بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی مراحل مختلف رشد نیشکر و برآورد ظرفیت ترسیب کربن آلی

ابوالفضل آزادی[1]، سیدعلیرضا سیدجلالی، رمضانعلی دهقان و میرناصر نویدی

استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ **a.azadi@areeo.ac.ir**

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ **ajalali @ areeo.ac.ir**

مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ **ramezanalidehghan@gmail.com**

استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ **nnavidi@swri.ir**

دریافت: **1400/2/21** و پذیرش: **1400/7/4**

چکیده

مطالعه حاضر جهت بررسی مراحل مختلف رشد نیشکر(پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان ذخیره کربن آلی خاک در برخی اراضی نیشکر جنوب خوزستان انجام گرفت. بدین منظور تعدادی خاکرخ (پروفیل) در مزارع نیشکر حفر شد و تعداد 30 سایت انتخاب گردید و پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی در پنج تیمار(مراحل رشد نیشکر) و شش تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت کشت نیشکر و مراحل مختلف رشد در خاک‌های کشت و صنعت نیشکر سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و ذخیره کربن آلی خاک شد. بطوری که آبیاری فراوان و آبشویی و کشت دراز مدت نیشکر طی مراحل مختلف رشد منجر به کاهش قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، سدیم محلول خاک ، مقدار پتاسیم قابل جذب، و افزایش درصد شن و مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک شد. از این رو، برای جلوگیری از پیامدهای منفی احتمالی و خالی شدن خاک از عناصر غذایی به ویژه پتاسیم، لازم است به طور دوره‌ای ویژگی‌های کامل خاک‌های مورد مطالعه بررسی شوند تا با ارزیابی این تغییرات بتوان روش‌های مدیریتی مناسبی برای حفظ کیفیت خاک انجام داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین مقادیر ذخیره کربن آلی خاک نشان داد که میزان ترسیب کربن خاک در تیمارهای موجود در سطح 1 درصد معنی‌دار بود، بطوری که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار بود. دلیل بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن را می‌توان به پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه وجود بقایای گیاهی بیشتر نسبت داد زیرا بقایای گیاهی با کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت برای رشد گیاهان، اثر مثبتی بر پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. به‌طور کلی، مدیریت بهینه مزارع نیشکر نقش مهمی در بهبود ظرفیت ترسیب کربن اتمسفری ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های خاک، راتون نیشکر، ذخیره کربن آلی خاک

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

مقدمه

خاک، یکی از مهمترین ارکان محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. بنابراین شناخت جنبه‌های مختلف آن و جمع آوری اطلاعات و داده‌های مختلف و دقیق در راستای استفاده بهینه و پایدار و جلوگیری از تخریب این منبع با ارزش با استفاده از روش‌های کمی و آماری امکانپذیر است (محمدی، 1385). تغییر کاربری اراضی و کشت فشرده و دراز مدت در اراضی کشاورزی دنیا، ویژگی های خاک را در سطوح گسترده تحت تأثیر قرار داده و سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده است (رضاپور و همکاران، 2013). بنابراین مطالعه تغییرات ویژگی‌های خاک در اثر کشت دراز مدت، با هدف ایجاد تعادل میان میزان تولید و حفظ و بهبود کیفیت منابع اراضی، می‌تواند در شناسایی مدیریت‌های پایدار و به دنبال آن جلوگیری از تخریب روز افزون خاک بسیار مؤثر باشد (تقی پور و همکاران، 1394).

کشت و کار مکانیزه نیشکر در استان خوزستان با شرایط آب و هوایی و خاک ویژه با قدمتی بیش از پنجاه سال در حال انجام است. با وجود اهمیتی که این گیاه در کشور دارد، کشت و زرع آن با معضلاتی روبروست که از آن جمله می‌توان به تراکم و تخریب ساختمان خاک اشاره کرد. ذرات خاک به ندرت به صورت منفرد و مجزا از هم یافت می‌شوند. خاکدانه‌ها از نوآرایی، هم آرایی و سیمانی شدن ذرات توسط واسطه‌هایی از جمله کربن آلی، ترشحات میکروارگانیسم‌ها، پل‌های یونی، رس و کربنات‌ها شکل می‌گیرند(برونیک و لال، 2005). بنابراین در حال حاضر، تخریب ساختمان خاک و ایجاد سله‌های سطحی از جمله مشکلاتی است که کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان با آن روبرو هستند. از طرفی مقدار کمّی و تفسیر پایداری خاکدانه‌ها علاوه بر ویژگی‌های ذاتی خاک به عوامل خارجی همچون روش اندازه‌گیری نیز وابسته می‌باشد (ژانگ و هوم، 2001). با وجود استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، عملکرد زراعی نیشکر روند کاهشی داشته است. طولانی بودن دوره کشت نیشکر (12 تا 14 ماه)، مصرف زیاد آب آبیاری (30000 مترمکعب در هر هکتار در 25 الی 30 نوبت آبیاری) و استفاده گسترده از ماشین آلات سنگین کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت نیشکر، می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. کشت نیشکر به‌ویژه کشت مستمر به صورت تک کشتی به‌دلیل شخم عمیق، کوددهی بیش از حد، عدم بازیافت بقایای آلی و استفاده گسترده از ادوات کشاورزی می‌تواند سبب کاهش کیفیت خاک شود (بهروان و همکاران، 1392 و لندی و همکاران، 1397). چگالی ظاهری بهینه خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه $Mg\ m^{-3}$ 1/3-1/2 گزارش شده است (هانسیگی،2001). هامبورت (1968) گزارش کرد که با افزایش چگالی ظاهری خاک از 1/1 به محدودکننده$Mg\ m^{-3}$ 1/6 توسعه ریشه نیشکر به تدریج کند می‌شود. حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه $Mg\ m^{-3}$ 1/8-1/9 است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه عملاً متوقف می‌شود. در چنین خاک‌های فشرده، دسترسی به اکسیژن کم بوده که منجر به کاهش جذب آب و مواد غذایی می‌شود. با توجه به این که حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای ریشه گیاه بسته به نوع بافت خاک فرق می‌کند، بنابراین، اخیراً پژوهشگران حد بحرانی چگالی ظاهری را به‌عنوان تابعی از درصد رس خاک بیان نموده و برای مستقل نمودن چگالی ظاهری بحرانی از بافت خاک، از کمیت چگالی ظاهری نسبی (درجه تراکم) استفاده کرده‌اند (هاکانسون و لیپیک، 2000).

نتایج مطالعات مختلف نشان داده که ارتباط زیادی میان سابقه کشت و ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله مواد آلی خاک وجود دارد (بهروان و همکاران، 1392). دراین رابطه سیلوا و همکاران (2007) با بررسی اثر کشت مداوم نیشکر بر مواد آلی خاک در برزیل گزارش کردند که درصد ماده آلی خاک پس از 2 سال کشت کاهش

یافت در حالیکه کشت دراز مدت نیشکر، موجب افزایش ماده آلی خاک شده‌است. عملیات مدیریتی در کاربری زراعت، مهمترین عامل تعیین کننده و قابل کنترل در تغییرپذیری کربن آلی خاک می باشد. برخی از این عملیات‌ها شامل تغییر کاربری عرصه‌های جنگل و مرتع به زراعت، کاربرد ادوات و شدت خاک ورزی، آیش و تناوب زراعی، مدیریت بقایای گیاهی،کاربرد کودهای سبز و کودهای دامی می باشد. در مطالعه‌ای در آمریکا نشان داده شد که می‌توان در عرصه‌های زراعی با اعمال خاکورزی حفاظتی، بین 30 تا 105 میلیون تن کربن به ذخیره کربن اراضی افزود. ضمن آن که اعمال سیستم تناوبی کشاورزی حفاظتی بین 14 تا 29 میلون تن کربن‌آلی به ذخیره این خاک‌ها اضافه نمود (فولت، 2001).

تخمین پتانسیل ترسیب کربن خاک، نیز یک فرآیند پیچیده است و به دانستن این که زمین چگونه اداره می‌شود و تحت عملیات مدیریتی مختلف چه میزان کربن ترسیب شده است، نیازمند می‌باشد. از راهکارهایی که امروزه برای مدیریت میزان کربن پیشنهاد می‌شود، افزایش میزان تجمع کربن به شیوه ترسیب کربن است که از طریق ایجاد یا افزایش میزان نگهدارنده‌های کربن (گیاهان)انجام می‌شود. فاکتورهایی مانند شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی طبیعی، بافت خاک و زهکشی می‌توانند میزان و مدت زمانی که کربن می‌تواند ذخیره شود را تحت تأثیر قرار دهند.

