بررسی تأثیر کشت چمن و کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های کیفی خاک

نادیا امامی، اکبر حسنی[1]، علی‌رضا واعظی و محمد بابا اکبری ساری

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ **nadiaemami52@gmail.com**

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ **Akbar.hassani@znu.ac.ir**

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ **vaezi.alireza@znu.ac.ir**

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ **babaakbari@znu.ac.ir**

دریافت: **98/8/11** و پذیرش: **99/7/23**

چکیده

نوع پوشش گیاهی، بر برخی ویژگی‌های خاک مانند جرم مخصوص ظاهری، قابلیت جذب عناصر غذایی و کربن آلی خاک تأثیرگذار است. نوع مدیریت تغذیه چمن نیز عامل مهمی در نوع تأثیر چمن بر خاک زیرین آن می‌باشد. استفاده از کودهای زیستی در تغذیه چمن که هم‌زمان قادر به بهبود ویژگی‌های کیفی خاک و افزایش رشد چمن و باشد و از طرف دیگر تأثیر زیان‌بار بر محیط زیست نداشته باشد، نقش قابل توجهی در حفظ محیط زیست دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کود اوره و کود زیستی محتوی باکتری تثبیت کننده نیتروژن (*Pantoea agglomerans*) بر کیفیت خاک زیر چمن بود. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به روش گلدانی و در گلخانه با 5 تیمار 1- خاک بایر (Br)، 2-کشت چمن رقم اسپیدی گرین به روش متعارف (Gr)، 3-کشت چمن + اوره (GrU)، 4-کشت چمن + کود زیستی محتوی باکتری*Pantoea agglomerans* (GrPA) و 5- کشت چمن + کود محتوی *Pantoea agglomerans* + کود محتوی باکتری‌های محرک رشد (GrPP) و سه تکرار انجام شد. وزن تر چمن همراه با برخی ویژگی‌های خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که کشت چمن و کاربرد کود زیستی محتوی باکتری *Pantoea agglomerans* در تیمار چهار سبب تشکیل خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به تیمار خاک بایر شد اما روی پایداری خاکدانه‌ها در روش الک تر تأثیر معنی‌دار نداشت. کودهای زیستی و کود اوره باعث چمن شدند. کشت چمن به تنهایی در خاک سبب افزایش غلظت کربن آلی خاک، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک شد اما تأثیر کودهای زیستی معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار نیتروژن کل و کربن آلی خاک، در تیمار کود اوره دیده شد. به طور کلی بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان کاربرد کودهای زیستی را حداقل در شرایط این پژوهش به عنوان بخشی از برنامه تغذیه چمن در افزایش رشد آن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، کربن آلی خاک، نیتروژن خاک.

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

خاک از منابع مهم در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی بوده و تخریب یا کاهش ویژگی-های کیفی آن در عملکرد و ایفای نقش آن از جنبه تولید اقتصادی محصولات، کارکرد صحیح اکوسیستم و حفظ محیط زیست قابل توجه است (سرچشمه پور و همکاران، 1395). تأثیر کشت گیاهان مختلف روی کیفیت خاک را می‌توان با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی کرد؛ از سویی، درک مکانیسم صحیح اثر کشت گیاهان مختلف روی کیفیت خاک، می‌تواند راهکاری مناسب برای تصمیم‌گیری در مدیریت خاک و اراضی در مناطق مختلف باشد. نوع پوشش گیاهی بر کیفیت خاک زیرین تأثیرگذار است. به عنوان مثال اسدیان و همکاران (1392) گزارش نمودند که در بین جنگل کاج، جنگل ون و کشاورزی، پایین‌ترین شاخص کیفیت خاک در جنگل کاج دیده شد. وحدت خواه و همکاران (1392) نیز گزارش نمودند که کیفیت خاک در پوشش باغ میوه، زراعی و باغ پسته نسبت به خاک بایر بهتر بوده است. عسکری و هولدن (2014) کیفیت خاک زیرین چمنزارهای مرتعی ایرلند را مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که نوع مدیریت مرتع بر هرکدام از شاخص‌های کیفیت خاک زیرین به نحو متفاوتی تأثیرگذار می‌باشد و تشدید مدیریتی مرتع روی کیفیت خاک تأثیر منفی می‌گذارد.

از طرف دیگر نیاز به توسعه فضای سبز، بوستان‌ها و پارک‌ها در جوامع شهری و صنعتی امروز بر هیچ کس پوشیده نیست. در این میان چمن مهم‌ترین گیاه پوششی در احداث فضاهای سبز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چمن نیز با تأثیر بر برخی ویژگی‌های خاک زیرین ممکن است کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار دهد. گزارش شده است که چمن باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک زیرین می‌شود و با کاهش فرسایش خاک سطحی به حاصلخیزتر شدن تدریجی آن کمک می‌کند (گروس و همکاران، 1990). همچنین در خاک زیرین چمن‌زارها، تعداد کرم‌های خاکی (پوتر و همکاران، 1390) و جمعیت میکرواوگانیسم‌ها (اسمیت وهمکاران، 1390) نسبت به خاک بایر خیلی بیشتر می‌باشد که به بهبود کیفیت آن نیز کمک می‌کنند. چمن مانند سایر گیاهان، با فتوسنتز و تولید ترکیبات آلی و باقی گذاشتن آن در خاک، به مرور زمان به افزایش مواد آلی در خاک کمک می‌کند و با افزایش مواد آلی خاک، کیفیت آن نیز به تدریج افزایش می‌یابد (سیمز و سینگ، 1978). با این وجود به نظر می‌رسد تأثیر چمن زمین بر برخی ویژگی‌های خاک مانند تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است و نیاز به بررسی بیشتری دارد.

