

The Effect of Winter Olive and Apricot Leaf Residues on Soil Structural Stability using HEMC Method in Different Soil Salinity Levels

VAJIHEH DOROSTKAR^{1*}, ZAHRA GANJI NOROUZI¹

1. Assistant professor, Water and Soil Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; Shahrood, Iran
2. Assistant professor, Water and Soil Department, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology; Shahrood, Iran

(Received: March. 17, 2018- Revised: May. 5, 2018- Accepted: May. 19, 2018)

ABSTRACT

Soil improvement with plant residues incorporation influences many soil properties. This study was conducted to investigate the effect of apricot and winter olive leaves (0, 1 and 3 g residue 100g⁻¹ soil) on the soil structural stability using high energy moisture curve (HEMC) method in different soil salinity levels (1, 5 and 10 dS m⁻¹). Apricot residues increased the soil organic carbon content and diluted acid carbohydrates and decreased the soil basal respiration more than the winter olive leaves. Increasing residues and salinity levels have also increased the soil organic carbon and the carbohydrates concentration in the soil. Also, the soil basal respiration has been reduced by increasing salinity. There were no significant differences between the apricot and winter olive residues in terms of their effectiveness on the soil drainable porosity (VDP), the soil suction in inflection point (τ_d) and the stability index (SI) in slow wetting method. However, the apricot leaves increased the soil drainable porosity and the stability index more than the winter olive in fast wetting method. This finding shows the different response and the structural instability of the soil for the two proposed organic matters. Plant residues increment by improving soil carbon and carbohydrates concentration, and salinity increment by improving divalent cation concentration have enhanced the soil stability ratio and the soil VDP ratio in both; fast and slow wetting methods. The results of this study showed that the application of native crop residues in the soils with low organic matter could improve the soil physical characteristics and these changes probably recover the soil physical fertility in the long term application.

Key words: organic matter, soil water characteristic curve, aggregation.

تأثیر بقایای برگ سنجد و زردآلو بر پایداری ساختمان خاک به روش HEMC در شوری‌های مختلف خاک

وجیهه درستکار^{*}، زهرا گنجی نوروژی^۱

۱. استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۲. استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۲/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۹)

چکیده

اصلاح خاک به کمک افزودن بقایای گیاهی به آن بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از این پژوهش بررسی اثر بقایای برگ سنجد و زردآلو (به میزان صفر، ۱ و ۳ درصد) بر پایداری ساختمان خاک به روش منحنی مشخصه پارانرژی خاک (HEMC) در شوری‌های مختلف خاک (۱، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج نشان داد که افزودن بقایای برگ زردآلو سبب افزایش بیش‌تر کربن آلی خاک و غلظت کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق خاک و کاهش تنفس میکروبی نسبت به بقایای برگ سنجد شد. افزایش سطح بقایا و شوری نیز سبب افزایش کربن آلی و غلظت کربوهیدرات‌ها در خاک شده است. همچنین تنفس میکروبی خاک با افزایش شوری کاهش یافته است. در روش مرطوب کردن آهسته تفاوتی بین بقایای مورد استفاده از نظر تأثیر بر حجم منافذ قابل زهکش خاک (VDP)، مکش در نقطه عطف منحنی رطوبتی (τ_d) و شاخص پایداری (SI) مشاهده نشد. اما در روش مرطوب شدن سریع، تأثیر برگ زردآلو بر افزایش حجم منافذ قابل زهکش خاک و شاخص پایداری بیش‌تر از برگ سنجد بوده است. این امر نشان‌دهنده ناپایداری ساختمان خاک مورد مطالعه و پاسخ متفاوت آن نسبت به دو ماده آلی مورد استفاده بوده است. افزایش مقدار بقایا با افزایش کربن آلی خاک و غلظت کربوهیدرات‌ها در خاک و افزایش شوری با افزایش غلظت کاتیون‌های دو ظرفیتی سبب بهبود نسبت پایداری و نسبت حجم منافذ قابل زهکشی در دو روش مرطوب‌سازی سریع و آهسته در خاک شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از بقایای گیاهی بومی در خاک‌هایی با ورودی کم مواد آلی می‌تواند باعث تغییرات مثبت در بهبود وضعیت فیزیکی خاک شود که این تغییرات در دراز مدت احتمالاً به باروری خاک کمک خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: مواد آلی، منحنی مشخصه رطوبتی، خاکدانه‌سازی

مقدمه

کشاورزی همواره با تولید حجم قابل توجهی از پسماندهای گیاهی همراه است. مدیریت این پسماندها از مشکلات بخش کشاورزی محسوب می‌شود. از سوی دیگر بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد. این مناطق معمولاً تحت تأثیر شوری بوده و شرایط افزودن مواد آلی به خاک کم می‌باشد (Raiesi and Aghababae 2011; Hajiboland 2013). بنابراین افزودن مواد آلی از منابع مختلف به شرایط خاک جهت رشد گیاه کمک می‌نماید. پسماندهای بجا مانده در این بخش دارای مقدار زیادی مواد آلی و عناصر غذایی بوده و در صورت افزوده شدن به خاک دارای اثرات مثبت بر تغذیه گیاه و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها هستند (Raiesi and Aghababae 2011). بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند افزایش تخلخل، بهبود فراهمی آب خاک، افزایش پایداری

ساختمان خاک و کاهش چگالی ظاهری خاک در اثر افزودن بقایای گیاهی در پژوهش‌های گوناگونی مشاهده شده است (Blanco-Canqui and Lal 2009; Mirzaee and Mahmoudabadi 2015; Shaver *et al.* 2003).

ساختمان خاک از ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک بوده که تشکیل آن ناشی از برهمکنش پیچیده‌ای از عوامل فیزیکی، زیستی و شیمیایی در خاک می‌باشد. ساختمان خاک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک از جمله سرعت نفوذ آب به خاک، نگهداری آب در خاک، هدایت هیدرولیکی، تهویه، چرخه‌های بیوشیمیایی خاک و مقاومت مکانیکی خاک را تحت تأثیر قرار داده و در پی آن بر رشد گیاهان اثر می‌گذارد. همچنین از طریق تغییر توزیع ریشه در خاک و افزایش توانایی گیاه در جذب آب و عناصر غذایی، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش انتقال آب در خاک به سمت ریشه، باعث افزایش جذب و کارایی مصرف عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Bronick and Lal 2005).