کشت گیاه نیشکر با شرایط منحصر به فرد جهت رشد مانند دوره کشت طولانی، مصرف زیاد آب و استفاده گسترده از ادوات سنگین کشاورزی در مراحل مختلف کشت و کار، می‌تواند بر خصوصیات خاک و در نتیجه حفظ منابع خاک، اثرات مختلفی داشته باشد. بنابراین با توجه به اینکه گیاه نیشکر با دارا بودن چرخه فتوسنتزی چهار کربنه و تولید زیست توده فراوان از گیاهان زراعی اصلی استان خوزستان محسوب می شود و نیشکر گیاهی چند منظوره است که عمدتاً در قسمت‌های جنوب غربی ایران کشت می‌شود. کربن آلی خاک کلیدی‌ترین عامل در باروری و کیفیت خاک و حفاظت محیط زیست، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و تنها ابزار شناخته شده برای اصلاح تغییرات اقلیمی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد. آگاهی از وضعیت ذخیره کربن آلی خاک و تأثیر مراحل مختلف رشد گیاه در ذخیره کربن آلی خاک، در راستای کاهش تغییرات اقلیمی ناشی ازگازهای گلخانه‌ای امری لازم و ضروری می‌باشد. تاکنون در مورد تأثیر مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک و قابلیت ترسیب کربن در خاک مزارع نیشکر ایران پژوهش‌های کافی و جامعی صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر جهت بررسی اثر مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ارزیابی ظرفیت ترسیب کربن برخی اراضی کشت و صنعت نیشکر جنوب استان خوزستان شده انجام است.

مواد و روش‌ها

توصیف منطقه مورد بررسی

استان خوزستان در محدوده ای به وسعت 63213 کیلومتر مربع و طول جغرافیایی ´40 °47 تا ´ 39 °50 شرقی و ´ 57 °29 تا ´00 °33 عرض شمالی قرار گرفته است. با توجه به وجود منابع غنی آب و خاک در جلگه خوزستان، اهمیت و قدمت کشت و تولید نیشکر در این استان، برای اجرای این پروژه کشت و صنعت‌های جنوب استان انتخاب گردید (سید جلالی و همکاران، 1399). بدین منظور تعدادی پروفیل و مته در مزارع کشت و صنعت‌های جنوب استان خوزستان (شکل 1) حفر و با توجه به ماهیت تحقیق حاضر تعداد 30 سایت برای این پژوهش انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت (خصوصیات اقلیمی، فیزیوگرافی و مواد مادری در سیستم‌های فوق‌الذکر کاملا مشابه یکدیگر می‌باشد). و در ضمن پرسشنامه توصیف کاربری سرزمین برای این نقاط نیز تکمیل گردید و اطلاعات شناسنامه مزارع این کشت و صنعت‌ها از جمله اطلاعات موجود مربوط به مراحل مختلف رشد نیشکر بررسی شد. سپس

بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و تراکم خاک، ترسیب کربن در خاک رویشگاه گیاه نیشکر در پنج مرحله رشد گیاه پلنت، راتون 1 ، راتون 2 ، راتون 3 و راتون 4 (کشت سال اول به پلنت و کشت سال دوم به بعد به راتون 1، 2 ، 3 و...موسوم است) به عنوان تیمار با 6 تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در انجام گردید. با توجه به اینکه، در پیمان کیوتو نیز برای کنترل انتشار کربن، چگالی کربن خاک تا عمق 30 سانتیمتر به عنوان معیار یا استاندارد بین المللی انتخاب شده است (نیشابوری و ریحانی تبار ، 1389)، بنابراین نمونه‌برداری خاک از عمق 0 تا 30 سانتیمتری صرف‌نظر از نوع افق خاکرخ‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شده و پس از هوا خشک شدن و آماده‌سازی نمونه ها، در نهایت خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (بویکوس، 1962) ، pH خاک در گل اشباع (توماس، 1996)، هدایت الکتریکی (راول، 1994)،کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک به روش آلیسون و مودی (1965)، تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک 5 نرمال (آنجیونونی و همکاران، 1996)، میزان کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (والکی و بلک، 1934)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (کائو، 1996)، چگالی ظاهری(BD) به روش سیلندری(بلک و هارتگ، 1986)، نسبت جذب سدیم(SAR) به کمک روش‌های معمول آزمایشگاهی شامل اندازه گیری کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک توسط روش کمپلکسومتری و از طریق تیتراسیون با ورسین در حضور معرف‌های اریوکروم بلک‌تی و موروکساید و سدیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک و به وسیله دستگاه فلیم فتومتر (پاگ و همکاران، 1982) اندازه‌گیری شدند.

میزان ترسیب کربن موجود در خاک بر حسب تن بر هکتار بر اساس معادله زیر برآورد شد. CS= OC (%) ×BD×E

که در آن CS: مقدار *ترسیب کربن در خاک بر حسب* $ton.ha^{-1}$، *OC: کربن آلی برحسب درصد*، *BD: جرم مخصوص* ظاهری بر حسب $g.cm^{-1}$، و E ضخامت لایه خاک برحسب cm برای ارزیابی تراکم پذیری خاک‌های مورد بررسی از شاخص فیزیکی تحت عنوان جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص ظاهری نسبی (RBD) استفاده شد (ویسی تبار و همکاران، 1394). برای محاسبه این شاخص در ابتدا جرم مخصوص ظاهری مرجع (BD_{Ref}) با توجه به درصد رس خاک با استفاده از معادله جونز (1983) محاسبه شد:

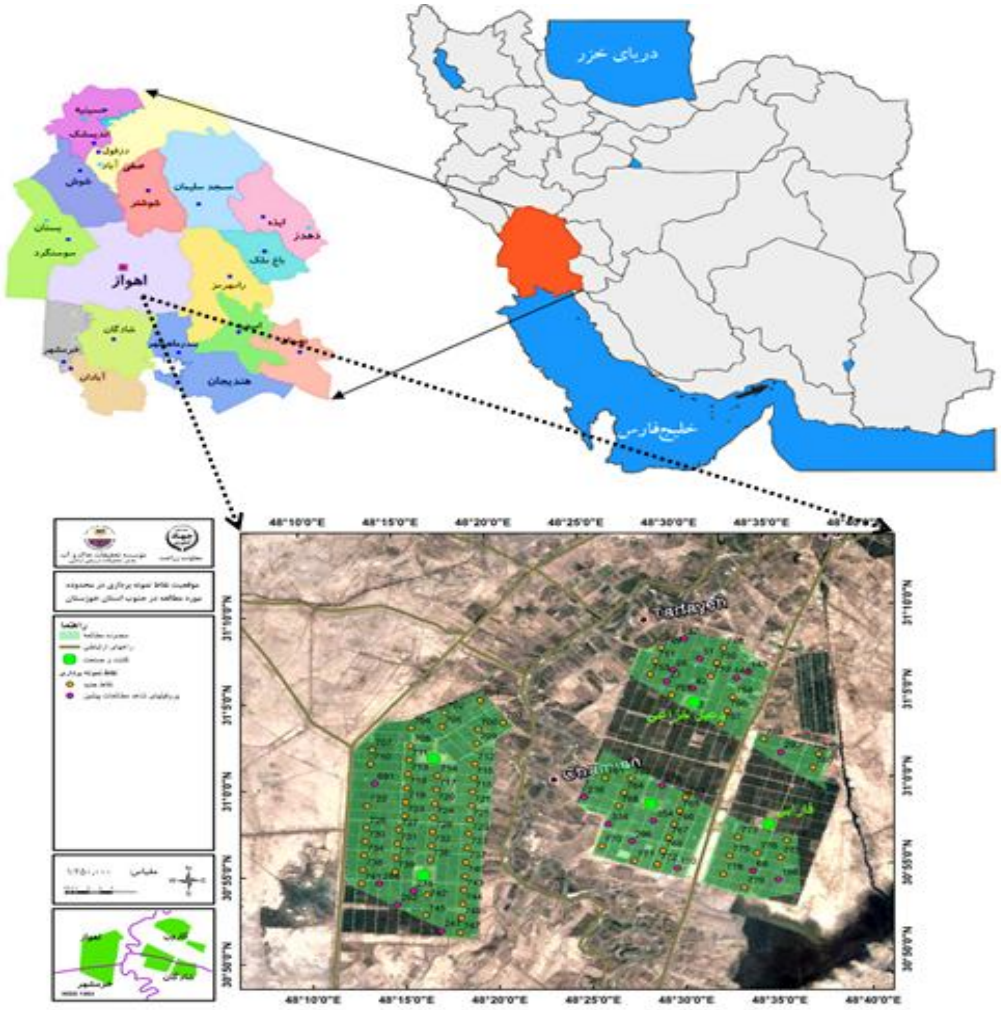
BD_{Ref} (Mg m^{-3}) = 1/985-0/00857 clay%

