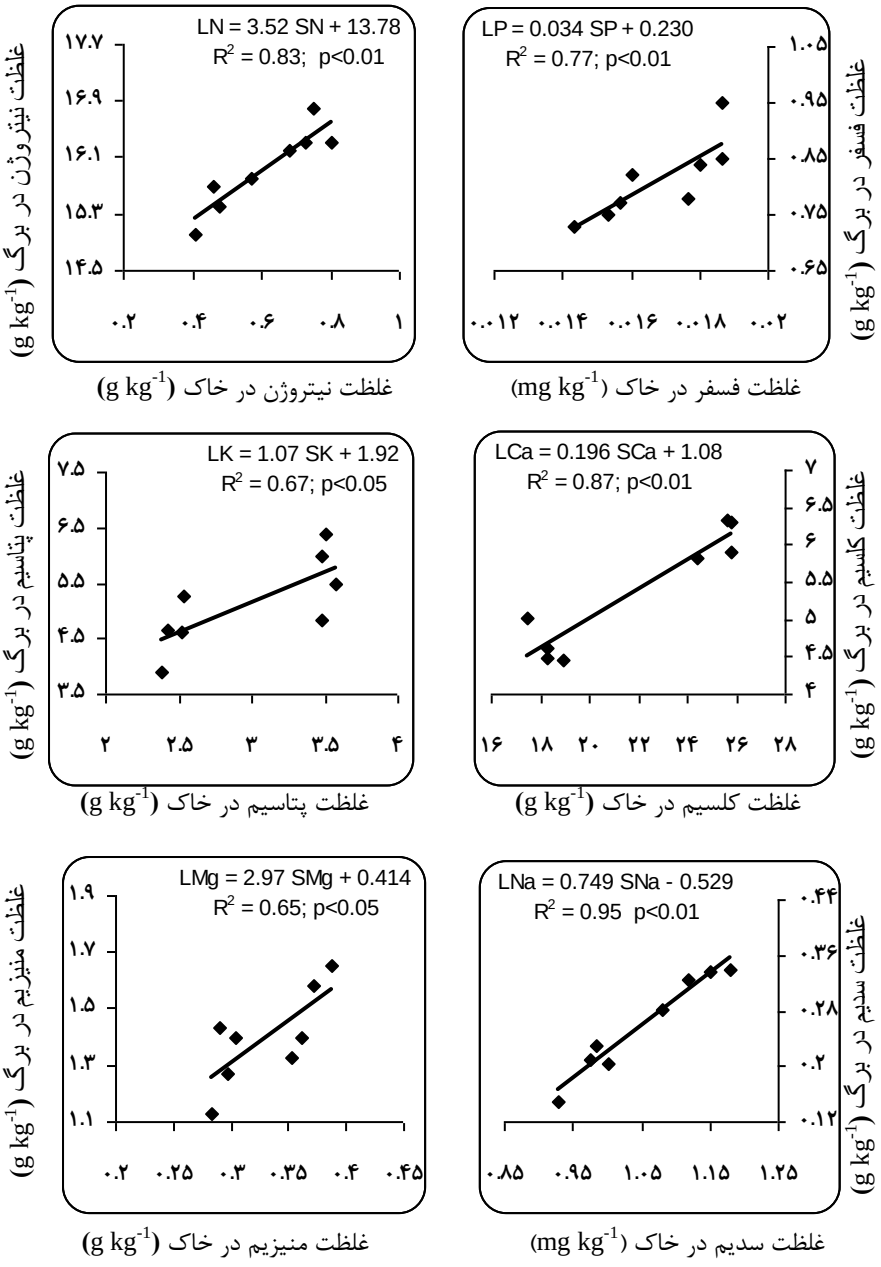
عناصر غذایی	تیمارفاضلاب شهری	تیمار آب چاه	t	df	*p*	مقدار متوسط در گیاه[1]
ازت (gr/kg)	۱۶/۴۱ ± ۰/۲۷ a	۱۵/۴۷ ± ۰/۳۵ b	۴/۲۳	۶	۰/۰۰۵ **	۳۰- ۵
فسفر (gr/kg)	۰/۸۶۵ ± ۰/۰۵۸ a	۰/۷۱۰ ± ۰/۰۱۴ b	۳/۴۷	۶	۰/۰۱۳ *	۵- ۱
پتاسیم (gr/kg)	۵/۷۹ ± ۰/۵۰ a	۴/۴۹ ± ۰/۴۲ b	۳/۹۳	۶	۰/۰۰۸ **	۳۰- ۳
کلسیم (gr/kg)	۶/۰۸ ±۰/۲۷ a	۴/۶۴ ± ۰/۲۶ b	۷/۶۶	۶	۰/۰۰۰ **	۴۰ – ۱۰
منیزیم (gr/kg)	۱/۵۱ ±۰/۱۲ a	۱/۲۸ ± ۰/۱۱ b	۲/۷۷	۶	۰/۰۳۲ *	۷- ۱
سدیم (gr/kg)	۰/۳۲۰ ± ۰/۰۲۷ a	۰/۱۹۸ ± ۰/۰۳۴ b	۵/۵۳	۶	۰/۰۰۱ **	_____
آهن (mg/kg)	۹۳/۷۸ ± ۴/۲۹ a	۷۶/۸۲ ± ۲/۷۳ b	۴/۴۹	۶	۰/۰۰۴ **	۲۰۰-۴۰
منگنز(mg/kg)	۲۲/۱۸ ± ۱/۰۶ a	۱۷/۰۰ ± ۱/۳۰ b	۳/۰۷	۶	۰/۰۲۲ *	۱۰۰-۲۰
روی (mg/kg)	۱۴/۰۶ ± ۰/۶۱ a	۹/۰۶ ± ۰/۹۳ b	۴/۴۹	۶	۰/۰۰۴ **	۱۰۰-۱۰
مس (mg/kg)	۲/۰۵ ± ۰/۱۱ a	۱/۵۰ ± ۰/۱۰ b	۳/۶۰	۶	۰/۰۱۱ *	۲۰-۲