(Sillers *et al.* 2001). استفاده از این روش به ویژه برای مناطق خشک با پایداری ساختمان کم مورد توجه می‌باشد. ابتدا از این روش برای بررسی پایداری خاکدانه‌های زیرسطحی یک خاک رسی به روش مرطوب کردن سریع استفاده شده و اندازه خاکدانه‌ها در نظر گرفته نشد. پس از آن تفاوت منحنی مشخصه رطوبتی در دامنه پر انرژی در دو حالت مرطوب شدن سریع و آهسته به عنوان شاخص پایداری در نظر گرفته شد (Collis-George and Figueroa, 1984). در پژوهشی Levy (2002) اثر درصد سدیم تبدالی خاک را بر نسبت پایداری ساختمان (SR) به روش منحنی مشخصه رطوبتی پرانرژی خاک (HEMC) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش مقدار سدیم قابل تبادل، نسبت پایداری ساختمان خاک کاهش می‌یابد. همچنین Crescimanno *et al.* (1995) نشان دادند که وجود سدیم تبدالی، حجم منافذ قابل زهکشی در خاک را کاهش و مکش ماتریک در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی را افزایش می‌دهد و در نتیجه سبب کاهش شاخص پایداری خاک می‌شود. در پژوهش Mamedov *et al.* (2014) نیز اثر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی از جمله لجن فعال و کمپوست کود دامی بر پایداری ساختمان خاک توسط روش HEMC بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده اثرات متقابل نوع خاک و ترکیب شیمیایی مواد آلی بود. به علاوه Hosseini *et al.* (2017) نیز به کمک این روش، افزایش پایداری ساختمان خاک در اثر افزودن بقایای گیاه فسکیوی بلند را نشان دادند.

با وجود پژوهش‌های انجام شده بر روی اثر مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، دانسته‌ها در مورد اثر مثبت یا منفی افزودن برخی بقایای گیاهان درختی از جمله برگ سنجد و زردآلو بر ویژگی‌های ساختمانی خاک‌های شور بسیار محدود می‌باشد. این بقایا به طور قابل ملاحظه در منطقه مورد مطالعه هر ساله تولید می‌شود و می‌تواند به عنوان مواد اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر پایداری خاک در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار کم بوده و روش‌های معمول از جمله الک تر به خوبی تغییرات جزئی ایجاد شده را نشان نمی‌دهد. لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر بقایای برگ سنجد و زردآلو بر پایداری ساختمان خاک به کمک روش منحنی مشخصه رطوبتی پرانرژی خاک به عنوان یک روش با دقت زیاد در سطوح مختلف شوری بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار نوع بقایا،

عامل‌های مؤثر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها به دو دسته عامل‌های درونی (ویژگی‌های ذاتی خاک) و عامل‌های بیرونی (ویژگی‌های محیطی و جانداران خاک) تقسیم می‌شوند. مقدار کربن خاک به صورت آلی (فنول‌ها، لیگنین، کربوهیدرات-ها، پلی‌ساکاریدها و ترکیب‌های هومیکی) و معدنی (کربنات‌های اولیه و ثانویه)، مقدار و نوع کانی‌های رسی در خاک، وجود کاتیون‌ها و شوری از عامل‌های تعیین‌کننده پایداری ساختمان خاک هستند. مقدار و ترکیب بقایای گیاهی اضافه‌شده توسط گونه‌های گیاهی می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Bronick and Lal 2005). بنابراین افزودن پسماندهای آلی گیاهی به خاک می‌تواند سبب پایداری ساختمان خاک شود (Raiesi and Aghababae 2011).

ویژگی‌های شیمیایی محلول خاک از جمله رسانایی الکتریکی بر توزیع اندازه منافذ و ساختمان خاک مؤثر هستند. کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم در خاک‌های شور به صورت پلی برای اتصال ذرات به یکدیگر عمل می‌نمایند. به علاوه در مناطق خشک و نیمه‌خشک این کاتیون‌ها با کربنات رسوب نموده و تشکیل کربنات‌های ثانویه را می‌دهند که به صورت پوششی بر روی ذرات خاک قرار گرفته و سبب اتصال ذرات به یکدیگر می‌شود. به طور کلی کارایی کلسیم از منیزیم بیش‌تر بوده و سبب جایگزینی سدیم در خاک شده و از تخریب خاکدانه‌ها جلوگیری می‌نماید. در حالی که در برخی از موارد غلظت زیاد منیزیم بسته به نوع رس و غلظت الکترولیت می‌تواند باعث انبساط رس‌ها و تخریب خاکدانه‌ها در خاک شود (Bronick and Lal 2005).

با توجه به اهمیت ساختمان خاک، روش‌های متعددی برای تعیین و ارزیابی پایداری آن پیشنهاد شده است (Sambandan 2014). انتخاب روشی مناسب برای اندازه‌گیری وضعیت ساختمانی خاک با توجه به هدف مورد نظر ضروری است. یکی از روش‌های نسبتاً جدید مورد استفاده برای تعیین پایداری ساختمان خاک روش منحنی مشخصه رطوبتی پرانرژی (HEMC¹) است که بر اساس مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک (SWCC²) در بخش پر انرژی (دامنه مرطوب با پتانسیل ماتریک زیاد) استوار می‌باشد (Collis-George and Figueroa 1984). به طور کلی اثر ساختمان خاک بر منحنی مشخصه رطوبتی در دامنه مکش‌های ماتریک کم قابل توجه بوده، چرا که این دامنه در ارتباط با منافذ ساختمانی خاک است

1. High energy moisture characteristic
2. Soil water characteristic curve

اشباع خاک به وسیله پ-هاش متر و هدایت سنج اندازه‌گیری شد. همچنین ماده آلی در خاک به روش سوزاندن تر و آهک خاک با روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شد. همچنین در عصاره اشباع خاک غلظت سدیم (میلی‌اکی‌والان در لیتر) به روش شعله‌سنجی و غلظت کلسیم و منیزیم (میلی‌اکی‌والان در لیتر) به روش تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری گردید (Burt 2004). برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول (۱) ذکر شده است.

مقدار بقایا و شوری خاک انجام شد. برای این منظور بقایای گیاهی برگ سنجد و زردآلو در سه سطح صفر، ۱ و ۳ گرم در ۱۰۰ گرم خاک در سه سطح شوری خاک شامل ۱، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت.