در نهایت جرم مخصوص ظاهری نسبی(RBD) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RBD = \frac{BD}{BD_{Ref}}$$

پردازش آماری داده‌ها

در پژوهش حاضر نقاط مطالعاتی به نحوی انتخاب شدند که تا حد ممکن اثرات سایر عوامل مانند مدیریت، اقلیم تا حد ممکن برای تمام مزارع شرایط تقریباً مشابهی داشته باشد تا بتوان اثرات مراحل مختلف رشد نیشکر بر خصوصیات خاک و ترسیب کربن را ازنظر آماری تجزیه و تحلیل نمود. تجزیه و تحلیل آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراحل مختلف رشد، در قالب طرح کاملا تصادفی (پنج تیمار با شش تکرار) و با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک و اندوخته کربن در خاک از آزمون دانکن در سطح احتمال0/01 درصد و برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و محل حفر پروفیل و مته در کشت و صنعت های خوزستان

نتایج و بحث

شرح کلی خاک‌های اراضی مورد بحث

مناطق مورد مطالعه از لحاظ فیزیوگرافی، دشت آبرفتی رودخانه ای محسوب می‌شود. خاک غالب منطقه مورد مطالعه در راسته‌های اریدی سولز و انتی سولز قرار دارد. بافت خاک کلاً متوسط تا سنگین(گاهی بسیار سنگین) همراه با نفوذپذیری آهسته تا خیلی آهسته است. املاح محلول و کربناتها در بیشتر افق‌های خاک به مقدار زیاد وجود داشته و در برخی مناطق تجمع نمک‌های محلول منجر به تشکیل افق نمکی در خاک شده است. خـاک‌ها عمـوماً بدون ساختمان یا دارای ساختمان ضعیف می‌باشند. در سطح وسیعی از اراضی به همراه شوری خاک حالت سدیمی بودن نیز مشاهده می‌شود. عمده‌ترین سازندهای زمین شناسی سنگهای دوران دوم و سوم زمین شناسی است که غالباً به رخساره آهک، شیل، مارن، گچ و کنگلومرا دیده می‌شوند.

نتایج آماری اراضی مورد مطالعه

بررسی نتایج آمار توصیفی خصوصیات اراضی نیشکرانتخابی مورد مطالعه ارائه شده در جدول 1 نشان می‌دهد دامنه تغییرات آهک زیاد بوده و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب 39/50، 49/90 و 45/22

درصد می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد شوری خاک از 1/44 تا 14/50 دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. مقدار میانگین این خصوصیت در اراضی مورد بررسی 4/71 دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین درصد شن حدود 17/86 درصد و حداقل و حداکثر آن 5/00 و 30/00 درصد می‌باشد. نکته قابل توجه این است که بافت غالب اراضی مورد بررسی متوسط تا بافت‌های سنگین‌تر قرار دارند. مقدار رس در اراضی نیشکر بررسی شده متغیر بوده و از 24/00 تا 50/00 درصد تغییر می‌کند. تأثیر مقادیر رس بر رشد و عملکرد گیاه نیشکر متفاوت است. اسیدیته خاک در اراضی بررسی شده از 7/66 تا 8/37 متغیر و میانگین اسیدیته خاک 8/02 گزارش شده است. دامنه تغییرات این ویژگی نسبت به سایر خصوصیات اراضی محدودتر می‌باشد. میانگین، حداقل و حداکثر پتاسیم قابل جذب به‌ترتیب 116/03، 37/62 و 263/23 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر فسفر قابل جذب به‌ترتیب 4/23، 0/00 و 12/40 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین فسفر خاک در اراضی نیشکر بررسی‌شده از حدود بحرانی گیاه نیشکر (10تا 12 میلی‌گرم برکیلوگرم) کمتر است. ظرفیت تبادل کاتیونی در اراضی بررسی شده از 8/89 تا 24/25 متغیر و میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک 14/44 سانتی مول بر کیلوگرم گزارش شده است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ویژگی مهمی به حساب می آید در زمین‌های خوزستان به دلیل کمبود ماده آلی و نوع رس غالب که عمدتاً ایلیت و کلریت می باشد نسبتاً کم است است که با عملیات کشت و کار افزایش می‌یابد که چون میزان مواد آلی و بویژه نوع رس خاک تعیین کننده ظرفیت تبادل کاتیونی هر خاک می‌باشد. و ترکیب کانی‌شناسی رس در خلال دوره‌های کوتاه مدت تغییر چندانی ندارد لذا به نظر می‌رسد در تحقیق حاضر سهم میزان ماده آلی در تغییر ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک اهمیت بیشتری داشت. در متغیرهای مطالعه شده، اسیدیته خاک، درصد کربن‌آلی و نیتروژن قابل جذب، در یک دامنه کم پراکنده هستند. واریانس و انحراف معیار از شاخص‌های پراکندگی می‌باشند که نتایج آن در جدول آمار توصیفی محاسبه شده است. هر چه مقدار واریانس کمتر باشد، پراکندگی داده‌ها کمتر است و بالعکس. بررسی این شاخص‌ها برای متغیرهای بررسی‌شده نشان می‌دهد که واریانس متغیرها برای شوری، پتاسیم، شن، سیلت و مقدار رس زیاد و برای اسیدیته، درصد نیتروژن و کربن آلی، ناچیز می‌باشد. بنابراین اکثر داده‌ها دارای گستردگی زیادی هستند. همچنین انحراف استاندارد نیز هر چه کوچک‌تر باشد، نشان می‌دهد متغیرها متجانس‌تر هستند. در جدول آمار توصیفی، حداکثر، حداقل و دامنه تغییرات نیز ذکر شده است. در یک توزیع متقارن، مقدار چولگی صفر و کشیدگی، یک است. در توزیع نامتقارن، مقادیر مثبت و منفی می‌باشند و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، عدم تقارن شدیدتر است. مقادیر چولگی و کشیدگی بین 2 تا 2- قرار داشت. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد از نظر چولگی و کشیدگی، همه داده‌ها نرمال می‌باشند. همانطور که که در جدول 1 ارائه شده است بیشترین مقدار چولگی و کشیدگی مربوط به شوری خاک بود. همچنین برای بررسی نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون کلموگراف- اسمیرنوف استفاده شد که نتایج آن در جدول 1 مشاهده می‌گردد.