حروف انگلیسی متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین گروه های مورد بررسی است. [1]سالاردینی (۳۰) ** تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵.

ارتباط عناصر غذایی برگ و خاک: همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو خاک و برگ درختان کاج تهران (نمودار ۱و۲)، حاکی از آن است که غلظت عناصر در اندام‌های گیاه تابع غلظت آن ها در خاک و میزان جذب شان توسط گیاه است (۳۷و ۳۸)، به طوری که می‌توان اظهار داشت عامل تعیین کننده غلظت عناصر غذایی در گیاه، محتوای عناصر موجود و قابل دسترس خاک است (۱۳و ۴۳). نتایج مشابه در این زمینه توسط Wang و Klinka (۴۴) و Gasco و Lobo (۱۵) به ترتیب روی گونه‌های درختی *Picea glauca* و *Olea europaea* گزارش شده است. با وجود این، نتایج مطالعه Sharma و همکاران (۵) نشان می‌دهد که ضریب همبستگی عناصر خاک و گیاه در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد.

www.SID.ir

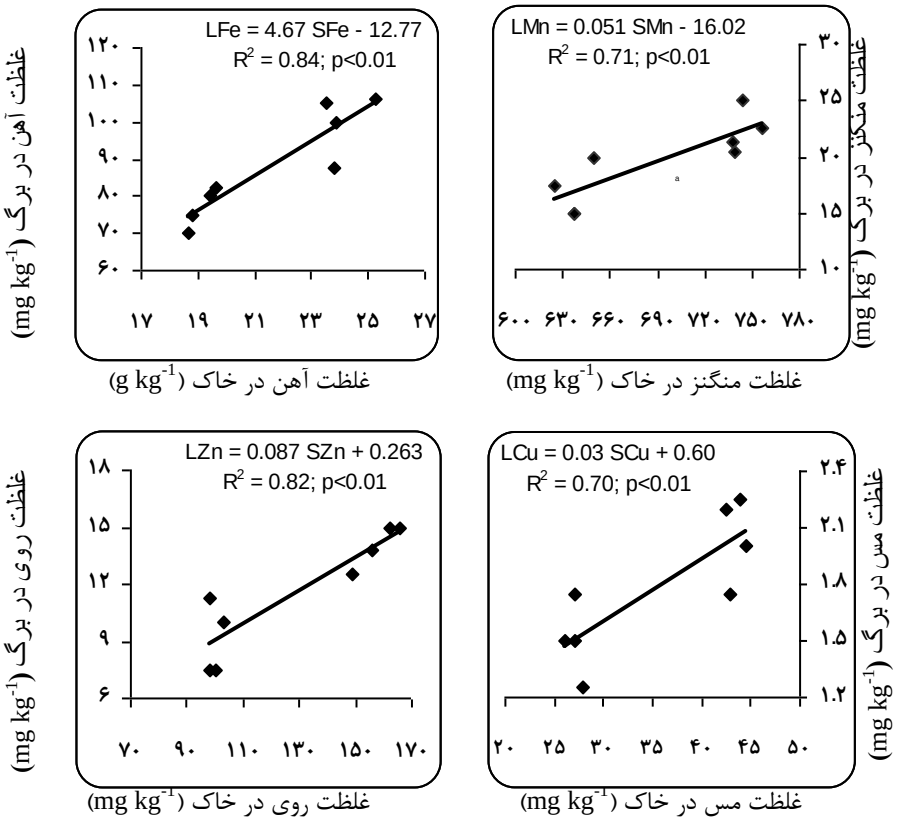
Archive of SID



نمودار ۱- ارتباط بین عناصر غذایی ماکرو خاک و برگ درختان کاج تهران. L: غلظت عناصر غذایی ماکرو در برگ، S: غلظت عناصر غذایی ماکرو در خاک

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۲- ارتباط بین عناصر غذایی میکرو خاک و برگ درختان کاج تهران. L: غلظت عناصر غذایی میکرو در برگ، S: غلظت عناصر غذایی میکرو در خاک

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که فاضلاب شهری علاوه بر تامین آب آبیاری می تواند دارای پتانسیل کودی قابل توجهی باشد. در واقع کاربرد فاضلاب شهری با افزایش غلظت عناصر غذایی و در نتیجه ازدیاد حاصل خیزی خاک، دسترسی راحت‌تر گیاه به غلظت بالای عناصر مغذی و افزایش رشد و تولید بیوماس گیاهان تحت کشت را به همراه خواهد داشت (۴۵). با وجود این، باید اظهار کرد که استفاده از فاضلاب شهری در امر آبیاری باید براساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل و در نهایت بر پایه یک مدیریت صحیح صورت گیرد. چون بی‌توجهی به مسایل زیست‌محیطی استفاده از فاضلاب، به ویژه وقتی که فاضلاب، غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین و حتی عناصر غذایی را شامل می شود، تخریب محیط خاک و منابع آبی را سبب می گردد. در حقیقت، با ممانعت از ورود پساب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین و سمی به فاضلاب شهری، انجام عمل پیش تصفیه و نظارت بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی فاضلاب، می‌توان خطرات ناشی استفاده از آن را کاهش داد و از آن با خاطری آسوده‌تر، جهت انجام پروژه‌های جنگل‌کاری و فضای سبز در حاشیه شهرها استفاده نمود.

منابع

۱. حسن لی، ع. و جوان، م. ۱۳۸۴. ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز. مطالعه موردی (تصفیه خانه فاضلاب شهر مرودشت). مجله محیط شناسی، شماره ۳۱، ص ۳۰-۲۳.