آماده‌سازی خاک و انجام آزمایش گلخانه‌ای

خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بسطام، واقع در شهرستان شاهرود جمع‌آوری و پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر و پ-هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پ-هاش	نسبت جذب سدیم	کربن آلی (درصد)	آهک
لوم رسی	۱	۷/۳	۴/۶۱	۰/۵۷	۲۸

وزن در فواصل دو روز یک بار با آب مقطر تا رسیدن به ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های بقایای گیاهی مورد استفاده

نوع بقایا	کربن آلی	نیترژن کل	C:N	غلظت کربوهیدرات
	(درصد)	(درصد)		میلی‌گرم در گرم
برگ سنجد	۲۵/۱۴	۳/۶	۶/۹۸	۷۳
برگ زردآلو	۴۵/۳	۲/۳	۱۹/۶	۹۸

ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی خاک

پس از پایان دوره انکوباسیون، مقدار ماده آلی خاک به روش سوزاندن تر اندازه‌گیری شد (Burt 2004). برای عصاره‌گیری از کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق، ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۲۵ مولار به یک گرم خاک (عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری) اضافه شد و به مدت ۱۶ ساعت تکان داده شد. سپس سوسپانسیون به‌دست آمده در هر دو روش سانتریفیوژ شدند. غلظت کربوهیدرات توسط روش فنل-اسید سولفوریک به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر و به‌کمک استاندارد گلوکز اندازه‌گیری شد (Dubois et al. 1956). برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک ۵۰ گرم خاک با رطوبت ظرفیت مزرعه برای یک هفته در ظروف شیشه‌ای مخصوص تنفس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری شد و دی‌اکسید کربن آزاد شده در این مدت توسط هیدروکسید سدیم یک نرمال جمع‌آوری و مقدار آن با استفاده از تیتراسیون سود باقی‌مانده با اسید سولفوریک ۰/۵ نرمال تعیین شد (Alef, 1995).

بقایای گیاهی برگ سنجد و زردآلو از سطح باغ‌های شهرستان شاهرود جمع‌آوری شد و پس از خشک‌شدن در آن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، خرد و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های بقایای مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. سپس بقایا به میزان صفر، ۱ و ۳ گرم در ۱۰۰ گرم خاک در هر تیمار با خاک مورد مطالعه (کوچکتر از ۴ میلی‌متر) مخلوط شد. همچنین به منظور اعمال تیمار شوری از نمک کلرید کلسیم استفاده شد. برای اعمال تیمار شوری و رساندن قابلیت هدایت الکتریکی خاک از مقدار اولیه ۱ دسی‌زیمنس بر متر به ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، درصد اولیه و ثانویه نمک خاک از رابطه ۱ محاسبه شد. سپس مقدار نمک مورد نیاز در هر تیمار شوری از تفاضل مقادیر فوق تعیین گردید (Falahati Marvast et al. 2013).

$$\text{رابطه (۱)} \quad SSS = 0.064EC \times \frac{SP}{100}$$

در این رابطه SSS درصد نمک خاک (گرم در ۱۰۰ گرم خاک)، EC قابلیت هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر) و SP درصد اشباع خاک است. مقدار نمک محاسبه شده هر تیمار در آب مقطر مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک به ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه حل شده و بر روی خاک اسپری و به طور کامل با خاک مخلوط شد. در هر گلدان ۵۰۰ گرم از خاک هر تیمار با چگالی ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب ریخته شد و گلدان‌ها به مدت ۹۰ روز در گلخانه نگهداری شدند. در طول انجام آزمایش متوسط دمای روز و شب در گلخانه بین ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. در طول آزمایش گلدان‌ها بر اساس کاهش

اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک

اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک به روش منحنی مشخصه رطوبتی پراورزی انجام شد. برای این منظور از خاکدانه‌های ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون استفاده شد. در ابتدا خاکدانه‌ها به دو روش آهسته و سریع مرطوب شده و مقدار رطوبت خاک در دامنه مکش‌های صفر تا ۵۰ سانتی‌متر پس از تعادل در دستگاه جعبه شن اندازه‌گیری گردید. پس از تعادل در مکش ۵۰ سانتی‌متر، خاکدانه‌ها در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک در دامنه پراورزی به کمک داده‌های رطوبت وزنی و بوسیله مدل اصلاح شده ون‌گنوختن و به کمک نرم‌افزار Excel Solver انجام شد (Pierson and Mulla 1989).

$$\theta = (\theta_s - \theta_r)[1 + (ah)^n]^{\frac{1}{n-1}} + Ah^2 + Bh + C \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه θ_s رطوبت اشباع، θ_r رطوبت باقی‌مانده، α مرتبط با عکس مکش در نقطه عطف، h مکش ماتریک، n شاخص توزیع اندازه منافذ خاک و A ، B و C برای برازش بهتر دو انتهای منحنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

پس از مدل‌سازی منحنی مشخصه رطوبتی در دامنه پراورزی، شاخص پایداری خاک با استفاده از شاخص چایلدز به صورت زیر محاسبه شد (Collis-George and Figueroa, 1984):

$$SI = \frac{\Delta u_g}{\tau_d} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه Δu_g حجم منافذ قابل زهکشی، τ_d مکش ماتریک در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی و SI شاخص پایداری خاک می‌باشند. به منظور محاسبه Δu_g ظرفیت رطوبتی ویژه خاک در هر تیمار به کمک رابطه زیر محاسبه و کل سطح زیر منحنی با استفاده از روش سیمپسون محاسبه شد (Collis-George and Figueroa 1984):

$$\left(\frac{d\theta}{dh}\right) = -(\theta_s - \theta_r)[1 + (ah)^n]^{\frac{1}{n-1}} \left(\frac{1}{n} - 1\right)(ah)^n \left(\frac{n}{h[1+(ah)^n]}\right) + 2Ah + B \quad (\text{رابطه ۴})$$

پس از محاسبه شاخص پایداری در دو روش مرطوب کردن سریع و آهسته، نسبت پایداری از رابطه زیر محاسبه شد (Collis-George and Figueroa 1984):