ارزیابی تغییرات ویژگی‌های خاک در مرحل مختلف رشد نیشکر

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جداول 2 و 3) نشان داد که در اثر تغییرات مراحل مختلف رشد نیشکر، در اکثر خصوصیات فیزیکی به استثنای جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول 1- برخی پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه

CEC	PH	EC	CCE*	N	OC	CS**	K	P	BD	SI	Clay	Silt	Sand	
$Cmol(+).kg^{-1}$		$dS.m^{-1}$		%		$ton.ha^{-1}$	$Mg.kg^{-1}$		$g.cm^{-3}$		%			
14/48	8/02	4/71	45/22	0/04	0/44	22/42	116/03	4/23	1/71	0/96	39/20	42/93	17/86	Mean
4/41	0/17	3/08	2/35	0/02	0/20	9/84	59/41	2/86	0/07	0/43	8/08	6/70	6/57	SD
19/52	0/03	9/48	5/51	0/00	0/04	96/6	3529/00	8/18	0/01	0/18	65/40	44/89	43/22	Variance
0/30	0/24	1/31	-0/17	0/37	0/46	0/38	1/02	0/93	-0/31	0/31	-0/45	0/12	-0/02	Skewness
-0/82	-0/18	1/93	-0/07	-0/94	-0/62	-0/81	-0/01	0/82	-0/92	-1/14	-1/17	-0/56	-0/78	Kurtosis
15/36	0/71	13/06	10/40	0/06	0/71	35/75	225/61	12/40	0/27	1/49	26/00	25/00	25/00	Range
8/89	7/66	1/44	39/50	0/01	0/14	6/93	37/62	0/00	1/55	0/28	24/00	30/00	5/00	Minimum
24/25	8/37	14/50	49/90	0/07	0/85	42/68	263/23	12/40	1/82	1/77	50/00	55/00	30/00	Maximum
30/45	2/16	65/37	5/19	45/00	44/62	43/88	51/20	67/64	4/32	44/79	20/61	15/60	36/78	%CV
0/970	0/927	0/535	0/897	0/528	0/867	0/833	0/161	0/535	0/782	0/556	0/439	0/736	0/469	K-S

*کربنات کلسیم معادل، **ترسیب کربن

از بین خواص شیمیایی خاک نیز فقط میزان قابلیت هدایت الکتریکی‌و میزان ترسیب کربن به طور قابل توجهی متفاوت بودند، همچنین نتایج جدول نشان داد سیستم‌های کشت تأثیر قابل توجهی‌در ذخیره‌سازی کربن‌آلی نداشتند (جدول 2). به عبارتی دیگر نتایج تحلیل واریانس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی‌خاک و میزان ترسیب‌کربن در مراحل مختلف رشد (جدول 2و3) نشان داد که تأثیر تیمارهای مراحل مختلف رشد بر مقادیر جرم مخصوص ظاهری و میزان ترسیب کربن در تراز 1 درصد و بر هدایت الکتریکی در تراز 5 درصد معنی دار است.

جدول 2- تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

منابع تغییرات	درجه آزادی	شن	سیلت	رس	پایداری	جرم مخصوص
تیمار[1]	4	72/11 ns	94/64 ns	179/75 ns	0/183ns	0/017**
خطای آزمایش	25	38/60	36/93	47/11	0/166	0/004
خطای استاندارد	-	1/20	1/22	1/47	0/08	0/01

[1]پنج مرحله رشد گیاه نیشکر (پلنت، راتون 1 ، راتون 2 ، راتون 3 و راتون4) ، ** معنی دار در سطح 1% و * معنی دار در سطح 5%، ns غیر معنی دار

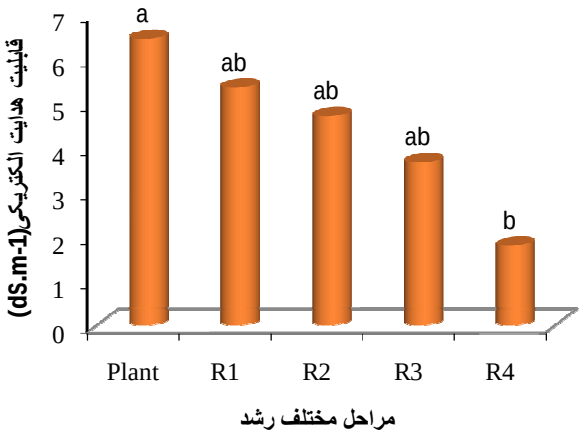
جدول 3- تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	کربن آلی	ترسیب کربن	آهک	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	اسیدیته خاک
تیمار[1]	4	12/18ns	3791/62ns	0/039ns	116/18**	10/65 ns	129/92*	75/26ns	0/41ns
خطای آزمایش	25	7/53	3487/19	0/038	5/59	4/68	753/08	10/60	0/028
خطای استاندارد	-	0/52	1/1	0/03	1/51	0/42	0/56	0/80	0/03

[1]پنج مرحله رشد گیاه نیشکر (پلنت، راتون 1 ، راتون 2 ، راتون 3 و راتون4) ، ** معنی دار در سطح 1% و * معنی دار در سطح 5%، ns غیر معنی دار

اسیدیته و شوری خاک

اسیدیته خاک در یک منطقه به ماهیت موادمادری، آب و هوای منطقه، موادآلی و توپوگرافی وابسته است (تامیرات، 1992). اسیدیته خاک در مراحل مختلف رشد و اثر مدیریت‌های مختلف آن ممکن است تغییر نماید ولی در این پژوهش و با توجه به نتایج تحلیل آماری (جدول 2) تفاوت معنی‌داری در میزان اسیدیته خاک در مراحل مختلف رشد مشاهده نشد. هرچند این امر می‌تواند به قدرت زیاد بافری خاک و مقدار بالای کربنات‌ها در این اراضی نسبت داده شود. میزان نسبی کربنات کلسیم در خاک‌های این منطقه بالاست که به سبب نوع مواد مادری خاک این مناطق می‌باشد (جعفری و نادیان، 1393). نتایج مقایسه‌ی میانگین برخی ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر در شکل‌های 1 تا 5 نشان داده شده است. میانگین میزان املاح موجود در عصاره خاک اراضی تحت کشت در مراحل مختلف رشد کاهش چشم‌گیری نشان می‌دهد به گونه‌ای که باعث تفاوت معنی‌داری در تیمارها شده است (شکل 1). به طوری که بیشترین میزان شوری در تیمار پلنت و کمترین میزان املاح در تیمار راتون 4 یا همان تیمار شماره پنج مشاهده شد. کشت نیشکر در زمین‌های بایر در شرایط اقلیمی خوزستان که آبیاری به‌میزان زیاد و حدود 30000 مترمکعب در هکتار در سال انجام می‌شود، باعث کاهش شوری خاک و بهبود شرایط خاک از این لحاظ شده است. این نتایج با یافته‌های گل (2009)مطابقت دارد که نشان داد املاح محلول اراضی کشت‌شده به تدریج در اثر آبیاری مکرر، شسته و از خاک خارج می‌شوند.



شکل 1- مقایسه میانگین میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مراحل مختلف رشد نیشکر(پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون4)

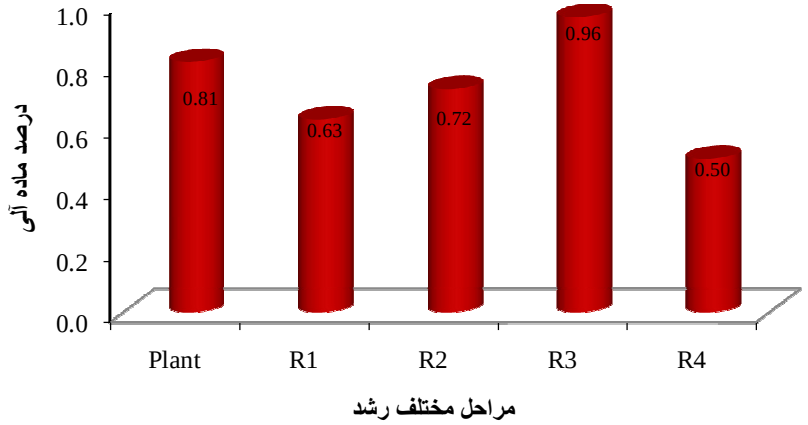
بافت خاک و کربنات کلسیم

بررسی‌های تحلیل آماری نشان داد که میانگین بیشترین درصد شن، سیلت و به طبع آن میزان رس موجود در بافت خاک در مرحله رشد راتون سه، راتون یک و راتون چهار به ترتیب با میانگین 17/8، 43/5 و 42/5درصد بود که در این اجزا در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تغییرات جزئی در میزان نسبی اندازه ذرات در تیمارهای مختلف شاید بدین دلیل باشد که در اثر آبیاری بیشتر و پیشرفت به سمت مراحل رشد بیشتر اراضی ذرات ریز از لایه‌های سطحی شسته شده و به اعماق پایین تر منتقل شده‌اند، هر چند در مراحل مختلف بافت خاک ثابت بود و براساس مثلث بافت خاک، بافت خاک رسی سیلتی (silty clay) بدست آمد. با توجه به واحد فیزیوگرافی منطقه مورد بررسی که دشت آبرفتی محسوب می‌شود، بخشی از تغییرات ممکن است به افزایش ذرات مواد معلق همراه با آب آبیاری و یا حرکت روان آبها نیز نسبت داده شود. لندی و همکاران (1397) نیز در مطالعه خود در خاکهای بایر و خاک‌هایی تحت کشت نیشکر امیر کبیر که به مدت کمتر حدود 5 سال کشت شده بودند در میانگین درصد شن تفاوتی مشاهده نکردند. میانگین کربنات کلسیم حدود 45/22 درصد بدست آمد که بیشترین مقدار در تیمار پلنت مشاهده شد، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین مراحل مختلف رشد وجود نداشت. در استان خوزستان، با توجه به بالا بودن میزان عناصر کلسیم، منیزیم و بطور کلی املاح موجود در آب آبیاری، روابط تعادلی عناصر در خاک و رسوب و تشکیل کربنات‌ها، به شدت تحت تأثیرغلظت املاح، میزان حجم آبیاری و شستشوی املاح قرار می‌گیرد. و از طرفی میزان نسبی کربنات کلسیم در خاک‌های این منطقه بالاست که به سبب نوع مواد مادری خاک این مناطق می‌باشد (جعفری و نادیان، 1393).