نوع مدیریت نگهداری چمن مانند نوع تغذیه، دور آبیاری و فاصله زمانی چمن‌زنی از عوامل مهمی است که تأثیر زیادی بر برخی مسائل جانبی مانند بهینه نمودن کارایی مصرف آب، کیفیت خاک زیرین و حفظ محیط زیست دارد. مشاهده شده است که مقدار کل کربن ترسیب شده در یک چمن‌زار با مقدار کربن رها شده به اتمسفر برابر بوده است (تاوزنداسمال و سیمزیک، 2010). کاربرد کودهای شیمیایی مانند اوره از یک طرف رشد چمن را زیاد کرده و سبب تولید ماده آلی بیشتری شده و کیفیت خاک را بهبود می بخشد اما از سمت دیگر ممکن است منجر به افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای نیز گردد. براون و همکاران نیز (2017) تاثیر کشت چمن و کوددهی آن را در تولید گاز نیتروس‌کساید در چمن‌زار بررسی نموده و گزارش کردند که کاربرد کود اوره موجب افزایش تصاعد گاز نیتروزکساید نسبت به تیمار کنترل می‌شود. در این میان استفاده از کودهای زیستی که هم-زمان قادر به افزایش رشد چمن باشد، روی کیفیت خاک تأثیر مثبت داشته باشد و از طرف دیگر تأثیر زیان‌بار بر محیط زیست نداشته باشد نقش قابل توجهی دارد. کودهای زیستی از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی تشکیل شده‌اند که هر یک به منظور خاصی، مانند تثبیت نیتروژن و رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن‌ها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها بیش از یک نقش داشته و علاوه برکمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌های گیاه و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (مهدی و همکاران، 2010).

باکتری پانتوآ آگلومرانز (*Pantoea agglomerans*) به عنوان یک تثبیت کننده نیتروژن نوعی باکتری گرم منفی میله‌ای بدون اسپور متحرک، دارای بیش از یک تاژک با ابعاد بین 0/5 تا 3 میکرومتر متعلق به شاخه *Proteobacteria* وخانواده *Enterobacteriaceae* می‌باشد که با نام‌های *Enterobacter agglomerans* و همچنین *Erwinia herbicola* نیز شناخته می‌شود (دوتکیویز و همکاران، 2015). برای اولین بار دو سویه از این باکتری که قادر به تثبیت نیتروژن بودند در سال 1977 از روده موریانه‌ها جداسازی شدند (پورتیکس و برزناک، 1977). سویه‌های مختلف این باکتری به صورت اندوفیت

در داخل ریشه گیاهان و یا چسبیده به سطح ریشه و یا در خاک ریزوسفری زندگی کرده و با تثبیت نیتروژن به صورت آزادزی و یا تولید برخی هورمون‌های رشد مانند اکسین و جیبرلین به رشد گیاهان کمک می‌کند (فنگ و همکاران، 2006). همچنین گزارش شده است که این باکتری با تولید برخی ترکیبات آنتی‌بیوتیکی در مقابله با برخی بیماری‌ها به گیاهان کمک می‌کند (استوکول و همکاران، 2002). از این باکتری در این پژوهش به عنوان یک باکتری تثبیت کننده نیتروژن آزادزی استفاده شد. کود زیستی محتوی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas koreensis*، *Pseudomonas vancouverensis* و *Pseudomonas putida* با داشتن ویژگی‌هایی مانند تولید سیدروفور، کاهش تولید اتیلن در گیاهان (جاکوبسون و همکاران، 1994) ، تولید هورمون رشد (پاتن و گلیک، 2002)، افزایش مقاومت گیاهان و مبارزه با عوامل بیماری‌زا (برنال و همکاران، 2017) باعث افزایش رشد در گیاهان می‌شوند.

بر این اساس هدف از این پژوهش در ابتدا تأثیر کشت گیاهی چمن بر کیفیت خاک زیرین و در مرحله بعدی تأثیر نوع مدیریت تغذیه چمن بر اساس جایگزینی کود زیستی محتوی باکتری تثبیت کننده نیتروژن *Pantoea Agglomerans* و محرک‌های رشد به‌جای اوره بر کیفیت خاک زیرین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تیمارها و نحوه آزمایش