$$SR = \frac{SI_{\text{fast wetting}}}{SI_{\text{slow wetting}}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه SR ، نسبت پایداری در خاک بوده که مقادیری بین صفر تا یک دارد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها به وسیله نرم‌افزار آماری SAS انجام و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقدار و نوع بقایای گیاهی بر کربن آلی خاک در سطح یک درصد بوده است (جدول ۳). مقدار کربن آلی خاک در تیمار دارای بقایای برگ سنجد ۲۰ درصد نسبت به تیمار دارای برگ زردآلو کم‌تر بود (جدول ۴). افزایش بیشتر مقدار کربن آلی خاک در حضور بقایای زردآلو احتمالاً به دلیل مقدار بیشتر کربن در این بقایا (۴۵/۳ درصد) نسبت به بقایای برگ سنجد (۲۵/۱۴ درصد) بوده است. همچنین کیفیت بقایای مورد استفاده از نظر مقدار نیتروژن و C:N متفاوت بوده و احتمالاً مقدار C:N بیش‌تر در بقایای برگ زردآلو (۱۹/۶)، تجزیه‌پذیری این بقایا را کاهش داده و سبب افزایش مقدار کربن خاک در مقایسه با برگ سنجد با C:N کم‌تر (۶/۹) شده است (جدول ۲). از عوامل مهم شناخته شده در تجزیه‌پذیری پسماندهای گیاهی و معدنی‌شدن آن‌ها نسبت C:N و مقدار نیتروژن بقایا است (Akbari et al. 2012; Singh et al. 2005). در پژوهش Mirzaee and Mahmoudabadi (2015) نیز افزایش بیش‌تر کربن آلی خاک در اثر افزودن بقایای با C:N بیش‌تر گزارش شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل نوع و مقدار بقایا و شوری بر مقدار کربن آلی، کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق و تنفس میکروبی پایه خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	تنفس میکروبی پایه	کربن آلی	میانگین مربعات
نوع بقایا	۱	۳۱۳۵**	۱/۰۴۳**	۰/۸۱**
مقدار بقایا	۲	۴۱۰۲**	۱/۱۶**	۰/۹۸**
شوری	۲	۱۱۷۵**	۰/۹۸**	۰/۸۵**
نوع بقایا × مقدار بقایا	۲	۲۳۴ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}
نوع بقایا × شوری	۲	۱۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
مقدار بقایا × شوری	۴	۸۶۴ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
نوع بقایا × مقدار بقایا × شوری	۴	۱۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}
خطای آزمایش	۳۶	۷۶۴	۰/۰۵۳	۰/۱۹۱

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد. ^{ns} بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر نوع بقایا بر میزان کربن آلی، کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق و تنفس میکروبی پایه خاک ($p < 0.05$)

نوع بقایا	تنفس میکروبی پایه (میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در یک روز)	کربن آلی (درصد)	کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق (میلی گرم در گرم خاک)
برگ سنجد	۲۸۳ ^a	۰/۸۶ ^b	۱/۲۶ ^b
برگ زردآلو	۲۱۵ ^b	۱/۰۸ ^a	۱/۸۵ ^a

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد (بر اساس آزمون LSD).

میزان کربن آلی خاک در سطح یک درصد بوده است (جدول ۳). افزایش شوری از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز میزان کربن آلی خاک را افزایش داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد افزایش غلظت املاح در خاک با افزایش شوری منجر به کاهش جمعیت میکروبی و در نتیجه کاهش فرآیند تنفس و تجزیه مواد آلی شده است (Jafari et al. 2013).

افزایش مقدار بقایا باعث افزایش کربن آلی خاک شده است. به‌طور میانگین افزودن ۱ و ۳ درصد بقایای گیاهی باعث افزایش ۵۳ و ۸۶ درصدی کربن آلی در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵). افزایش مواد آلی خاک در اثر افزودن پسماندهای گیاهی در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است (Killi and Kavdir. 2013; Mirzaee and Mahmoudabadi (2015)). نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شوری بر

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر مقدار بقایا بر کربن آلی، کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق و تنفس میکروبی پایه خاک ($p < 0.05$)

مقدار بقایا (درصد)	تنفس میکروبی پایه (میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در یک روز)	کربن آلی (درصد)	کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق (میلی گرم در گرم خاک)
۰	۱۶۴ ^c	۰/۵۳ ^c	۱/۰۲ ^c
۱	۲۷۶ ^b	۰/۹۸ ^b	۱/۵۳ ^b
۳	۳۷۴ ^a	۱/۲۵ ^a	۲/۲۱ ^a

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد (بر اساس آزمون LSD).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر شوری بر کربن آلی، کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق و تنفس میکروبی پایه خاک ($p < 0.05$)

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	تنفس میکروبی پایه (میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در یک روز)	کربن آلی (درصد)	کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق (میلی گرم در گرم خاک)
۱	۳۵۲ ^a	۰/۶۴ ^c	۱/۱۲ ^c
۵	۲۷۳ ^b	۰/۹۸ ^b	۱/۶۵ ^b
۱۰	۱۹۲ ^c	۱/۱۹ ^a	۲/۰۹ ^a

حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد (بر اساس آزمون LSD).

میکروبی در تیمار دارای بقایای سنجد به دلیل کم‌تر بودن نسبت C:N در این بقایا در مقایسه با تیمار برگ زردآلو باشد (جدول ۲).

اثر مقدار بقایای گیاهی اضافه شده به خاک بر تنفس میکروبی پایه خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش مقدار بقایای گیاهی به میزان ۱ و ۳ درصد به ترتیب سبب افزایش ۶۸ و ۱۲۸ درصدی تنفس میکروبی پایه خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵). مواد آلی منبع مواد غذایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع بقایای گیاهی بر تنفس میکروبی پایه خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تنفس میکروبی پایه در تیمار بقایای برگ سنجد بیش‌تر از تیمار برگ زردآلو بود (جدول ۴). شاخص‌های میکروبی خاک به شدت تحت تأثیر کیفیت بقایای افزوده شده به خاک می‌باشند (Raiesi and Aghababae 2011). بقایای با نسبت C:N کم‌تر تجزیه‌پذیری بیش‌تری داشته (Singh et al. (2005) و به نظر می‌رسد بیش‌تر بودن میزان تنفس پایه

مورد استفاده، سبب افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها در خاک شده است. همچنین افزایش سطح شوری خاک با کاهش سرعت فرایند تجزیه میکروبی خاک سبب افزایش سطح این ترکیبات در خاک از ۱/۱۲ به ۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم خاک با افزایش سطح شوری از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر شده است (Jafari et al. 2013).

حجم منافذ قابل زهکشی و مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی و شاخص‌های پایداری

تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر حجم منافذ قابل‌زهکشی، مکش در نقطه عطف منحنی رطوبتی و شاخص پایداری در روش مرطوب‌کردن آهسته معنی‌دار نبوده است (جدول ۷). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر ناچیز فرآیند مرطوب‌کردن آهسته بر تخریب ساختمان خاک بوده است.

در روش مرطوب‌کردن سریع تأثیر تیمارهای نوع و مقدار بقایای گیاهی و شوری خاک بر حجم منافذ قابل زهکشی و مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۷). در روش مرطوب‌کردن سریع حجم منافذ قابل زهکشی در تیمار برگ زردآلو به‌طور متوسط ۴۵ درصد بیش‌تر از تیمار برگ سنجد بوده است. افزودن برگ زردآلو به خاک باعث کاهش ناچیز ولی معنی‌دار مقدار τ_d خاک نسبت به تیمار برگ سنجد شده است (جدول ۸).