ماده آلی

نتایج بررسی‌های پژوهش حاضر نشان‌داد که متوسط ماده‌آلی خاک مزارع نیشکر مورد آزمایش 0/75 درصد می‌باشد(با انحراف معیار0/335) و مقادیر حداقل وحدکثر سطح آن به ترتیب 0/25 و 1/47 درصد بدست آمد. و اختلاف معنی‌داری بین مراحل مختلف رشد از نظر ماده آلی وجود نداشت(شکل 2)، هر چند که بیشترین و کمترین میزان درصد ماده آلی در تیمارهای راتون سه و چهار به ترتیب به میزان 0/96 و 0/5 درصد بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که، میانگین ماده آلی خاک مزارع نیشکر مورد آزمایش نسبتا پایین است، بطوریکه کمتر از 1 %بوده و علاوه بر مسئله تغذیه، پایداری خاکدانه‌ها نیز به دلیل پایین بودن سطح کربن آلی خاک کم خواهد بود (هازلتون و مرفی، 2016). از آنجا که

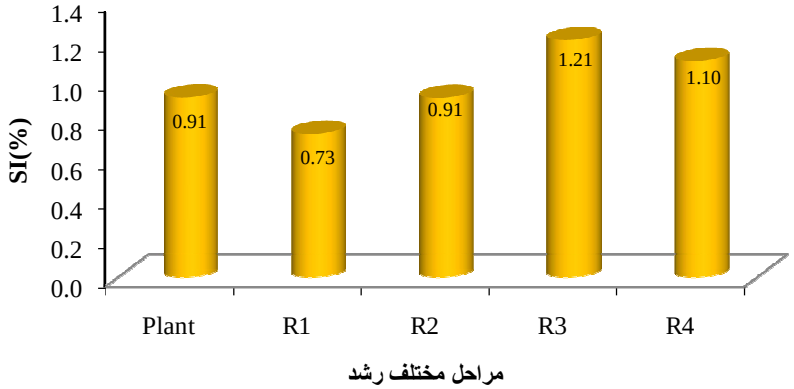
میزان ماده‌آلی خاک در هر منطقه توسط اقلیم (دما و رطوبت) و عوامل بیولوژیکی (از جمله برگرداندن بقایای گیاهی) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کنترل می‌شود، در مناطق خشک، به دلیل کمبود برگشت بقایای گیاهی و دمای بالا، میزان کربن‌آلی خاک، بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرند و چون کربن‌آلی خاک سریعتر و بیشتر از هر ویژگی دیگر خاک، تحت تأثیر اقدامات مدیریتی قرار می‌گیرد، هر گونه تغییر در مدیریت اراضی، می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف داشته باشد. در منطقه مورد مطالعه نیز، مدیریت بقایای گیاهی نقش مهمی در ذخیره کربن‌آلی خاک داشته است (خورده‌بین و همکاران، 1399).



شکل 2- مقایسه وضعیت درصد ماده آلی در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر(پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون4)

شاخص پایداری خاکدانه‌ها

شاخص پایداری خاکدانه‌ها (Stability index, SI) که خطر تخریب ساختمان خاک در اثر کشت و کار را نشان می‌دهد با توجه به اطلاعات موجود در پروژه به صورت زیر در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر در اراضی مورد مطالعه محاسبه شد (پیری و همکاران، 1995): $SI = \frac{1.724OC}{(Silt+Clay)} \times 100$ که در این معادله OC میزان کربن آلی، (Silt+Clay) مجموعه درصد رس و سیلت است، مقدار SI بزرگتر از 9 درصد نمایانگر پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. با توجه نتایج به دست آمده در شکل 3 ملاحظه می‌گردد که تیمارهای مختلف (مراحل رشد) از لحاظ پایداری خاکدانه‌ها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، هر چند که بیشترین مقدار شاخص پایداری خاکدانه ها (SI) در مرحله رشد راتون 3 (1/21 درصد) و کمترین مقدار آن در اراضی تیمار راتون1 (به میزان 0/73 درصد) بدست آمد که نتیجه را می‌توان این طوری توجیه کرد که مرحله راتون 3 به علت داشتن حداکثر مقدار ماده آلی در بین مراحل رشد مورد بررسی اراضی نیشکر به علت اینکه کربن آلی خاک عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی مؤثر و کیفیت خاک معرفی شده است از طریق تأثیری که بر هم‌آوری و چسبندگی خاکدانه‌ها داشته توانسته ویژگی‌های ساختمانی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردد (نصرتی، 2012).



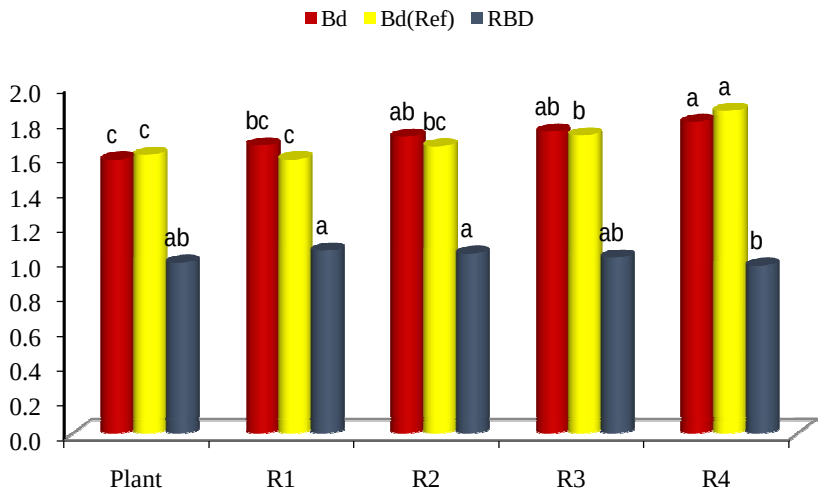
شکل 3- مقایسه وضعیت درصد پایداری خاکدانه ها در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر (پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3، راتون4)

جرم مخصوص ظاهری

جرم مخصوص ظاهری خاک به شدت وابسته به بافت خاک و تراکم ذرات شن، سیلت و رس خاک و مادهٔ آلی و همچنین نحوهٔ آرایش ذرات است (ساکین و همکاران، 2011). پایداری خاکدانه وابسته به تعامل بین ذرات اولیه و ترکیبات‌آلی است تا بتوان خاکدانه‌های پایدار به وجود آورد که توسط عوامل مختلف مربوط به شرایط محیطی خاک و شیوه‌های مدیریتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (ایوبی و همکاران، 2011). نتایج پژوهش نشان داد که مراحل مختلف کشت اثر معنی‌دار بر مقدار چگالی ظاهری مزارع داشته است به طوری که بیشترین مقدار به میزان 1/79گرم بر سانتیمتر مکعب در تیمار راتون 4 و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار پلنت بود و میانگین مقدار در تمام خاک‌های مورد مطالعه 1/71گرم بر سانتیمتر مکعب بود و در اکثر بافت‌ها و تحت حالت‌های مختلف کشت، چگالی ظاهری خاک از مقدار محدودکننده $1/6\ Mg\ m^{-3}$ بیشتر بود (شکل 4). هامبورت (1968) گزارش کرد که با افزایش چگالی ظاهری خاک از 1/1 به محدودکننده $1/6\ Mg\ m^{-3}$ توسعه ریشه نیشکر به تدریج کند می‌شود. حد بحرانی چگالی ظاهری خاک برای رشد ریشه نیشکر در دامنه $1/8\text{-}1/9\ Mg\ m^{-3}$ است که در این حد از فشردگی خاک، رشد و توسعه ریشه عملاً متوقف می‌شود. در چنین خاک‌های فشرده، دسترسی به اکسیژن کم بوده که منجر به کاهش جذب آب و مواد غذایی می‌شود.