برای بررسی تأثیر کود زیستی بر برخی از خصوصیات چمن مورد نظر، آزمایشی در محل گلخانه گروه علوم خاک دانشگاه زنجان انجام شد. خاک (لوم شنی) مورد استفاده از یک قطعه زمین بایر متعلق به مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان تهیه شد. برداشت خاک از زمینی انجام شد که تاکنون در آن هیچ‌گونه کود شیمیایی و آلی استفاده نشده بود. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول 1 دیده می‌شود. گلدان‌های استفاده شده در این تحقیق از جنس پلی اتیلن با قطر دهانه 20 سانتی‌متر و ارتفاع 25 سانتی‌متر بود. برای جلوگیری از خروج خاک و زهکشی مناسب، در سطح زیرین هر گلدان مقداری سنگریزه بادامی ریخته شد. مقداری از خاک انتخاب شده پس از کوبیدن و عبور از الک 2 میلی‌متری به شکل همگن به گلخانه منتقل شد. هر گلدان با 8 کیلوگرم خاک پر شد. پس از آماده شدن گلدان‌ها، کشت بذور چمن به مقدار 25 گرم در متر مربع در آنها انجام شد. طرح آزمایش مورد استفاده به شکل کاملاً تصادفی با 5 تیمار و سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش تیمار اول خاک بایر بدون کشت هیچگونه گیاهی بود ولی کلیه عملیات داشت مانند آبیاری روی آن انجام شد (Br). تیمار دوم شامل کشت چمن بدون کوددهی (Gr)، تیمار سوم شامل کشت چمن همراه با کاربرد کود اوره معادل 100 کیلوگرم در هکتار (0/26 گرم در هر گلدان) (GrU)، تیمار چهارم شامل کشت چمن + کاربرد کود زیستی محتوی فقط باکتری *Pantoea agglomerans* (GrPA) و تیمار پنجم شامل تیمار سوم + کاربرد باکتری‌های محرک رشد (GrPP) بود. هر تیمار در سه تکرار و در نهایت جامعه آماری شامل 15 گلدان بود. بذر مورد استفاده در این تحقیق بذر اسپیدی گرین مخلوط سه رقم بذری باربال، باراژ و بارتینگو با اختلاط برابر انتخاب گردید. کودهای زیستی مورد نظر از آزمایشگاه فنی شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. کود زیستی تثبیت کننده نیتروژن محتوی باکتری *Pantoea agglomerans* با جمعیت 10^9 باکتری در هر گرم بود. مقدار توصیه شرکت سازنده هرکدام از این کودها برابر با یک بسته 100 گرمی در هر هکتار همراه با آب آبیاری و یا بذرمال می‌باشد. در این پژوهش مقدار معادل آن بر مبنای جرم خاک هر گلدان (8 کیلوگرم) محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور0/26 گرم از هر مایه تلقیح به یک لیتر آب مقطر استریل اضافه شد و هر یک میلی‌لیتر از آن نیز به حجم 1000 میلی‌لیتر رسانده شد و از این محلول رقیق شده به مقدار مورد نیاز در آبیاری استفاده شد. برای اثربخشی بهتر، قبل از کاشت، بذرها با کود زیستی مورد نظر بذرمال نیز شدند. بدین منظور یک بسته 100 گرمی از کود زیستی مربوطه به یک لیتر آب مقطر استریل اضافه شده و 200 میلی لیتر از آن به اسپری منتقل شد. سپس به 100 گرم از بذور چمن حدود 20 میلی لیتر از محلول تهیه شده اسپری شد تا همه بذور کاملاً مرطوب شدند. بذرها بلافاصله بعد کشت شدند. کود زیستی محتوی باکتری‌های محرک رشد شامل باکتری‌های *Pseudomonas koreensis*، *Pseudomonas vancouverensis* و *Pseudomonas putida* بود که جمعیت هرگونه برابر با 10^8 باکتری در هر گرم بود.

پس از کاشت بذور، یک بار آبیاری (نیم لیتر در هر گلدان) با استفاده از اسپری مخصوص به نحوی که سطح خاک به هم نخورد انجام شد. مقدار هدایت الکتریکی آب مورد استفاده 385 میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. پس از سبز شدن چمن‌ها (10 روز پس از کاشت)، تیمارهای کود اوره و کود زیستی مورد نظر همراه با آب آبیاری اعمال شدند. در مورد کود اوره 0/26 گرم از آن در مقدار آب مورد نیاز حل شده و به گلدان‌ها

اضافه شد. آبیاری مجدد پس از رسیدن گلدان‌ها به کمتر از 60 درصد نقطه ظرفیت زراعی انجام می‌شد که این موضوع با تعیین درصد رطوبت در نقطه زراعی خاک قبل از آزمایش و توزین گلدانها در حین آزمایش مشخص می‌شد. کل دوره آزمایش شش ماه بود.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری

نمونه‌برداری از خاک گلدان قبل از آزمایش و در پایان ماه سوم و ششم برای بررسی روند تغییرات کیفیت خاک انجام شد. برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک از روش استوانه فلزی با حجم کم (25 سانتی‌متر مکعب) به نحوی که خاک را به هم نزند استفاده شد (مکنزی و همکاران، 2002). اندازه‌گیری تولید و تشکیل خاکدانه به روش الک خشک (کای، 2000) انجام شد. 75 گرم از نمونه پس از جداسازی ریشه روی سری الک‌هایی با قطر 6، 4، 2، 1 و 0/25 قرار داده شد. سپس با فرکانس یک بار در ثانیه به مدت 10 دقیقه نوسان داده شد. خاکدانه های باقی مانده روی هر الک توزین شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خشک (MWD_{dry}) از رابطه 1 به دست آمد.

رابطه 1

$$MDW_{dry} = \sum_{i=1}^{n} Wi\bar{X}i$$

در این رابطه $\overline{Xi}$ میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک بر حسب میلی‌متر، Wi نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌های خاک و n تعداد الک می‌باشد. برای اندازه گیری پایداری حاکدانه‌ها نیز از همین روش استفاده شد با این تفاوت که سری الک‌ها به مدت 10 دقیقه در داخل آب شهری نوسان داده شدند و نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون توزین و از رابطه بالا میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خیس (MWD_{wet}) محاسبه شد.

ویژگی‌های شیمیایی فقط در پایان دوره شش ماهه اندازه‌گیری شدند. کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با دی کرومات پتاسیم (نلسون و سامرز، 1974) و نیتروژن کل به روش کجلدال (شومان و همکاران، 1973) اندازه‌گیری شدند. فسفر محلول و قابل جذب به ترتیب پس از عصاره‌گیری با آب و بی‌کربنات سدیم نیم مولار به روش رنگ سنجی اندازه گیری شد. پتاسیم محلول و قابل جذب نیز به ترتیب پس از عصاره‌گیری با آب و استات آمونیوم یک مولار با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (اسپارکز و همکاران، 1996).

جدول 1- برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این آزمایش

ویژگی خاک	مقدار
شن (درصد)	61
رس (درصد)	11
نیتروژن کل (درصد)	0/021
فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	10/2
پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	285
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	2/3
pH	7/45
کربن آلی خاک (درصد)	0/24
کربنات کلسیم معادل (درصد)	12/2

جامعه آماری در این پژوهش 15 گلدان کشت شده بود. مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون LSD در سطح 5 درصد با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel ورژن 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به خاک زیرین چمن در تیمارهای مختلف در جدول 2 قابل مشاهده است. بیشترین وزن تر چمن در تیمار GrU (کود اوره) دیده شد (87/4 گرم در هر گلدان) که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اوره بر رشد چمن می‌باشد. همچنین کاربرد کودهای زیستی در تیمارهای GrPA (56/1 گرم در هر گلدان) و GrPP (44/6 گرم در هر گلدان) باعث افزایش معنی‌دار وزن تر چمن نسبت به تیمار شاهد (35/1 گرم در هر گلدان) شد. در مورد خاک، نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارها بر برخی ویژگی‌های خاک می‌باشد. داده-های مربوط به عناصر غذایی پرمصرف فسفر، پتاسیم و

نیتروژن خاک در سطح یک درصد با هم اختلاف دارند؛ همچنین داده‌های کربن آلی خاک نیز در سطح یک درصد اختلاف دارند. نتایج تیمارها بر فاکتور تشکیل خاکدانه در هر دو زمان نمونه‌برداری در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما داده‌های به دست آمده از تیمارها در مورد پایداری خاکدانه‌ها و وزن مخصوص ظاهری خاک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند.

جدول 2- جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک زیرین

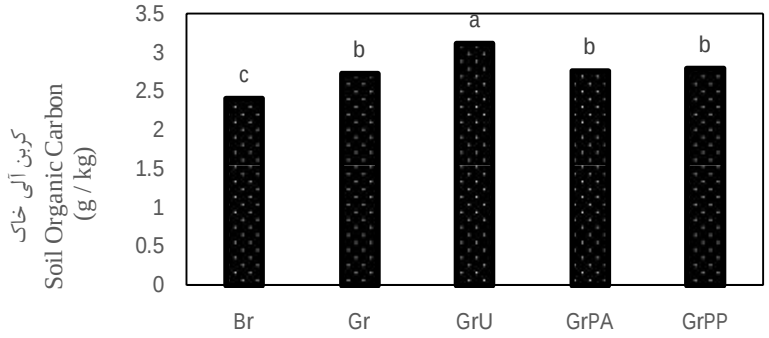
ضریب تغییرات	خطا	تیمار	منابع تغییرات	
-	10	4	درجه آزادی (df)	
18/8	400	1549/9	وزن تر	میانگین مربعات MS
13/45	0/37	1/86*	تشکیل خاکدانه سه ماهه اول	
12/57	0/25	5/87 **	تشکیل خاکدانه سه ماهه دوم	
17/12	0/024	0/0044 ns	پایداری خاکدانه سه ماهه اول	
17/57	0/073	0/086ns	پایداری خاکدانه سه ماه دوم	
17/61	0/084	0/021 ns	pb سه ماهه اول	
9/88	0/024	0/032 ns	pb سه ماهه دوم	
8/65	895/74	9927**	پتاسیم قابل جذب	
14/05	226/4	1643/4**	پتاسیم محلول	
7/61	0/92	6/53**	فسفر قابل جذب خاک	
13/33	0/02	0/26**	فسفر محلول خاک	
16/08	0/0068	0/078**	کربن آلی	
12/85	0/000046	0/0006 **	نیتروژن کل	

تأثیر تیمارها بر کیفیت خاک

تأثیر تیمارها بر غلظت کربن آلی خاک نیز در شکل 1 دیده می‌شود. کشت چمن در خاک سبب افزایش معنی‌دار غلظت کربن آلی در خاک نسبت به تیمار خاک بایر شد. همچنین در بین تیمارهای کودی نیز تیمار کاربرد کود اوره (GrU) بیشترین غلظت کربن آلی را نسبت به سایر تیمارها داشت.

به طور کلی کربن آلی خاک یکی از مهمترین عوامل موثر بر کیفیت خاک بوده و نسبت به مدیریت‌های مختلف اراضی از خود واکنش نشان می‌دهد. کشت گیاهان در یک خاک بایر در یک منطقه خشک به دلیل ترشحات ریشه و اضافه شدن بقایای ریشه به خاک در طول زمان به تدریج باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود و در این پژوهش نیز دیده شد که کربن آلی خاک تحت تأثیر کشت چمن بعد از 6 ماه نسبت به خاک بایر 13 درصد افزایش نشان داد. افزون بر این، افزودن کود اوره موجب افزایش رشد رویشی چمن شده و کربن آلی خاک را نسبت به تیمار شاهد 29 درصد افزایش داده است. در این مورد اضافه کردن کودهای زیستی تأثیر معنی‌دار نداشت. در تطابق با نتایج این پژوهش، در یک تحقیق توسط پژوهش‌گران پیشین مشخص شد که کاربرد کود نیتروژنی به مقدار 63 و 126 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب سبب افزایش 7 و 14 درصدی کربن آلی خاک شد (آکوستا مارتینز، 1999).

شکل 2 تأثیر تیمارها بر تشکیل خاکدانه‌ها در سه ماهه اول و دوم در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد. در سه ماهه اول، بین تیمارها اختلاف معنی‌دار بین تیمارها دیده نشد. بیشترین قطر میانگین خاکدانه نیز اگرچه در تیمار چمن بدون کود به دست آمد اما اختلاف آن با سایر تیمارها معنی‌دار نبود. در سه ماهه دوم اما در تیمارهای زیر کشت چمن صرف نظر از نوع کود استفاده شده، خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به تیمار خاک بایر تشکیل شد. در همه تیمارهای چمن، خاکدانه‌های سه ماهه دوم به طور معنی‌دار بزرگتر از سه ماهه اول بودند. این موضوع در مورد خاک بایر برعکس بود. در بین تیمارهای کودی، در تیمار GrPA که در آن باکتری *Pantoa agglomerans* به‌تنهایی استفاده شده بود، بزرگترین خاکدانه‌ها تشکیل شدند.