همچنین افزایش مقدار بقایای گیاهی افزوده شده به خاک سبب افزایش حجم منافذ قابل زهکشی و کاهش مکش در نقطه عطف منحنی رطوبتی خاک در روش مرطوب شدن سریع شده است. به‌طور متوسط با افزودن بقایای مورد استفاده به میزان ۱ و ۳ گرم در ۱۰۰ گرم خاک، میزان حجم منافذ قابل زهکشی در خاک به ترتیب ۱۵ و ۴۶ درصد افزایش یافته است. همچنین افزودن این مقدار بقایا به ترتیب سبب کاهش ۱۶ و ۲۶ درصدی مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی خاک شده است (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار نوع و مقدار بقایا و همچنین شوری بر شاخص پایداری در روش مرطوب‌کردن سریع، نسبت منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری خاک بوده است (جدول ۷). شاخص پایداری در روش مرطوب‌کردن سریع در تیمار افزودن برگ زردآلو ۴۷ درصد بیش‌تر از تیمار اختلاط بقایای سنجد بوده است (جدول ۸). نسبت منافذ قابل زهکشی در روش مرطوب‌شدن سریع به آهسته و نسبت پایداری، دو شاخص مهم پایداری ساختمان خاک در روش HEMC می‌باشد. اختلاط بقایای زردآلو با خاک تأثیر بیش‌تری

ریز جانداران خاک است. تنفس میکروبی تحت تأثیر میزان کربن آلی خاک بوده و هر عاملی که باعث افزایش کربن آلی خاک شود، سبب افزایش این شاخص می‌شود. افزایش مقدار بقایای اضافه شده به خاک سبب تحریک فعالیت میکروبی خاک شده و این موضوع تنفس میکروبی پایه خاک را به‌عنوان شاخص مناسبی از این فعالیت افزایش می‌دهد. (Raiesi and Aghababae 2011; Nahidan and Nourbakhsh 2010).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری خاک بر تنفس میکروبی پایه خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش شوری از ۱ تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش تنفس میکروبی به ترتیب به میزان ۲۲ و ۴۵ درصد شد (جدول ۶). مشابه با این نتایج، Yuan et al. (2007) وجود روابط نمایی منفی معنی‌داری بین سطوح شوری و تنفس خاک را گزارش نمودند. همچنین Jafari et al. (2013) نیز کاهش تنفس میکروبی خاک با افزایش شوری از ۲ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر را مشاهده نمودند. شوری خاک یکی از تنش‌های غیر زیستی مؤثر بر جمعیت و فعالیت ریز جانداران خاک است (Liang et al. 2005). افزایش شوری خاک باعث تحمیل تنش اسمزی و ایجاد سمیت یونی برای ریز جانداران خاک شده و از این طریق فیزیولوژی و مسیر متابولیکی آن‌ها را تغییر می‌دهد (Rietz and Haynes 2003).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار نوع بقایا بر غلظت کربوهیدرات قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق در سطح یک درصد بوده است (جدول ۳). غلظت کربوهیدرات در تیمار افزودن برگ زردآلو بیش‌تر از تیمار برگ سنجد بوده است (جدول ۴). اثر مقدار بقایای گیاهی بر غلظت کربوهیدرات‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳). با افزایش مقدار بقایا در خاک غلظت کربوهیدرات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طور متوسط افزودن ۱ و ۳ درصد بقایای گیاهی به ترتیب سبب افزایش ۵۰ و ۱۱۶ درصدی کربوهیدرات‌های قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق در مقایسه با تیمار شاهد شده بود (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شوری دارای اثر معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بر غلظت کربوهیدرات‌های قابل عصاره‌گیری با اسید رقیق بوده است (جدول ۳). افزایش شوری خاک افزایش غلظت کربوهیدرات خاک را به همراه داشت (جدول ۶).

کربوهیدرات‌ها یکی از ترکیبات سازنده بافت‌های گیاهی است. افزودن بقایای گیاهی به خاک منجر به بازگشت این ترکیبات به خاک می‌شود (Zubair et al. 2012). در نتیجه احتمالاً افزایش ماده آلی در خاک در اثر افزایش مقدار بقایای

بر بهبود پایداری ساختمان خاک داشته است. به گونه‌ای که نسبت منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری در تیمار برگ زردآلو (شکل ۱) به ترتیب ۴۶ و ۵۹ درصد بیش تر از تیمار برگ سنجد بوده است.

جدول ۷- تجزیه واریانس مربوط به اثرهای اصلی و متقابل نوع و مقدار بقایا و شوری بر حجم منافذ قابل زهکشی (VDP)، مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی (τ_d)، شاخص پایداری (SI)، نسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDP Ratio) و نسبت پایداری (SR) در دو روش مرطوب کردن سریع (Fast) و آهسته (Slow) در خاک

SR	VDP Ratio	میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
		SI		τ_d		VDP			
		Fast	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow		
۰/۱۲۴۸۹ **	۰/۲۸۴۷۵ **	۵/۱×۱۰ ^{-۵} **	۲/۱×۱۰ ^{-۶} ns	۳۹/۳۵ **	۰/۲۱ ns	۰/۰۱۹۱ **	۰/۰۰۱۲۵ ns	۱	نوع بقایا
۰/۰۲۷۵۰ **	۰/۰۷۵۴۰ **	۲/۸۷×۱۰ ^{-۵} **	۲/۱×۱۰ ^{-۶} ns	۴۲/۵۵ **	۰/۴۹ ns	۰/۰۲۲۴ **	۰/۰۰۱۲۳ ns	۲	مقدار بقایا
۰/۰۳۹۷۴ **	۰/۰۹۸۴۱ **	۲/۳۴×۱۰ ^{-۵} **	۲/۳×۱۰ ^{-۶} ns	۴۱/۲۵ **	۳/۰۲ ns	۰/۰۱۵۸ **	۰/۰۰۱۴۹ ns	۲	شوری
۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۰۱۴ ns	۲/۹×۱۰ ^{-۷} ns	۰/۸×۱۰ ^{-۶} ns	۱/۰۸ ns	۰/۳۹ ns	۰/۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۲	نوع بقایا×مقدار بقایا
۰/۰۰۰۰۳۸ ns	۰/۰۰۰۱۵۶ ns	۸/۱×۱۰ ^{-۷} ns	۰/۲×۱۰ ^{-۶} ns	۱/۹۸ ns	۱/۲۵ ns	۰/۰۰۰۱۳ ns	۰/۰۰۰۰۸ ns	۲	نوع بقایا×شوری
۰/۰۰۰۳۲۵ ns	۰/۰۰۰۳۲۵ ns	۲/۹×۱۰ ^{-۶} ns	۲/۵×۱۰ ^{-۶} ns	۱۱/۲۱ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۱۱ ns	۴	مقدار بقایا × شوری
۰/۰۰۰۱۷۴ ns	۰/۰۰۰۳۲۰ ns	۴/۴×۱۰ ^{-۶} ns	۲/۹×۱۰ ^{-۶} ns	۲/۵۱ ns	۰/۳۸ ns	۰/۰۰۰۱۵ ns	۰/۰۰۰۴۹۲ ns	۴	نوع بقایا × مقدار بقایا × شوری
۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۱۲۱۷	۲/۱×۱۰ ^{-۶}	۱/۱×۱۰ ^{-۵}	۴/۴۹	۱/۲۵	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۱۲۵	۳۶	خطای آزمایش