مقایسه مقادیر جرم مخصوص ظاهری به دست آمده با حد بهینه (0/85) نتایج نشان داد که بیشتر مقادیر به‌دست آمده بیش از حد بهینه برای رشد ریشه گیاه بود که بیانگر فشردگی بیش از حد خاک‌های مزارع نیشکر می‌باشد. بنابراین با توجه به تفاوت بافت خاک در مزارع تحت کشت نیشکر، برای بیان درجه فشردگی خاک‌های مختلف و مقایسه نسبی آنها با هم، علاوه بر جرم مخصوص ظاهری، از جرم مخصوص ظاهری نسبی نیز استفاده شد. مقادیر (RBD) خاک در مزارع مورد بررسی در شکل 4 نشان داده شده است. بررسی‌های هکنسون و لیپیک (2000) و ریچرت و همکاران (2009) نشان می‌دهد که برای رشد و نمو ریشه و جذب عناصر غذایی، جرم مخصوص ظاهری نسبی بهینه بین 0/85 تا 0/9 می‌باشد. مقادیر جرم مخصوص ظاهری نسبی نیز تحت تأثیر مراحل مختلف کشت نیشکر و مقایسه جرم مخصوص ظاهری نسبی محاسبه شده با مقدار بهینه پیشنهادی نشان می‌دهد که در تمامی موارد جرم مخصوص ظاهری نسبی خاک مزارع از این حدود بهینه بیشتر است که بیانگر تراکم

و فشردگی بیش از حد خاک های مزارع نیشکر می‌باشد.که با نتایج برانک و همکاران (2006) مطابقت دارد.

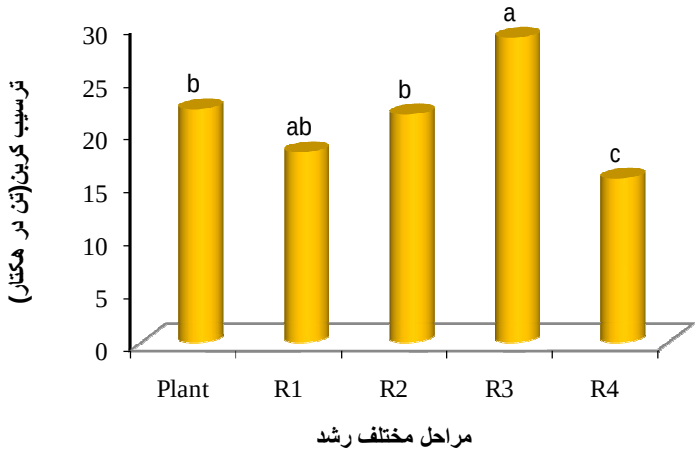


شکل 4- مقایسه مقادیر جرم مخصوص ظاهری و ظاهری نسبی در اراضی مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد نیشکر

اثرات مراحل مختلف رشد نیشکر برترسیب کربن

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در جو زمین به عنوان اصلی‌ترین عامل تغییرات اقلیمی است که تغییر در اکوسیستم‌ها و در نتیجه کاهش تنوع زیستی از عواقب و خسارات ناشی از آن می‌باشد. یکی از گزینه‌های پیش روی بشر برای جلوگیری از روند افزایشی غلظت کربن در اتمسفر کاهش خروج این گاز از خاک می‌باشد. ارزان ترین روش برای کاهش خروج گاز دی اکسید کربن از خاک، تبدیل این گاز به ترکیبات‌آلی یا اصطلاحاً ترسیب کربن می‌باشد که فرایندی طبیعی در خاک‌ها است. براساس گزارش‌های موجود بیشترین علت گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی ناشی از آن تأثیر گازهای گلخانه-ای به خصوص دی اکسیدکربن می‌باشد. ترسیب کربن در خاک و زیست توده گیاهی به عنوان ساده ترین گزینه و از نظر اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش غـلظت دی اکسیدکربن اتمسفری است. گیاه نیشکر با دارا بودن چرخه فتوسنتزی چهار کربنه و تولید زیست توده فراوان از گیاهان زراعی اصلی استان خوزستان محسوب می‌شـود. بـدین منظور نتایج تجزیه و تحلیل آماری نمونه خاک رویشگاه گیاه نیشکر در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار ترسیب کربن در تیمارهای پلنت، راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4 مطابق با شکل 6 به ترتیب 22/07، 21/۱۸،۵۶/02، 28/84، و 15/50 تن درهکتار است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار می‌باشد (شکل 5). همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نیز نشان دارد که میزان ترسیب کربن خاک در تیمارهای موجود در سطح 1 درصد معنی‌دار می‌باشد. دلیل بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن را می‌توان به پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه وجود بقایای گیاهی بیشتر و عدم آتش سوزی بقایای گیاهی نسبت داد زیرا بقایای گیاهی با کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت برای رشد گیاهان، اثر مثبتی بر پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. با توجه به اینکه هر تیمار حدود 25 هکتار می‌باشد و هرتن کربن آلی معادل 3/67 تن دی اکسیدکربن می‌باشد با میزان دی اکسیدکربن با اعمال ضریب مذکور در میزان ترسیب کربن در تیمارهای پلنت،

راتون 1، راتون 2، راتون 3 و راتون 4 به ترتیب 2025/4، 1978/۱۶۵۳،۵/5، 2645/9، و 1422/2 تن درهکتار است. بنابراین ذخیره کربن خاک در مراحل مختلف رشد به طور قابل توجهی در این مطالعه متفاوت بود. کربن آلی خاک مستقیماً تحت تأثیر مدیریت مزرعه مانند نوع محصول، کوددهی، شدت خاکورزی، راندمان آبیاری، شیوه‌های برداشت و طول دوره زندگی گیاهان زراعی قرار می‌گیرد (فریباور و همکاران، 2004 ؛ اسمیت ، 2004). با توجه به نتیجه این تحقیق بافت خاک و به ویژه درصد سیلت و رس، میزان فسفر و نیتروژن، شوری، اسیدیته و درصد کربن آلی خاک به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند. به طوری که تیمار راتون 3 با بیشترین مقدار ماده آلی بیشترین مقدار ترسیب کربن را نیز شامل شده است. ریدر و شومان (2002) گزارش کردند که بافت خاک و به ویژه محتوای رس است نقش مهمی در توانایی ترسیب کربن خاک دارند. نتایج مطالعه (گارتن، 2002) نشان داد که ترسیب کربن خاک با ماده آلی و درصد سیلت و رس همبستگی داشت.



شکل 5- میزان ترسیب کربن خاک در مراحل مختلف رشد گیاه نیشکر

نتایج همبستگی نشان داد که بین خصوصیات مورد مطالعه روابط متفاوتی وجود داشت، به طور مثال درصد رس، میزان پتاسیم و نیتروژن و درصد سیلت خاک، اسیدیته و شوری به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند که رابطه مثبت و معنی‌دار آنها با مقدار ترسیب کربن در جدول 4 ارائه شده است. ریدر و شومان (2002)گزارش کردند که بافت خاک و به ویژه محتوای رس است نقش مهمی در توانایی ترسیب کربن خاک دارند . تغییرات اسیدیته خاک موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط اکوسیستم می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند. همچنین اسیدیته خاک در اثر مدیریت‌های مختلف اراضی ممکن است تغییر یابد (آگستو و همکاران، 2002) آهک خاک دارای رابطه مثبت و معنی‌داری با مقدار شاخص پایداری دارد که توجیه این موضوع را می‌توان به نقش مثبت آهک در بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها و تأثیر مثبت بر تغذیه گیاه به دلیل وجود ترکیبات کلسیم و منیزیم نسبت داد (قریشی و همکاران، 1392). همچنین در بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها، بیشترین نقش مربوط به کربن آلی، میزان سیلت، اسیدیته و شوری و کربنات کلسیم معادل بودند.