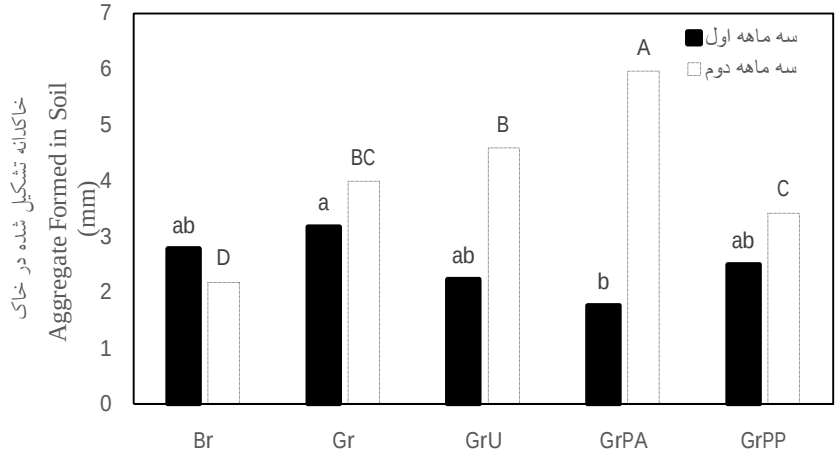


شکل 1- تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت کربن آلی خاک. حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف دارند.

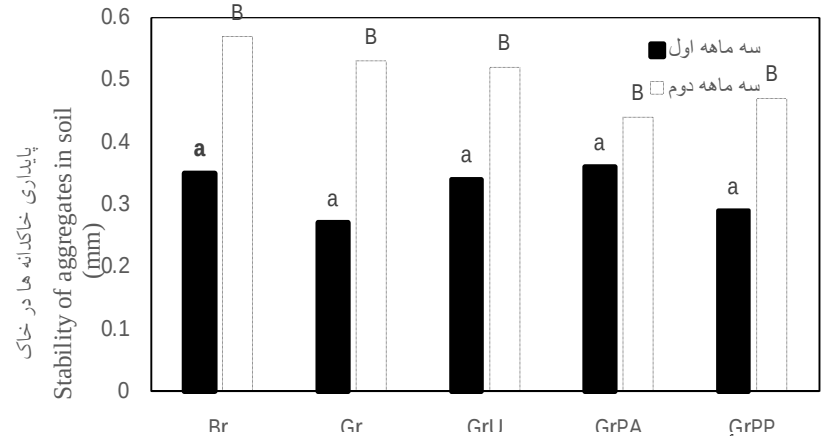
تأثیر نوع مدیریت خاک بر روی تشکیل خاکدانه توسط پژوهش‌گران پیشین نیز بررسی شده است. محمودی و شکل آبادی (1396) گزارش دادند که اضافه کردن بیوچار به خاک سبب تشکیل خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به شاهد شدند. نصیری مقدم و همکاران (1390) نیز گزارش دادند که افزودن مواد آلی تازه و کمپوست شده سبب تشکیل خاکدانه‌های بزرگتری در خاک می‌شود. با توجه به اینکه در این پژوهش با کشت چمن، ماده آلی خاک افزیش یافته است؛ به نظر می‌رسد یکی از دلایل تشکیل خاکدانه بزرگتر در سه ماهه دوم در تیمارهای زیر کشت چمن، افزایش مقدار ماده آلی خاک باشد. اگرچه تأثیر کود زیستی استفاده شده نیز روی تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر در تیمار GrPA نیز قابل چشم پوشی نیست. باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن با همکاری با ریشه گیاهان باعث ایجاد پتانسیل لازم برای پایداری خاک می شود که می‌تواند در رفع دو نیاز اصلی خاک یعنی ماده آلی خاک و نیتروژن خاک مؤثر باشد. در همین مورد حیدری و همکاران (1397) گزارش دادن که کاربرد کود زیستی محتوی باکتری تثبیت کننده نیتروژن همزیست با ریشه نخود، در شرایط گلخانه باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد (بدون گیاه) شد که با نتایج این پژوهش مشابهت داشت اما در شرایط مزرعه تیمارهای مذکور تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشتند اگرچه تیمارهای حاوی کود زیستی در هر دو شرایط مزرعه و گلخانه باعث افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و پایداری ساختمان خاک شدند.

نتایج به دست آمده از پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف در شکل 3 نیز نشان از عدم وجود اختلاف معنی‌دار در آنها در سه ماهه اول دارد. در سه ماهه دوم نیز بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت اما داده‌های سه ماهه دوم با سه ماهه اول با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان خاکدانه‌ها پایدارتر شده‌اند اما حداقل در طول دوره زمانی این آزمایش، به کشت چمن و کوددهی آن ارتباطی نداشتند. شاید با افزایش طول دوره کشت بتوان دقیقاً متوجه تأثیر تیمارها نیز شد.

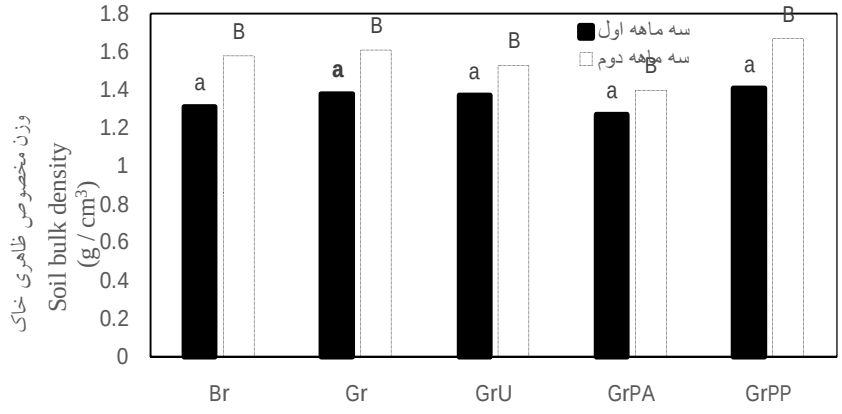
شکل 4 تأثیر تیمارها بر جرم مخصوص ظاهری در سه ماهه اول و دوم در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، تیمارهای مختلف در سه ماهه اول و همچنین سه ماهه دوم اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند اما بین داده‌های سه ماهه اول و سه ماهه دوم اختلاف معنی‌دار وجود داشت و این موضوع نشان می‌دهد با گذشت زمان، جرم مخصوص ظاهری خاک به تدریج افزایش یافته است. با توجه به اینکه در این آزمایش از خاک الک شده و دست خورده استفاده شده بود، افزایش تدریجی جرم مخصوص ظاهری خاک بر اثر تراکم و فشار در طول زمان به دلیل آبیاری منطقی به نظر می‌رسد و در این مورد کشت چمن و یا مدیریت کوددهی بر آن تأثیری نداشته است.



شکل 2- تأثیر تیمارهای مختلف بر تشکیل خاکدانه. حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر دوره سه ماهه در سطح آماری پنج درصد اختلاف دارند.



شکل 3- تأثیر تیمارهای مختلف بر پایداری خاکدانه‌ها. حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر دوره سه ماهه در سطح آماری پنج درصد اختلاف دارند.

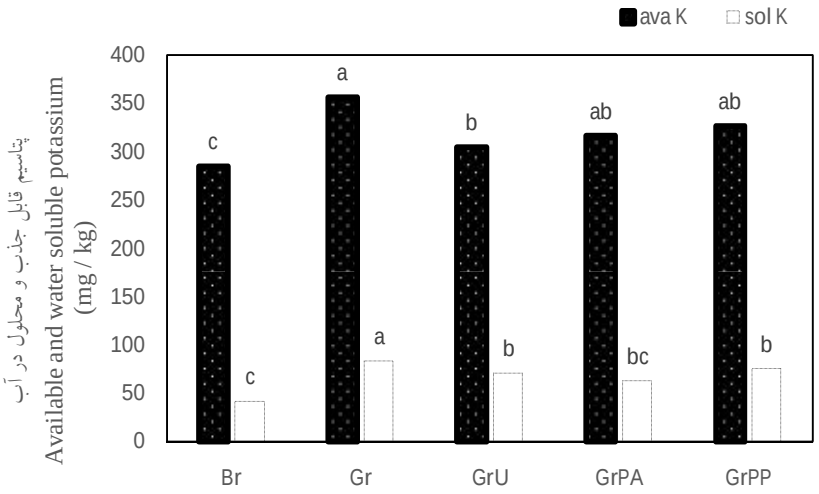


شکل 4- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن مخصوص ظاهری خاک. حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر دوره سه ماهه در سطح آماری پنج درصد اختلاف دارند.

تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر پرمصرف در خاک

تأثیر تیمارها بر غلظت پتاسیم محلول و قابل جذب خاک در شکل 5 دیده می‌شود. بر این اساس کشت چمن در خاک صرف نظر از نوع تیمار کودی، سبب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم قابل جذب و پتاسیم محلول در خاک شد. بیشترین پتاسیم قابل جذب و محلول خاک در تیمار کشت چمن به روش متعارف (Gr) دیده شد. پس از آن نیز بیشترین پتاسیم قابل جذب در تیمار GrPP و بیشترین پتاسیم محلول نیز در تیمار GrU دیده شد.

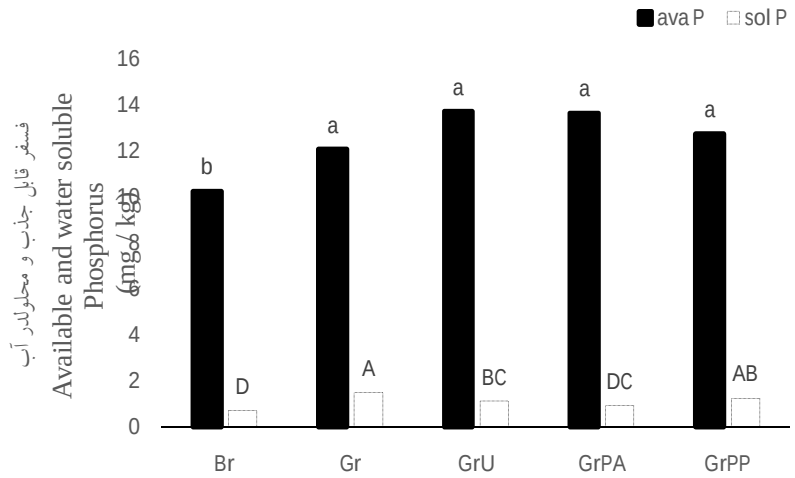
به نظر می‌رسد گیاه چمن با تأثیر بر برخی ویژگی‌های خاک سبب افزایش پتاسیم قابل جذب و محلول در خاک شده است. کاربرد کود اوره در کشت چمن نسبت به تیمار بدون کود، پتاسیم قابل جذب را به طور معنی‌دار در خاک کاهش داد ولی این کاهش در تیمارهای کود زیستی دیده نشد. در مورد پتاسیم محلول، کاربرد کود اوره و کودهای زیستی در چمن نسبت به تیمار بدون کود، پتاسیم محلول را به طور معنی‌دار در خاک کاهش داد. فلاح نصرت آباد و همکاران (1378) در پژوهشی کارآئی باکتری‌های سیلیکاتی در افزایش پتاسیم خاک گزارش نمودند که میانگین پتاسیم محلول خاک در تیمارهای تلقیح شده با باکتری نسبت به شاهد 16 تا 40 درصد افزایش یافت که در تناقض با نتایج این پژوهش می‌باشد. یکی از دلایل احتمالی کاهش غلظت پتاسیم در تیمارهای کودی این موضوع می‌تواند باشد که کود اوره و کودهای زیستی باعث افزایش رشد چمن شده و این موضوع جذب پتاسیم را از خاک افزایش داده و در نهایت سبب کاهش غلظت پتاسیم محلول و قابل جذب خاک شده است.



شکل 5- تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت پتاسیم قابل جذب و محلول در آب. حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر ویژگی از نظر آماری در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

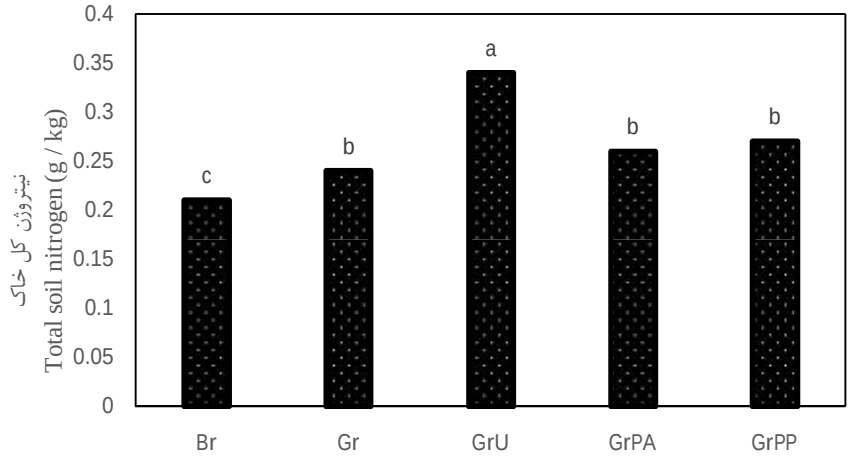
تأثیر تیمارها بر غلظت فسفر محلول و قابل جذب خاک در شکل 6 دیده می‌شود. طبق نتایج، کشت چمن صرف نظر از نوع تیمار، سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر قابل جذب و فسفر محلول در خاک نسبت به تیمار خاک بایر شد. کوددهی چمن، تأثیر معنی‌دار روی فسفر قابل جذب خاک بین تیمارهای کشت چمن نداشت اگرچه بیشترین فسفر قابل جذب در تیمار GrU دیده شد. بیشترین مقدار فسفر محلول در تیمار کشت چمن به روش متعارف (Br) دیده شد. باکتری *Pantoa agglomerans* یک باکتری حل‌کننده فسفر محلول می‌باشد اگرچه در این تحقیق این باکتری در مقایسه با سایر تیمارها تأثیر چندانی بر فسفر محلول قابل جذب خاک نداشت و تأثیر کاشت گیاه چمن بیشتر بود. در تطابق با نتایج این پژوهش لائورته و همکاران (1988)

گزارش نمودند که کاربرد باکتری حل کننده فسفات *Enterobacter agglomerans* روی فسفر آزاد شده در ریزوسفر چندان قابل توجه نبود. یکی از دلایل احتمالی می‌تواند تغییر pH در منطقه ریزوسفر باشد که به آزاد شدن و در دسترس بودن فسفر می‌انجامد (شن و همکاران، 2011).



شکل 6- تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر قابل جذب و محلول در آب، حروف متفاوت در هر ستون مربوط به هر ویژگی از نظر آماری در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

تأثیر تیمارها بر غلظت نیتروژن کل خاک در شکل 7 دیده می‌شود. طبق نتایج، کشت چمن در خاک موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن کل در خاک نسبت تیمار خاک بایر شد. در بین تیمارهای کودی نیز تیمار کاربرد کود اوره (GrU) بیشترین غلظت را نسبت به سایر تیمارها داشت. کیان و همکاران (2003) گزارش نمودند که در صورت حفظ چمن چیده شده، افزایش غلظت کربن و نیتروژن آلی در خاک زیرین چمن رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد ترشحات ریشه و بقایای آن در خاک در طول مدت آزمایش به مرور غلظت نیتروژن کل را افزایش داده باشد.



شکل 7- تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت نیتروژن کل حروف متفاوت در هر ستون از نظر آماری در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاشت چمن در خاک صرف نظر از نوع مدیریت تغذیه، سبب بهبود برخی ویژگی‌های مرتبط با کیفیت خاک می‌شود. پس از گذشت شش ماه، در تیمارهای محتوی چمن، خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به تیمار خاک بایر تشکیل شد اگرچه این تیمارها روی پایداری خاکدانه‌ها تأثیر معنی‌دار نداشتند. کاربرد کود زیستی محتوی باکتری *پانتوآ آگلومرانز* سبب تشکیل خاکدانه‌های بزرگتری نسبت به سایر تیمارهای کودی شد و این نشان می‌دهد که کودهای زیستی افزون بر کمک به رشد گیاه، به بهبود برخی ویژگی‌های مرتبط با کیفیت خاک نیز کمک می‌کنند. کشت چمن در خاک سبب افزایش معنی‌دار غلظت کربن آلی خاک، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و محلول در خاک شد. به طور کلی بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان کاربرد کودهای زیستی را به عنوان بخشی از برنامه تغذیه چمن و بهبود برخی ویژگی‌های مرتبط با کیفیت خاک حداقل در شرایط گلخانه توصیه نمود.

فهرست منابع:

1. اسدیان، م.، س. م. حجتی، م.ر. پورمجیدیان و ا. فلاح. 1392. تأثیر انواع مختلف کاربری اراضی روی کیفیت خاک در جنگل الندان ساری. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. جلد 45، شماره3. ص. 65-76.
2. حیدری، لادن.، ح. بیات، ع. ا. صفری سنجانی و ج. حمزه‌ئی. 1397. تأثیر باکتری همزیست نخود و قارچ مایکوریزا گونه (Glomus mossea) بر روی برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.
3. سرچشمه‌پور،م.، م. حجازی، و.ر. جلالی و ف. مولایی. .1395. مروری برشاخص‌های کیفیت، سلامت و امنیت خاک. دومین همایش ملی مدیریت پایداری منابع خاک و محیط زیست. 17.18. دانشکده شهید باهنر کرمان.
4. فلاح نصرت آباد، ع.، ن. صالح راستین و ک. خاوازی. 1378. بررسی کارآئی باکتری‌های سیلیکاتی در افزایش پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت. مجله علوم خاک و آب. جلد 13، شماره 2. ص. 120-131.
5. محمودی، ف. و م. شکل آبادی. 1396. سلسله مراتب خاکدانه‌سازی در خاک‌های تیمار شده با بیوچار. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی.
6. نصیری مقدم، ص.، ا. گلچین و م.ا. دلاور. 1390. تأثیر مواد آلی تازه، کمپوست و ورمی کمپوست‌شده بر خصوصیّات فیزیکوشیمیایی خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی.
7. وحدت خواه، م.، م. ه. فرپور و م. سرچشمه پور. 1392. مقایسه برخی از شاخص‌های کیفیت خاک در انواع کاربری پوشش‌های اراضی دشت ماهان- جوپار. مجله علوم آب و خاک. جلد 17، شماره 64. ص. 107-117.
8. Acosta-Martinez, V., Reicher, Z., Bischoff, M. and Turco, R. 1999. The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality. Biology and Fertility of soils 29: 55-61.
9. Askari, M.S. and Holden, N.M. 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. Geoderma 230: 131-142.
10. Bernal, P., Allsopp, L.P., Filloux, A. and Llamas, M.A. 2017. The *Pseudomonas putida* T6SS is a plant warden against phytopathogens. The ISME journal 11: 972.
11. Braun, R. and Bremer, D. 2017. Nitrous Oxide Emissions and Carbon Sequestration in Turfgrass: Effects of Irrigation and Nitrogen Fertilization (Year 2). Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports 3: 10-10.
12. Dutkiewicz, J., Mackiewicz, B., Lemieszek, M.K., Golec, M. and Milanowski, J. 2015. *Pantoea agglomerans*: a mysterious bacterium of evil and good. Part I. Deleterious

effects: Dust-borne endotoxins and allergens–focus on cotton dust. Ann Agric Environ Med 22: 576-588.
13. Feng, Y., Shen, D. and Song, W. 2006. Rice endophyte *Pantoea agglomerans* YS19 promotes host plant growth and affects allocations of host photosynthates. Journal of applied microbiology 100: 938-945.
14. Gross, C.M., Angle, J. and Welterlen, M. 1990. Nutrient and sediment losses from turfgrass. Journal of Environmental Quality 19: 663-668.
15. Jacobson, C.B., Pasternak, J. and Glick, B.R. 1994. Partial purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Canadian journal of microbiology 40: 1019-1025.
16. Kay, B.D. 2000. Soil Structure, in: Sumner, E.M. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, USA: F.I., Boca Raton, pp. A229-A264.
17. Laheurte, F. and Berthelin, J. 1988. Effect of a phosphate solubilizing bacteria on maize growth and root exudation over four levels of labile phosphorus. Plant and Soil 105(1): 11-17.
18. Mahdi, S.S., Hassan, G.I., Samoon, S.A., Rather, H.A., Dar, S.A. and Zehra, B. 2010. Bio-fertilizers in organic agriculture. Journal of Phytology 2(10): 42-54.
19. McKenzie, N., Coughlan, K. and Cresswell, H. 2002. Soil physical measurement and interpretation for land evaluation. Csiro Publishing.
20. Nelson, D.W. and Sommers, L. 1974. A rapid and accurate procedure for estimation of organic carbon in soils, Proceedings of the Indiana Academy of Science, pp. 456-462.
21. Patten, C.L. and Glick, B.R. 2002. Role of Pseudomonas *putida indoleacetic* acid in development of the host plant root system. Applied and environmental microbiology 68: 3795-3801.
22. Potrikus, C. and Breznak, J.A. 1977. Nitrogen-fixing *Enterobacter agglomerans* isolated from guts of wood-eating termites. Applied and environmental microbiology 33: 392-399.
23. Potter, D.A., Powell, A.J. and Scott Smith, M. 1990. Degradation of turfgrass thatch by earthworms (*Oligochaeta*: *Lumbricidae*) and other soil invertebrates. Journal of economic entomology 83: 205-211.
24. Qian, Y., Bandaranayake, W., Parton, W., Mecham, B., Harivandi, M. and Mosier, A. 2003. Long-term effects of clipping and nitrogen management in turfgrass on soil organic carbon and nitrogen dynamics. Journal of Environmental Quality 32: 1694-1700.
25. Schuman, G., Stanley, M. and Knudsen, D. 1973. Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples 1. Soil Science Society of America Journal 37: 480-481.
26. Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W. and Zhang, F. 2011. Phosphorus dynamics: from soil to plant. Plant physiology, 156(3): 997-1005
27. Sims, P.L. and Singh, J. 1978. The structure and function of ten western North American grasslands: III. Net primary production, turnover and efficiencies of energy capture and water use. The Journal of Ecology: 573-597.
28. Smith, J., Paul, E., Bollag, J. and Stotzky, G. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. Soil biochemistry 6: 357-396.
29. Sparks, D.L., Helmke, P. and Page, A. 1996. Methods of soil analysis: Chemical methods. SSSA.
30. Stockwell, V., Johnson, K., Sugar, D. and Loper, J. 2002. Antibiosis contributes to biological control of fire blight by *Pantoea agglomerans* strain Eh252 in orchards. Phytopathology 92: 1202-1209.
31. Townsend Small, A. and Czimczik, C.I. 2010. Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. Geophysical Research Letters 37.