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد. ns بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع بقایا، مقدار بقایا و شوری بر حجم منافذ قابل زهکشی (VDP)، مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی (τ_d) و شاخص پایداری (SI) در دو روش مرطوب کردن سریع (Fast) و آهسته (Slow) در خاک

SI (g g ⁻¹ hPa ⁻¹)		τ_d (hPa)		VDP (g g ⁻¹)		نوع بقایای گیاهی
Fast	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	
۴/۷۵×۱۰ ^{-۲} b	۰/۰۲۰۹ a	۲۵/۱ a	۱۴/۱ a	۰/۱۱۹ b	۰/۲۹۴ a	برگ سنجد
۶/۹۳×۱۰ ^{-۲} a	۰/۰۱۹۸ a	۲۴/۹ b	۱۴/۲ a	۰/۱۷۳ a	۰/۲۸۲ a	برگ زردآلو
SI (g g ⁻¹ hPa ⁻¹)		τ_d (hPa)		VDP (g g ⁻¹)		مقدار بقایای گیاهی (گرم در ۱۰۰ گرم خاک)
Fast	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	
۰/۰۰۵۳ c	۰/۰۲۶۰ a	۲۵/۳ a	۱۲/۱ a	۰/۱۳۲ c	۰/۳۱۵ a	۰ (شاهد)
۰/۰۰۷۱ b	۰/۰۲۶۵ a	۲۱/۲ b	۱۲/۰ a	۰/۱۵۲ b	۰/۳۱۸ a	۱
۰/۰۱۰۳ a	۰/۰۲۶۱ a	۱۸/۶ c	۱۲/۲ a	۰/۱۹۳ a	۰/۳۱۹ a	۳
SI (g g ⁻¹ hPa ⁻¹)		τ_d (hPa)		VDP (g g ⁻¹)		شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
Fast	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	
۰/۰۰۵۳ b	۰/۰۱۹۰ a	۲۵/۲ a	۱۳/۲ a	۰/۱۳۸ b	۰/۲۵۲ a	۱
۰/۰۰۵۸ b	۰/۰۲۰۴ a	۲۴/۸ a	۱۳/۱ a	۰/۱۴۴ ab	۰/۲۶۹ a	۵
۰/۰۰۸۳ a	۰/۰۲۱۵ a	۲۱/۲ b	۱۲/۹ a	۰/۱۷۹ a	۰/۲۷۵ a	۱۰

در هر ستون حروف یکسان بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

بقایای مصرفی باعث افزایش نسبت حجم منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری در خاک شده است. با این وجود تنها افزایش ۳ گرم در ۱۰۰ گرم خاک باعث افزایش معنی دار این دو شاخص نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۴۶ و ۹۵ درصد شده است (شکل ۲).

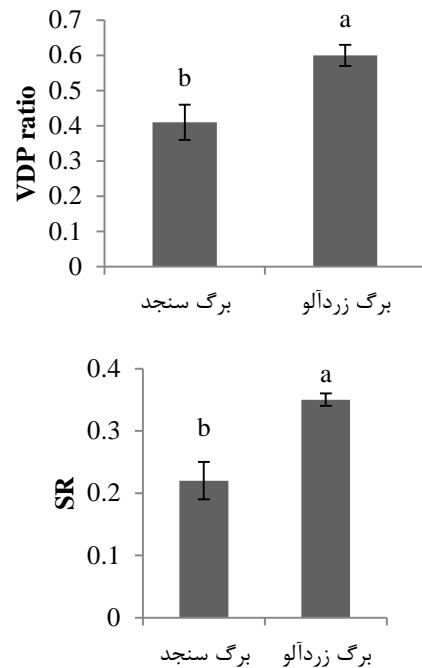
با افزایش سطح ماده آلی شاخص پایداری خاک در روش مرطوب کردن سریع افزایش یافته است. به گونه‌ای که افزایش ۱ و ۳ گرم بقایا در ۱۰۰ گرم خاک به طور متوسط باعث افزایش ۳۶/۵ و ۹۸ درصدی این شاخص در مقایسه با تیمار شاهد شده است (جدول ۸). همچنین افزایش میزان

تحت تأثیر عامل‌های درونی (ویژگی‌های ذاتی خاک) و عامل‌های بیرونی (ویژگی‌های محیطی و جانداران خاک) قرار دارد.

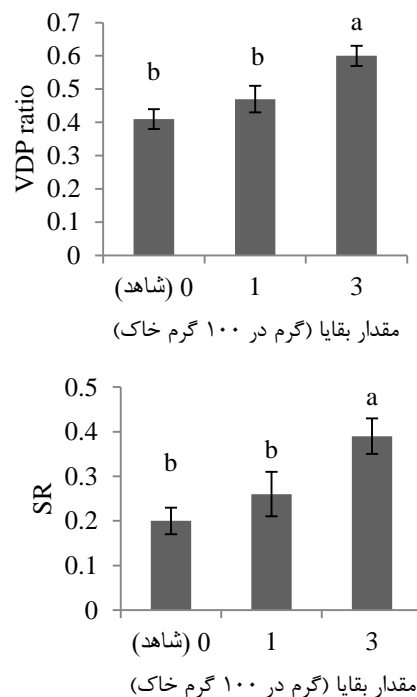
اثرات مثبت افزودن مواد آلی به خاک بر افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک به خوبی شناخته شده است. مقدار و ترکیب پسماندهای گیاهی اضافه‌شده به خاک می‌تواند پایداری ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Bronick and Lal 2005). مواد آلی از طریق ایجاد پیوندهای استری و الکترواستاتیکی باعث اتصال ذرات کلونیدی خاک به یکدیگر شده و از تخریب خاکدانه‌ها جلوگیری می‌نماید (Kaplan *et al.* 1997). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از بقایای گیاهی در این پژوهش با افزایش میزان کربن آلی در خاک سبب خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری خاکدانه‌های موجود در خاک شده است. این امر با بهبود تخلخل و افزایش حجم منافذ قابل زهکشی خاک بر شاخص پایداری خاک تأثیر گذاشته است. در نتیجه در روش مرطوب کردن سریع خاکدانه‌های پایدارتر دیرتر تخریب شده و به دنبال آن نسبت منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری در خاک افزایش یافته است. نتایج همبستگی نیز نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت معنی‌دار بین کربن آلی خاک با دو شاخص نسبت منافذ قابل زهکشی ($r = 0.78$) و نسبت پایداری در خاک ($r = 0.89$) بوده است.

افزایش میزان تنفس میکروبی با افزایش بقایای مصرفی نشان‌دهنده افزایش سطح فعالیت‌های میکروبی در خاک بوده که می‌تواند منجر به تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی شود (Czarnes *et al.* 2000). این پلی‌ساکاریدها نقش مهمی در پایداری منافذ خاک و خاکدانه‌سازی ایفا می‌نمایند. به علاوه فعالیت‌های میکروبی سبب تولید ترکیبات آبگریزی شده که قرارگیری آن‌ها در سطح خاکدانه‌ها به پایداری آن‌ها در برابر مرطوب شدن سریع کمک می‌نمایند (Liu *et al.* 2005).

از سوی دیگر کربوهیدرات‌های خاک نیز یکی از عوامل پیونددهنده ناپایدار برای خاکدانه‌ها شناخته شده که به سرعت توسط جمعیت میکروبی خاک تجزیه می‌شوند. این مواد در اثر تجزیه بقایای گیاهی و جانوری در خاک ایجاد شده و در کوتاه مدت سبب پایداری خاکدانه‌های درشت خاک می‌شوند (Tisdall and Oades 1982). بنابراین افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها در خاک در تیمار بقایای زردآلو نیز می‌تواند به افزایش پایداری ساختمان خاک کمک نماید. به علاوه افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها با افزایش مقدار بقایای مصرفی نیز می‌تواند به عنوان یکی از دلایل افزایش پایداری ساختمان خاک مورد توجه قرار گیرد. به طور مشابه Shaver *et al.* (2003) نیز گزارش



شکل ۱- اثر نوع بقایای مورد استفاده بر نسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDP) و نسبت پایداری (SR) خاک.



شکل ۲- اثر مقدار بقایای مورد استفاده بر نسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDP) و نسبت پایداری (SR) خاک.

به نظر می‌رسد افزودن برگ زردآلو به خاک به دلیل افزایش بیش‌تر ماده آلی خاک سبب بهبود وضعیت خاکدانه‌سازی در خاک شده و در نتیجه تخلخل خاک را تحت تأثیر قرار داده است (Celik *et al.* 2010). تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها

افزایش شوری خاک از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش شاخص پایداری در روش مرطوب‌سازی سریع خاک شده است. این شاخص در تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به دو تیمار ۱ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به میزان ۶۰ و ۴۳ درصد افزایش داشته است (جدول ۸). به علاوه افزایش شوری از ۱ به ۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌داری در نسبت حجم منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری نشده است. در حالی که در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، میزان نسبت حجم منافذ قابل زهکشی و نسبت پایداری نسبت به تیمار ۱ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۰ و ۴۶ درصد افزایش داشته است (شکل ۳).

به نظر می‌رسد افزایش غلظت یون کلسیم با افزایش شوری سبب افزایش پایداری ساختمان خاک شده و این امر باعث شده تا در روش مرطوب‌سازی سریع با افزایش شوری امکان تخریب خاکدانه‌ها کاهش یافته و بیش‌ترین حجم منافذ قابل زهکشی و منافذ درشت‌تر و به دنبال آن بیش‌ترین نسبت پایداری در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر دیده شود. کاتیون دو ظرفیتی به صورت پلی بین ذرات خاک و گروه‌های عامل مواد آلی عمل نموده و سبب استحکام خاکدانه‌ها می‌شود. در واقع کمپلکس رس-کاتیون-ترکیبات آلی از عوامل اصلی پایدارکننده درون خاکدانه‌های ریز محسوب می‌شوند (Bronick and Lal 2005). به علاوه افزایش شوری با محدود ساختن تجزیه میکروبی در خاک سبب کاهش تجزیه بقایای گیاهی و کربوهیدرات‌های خاک شده و شرایط برای پایداری ساختمان خاک را فراهم نموده است (Jafari et al. 2013).

نتیجه‌گیری کلی

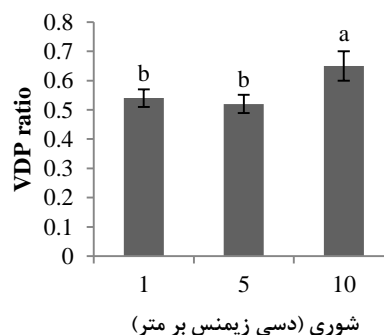
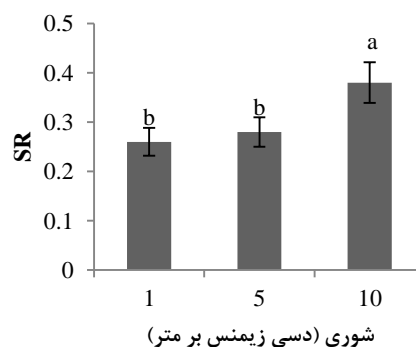
به‌طور کلی نتایج نشان داد کاربرد بقایای برگ زردآلو و سنجد در خاک با بهبود مواد آلی و کربوهیدرات‌های خاک سبب بهبود فعالیت میکروبی در خاک می‌شود. مجموعه این عوامل خاکدانه‌سازی در خاک را تحریک نموده و سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. روش HEMC مورد استفاده با شاخص‌های گوناگون به خوبی تفاوت بین تیمارها را نشان داده است. در مجموع پیشنهاد می‌شود کاربرد بقایای گیاهی در خاک به عنوان اصلاح‌کننده در شرایط مزرعه و با بررسی اثرات آن بر رشد گیاه مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نسبت به مفید بودن آن‌ها تصمیم‌گیری شود.

REFERENCES

Akbari, F., Pouri, K., Kamkar, B., and Alimoghadam, S.I. (2012). The effect of wheat, alfalfa, corn, soybeans and cotton on soil K and its uptake by

کردند که افزایش زیست توده حاصل از برگ‌داندن بقایای گیاهی به خاک سبب افزایش تشکیل خاکدانه‌های درشت به ویژه در ۲/۵ سانتی‌متری سطح خاک می‌شود. در پژوهشی که توسط Nottidge et al. (2005) انجام شد، خاکستر چوب بقایای بادام زمینی به خاک اضافه شده و بهبود تخلخل خاک و ساختمان خاک در اثر افزودن این بقایا را گزارش شد. مطالعات Bhattacharyya et al. (2007) نیز تأثیرات مثبت ماده آلی در افزایش پایداری ساختمان خاک را نشان داده است.

افزایش سطح شوری از ۱ به ۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر حجم منافذ قابل زهکشی و مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی نداشته است. در حالی که افزایش شوری به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌دار حجم منافذ قابل زهکشی به میزان ۳۰ درصد نسبت به تیمار ۱ دسی‌زیمنس بر متر و همچنین افزایش ۲۴ درصدی این پارامتر نسبت به تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر، غیر معنی‌دار شده است. همچنین افزایش شوری از ۱ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش معنی‌دار ۱۶ درصدی مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی خاک شده است (جدول ۷).



شکل ۳- اثر شوری بر نسبت حجم منافذ قابل زهکشی (VDP) و نسبت پایداری (SR) خاک.

wheat plants. *Journal of Agroecology*, 2, 163–171. (In Farsi)

Alef, K. (1995). Soil respiration. In Alef, K., and

- Nannipieri, P. (Eds.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. (pp. 214–216). London: Harcourt Brace and Company Pub.
- Bhattacharyya, R., Chandra, S., Singh, R.D., Kundu, S., Srivastva, A.K. and Gupta, H.S. (2007). Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil and Tillage Research*, 94, 386–396.
- Blanco-Canqui, H. and Lal R. (2009). Extent of soil water repellency under long-term no-till soils. *Geoderma*, 149, 171–180.
- Bronick, C. J. and Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3–22.
- Burt, R. (2004). *Soil survey laboratory methods manual: Soil survey investigations*. United States: Natural Resources Conservation Service.
- Celik, I., Gunal, H., Budak, M., and Akpinar, C. (2010). Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160, 236–243.
- Collis-George, N. and Figueroa, B. S. (1984). The use of high energy moisture characteristic to assess soil stability. *Australian Journal of Soil Research*, 22, 349–356.
- Crescimanno, G., Iovino, M. and Provenzano, G. (1995). Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Science Society of American Journal*, 59, 1701–1708.
- Czarnes, S., Hallett, P.D., Bengough, A.G. and Young, I. M. (2000). Root and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal of Soil Science*, 51, 435–443.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P.A. and Smith, F. (1956). Colorimetric method of determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350–356.
- Falahati Marvast, A., Hosseinpu, A. and Tabatabaei, S.H. (2013). Effect of salinity and sewage sludge on heavy metal availability and uptake by barley plant. *Journal of Water and Soil*, 27, 985–997. (In Farsi)
- Hajiboland, R. (2013). Role of Arbuscular Mycorrhiza in Amelioration of Salinity. In P. Ahmad, M.M. Azooz, and M.N.V. Prasad, (Eds.), *Salt Stress in Plants: Signalling, Omics and Adaptations*. (pp. 301–354). New York: Springer.
- Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A. and Mamedov, A. I. (2017). Effects of endophyte-infected and non-infected tall fescue residues on aggregate stability in four texturally different soils. *Geoderma*, 285, 195–205.
- Jafari, S., Chorom, M., Enayatizamir, N. and Motamedi, H. (2013). Effect of *Bacillus subtilis* and *Coryne bacterium* on some of soil microbial indexes in different salinity levels. *Journal of agricultural engineering*, 35, 55–70. (In Farsi)
- Kaplan, D.I., Bertsch, P.M. and Adriano, D.C. (1997). Mineralogical and physicochemical differences between mobile and non-mobile colloidal phases in reconstructed pedons. *Soil Science Society American Journal*, 61, 641–649.
- Killi, D. and Kavdir, Y. (2013). Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 82, 157–165.
- Levy, G. J. and Mamedov, A. I. (2002). High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. *Soil Science Society of American Journal*, 66, 1603–1609.
- Liang, Y., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W. and Jiang, Y. (2005). Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 185–1195.
- Liu, A., Ma, B.L. and Bomke, A.A. (2005). Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Science Society of American Journal*, 69, 2041–2048.
- Mamedov, A.I., Bar-Yosef, B., Levkovich, I., Rosenberg, R., Silber, A., Fine, P. and Levy, G.J., (2014). Amending soil with sludge, manure, humic acid, orthophosphate and phytic acid: effects on aggregate stability. *Soil Research*, 52, 317–326.
- Mirzaee, M. and Mahmoudabadi, M. (2015). Effect of different type and management of crop residues on soil physical properties and water infiltration. *Journal of soil researches*, 28, 659–671. (In Farsi)
- Nahidan, S. and Nourbakhsh, F. (2010). Effect of Soil organic carbon history on some of soil biological properties. 11th Iranian Soil Congress. (In Farsi)
- Nottidge, D.O., Ojeniyi, S.O. and Asawalam, D.O. (2005). Comparative effects of plant residues and fertilizer on soil properties in a humid ultisol. *Nigerian Journal of Soil Science*, 15, 9–13.
- Pierson, F. B. and Mulla, D. J. (1989). An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. *Soil Science Society of American Journal*, 53, 1825–1831.
- Raiesi, F. and Aghababae, F. (2011) The decomposability of some plant residues and their subsequent influence on soil microbial respiration and biomass, and enzyme activity. *Journal of Water and Soil*, 25, 863–873. (In Farsi)
- Rietz, D.N. and Haynes, R.J. (2003). Effects of irrigation- induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 845–854.
- Sambandan, K. (2014). Studies on Arbuscular Mycorrhizal (AM) profiles of coastal soils in Karaikal district, U.T of Puducherry, India. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 2, 307–312.
- Shaver, T. M., Peterson, G.A. and Sherrod, L.A. (2003). Cropping intensification in dry land systems improves soil physical properties:

- regression relations. *Geoderma*, 116, 149–164.
- Sillers, W. S., Fredlund, D. G. and Zakerzadeh, N. (2001). Mathematical attributes of some soil-water characteristic curve models. *Geotechnical & Geological Engineering*, 19, 243–283.
- Singh, Y., Singh, B., and Timsina, J. (2005). Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Advances in Agronomy*, 85, 289–407.
- Tisdall, J. M. and Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of soil science*, 33, 141–163.
- Yuan, B.C., Li, Z.Z., Liu, H., Gao, M. and Zhang, Y.Y.(2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, 35, 319–328.
- Zubair, M., Anwar, F., Ashraf, M., Ashraf A. and Chatha, S.A.S. (2012). Effect of green and farmyard manure on carbohydrates dynamics of salt-affected soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 497–510.