نتیجه‌گیری کلی

نیشکر گیاهی دائمی و از خانواده گرامینه‌هاست که سهم قابل ملاحظه ای از شکر مورد نیاز بشر را تولید می‌کند. تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه بطور مطلوب توسط خاک زمانی مهیا می‌شود که خاک از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی محدودیتی نداشته باشد. با این وجود یکسری از عوامل خارجی وجود دارند که می توانند این خواص را از حالت مطلوب خود خارج سازند. این گیاه با توجه به داشتن نیاز آبی فراوان و مکانیزه بودن آن در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، بیشتر از هر گیاهی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک اثر گذار بوده و باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات آن می‌گردد. در حقیقت انجام آبیاری‌های فراوان باعث ایجاد آبشویی در خاک گردیده و بدنبال آن تشکیل سخت لایه‌ها می‌گردد همچنین وجود این رطوبت دائمی و انجام کشت و کار در طولانی مدت در این اراضی باعث تسریع در فرایندهای خاکسازی می‌گردد که می‌تواند کلیه خصوصیات خاک از جمله بافت، CEC درصد رس و مواد آلی را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر با مکانیزه شدن کشاورزی و افزایش تعداد تردد، تنش‌های وارده و نهایتاً تراکم خاک-های کشاورزی نیز افزایش یافته است که در این راستا تنش‌های وارده به خاک در مزارع نیشکر بیشتر از مزارع دیگر است. با توجه به این مطالب نتایج تحقیق نشان داد که در اثر تغییرات مراحل مختلف رشد نیشکر، برخی از خصوصیات فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری داشتند. از بین خواص شیمیایی خاک از جمله شوری و میزان ترسیب کربن به طور قابل توجهی متفاوت بودند. بیشترین مقدار شاخص پایداری خاکدانه‌ها (SI) در مرحله رشد راتون 3 (1/21 درصد) و کمترین مقدار آن در اراضی تیمار راتون 1 (به میزان 0/73 درصد) بدست آمد که مرحله راتون 3 به علت داشتن حداکثر مقدار ماده‌آلی در بین مراحل رشد مورد بررسی اراضی نیشکر به علت اینکه کربن‌آلی خاک عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی مؤثر و کیفیت خاک معرفی شده است از طریق تأثیری که بر هم‌آوری و چسبندگی خاکدانه‌ها داشته توانسته ویژگی‌های ساختمانی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردد. میانگین ترسیب‌کربن در مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌داری داشت، نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار ترسیب کربن در تیمار راتون 3 به میزان 28/84 تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار راتون 4 به میزان 15/50 تن در هکتار می‌باشد. با توجه به نتیجه این تحقیق بافت خاک و به ویژه درصد سیلت و رس، میزان فسفر و درصد کربن آلی خاک به ترتیب از مهمترین اجزای تأثیرگذار بر ترسیب کربن خاک می‌باشند. بنابراین هرگونه تغییر در مدیریت و کاربری می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کیفیت، باروری و تولید داشته باشد و بنابراین مدیریت خاک‌ها و اراضی نقش کلیدی در پایداری نظام تولید خواهد داشت. و ضروری به نظر می‌رسد اقدامات لازم در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن در عرصه‌های مختلف کشت نیشکر انجام گیرد تا قدمی در راستای کاهش غلظت کربن در جو (هواسپهر) به منظور کاهش تغییر اقلیم برداشته شود.

سپاسگزاری

مقاله حاضر، از اطلاعات پروژه تحقیقاتی تعیین نیازهای رویشی نیشکر (با شماره مصوب 014-10-10-94003-9452 که از تاریخ 1394/10/01 تا 1398/12/01) استخراج شده است که با حمایت‌های موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده‌است که بدینوسیله تشکر قدردانی بعمل می آید.

جدول 4- همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ذخیره کربن خاک اراضی نیشکر مورد مطالعه

	sand	Silt	clay	SI	BD	P	K	OC	CS	N	CCE	EC	PH	SAR	CEC	RBD
sand	1															
silt	-0/645**	1														
clay	-0/942**	0/599*	1													
SI	0/124	0/562*	0/051	1												
BD	0/112	0/551*	0/076	0/999**	1											
P	-0/500	0/731**	0/666**	0/700**	0/713**	1										
K	-0/901**	0/549*	0/943**	0/003	0/021	0/565*	1									
OC	0/063	0/595*	0/118	0/998**	0/998**	0/741**	0/064	1								
CS	-0/307	0/921**	0/573*	0/743**	0/723**	0/610*	0/241	0/752**	1							
N	0/084	0/569*	0/106	0/998**	0/999**	0/735**	0/051	0/999**	0/731**	1						
CCE	0/484	0/160	-0/304	0/829**	0/818**	0/449	-0/251	0/805**	0/401	0/813**	1					
EC	-0/494	0/796**	0/653**	0/768**	0/779**	0/579**	0/590*	0/807**	0/712**	0/799**	0/483	1				
PH	0/102	0/545**	0/096	0/996**	0/999**	0/729**	0/036	0/998**	0/708**	0/999**	0/816**	0/790**	1			
SAR	-0/619**	0/519**	0/711**	0/262	0/267	0/745**	0/800**	0/306	0/296	0/297	0/247	0/728**	0/282	1		
CEC	-0/478	0/245	0/689**	0/248	0/274	0/628*	0/791**	0/294	0/050	0/298	0/224	0/638*	0/297	0/853**	1	
RBD	0/080	0/570*	0/111	0/997**	0/999**	0/736**	0/055	0/999**	0/729**	1/000**	0/808**	0/800**	0/999**	0/295	0/300	1

فهرست منابع:

1. ابوعلی، م.، کریمیان اقبال، م. و جعفری، س. 1388. تأثیر کوتاه مدت و طولانی مدت کشت نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک‌ها در استان خوزستان .پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
2. تقی پور، آ.، رضاپورس.، دولتی، ب. و حمزه نژاد تقلیدآباد، ر. 1394. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی های شیمیایی خاک در خوی، استان آذربایجان غربی .*آب و خاک*. 29 (2): 418-431.
3. جعفری، س. و نادیان، ح. 1393. مطالعه تکامل خاک‌ها و تنوع کانی‌های رسی در یک ردیف پستی و بلندی در استان خوزستان. مجله علوم آب و خاک. 18 (69) :164-151.
4. حسن‌لی. ع. م.1393. تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر منابع آب و محیط زیست .جهاد دانشگاهی مشهد. 201ص.
5. حمیدرضا، ب.، زند، ا. و شفیعی‌بافتی، ف.1392. مدیریت بهینه در صنعت نیشکر. انتشارات کردگار. 386 ص.
6. خورده بین، صاحب.، حجتی، سعید.، لندی، احمد.، احمدیان فر، ایمان. 1399. مقایسه روش‌های مختلف داده‌کاوی در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک در برخی اراضی شهرستان بهبهان. تحقیقات آب و خاک ایران. 51(4): 1041-1054.
7. سید جلالی، ع.، دهقان، ر.، آزادی، ا.، زین الدینی میمند، ع.، نویدی،م.ن.و محمداسماعیل، ز. 1399. بررسی تأثیرعوامل خاکی بر رشد نیشکر در اراضی تحت کشت نیشکر در استان‌های خوزستان و مازندران . مجله پژوهش‌های خاک. 34(3): 343-357.
8. قریشی، ر.، گلی کلانپا، ا.، معتمدی، جواد. و کیوان بهجو، ف. 1392. ظرفیت ترسیب کربن در اکوسیستم مرتع و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع خوی. تحقیقات کاربردی خاک. 2(1): 34-44.
9. لندی، ا.، پورکیهان، س.، چرم، م.، حجتی، س. و جعفری، س. 1397. مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی و احداث مزارع نیشکر برخصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی خاک در منطقه جنوب خوزستان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. 8(2):43-61.
10. محمدی، ج.1385 .پدومتری. آمار کلاسیک. جلد اول، انتشارات پلک، تهران، 532 صفحه.
11. نیشابوری، م.ر. و ریحانی تبار، ع. 1389. تفسیر نتایج آزمون خاک، انتشارات دانشگاه تبریز. چاپ اول. 306 ص.
12. ویسی‌تبار، ع.، همت، ع. و مصدقی، م.ر.1394. ارزیابی تراکم خاک مزارع نیشکر تحت حالت‌های مختلف کشت به کمک چگالی ظاهری، چگالی ظاهری نسبی و شاخص مخروط خاک. مجله علوم آب و خاک. 19 (72) :106-93
13. Allison, L.E., and CD. Moodi. 1962. Carbonates. PP 1379-1396. In: C.A. Black et al. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2, Am. Soc Agron. Madison,WI.
14. Anghinoni, I., V. C. Baligar, and R. J. Wright. 1996. Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalachian acidic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 27: 2033-2048.
15. Augusto, L.R, D. Jacques. and A. Roth. 2002. Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, Annals of Forest Science. 59: 233-253.
16. Ayoubi, S., F. Khormali., K. L. Sahrawa., D. Rodrigues. and Lima, A.C., 2011. Assessing impacts of land use changes on soil quality indicators in a Loessial soil in Golestan Province, Iran. Journal of Agriculture Science and Technology, 13:727- 742.
17. Barzegar, A. R., Sh. Mahmoodi., F. Hamed.,i and F. Abdolvahabi. 2005. Long term sugarcane cultivation effects on physical properties of fine textured soils. J. Agric. Sci. Technol. (IRI) 7: 59–68.
18. Blake G.R., and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363-375. In Klute A. (ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.