2. Singh, R.P., Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, 28 (2): 347-358.
3. Toze, S., 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. Agricultural Water Management, 80: 147-159.
4. Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A., Zachritz, W.H., 2000. A growth irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. Agricultural Water Management, 56: 57-79.
5. Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi,

www.SID.ir

Archive of SID

India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66 (2): 258-266.

6. Ramirez-Fuentes, E., Lucho-Constantino, C., Escamilla-Silva, E., Dendooven, L., 2002. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with waste water for different lengths of time. Bioresource Technology, 85: 179-187.

7. Meli, S., Porto, M., Belligno, A., Bufo, S.A., Mazzatura, A., Scopa, A., 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. The Science of the Total Environment, 285: 69-77.

8. Stewart, H.T.L., Hopmans, P., Flinn, D.W., Hillman, T.J., 1990. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. Environmental Pollution, 63: 155-177.

9. Selivanovskaya, S.Y., Latypova, V.Z., Kiyamova, S.N., Alimova, F.K., 2001. Use of microbial parameters to access treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agriculture, Ecosystem and Environment, 86: 145-153.

10. Sharma, A., Ashwath, N., 2006. Land disposal of municipal effluents: importance of choosing agro forestry systems. Desalination, 187: 361-374.

11. Singh, G., Bhati, M., 2005. Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. Bioresource Technology, 96: 1019-1028.

12. Madejo´n, P., Maran˜o´n, T., Murillo, J.M. Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees. Science of the Total Environment, 355: 187-203.

13. Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., Singh, A.K., 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-A case study. Agriculture, Ecosystems and Environment, 109: 310-322.

14. Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi. India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66: 258-266.

15. Gasco´, G., Lobo, M.C., 2007. Composition of Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. Waste Management, 27 (11): 1494-1500.

16. Emongor, V.E., Ramolemana, G.M., 2004. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. Physics and Chemistry of the Earth, 29: 1101-1108.

۱۷. طبری، م.، عبدالله زاده، ب.، ثاقب طالبی، خ. و زبیری، م. ۱۳۸۳. تاثیر برخی عوامل محیطی روی بهبود ویژگی‌های کیفی کاج الدار در فضای سبز شهری تهران. مجله محیط شناسی، شماره ۳۳، ص ۷۳-۶۸.

۱۸. جزیره‌ای، م.ح. ۱۳۸۱. جنگل‌کاری در خشکبوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۸ ص.

19. Letacon, F., 1969. Une methode originale de prelevemennts foliaires R.F.F., 3: 196- 197.

۲۰. حبیبی کاسب، ح. ۱۳۷۱. مبانی خاکشناسی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص.

21. Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K., Minhas, P.S., 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water-A case study. Environment International, 28:481-486.

22. APHA, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA and WPCF. 16th ed.

23. Jackson, M.L., 1973. Soil chemical analysis. Prentice Hall of India Private Ltd, New Delhi.

24. Olsen, S.R., Cola, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, In: USDA Circ. 939, USDA, Washington, DC.

25. Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total. In: Bigham, J.M. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. SSSA, pp. 1085-1121.

۲۶. زرین کفش، م. ۱۳۷۲. حاصلخیزی خاک و تولید. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۰ ص.

27. Bozkurt, M.A., Yarilga, T., 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry

www.SID.ir

Archive of SID

conditions. Turkish Journal of Agricultural and forestry, 27: 285-292.

28. Lindaman, H.R., 1992. Analysis of variance in experimental design. Springer-Verlag, New York.

29. Hach, 2002. Water Analysis Handbook, Loveland, Colorado, USA, 61-62.

۳۰. سالاردینی، ع. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۴۰ ص.

31. Mathan, K.K., 1994. Studies on the influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. Bioresource Technology, 48: 275-276.

32. Bhati, M., Singh, G., 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology, 88: 221-228.

33. Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, K.K., Misra, A.K., 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. Soil & Tillage Research, 92: 60-68.

34. Egiarte, G., Camps Arbestain, M., Alonso, A., Ruı´z-Romera, E., Pinto, M., 2005. Effect of repeated applications of sewage sludge on the fate of N in soils under Monterey pine stands. Forest Ecology and Management, 216: 257-269.

35. Arora, B.R., Azad, A.S., Singh, B., Sekhon, G.S., 1985. Pollution potential of municipal wastewater of Ludhina, Punjab. Environmental Journal and Ecology, 12: 1-7.

36. Bansal, R.L., Nayyar, V.K., Takkar, P.N., 1992. Accumulation and bioavailability of Zn, Cu, Mn and Fe in soils polluted with industrial waste water. J. Indian Soc. Soil Sci., 40: 796-799.

37. Singh, K.P., Mohon, D., Sinha, S., Dalwani, R., 2004. Impact assessment of treated/untreated waste water toxicants discharge by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in waste water disposal area. Chemosphere, 55: 227-255.

38. Nan, Z.Li., Zhang, J., Cheng, G., 2002. Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil-Crop system under actual field conditions. Science of the Total Environment, 285 (1-3): 187-195.

۳۹. باقری، م. ۱۳۷۹. اثرات پساب و سیستم‌های آبیاری بر برخی خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، ۱۶۶ ص.

40. Guo, L.B., Sims, R.E.H., 2000. Effect of meatworks effluent irrigation on soil, tree biomass production and nutrient uptake in *Eucalyptus globulus* seedlings in growth cabinets. Bioresource Technology, 72 (3): 243-251.

41. Guo, L.B., Sims, R.E.H., Horne, D.J., 2002. Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand: I. Biomass and Nutrient Accumulation. Bioresource Technology, 85(3): 273-283.

42. Clarkson, D.T., Luttge, U., 1989. Mineral Nutrition: Divalent Cations, Transport and Compartmentation. Prog. Botany, 51: 93-112.

43. Howe, J., Wagner, M., 1999. Effects of pulp mill effluent irrigation on the distribution of elements in the profile of an arid region soil. Environmental Pollution, 105: 129-135.

44. Wang, J.R., Klinka, K., 1997. White spruce foliar nutrient concentration in relation to tree growth and soil nutrient amounts. Forest Ecology and Management, Canada, Department of Biology, I.1, 89-99.

45. Keller, C., Grath, S.P., Dunham, S.J., 2002. Trace metal leaching through a soil grassland system after sewage sludge application. Journal of Environmental Quality, 31: 1550-1560.

www.SID.ir