19. Bouyoucos. C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal. 45: 464-465
20. Braunack, M. V., J. Arvidsson., and I. Håkansson. 2006. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane *(Sacharum officinarum)* response to environmental conditions in Queensland, Australia. Soil Till. Res. 89: 103-121.
21. Bronick, C. J., and R.Lal. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma. 124: 22-3.
22. Chancellor, W. J. 1977. Compaction of soil by agricultural equipment. Bulletin No. 1881. Davis: Division of Agricultural Sciences, University of California.
23. Follett R.F. 2001. Organic Carbon Pools in Grazing Land Soils. In: Follett, R.F., J.M. Kimble and R. Lal (Eds), The Potential of US Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 65-86.
24. Freibauer, A., M. D. Rounsevell., P. Smith., and J. Verhagen. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma. 122 (1): 1-23.
25. Garten, J.R., T. Charles. 2002. Soil carbon storage beneatch recently stablished tree plantations in tennessee snd South Carolina, USA. Biomass and Bioenergy. 23:93-102.
26. Ghorbani, Z., S. Jafari., and B. Khalil Moghaddam. 2013. The effect of soil physicochemical properties under different land use on aggregate stability in some part of Khuzestan province. J. Soil Manand. Sus. Pro. 3(2) : 29-51.
27. Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. J. Environ. Biol. 30: 825-830.
28. Håkansson, I. and J. Lipiec. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. Soil Till. Res. 53: 71-85.
29. Hazelton, P., and B. Murphy. 2016. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. CSIRO publishing.
30. Humbert, R. P. 1968. The Growing of Sugarcane. Elsevier: Amsterdam.
31. Hunsigi, G. 2001. Sugarcane in Agriculture and Industry. Prism Books, Bangalore, India.
32. Jones, C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1208–1211.
33. Kuo, S. 1996. Phosphorus. In D.L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis. (pp. 869- 921). SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
34. Moezzi, A., M. Sadeqhi Mianrodi., A. Gholami., T. Babaeinejad., and E. panahpour. 2019. Investigation of Long-Term Sugarcane Cultivation Influence on Some Soil Chemical Properties of Karun Agro-industry, Khuzestan province. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 9(1): 165-178.
35. Nosrati, K. 2012. Assessing soil quality indicator under different land use and soil erosion using multivariate statistical techniques. Environmental Monitoring and Assessment. 185: 2895–2907.
36. Page A.L., R.H. Miller., and D.R. Keeeney. 1982. Methods of soil analysis. PartII.Chemical and Microbiological methods. Seconds edition, Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.
37. Pankhurst. C. E., R. C. Magarey., G. R. Sirling., B. L. Blair., M. J. Bell., and A. L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. Soil Till. Res. 72: 125-137
38. Pieri, C., J. Dumanski., A. Hamblin., and A. Young. 1995. Land Quality Indicators. World Bank Discussion Papers, 315.
39. Qadir, M., A. S. Qureshi., and S. A. M. Cheraghi. 2008. Extent and characterisation of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. Land Degradation & Development. 19(2): 214-227.

40. Reeder, J.D., and G.E. Schuman. 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Environmental Pollution. 116 (3): 457-463.
41. Reichert, J. M., L. E. A. S. Suzuki., D. J. Reinert., R. Horn., and Håkansson, I .2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil and Tillage Research. 102(2): 242-254.
42. Rezapour, S., A. Taghipour., and A. Samadi. 2013. Modifications in selected soil attributes as influenced by long-term continuous cropping in a calcareous semiarid environment. Natural Hazards. 69: 3. 1951-1966.
43. Rowell, DL. 1994. Soil Science: Methods and Application. Longman Group, Harlow.
44. Sakin, E., A. Deliboran., E.Tutar. 2011. Bulk Density of Harran Plain Soils in Relation to Other Soil Properties, African Journal of Agricultural Research, 6:1750-1757.
45. Silva, A.J.N., M.R. Ribeiro., F.G. Carvalho., V.N. Silva., and L.E.S.F. Silva. 2007. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of Yellow Latosol in Northeast Brazil. Soil Tillage Research. 94: 420-424.
46. Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. European Journal of Agronomy. 20(3): 229-236.
47. Tamirat, T. 1992. Vertisol of central highlands of Ethiopia: Characterization and evaluation of phosphorus statues. Master's Thesis, Alemaya University, Dire Dawa.
48. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of soil analysis: part 3 chemical methods, 5, 475-490.
49. Walkey, A., and I.A., Black .1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis.1. Experimental. Soil Science. 79: 459-465.
50. Zhang, B., and R. Horn. 2001. Mechanisms of aggregate stability in Ultisols from subtropical China. Geoderma. 99: 145-123.

Investigation of Changes in Physical and Chemical Properties of Soil during Different Stages of Sugarcane Growth and Estimation of Organic Carbon Sequestration Capacity

A. Azadi[1], S. A. Seyed Jalali, R. Dehghan, and M. Navidi

Assistant Professor, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); E-mail: a.azadi@areeo.ac.ir.
Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: ajalali@areeo.ac.ir
Research Instructor, Mazandaran Agricultural and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); E-mail: ramezanalidehghan@gmail.com.
Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: nnavidi@swri.ir.

Received: May, 2021 , and Accepted: September, 2021

Abstract

The present study was conducted to investigate changes in soil physical and chemical properties and organic carbon storage at different stages of sugarcane growth (Plant, Ratoon 1, Ratoon 2, Ratoon 3, and Ratoon 4) in some sugarcane plantations in southern parts of Khuzestan Province, Iran. For this purpose, a number of soil profiles were dug in the sugarcane fields and 30 sites were selected and studied in a completely randomized design with five treatments (i.e. sugarcane growth stages) and six replications. The results of this study showed that long-term cultivation of sugarcane and different stages of growth in soils of Sugarcane Cultivation and Industry Company caused changes in physicochemical properties and soil carbon storage. Indeed, abundant irrigation and leaching and cultivation management of sugarcane reduced the salinity and sodium in soil solution. Also, different growth stages changed the physical and chemical properties of the soil. Different stages of sugarcane growth reduced electrical conductivity (EC), dissolved sodium in the soil, the available potassium (K), and increased the amount of bulk density (Bd) in the soil. There was no significant difference in the amount of organic matter (OM) and soil acidity (pH) of sugarcane fields at different stages of growth. Finally, in order to prevent possible negative consequences and depletion of soil nutrients, especially potassium, it is necessary to periodically study the complete properties of the soils and evaluate these changes, appropriate management methods can be performed to maintain soil quality. The results showed that difference in soil carbon sequestration was significant ($p<5\%$) in the treatments, such that the highest carbon sequestration was in Raton 3 (28.84 tons/ha) and the lowest in Raton 4 (15.50 tons/ha). The reason for the higher amount of carbon storage can be attributed to more vegetation and, therefore, more plant debris, which reduce evaporation from the soil surface, a positive effect on vegetation, especially in arid and semi-arid regions. In general, optimal management of sugarcane fields plays an important role in improving atmospheric carbon sequestration capacity.

Keywords: Ratoon management, Sugarcane ratoon, Soil carbon storage

[1]. Corresponding author: Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran