Impact of Oat (*Avena sativa* L.) and Daikon Radish (*Raphanus Sativus* var. Longipinnatus) Cover Crops on Some Soil Properties

Fatemeh Ahmadnia[1], Ali Ebadi[*2], Masoud Hashemi[3], Akbar Ghavidel[4] and Mohammad Taghi Alebrahim[5]

(Received: April 2023 Accepted: August 2023)

Abstract

The degradation of soil as a substrate for the production of agricultural products has become a global concern. The preservation of soil quantity and quality has led to an increasing need for environmentally friendly methods. Cover crops have emerged as a promising strategy to improve soil health and quality. To investigate the effects of cover crops on soil characteristics, a field experiment was conducted with three replicates during the crop years of 2020-2021 and 2021-2022. The experiment included monoculture of Oat (*Avena sativa* L.) and Daikon radish (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus), intercropping these two crops, and a control treatment without cover crops. The results indicated that the highest and lowest biomass of cover crops was obtained from Oat monoculture (538.83 g m^{-2}) and Daikon radish monoculture (325.83g m^{-2}), respectively. The monoculture of Oats, Daikon radish, and their intercropping increases the percentage of soil organic carbon (30.56, 27.86, and 28.86%) and soil microbial population (9.59, 11.70, and 05. 13 %) compared to the control treatment without cover crops. Intercropping of Oats with Daikon radish reduces the time of water infiltration into the soil and bulk density (36.86 and 15.86%, respectively), increasing the soil moisture percentage and the percentage of soil porosity (46.39 and 53.83%, respectively) compared to the control treatment. Spearman's correlation analysis revealed an increasing and significant effect of cover crops on soil organic carbon percentage, microbial population, soil moisture percentage, and soil porosity percentage. Conversely, the study found a decreasing and significant effect of cover crops on the water infiltration rate and soil bulk density. In conclusion, Daikon radish monoculture and its intercropping with oats had a favorable effect on most of the soil characteristics studied. These findings underscore the importance of cover crops as an environmentally friendly approach to improving soil properties.

Keywords: Bulk density, Infiltration rate, Microbial population, Organic carbon and Residues.

Ahmadnia F., Ebadi A., Hashemi M., Ghavidel A. and Alebrahim M.T. 2024. Impact of Oat (*Avena sativa* L.) and Daikon radish (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus) cover crops on some soil properties. *Applied Soil Research*, 12(2): 1-17.

1-Ph.D student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
2-Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili
3-Professor, Department of Soil Science, Stockbridge School of Agriculture, University of Massachusetts Amherst
4-Assistant professor, Department of Soil Sscience, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
5-Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili
* Corresponding Author Email: ebadi@uma.ac.ir

تأثیر گیاهان پوششی یولاف (*Avena sativa* L.) و ترب سفید (*Raphanus sativus* var. *Longipinnatus*) بر برخی از ویژگی‌های خاک

فاطمه احمدنیا[1]، علی عبادی[2*]، مسعود هاشمی[3]، اکبر قویدل[4] ، محمدتقی آل‌ابراهیم[5]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰)

چکیده

تخریب خاک به عنوان بستر تولید محصولات کشاورزی به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است. حفظ کمیت و کیفیت خاک منجر به نیاز روزافزون به روش‌های سازگار با محیط زیست شده است. گیاهان پوششی یک راهبرد امیدوارکننده برای بهبود سلامت و کیفیت خاک هستند. به منظور بررسی اثرات گیاهان پوششی بر ویژگی‌های خاک، آزمایشی در سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. این آزمایش شامل تک‌کشتی یولاف زراعی (*Avena sativa* L.) و ترب سفید (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus)، کشت مخلوط آن‌ها و تیمار شاهد بدون گیاه پوششی بود. نتایج حاکی از آن بود که بیشترین و کمترین زیست‌توده گیاهان پوششی به‌ترتیب از تک‌کشتی یولاف زراعی (۵۳۸/۸۳ گرم در متر مربع) و تک‌کشتی ترب سفید (۳۲۵/۸۳) به‌دست آمد. تک‌کشتی یولاف زراعی، ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها باعث افزایش درصد کربن آلی خاک (۳۰/۵۶، ۲۷/۸۶ و ۲۸/۸۶ درصد) و جمعیت میکروبی خاک (۹/۵۹، ۱۱/۷۰ و ۱۳/۰۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد بدون گیاه پوششی شدند. کشت مخلوط یولاف زراعی با ترب سفید موجب کاهش زمان نفوذ آب به خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک (به‌ترتیب ۳۶/۸۶ و ۱۵/۸۶درصد)، افزایش درصد رطوبت جرمی خاک و درصد تخلخل خاک (۴۶/۳۹ و ۵۳/۸۳ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد بدون گیاه پوششی شدند. تجزیه و تحلیل اسپیرمن تأثیر معنی‌دار و افزایشی گیاهان پوششی را بر درصد کربن آلی خاک، جمعیت میکروبی، درصد رطوبت جرمی و درصد تخلخل خاک نشان داد. بلعکس، این مطالعه تأثیر معنی‌دار و کاهشی گیاهان پوششی را بر میزان نفوذ آب و جرم مخصوص ظاهری خاک را نشان داد. در نتیجه تک‌کشتی ترب سفید و کشت مخلوط آن با یولاف زراعی تأثیر مطلوبی بر غالب ویژگی‌های خاک مورد مطالعه داشت. نتایج بر اهمیت گیاهان پوششی به عنوان یک رویکرد سازگار با محیط زیست برای بهبود ویژگی‌های خاک تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بقایا، جرم مخصوص ظاهری، جمعیت میکروبی، کربن آلی، نفوذپذیری

احمدنیا ف.، عبادی ع.، هاشمی م.، قویدل ا.، آل‌ابراهیم م.ت. ۱۴۰۳. تأثیر گیاهان پوششی یولاف (*Avena sativa* L.) و ترب سفید (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus) بر برخی از ویژگی‌های خاک. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۲. صفحه: ۱-۱۷.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آموزشی تولید و ژنتیک به‌نژادی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آموزشی تولید و ژنتیک به‌نژادی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (مکاتبه‌کننده)

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی استاک بریج، دانشگاه ماساچوست

۴- دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه آموزشی علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۵- استاد علوم علف‌های‌هرز، گروه آموزشی تولید و ژنتیک به‌نژادی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* پست الکترونیک: ebadi@uma.ac.ir

مقدمه

خاک یک اکوسیستم بسیار پیچیده و یک منبع بسیار ارزشمند بوم محور[1] و انسان محور[2] است (Yang *et al*., 2020). خاک یکی از ضروری‌ترین منابع به دلیل کارکردهای حیاتی مانند تأمین غذا، فیبر و سوخت، تجزیه مواد آلی مانند مواد گیاهی و جانوری، چرخه‌ی عناصر غذایی، سم‌زدایی از آلاینده‌های آلی، ترسیب کربن، تنظیم کیفیت و تأمین آب، تأمین زیستگاه برای جانداران و ریزجانداران خاکزی و منبع مواد خام (رس، ماسه و شن) است (Yang *et al*., 2020; Hallama *et al*., 2019; Cuevas *et al*., 2019). امروزه خاک به دلیل طیف وسیعی از فعالیت‌های انسانی در کشاورزی‌های فشرده به سرعت در مقیاس جهانی در حال تخریب است (Attard *et al*., 2011; Sapkota *et al*., 2012). تخریب یک منبع تجدیدناپذیر مانند خاک موجب ایجاد نگرانی‌های فزاینده‌ای شده است (Yang *et al*., 2020; Attard *et al*., 2011). در گذشته، محققان و کشاورزان بیشتر نگران کیفیت خاک و تولید محصول بودند اما از دهه ۱۹۹۰، مفهوم ارزیابی سلامت خاک بر ویژگی‌های خاص خاک و توانایی خاک برای حفظ طیف وسیعی از عملکردهای اکولوژیکی در اکوسیستم‌های مناسب متمرکز شده است و از سیستم‌های کشت پایدار در طولانی‌مدت حمایت می‌کند (Yang *et al*., 2020). تعریف سلامت خاک تحت سیستم‌های مختلف زراعی با توسعه کشاورزی تکامل یافته است. سلامت خاک به عنوان توانایی یک خاک برای عملکرد و ارائه خدمات اکوسیستمی (Van Es & Karlen, 2019) یا تناسب خاک برای حمایت از رشد محصول بدون تخریب خاک یا آسیب رساندن به محیط زیست تعریف می‌شود (Acton & Gregorich, 1995).

اصطلاح گیاهان پوششی، یک عبارت کلی است که به گونه‌ای از گیاهان سریع‌الرشد با قابلیت تولید زیست‌توده بالا اطلاق می‌شود که به منظور اهداف اکولوژیکی و غالباً غیر اقتصادی کشت می‌گردد (Gudarzi *et al*., 2020; Ghahremani *et al*., 2020). مزایای کشت گیاهان پوششی در اکوسیستم‌های کشاورزی شامل کاهش فرسایش خاک، افزایش محتوای کربن آلی خاک، کنترل علف‌های‌هرز و پاتوژن‌ها، مدیریت عناصر غذایی خاک، بهبود عملکرد محصولات نقدی می‌شود (Shamsaddin Saiedin *et al*., 2016; Esfadiary Ekhlas *et al*., 2018; Parmodh *et al*., 2018; Pfeiffer *et al*; 2016; Ahmadnia *et al*., 2021). علاوه بر این در مطالعات بسیاری بر تأثیر مثبت گیاهان پوششی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری و درصد تخلخل خاک، نفوذپذیری خاک، افزایش محتوی رطوبتی و فشردگی خاک اشاره شده است (Haghdoost Ghahremanloo, 2020; Ahmadnia *et al*., 2020; Hesami *et al*., 2018).

پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی از طریق تأثیر کربن آلی خاک به عنوان محرک ساختار خاک، چرخه عناصر غذایی، پویایی آب، فعالیت میکروبی و تنوع زیستی خاک امکان‌پذیر است (Tautges *et al*., 2019). افزایش محتوای کربن آلی خاک از طریق ترسیب کربن موجب کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری، کاهش اثرات گلخانه‌ای، کاهش اثرات جهانی تغییرات آب و هوایی و افزایش انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شود (Karami *et al*., 2019; Tautges *et al*., 2019). یک متاآنالیز جهانی نشان داده است که گیاهان پوششی می‌توانند ذخایر کربن آلی خاک را از سطح تا عمق ۳۰ سانتیمتری خاک به میزان ۰/۳۲ درصد افزایش دهند (Poeplau & Don, 2015). جمعیت میکروبی خاک متأثر از محتوای کربن آلی خاک و بقایای گیاهان افزوده شده می‌تواند نقش مهمی در سلامت خاک، چرخه عناصر غذایی و بطور غیرمستقیم بر بهبود عملکرد محصولات کشاورزی داشته باشد (Soti *et al*., 2016; Alexander, 1977; Chaichi *et al*., 2008). کشت گیاهان پوششی می‌تواند بر عملکرد میکروبی خاک مؤثر باشد (Ttsiafouli *et al*., 2015; Kim *et al*., 2020). مطالعات بسیاری به تأثیر گیاهان پوششی در افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک اشاره کرده‌اند (Surucu *et al*., 2014; Li *et al*., 2012). مک‌دانیل و همکاران (McDaniel *et al*., 2014) در یک متاآنالیز بر تأثیر گیاهان پوششی بر افزایش کربن و نیتروژن خاک گزارش کردند که کشت گیاهان پوششی موجب افزایش کربن و نیتروژن خاک می‌شود. متاآنالیز بولز و همکاران (Bowles *et al*., 2017) اثرات مثبت کشت گیاهان پوششی را بر کلونیزاسیون میکروبی ریشه گیاهان گزارش کردند. قهرمانی و همکاران (Ghahremani *et al*., 2021) گزارش کردند که جمعیت میکروبی خاک تحت تأثیر ترکیب‌های مختلف گیاهان پوششی ۲/۲ برابر جمعیت میکروبی تیمار شاهد بدون گیاه پوششی بود. همچنین گزارش شده است

1 -Ecocentric

2 -Anthropocentric

که ترکیب‌های مخلوط گیاهان پوششی موجب افزایش بیشتر جمعیت میکروبی خاک در مقایسه با تک‌کشتی گیاهان پوششی می‌شود (Finney *et al*., 2017). علاوه بر این تأثیر گیاهان پوششی بر جرم مخصوص ظاهری خاک و نفوذپذیری گزارش شده است. ایرماک و همکاران (Irmak *et al*., 2018) گزارش کردند که در حالی که گیاهان پوششی تأثیر کوتاه‌مدت قابل توجهی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک نداشتند، اما میزان نفوذ آب به خاک را تا ۶۴ درصد افزایش دادند. بنابراین یکی از تأثیرات کوتاه‌مدت گیاهان پوششی بر سلامت خاک، بهبود میزان نفوذ آب به خاک به دلیل ایجاد کانال‌هایی در خاک توسط سیستم ریشه آن‌ها می‌باشد (Ghahremani *et al*., 2021). جرم مخصوص ظاهری خاک و درصد تخلخل خاک می‌تواند تحت تأثیر بقایای گیاهان پوششی، نوع بافت خاک (Hesami *et al*., 2018) و محتوای کربن آلی خاک (Chaichi *et al*., 2008) قرار گیرد. قهرمانی و همکاران (Ghahremani *et al*., 2021) گزارش کردند در ترکیب‌های مختلف گیاهان پوششی (تک‌کشتی و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه) میزان جرم مخصوص ظاهری خاک تقریباً ۱۳ درصد کمتر از تیمار شاهد بدون گیاه پوششی بود.

با توجه به تخریب روزافزون خاک به عنوان بستر تولید و نقش حیاتی آن در تأمین نیازهای انسان و دام، توجه به سلامت و کیفیت خاک امری ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تک‌کشتی یولاف زراعی و ترب سفید (تربچه دایکون) و کشت مخلوط آن‌ها بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ´۲۰ °۴۸ طول شرقی و ´۱۹ °۳۸ عرض شمالی با شرایط آب و هوایی سرد و نیمه خشک اجرا شد. به منظور بررسی شرایط اولیه خاک مزرعه آزمایشی نمونه‌های به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری سطح مزرعه جمع‌آوری و پس از اختلاط، به آزمایشگاه مرکزی آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شده و پس از هوا خشک کردن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس، پتاسیم قابل جذب با روش فلیم فتومتری، فسفر قابل جذب به روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Page, 1982)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون (Page, 1982)، pH و EC در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر و EC سنج (Gupta, 2004)، کربن آلی با روش والکی و بلک (Walkley & Black, 1934) و تعیین بافت خاک به روش هیدرومتر دو قرائته (Dane & Topp, 2002) انجام شد. برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی به شرح جدول یک می‌باشد. همچنین میزان بارش و میانگین دما در دو سال زراعی در شکل‌های A و B ارائه شده است.

طرح آزمایشی

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. مزرعه آزمایشی پیش از کشت گیاهان پوششی با استفاده از ادوات کشاورزی مکانیزه مسطح شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت گیاهان پوششی یولاف زراعی (*Avena sativa* L.)، ترب سفید (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus)، کشت مخلوط آن‌ها (با نسبت بذر ۵۰ درصد) و تیمار شاهد (بدون گیاه پوششی) بود. بذر گیاهان پوششی از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه و در کرت‌های به ابعاد ۴×۳ متر به‌صورت دستی در تاریخ‌های پنج شهریور ۱۳۹۹ و یک شهریور ۱۴۰۰ کشت شد. میزان بذر مصرفی برای یولاف زراعی و ترب سفید به‌ترتیب ۱۰۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (Ahmadnia *et al*., 2021). فواصل بین و روی ردیف گیاهان پوششی به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد که با احتساب اثر حاشیه‌ای هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف کاشت بود. در تیمار کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید، کشت گیاهان پوششی به‌صورت ردیف‌های یک در میان انجام شد. هیچ نوع کودی در طول دوره رشد گیاهان پوششی استفاده نگردید. پس از کشت گیاهان پوششی آبیاری انجام شد. دوره‌های آبیاری تا زمان کاهش دما و شروع باران‌های پاییزی به‌صورت هفت روز یکبار انجام شد (شکل ۱). همچنین کنترل علف‌های‌هرز در تیمار شاهد و گیاهان پوششی به‌صورت وجین دستی انجام شد.

زیست‌توده گیاهان پوششی

به منظور سنجش زیست‌توده گیاهان پوششی پس از بسته شدن تاج پوشش گیاهی و پیش از کاهش دما (شکل ۱) با

رعایت اثر حاشیه‌ای از ردیف‌های میانی با استفاده از کوادرات ۵۰ ×۵۰ سانتیمتری نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های گیاهی در پاکت‌های کاغذی تا حصول وزن ثابت (۷۲ ساعت) در آون آزمایشگاهی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از حصول وزن ثابت توسط ترازوی با دقت ۰/۰۱ مدل A&D company limited ساخت ژاپن توزین شدند. گیاهان پوششی سبز پس از نمونه‌برداری زیست‌توده به منظور زمستانگذرانی در سطح خاک (بدون اعمال هیچگونه تغییری در بافت گیاهی) رها شدند.

نمونه‌برداری خاک

نمونه‌برداری به منظور بررسی تأثیر گیاهان پوششی بر برخی از ویژگی‌های خاک در بهار سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ از عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک انجام شد (Sintim *et al*., 2018).

کربن آلی خاک

به منظور سنجش کربن آلی خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک یک نمونه مرکب (پنج نمونه از نقاط مختلف کرت‌های آزمایشی) تهیه و درصد کربن آلی خاک به روش والکی و بلک اندازه‌گیری شد (Walkley & Black, 1934).

جمعیت میکروبی خاک

جمعیت میکروبی خاک با استفاده از روش بیشترین تعداد محتمل محاسبه شد. به منظور سنجش جمعیت میکروبی خاک یک نمونه مرکب (پنج نمونه از هرکرت آزمایشی و اختلاط آن‌ها با یکدیگر) تهیه شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک در یخچال با دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری نگهداری شدند. در این روش یک گرم از خاک نمونه با سرم فیزیولوژیک مخلوط شده و سری رقت ده‌دهی تهیه گردید. سپس، از هر رقت تهیه شده مقدار یک میلی‌لیتر به داخل لوله آزمایش حاوی محیط کشت مایع (NB)[1] منتقل شد و به مدت یک هفته گرماگذاری شد. پس از گرماگذاری، رشد و عدم رشد در محیط کشت، یادداشت شد. بیشترین تعداد محتمل باکتری در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری با استفاده از جدول آماری مک‌گریدی محاسبه شد (Ball, 2014).

زمان نفوذ آب به خاک

به منظور سنجش زمان نفوذ آب به خاک از روش صحرایی میبوس-کلون و همکاران (Moebius-Clune *et al*., 2016) استفاده شد. در این روش یک حلقه آلومینیومی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتیمتر در زمین عاری از گیاه پوششی (بقایای گیاهان پوششی در مرکز هر کرت آزمایشی پاکسازی شد تا مانع از نفوذ آب به خاک نگردد) به‌صورتی که نیمی از حلقه در خاک فرو رود، قرار گرفت. مدت زمان نفوذ ۵۰۰ میلی‌لیتر آب به داخل خاک با کورنومتر ثبت شد و به عنوان زمان نفوذ آب به خاک برای تیمارهای گیاهان پوششی در نظر گرفته شد.

درصد رطوبت جرمی خاک

به منظور سنجش درصد رطوبت جرمی خاک، یک نمونه از مرکز هر کرت آزمایشی با استفاده از اوگر از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک برداشت شد. محاسبه درصد رطوبت جرمی خاک با استفاده از رابطه (۱) انجام شد (Klute, 1986).

$$\theta m = \frac{Wsw - Wsd}{Wsd} \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Wsw بیانگر وزن تر نمونه اولیه خاک برداشت شده براساس گرم، Wsd بیانگر وزن خاک آون خشک شده براساس گرم و θm بیانگر درصد رطوبت جرمی خاک می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری خاک

به منظور سنجش جرم مخصوص ظاهری خاک نمونه‌ها با استفاده از اوگر حاوی سیلندر از عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری به‌صورت دست نخورده برداشت و توزین شد. سپس یک طرف سیلندرها را با فویل آلومینیومی پوشش داده و در آون آزمایشگاهی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و مجدداً اقدام به توزین سیلندرها گردید. پس از اندازه‌گیری حجم سیلندر، از طریق رابطه (۲) جرم مخصوص ظاهری خاک برای هر تیمار گیاه پوششی محاسبه گردید.

$$Pb = \frac{Wsd}{V} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه Wsd بیانگر وزن خاک خشک براساس گرم، V بیانگر حجم سیلندر مورد نظر براساس سانتیمتر مکعب، ρb بیانگر جرم مخصوص ظاهری خاک گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد (Dane & Topp, 2002).

درصد تخلخل خاک

1 - Nutrient Broth

درصد تخلخل خاک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Ardakani *et al*., 2007).

$$\text{درصد تخلخل خاک} = \frac{2.65-\text{Pb}}{2.65} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه ۲/۶۵ مقدار جرم حقیقی خاک و Pb بیانگر جرم مخصوص ظاهری خاک است.

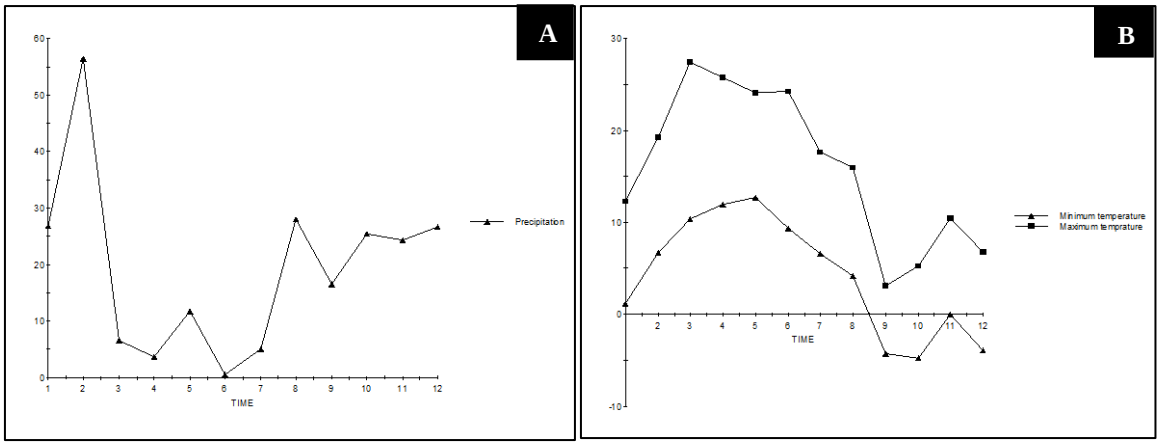
تجزیه آماری

تجزیه آماری داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها تأثیر تیمارها با استفاده از آزمون $LSD_{5\%}$ و ترسیم شکل‌ها با استفاده از Excel 2019 و FSTWin 4.12 انجام شد. همبستگی اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار آماری GraphPad Prism 9 پس از انجام آزمون نرمال بودن کولموگروف-اسمیرنوف رسم شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

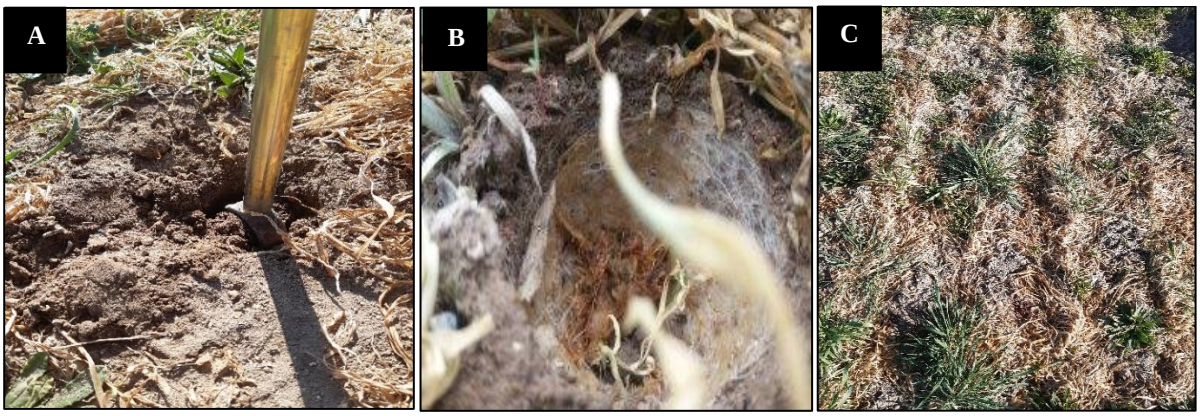
Table1. Some characteristics of the experimental soil

Potassium	Phosphorus	Nitrogen	OC	Calcium carbonate	Soil texture	Clay	Silt	Sand	EC	pH
(mg kg^{-1})		(%)				(%)			dS m^{-1}	
202	8.2	0.06	0.6	14.5	Loam	23	42	35	2.6	7.83



شکل ۱- میانگین بارش (A) و دما (B) در دو سال زراعی

Figure 1. Mean precipitation (A) and temperature (B) in two crop years



شکل ۲- نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک (A)، حفره حاصل از پوسیدگی ترب سفید پس از زمستان گذرانی (B) و بقایای یولاف زراعی (C)

Figure 2. Sampling from the depth of 0 to 15 cm of soil (A), the cavity resulting from the rotting of Daikon radish after wintering (B) and the residue of Oats (C)

نتایج و بحث

زیست‌توده گیاهان پوششی

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که زیست‌توده گیاهان پوششی مؤثر از سیستم‌های کاشت و میزان بذر مصرفی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میانگین زیست-توده پوششی مربوط به تک‌کشتی یولاف زراعی (۵۳۸/۸۳ گرم در متر مربع) بود (شکل ۳). همچنین کمترین میانگین زیست‌توده گیاهان پوششی نیز از تک‌کشتی ترب سفید (۳۲۵/۸۳ گرم در مترمربع) حاصل شد (شکل ۳). کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید با زیست‌توده ۴۱۵/۹۴ گرم در متر مربع دومین ترکیب مناسب از نظر تولید زیست‌توده در دو سال زراعی بود (شکل ۳). به نظر می‌رسد میزان بذر مصرفی یولاف زراعی، تراکم کاشت و قابلیت رشد سریع و استقرار این گیاه در شرایط محیطی شهرستان اردبیل (شکل ۱) باعث تولید زیست‌توده مناسب شده باشد. نتایج حاصل از زیست‌توده تک‌کشتی ترب سفید نیز وابسته به میزان بذر مصرفی و تراکم کاشت بود، به طوری که از زمان کاشت تا نمونه‌برداری از گیاهان پوششی سبز، این گیاه فرصت چندانی برای تولید قسمت گوشتی ترب سفید و افزایش زیست‌توده نداشت، بنابراین نتایج حاصل از زیست‌توده پوششی ترب سفید نیز به دور از انتظار نبود. میزان زیست‌توده تک‌کشتی یولاف زراعی و ترب سفید مؤید این امر است که میزان بذر مصرفی و تراکم کاشت (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار یولاف زراعی در مقابل ۲۰ کیلوگرم ترب سفید) این گیاهان در تک‌کشتی مطلوب بوده اما در کشت مخلوط با کاهش میزان بذر مصرفی به ۵۰ درصد در مقایسه با تک‌کشتی باعث افزایش رقابت بین‌گونه‌ای شده است. بنابراین چنین استنباط می‌گردد که در زیست‌توده حاصل از کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید، زیست‌توده غالب، زیست‌توده حاصل از یولاف زراعی بوده است، به طوری که در مقایسه با ترب سفید، یولاف زراعی زیست‌توده بیشتری تولید کرد. همچنین نتایج مقایسه میانگین سال-های زراعی نشان داد که زیست‌توده گیاهان پوششی در سال دوم زراعی (۳۵۵/۴۶ گرم در متر مربع) بیشتر از سال اول زراعی (۲۸۴/۸۴ گرم در متر مربع) بوده است (شکل ۴). یکی از مهمترین دلایل این امر تاریخ کاشت گیاهان پوششی در سال دوم زراعی است. اگرچه در مطالعات بسیاری به تأثیر مثبت بهرمندی از سودمندی‌های کشت مخلوط گیاهان پوششی اشاره شده است (Coombs *et al*., 2017; Mukumbareza *et al*., 2015; Sharma *et al*., 2018)، اما، نتایج این آزمایش این چنین نبود و بیانگر اهمّیت احتمال تأثیر میزان بذر مصرفی و تراکم کاشت در احتمال افزایش رقابت بین‌گونه‌ای یولاف زراعی با ترب سفید و انتخاب تراکم کاشت مطلوبتری در کشت مخلوط بود. برای مثال، احمدنیا و همکاران (Ahmadnia *et al*., 2021) در ارزیابی تأثیر کوتاه‌مدت گیاهان پوششی یولاف و خلر در بهبود برخی از ویژگی‌های منتخب خاک بیشترین میزان زیست‌توده خشک را از گیاه پوششی یولاف در تک‌کشتی و کشت مخلوط آن با خلر گزارش کردند. در بررسی دیگر پژوهشگران گزارش کردند که بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی در دو سال زراعی از تک‌کشتی چاودار (به‌ترتیب سال اول و دوم زراعی، ۳۹۷ و ۴۷۳ گرم در متر مربع) حاصل شد (Ahmadnia *et al*., 2020). آن‌ها دلیل عدم افزایش زیست‌توده کشت مخلوط را عدم استفاده مطلوب از سودمندی‌های کشت مخلوط توسط دو گونه مورد بررسی دانستند (Ahmadnia *et al*., 2020).

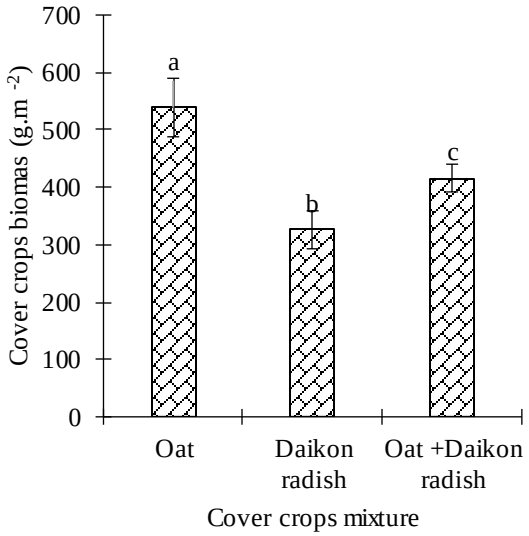
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس زیست‌توده گیاهان پوششی و برخی از ویژگی‌های خاک

Table 2. Results of biomass variance analysis of cover crops and some soil properties

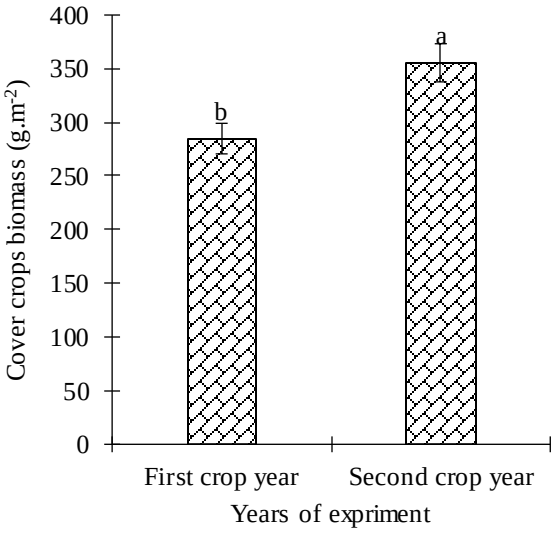
Source of variation	Df	Cover crops biomass	Soil organic matter	Soil microbial population
Year	1	29921.69^{**}	0.010^{**}	$3.51\times10^{11**}$
Repetition (Year)	4	1272.91^{ns}	0.0004^{ns}	1.58×10^{10ns}
Cover crops	3	319045.78^{**}	0.118^{**}	$1.61\times10^{10**}$
Year (Cover crops)	3	3414.11^{ns}	0.001^{ns}	4.09×10^{10ns}
Error	12	2107.51	0.0008	9.20×10^{10}
CV (%)	-	14.33	3.18	8.14

** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

** and ns denote significant and significant difference at $p \leq 0.01$ respectively.



شکل ۳- تغییرات زیست‌توده گیاهان پوششی
Figure 3. Variation in the biomass of cover crops

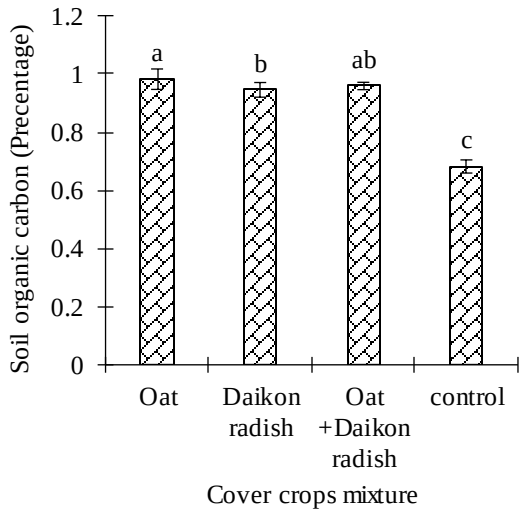


۴- تغییرات زیست‌توده گیاهان پوششی تحت تأثیر سال‌های آزمایش
4. Biomass variations of cover crops under the influence of years of experiment

درصد کربن آلی خاک

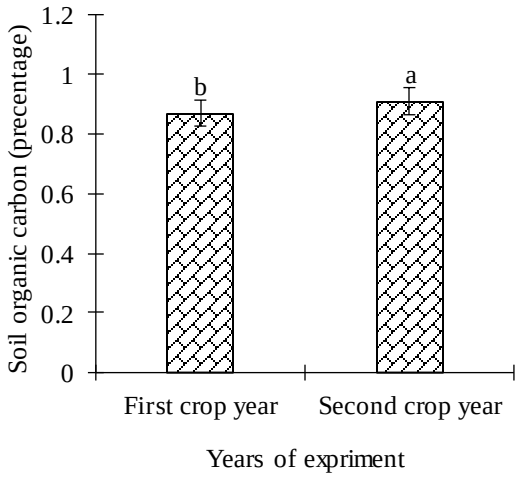
درصد کربن آلی خاک تحت تأثیر سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری از نظر کربن آلی خاک در بین سیستم‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط گیاهان پوششی وجود نداشت (شکل ۵). با این حال، مقایسه ترکیب‌های گیاهان پوششی با تیمار شاهد بدون گیاه پوششی نشان داد که، تک‌کشتی یولاف زراعی، ترب سفید و کشت مخلوط به‌ترتیب ۳۰/۵۶، ۲۷/۸۶ و ۲۸/۸۶ درصد کربن آلی خاک را افزایش دادند (شکل ۵). مقایسه میانگین سال‌های زراعی در سیستم‌های کاشت نشان داد که در سال دوم زراعی کربن آلی خاک ۴/۳۹ درصد در مقایسه با سال اول زراعی افزایش یافته است (شکل ۶). در راستای تولید زیست‌توده گیاهان پوششی در تک‌کشتی یولاف زراعی، انتظار بر آن بود که تک‌کشتی یولاف زراعی دارای بیشترین کربن آلی خاک باشد، اما این احتمال وجود دارد که مدت زمان لازم برای تجزیه اندام هوایی یولاف زراعی به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالای این گیاه بیشتر از مدت زمان اجرای این آزمایش و انجام نمونه‌برداری از خاک باشد. اگرچه زیست‌توده حاصل از ترب سفید در مقایسه با یولاف زراعی اندک بود و این گیاه فرصت چندانی برای بزرگ شدن بافت گوشتی ترب سفید نداشت اما، تجزیه بخش بسیاری از بافت گوشتی ترب سفید تولید شده در حین زمستان‌گذرانی گیاهان پوششی صورت گرفته بود و این یکی از مهمترین دلایل افزایش کربن آلی خاک در این تیمار بود. سینگ و کاور (Singh & Kaur, 2012) بیان کردند که همبستگی معنی‌داری بین بقایای گیاهان پوششی و میزان کربن آلی خاک وجود دارد. نتایج این آزمایش به طور کامل از این فرضیه "همبستگی معنی‌داری بین بقایای گیاهان پوششی و میزان کربن آلی خاک" پیروی نمی‌کند، به نظر می‌رسد که علاوه بر میزان زیست-توده پوششی، نوع بافت گیاهی که در سطح خاک قرار می-گیرد و پتانسیل تجزیه آن در مدت زمان مورد بررسی بر کربن آلی خاک نیز مؤثر است. با این حال در مطالعات بسیاری بر تأثیر مثبت گیاهان پوششی در سیستم‌های کشت مخلوط و ارتباط میزان زیست‌توده پوششی با افزایش کربن آلی خاک اشاره شده است. برای مثال، حسامی و همکاران (Hesami *et al*., 2018) بیان کردند که تیمارهای دارای بقایای گندم، بیشترین میزان کربن آلی خاک (۰/۸۰ و ۰/۴۸ درصد) را از اعماق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری داشتند. احمدنیا و همکاران (Ahmadnia *et al*., 2021) بیشترین (۱/۲۱ درصد) درصد کربن آلی خاک را از کشت مخلوط یولاف و خلر گزارش کردند. پژوهشگران در بررسی تأثیر کوتاه‌مدت گیاهان پوششی بر خصوصیات فیزیکی و زیستی خاک، بیشترین درصد کربن آلی خاک را از کشت مخلوط چاودار، خلر و ماشک‌گل‌خوشه‌ای (۰/۵۳

درصد) و کمترین میزان کربن آلی خاک را از تیمار شاهد بدون گیاه پوششی (۰/۴۸ درصد) گزارش کردند (Ahmadnia *et al*., 2020).



شکل ۵- تغییرات کربن آلی خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 5. Soil organic carbon variation under the effect of cover crops

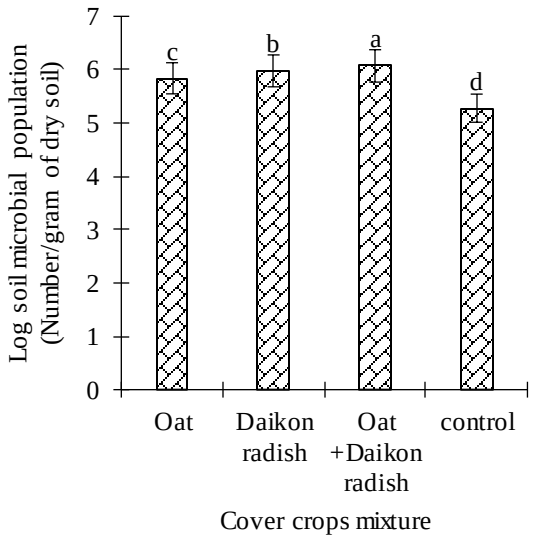


شکل ۶- نتایج مقایسه سال‌های زراعی در افزایش کربن آلی خاک

Figure 6. The results of the comparison of cropping years in the increase of soil organic carbon

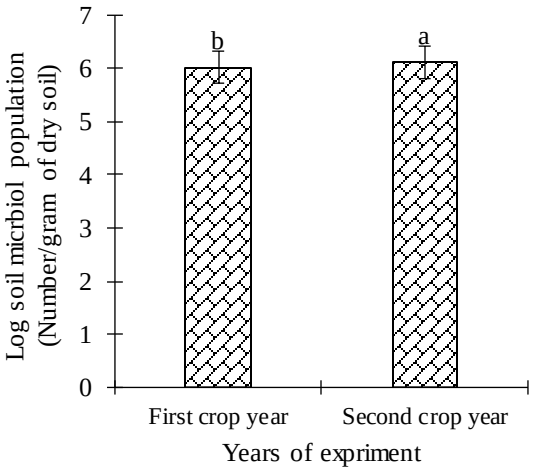
جمعیت میکروبی خاک

نتایج نشان داد که جمعیت میکروبی خاک تحت تأثیر سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین جمعیت میکروبی محتمل در خاک از کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید ($۱/۱۷ \times ۱۰^{۶}$ تعداد در گرم خاک) و کمترین جمعیت میکروبی خاک از تیمار شاهد ($۱/۸۹ \times ۱۰^{۵}$) حاصل شد (شکل ۷). جمعیت میکروبی خاک در تک‌کشتی ترب سفید و یولاف زراعی نیز به‌ترتیب $۹/۵۰ \times ۱۰^{۵}$ و $۶/۸۹ \times ۱۰^{۵}$ تعداد در گرم خاک بودند (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید، تک‌کشتی ترب سفید و یولاف زراعی به‌ترتیب ۱۳/۰۵، ۱۱/۷۰ و ۹/۵۹ درصد جمعیت میکروبی خاک را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۷). همچنین، نتایج مقایسه سال‌های زراعی بیانگر افزایش ۱/۴۶ درصدی جمعیت میکروبی خاک در سال دوم زراعی در مقایسه با سال اول زراعی بود (شکل ۸). علیرغم زیست‌توده بالای گیاه پوششی یولاف زراعی، جمعیت میکروبی خاک در کشت مخلوط و تک‌کشتی ترب سفید بیشتر بود، احتمال می‌رود تجزیه نسبتاً سریع ترب سفید در مقایسه با یولاف زراعی موجب افزایش فعالیت میکروبی خاک شده است. اگرچه میزان زیست‌توده گیاهان پوششی بر افزایش کربن آلی خاک و جمعیت میکروبی خاک می‌تواند مؤثر باشد اما نتایج حاصل از این آزمایش در راستای نتایج کربن آلی خاک بود و نشان داد که احتمال تجزیه سریع بافت گیاهی نیز می‌تواند عامل مؤثر بر افزایش جمعیت میکروبی خاک باشد. علاوه بر این، در مطالعات پیشین بر تأثیر فراهمی عناصر غذایی (Ahmadnia *et al*., 2021) و افزایش محتوای کربن آلی خاک (Chaichi *et al*., 2008) بر فعالیت ریزجانداران در خاک نیز اشاره شده است. بیان شده است که جمعیت میکروبی خاک تأثیر مهمی در بهبود شرایط خاک، چرخه‌ی عناصر غذایی و به طور غیرمستقیم در تولید محصولات کشاورزی دارد (Soti *et al*., 2016). افزودن بقایای گیاهی به خاک یکی از روش‌های افزاینده‌ی جمعیت میکروبی خاک می‌باشد (Khodashenas *et al*., 2010). همچنین جایگذاری بقایای گیاهان پوششی به دلیل تأمین شرایط رطوبتی و دمایی مناسب موجب افزایش رشد و تکثیر ریزجانداران خاک می‌گردد (Alear & Bradford, 2005).



شکل ۷- جمعیت میکروبی (تعداد در گرم خاک) تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 7. Soil microbial population (Number/g soil) under the influence of cover crops



شکل ۸- نتایج مقایسه سال‌های زراعی در افزایش جمعیت میکروبی خاک (تعداد در گرم خاک)

Figure 8. The results of comparing cropping years in the increase of soil microbial population (Number/g soil)

زمان نفوذ آب به خاک

میزان نفوذ آب به خاک تحت تأثیر سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین زمان نفوذ آب به خاک بدون اختلاف آماری معنی‌داری از تیمارهای تک-کشتی یولاف زراعی و ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها (به‌ترتیب ۸/۴۷، ۸/۰۵ و ۷/۴۵ ثانیه) و بیشترین زمان نفوذ آب به خاک از تیمار شاهد بدون گیاه پوششی (۱۱/۸ ثانیه) حاصل شد (شکل ۹). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تک‌کشتی یولاف زراعی، ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها در مقایسه با تیمار شاهد موجب کاهش ۲۸/۲۲، ۳۱/۷۷ و ۳۶/۸۶ درصدی زمان نفوذ آب به خاک شدند (شکل ۹). همچنین نتایج مقایسه میانگین سال‌های زراعی نشان داد که زمان نفوذ آب به خاک در سال دوم زراعی ۱۲/۵۷ درصد در مقایسه با سال اول زراعی کاهش یافته است (شکل ۱۰). کاهش زمان نفوذ آب به خاک می‌تواند مؤثر از حضور ریشه گیاهان پوششی و حفره‌های ایجاد شده در خاک ناشی از بافت گوشتی ترب سفید باشد. پژوهشگران گزارش کردند که عوامل بسیاری مانند شخم، پوشش گیاهی، جرم مخصوص ظاهری و درصد تخلخل خاک، محتوای کربن آلی خاک، سطح پایداری خاکدانه‌ها بر میزان نفوذ آب به خاک مؤثر هستند (Almeida *et al*., 2017; Ahmadnia *et al*., 2021). نتایج این آزمایش نیز نشان داد که مانند کربن آلی خاک اختلاف آماری معنی‌داری در بین گیاهان پوششی از نظر کاهش زمان نفوذ آب به خاک وجود نداشت، با این حال در مقایسه با شرایط عدم وجود گیاهان پوششی (تیمار شاهد)، حضور گیاهان پوششی تأثیر مثبتی بر کاهش مدت زمان نفوذ آب به خاک داشتند (شکل ۹). در بررسی گزارش شده است که ترکیب‌های مختلف گیاهان پوششی به‌صورت تک‌کشتی و کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه موجب افزایش ۱۳ درصدی نفوذ آب به خاک شدند (Ghahremani *et al*., 2021). احمدنیا و همکاران (Ahmadnia *et al*., 2021) گزارش کردند میزان نفوذ آب به خاک در تیمارهای گیاهان پوششی یولاف و خلر دارای تفاوت آماری معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد نبود اما به طور کلی تک‌کشتی و کشت مخلوط یولاف و خلر موجب کاهش ۳۳/۳۶، ۴۱/۵۰ و ۴۶/۹۹ درصدی زمان نفوذ آب به خاک در مقایسه با تیمار شاهد شدند. نتایج حاصل از یک متآنالیز نشان داد که حضور پوشش گیاهی، استفاده از سیستم‌های بدون شخم منجر به افزایش میزان نفوذ آب به خاک می‌شود (Basche & DeLonge, 2019).

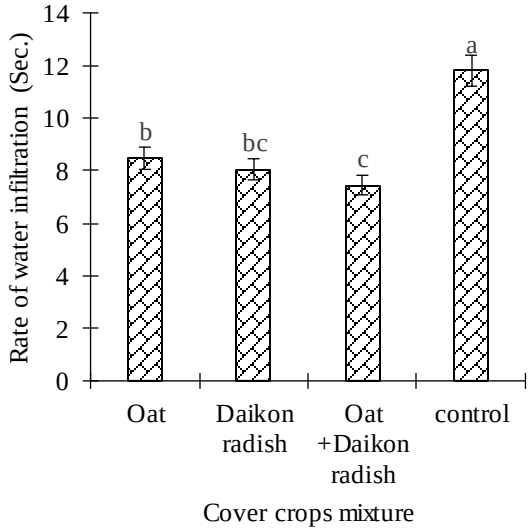
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برخی از ویژگی های خاک

Table 3. Results of variance analysis of some soil characteristics

Source of variation	Df	Mean squares			
		Rate of water infiltration	Soil moisture percentage	Bulk density	Soil porosity
Year	1	8.58^{**}	50.76^{**}	0.0560^{**}	79.83^{**}
Repetition (Year)	4	0.92^{*}	1.98^{ns}	0.0007^{ns}	1.10^{ns}
Cover crops	3	22.74^{**}	111.53^{**}	0.0542^{**}	77.22^{**}
Year (Cover crops)	3	0.31^{ns}	5.08^{*}	0.0026^{ns}	3.78^{ns}
Error	12	0.25	0.99	0.001	2.24
CV (%)	-	5.61	5.85	3.01	2.98

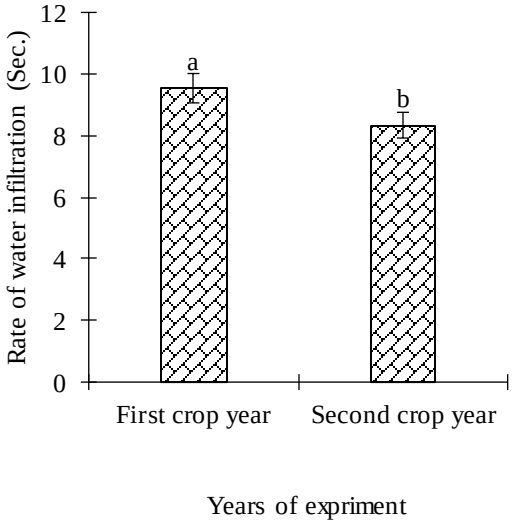
**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌داری می‌باشد.

** and ns denote significant and significant difference at $p \leq 0.01$ and 0.05 respectively.



شکل ۹- تغییرات زمان نفوذ آب به خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 9. Variations in time of water infiltration into the soil under the effect of cover crops



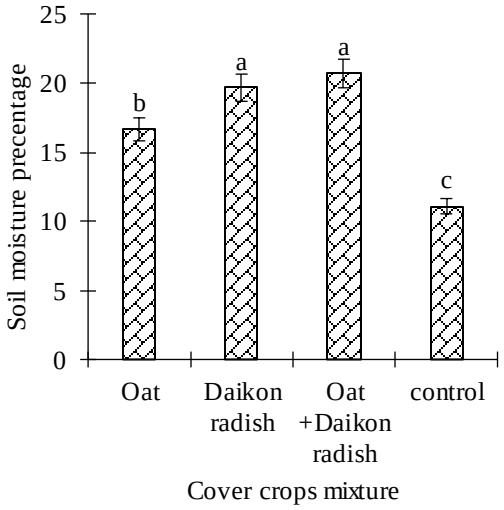
شکل ۱۰- نتایج مقایسه سال‌های زراعی در کاهش زمان نفوذ آب به خاک

Figure 10. The results of the comparison of crop years in reducing the time of water infiltration into the soil

درصد رطوبت جرمی خاک

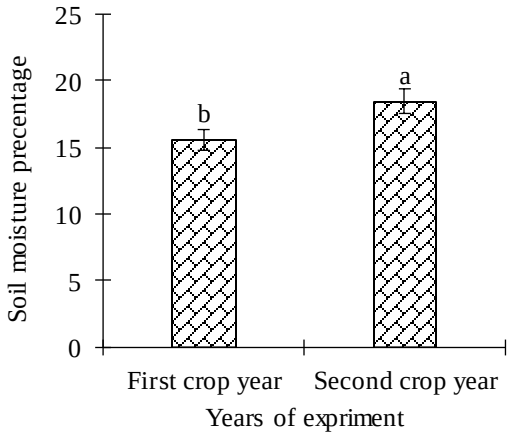
نتایج نشان داد که درصد رطوبت جرمی خاک تحت تأثیر سال، گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد رطوبت جرمی خاک از کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید و تک-کشتی ترب سفید (به‌ترتیب ۲۰/۶۹ و ۱۹/۶۶ درصد) حاصل شد (شکل ۱۱). کمترین درصد رطوبت جرمی خاک نیز در تیمار شاهد بدون گیاه پوششی (۱۱/۰۹ درصد) ثبت شد (شکل ۱۱). همچنین نتایج نشان داد که درصد رطوبت جرمی خاک در مقایسه با تیمار شاهد در تک‌کشتی‌های یولاف زراعی، تک‌کشتی ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها به‌ترتیب ۳۳/۳۹، ۴۳/۵۹ و ۴۶/۳۹ درصد افزایش یافت (شکل ۱۱). نتایج مقایسه سال‌های زراعی نیز نشان داد که درصد رطوبت جرمی خاک در سال دوم زراعی در مقایسه با سال اول زراعی ۱۵/۷۴ درصد افزایش یافت (شکل ۱۲). نتایج حاصل از درصد رطوبت جرمی خاک در کشت مخلوط و تک‌کشتی ترب سفید مانند نتایج مدت زمان نفوذ آب به خاک بیانگر تأثیر مثبت حفره‌های ایجاد شده توسط ریشه ترب سفید بود. گزارش شده است که فقدان پوشش گیاهی می‌تواند موجب افزایش تخریب خاک و کاهش توانایی خاک برای مقاومت در برابر تغییرات بارندگی از طریق تأثیر بر

اختلال در تجمع ذخایر رطوبتی، افزایش جرم مخصوص ظاهری و ایجاد محدودیت در ظرفیت نگهداری آب شود (Palm *et al*., 2014). شیوه‌های مدیریتی بدون شخم با کاشت گیاهان پوششی می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش ظرفیت نگهداری آب، پایداری خاکدانه‌ها و جرم مخصوص ظاهری خاک داشته باشد (Stott *et al*., 2017).



شکل ۱۱- درصد رطوبت جرمی خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 11. Soil moisture percentage under the effect of cover crops



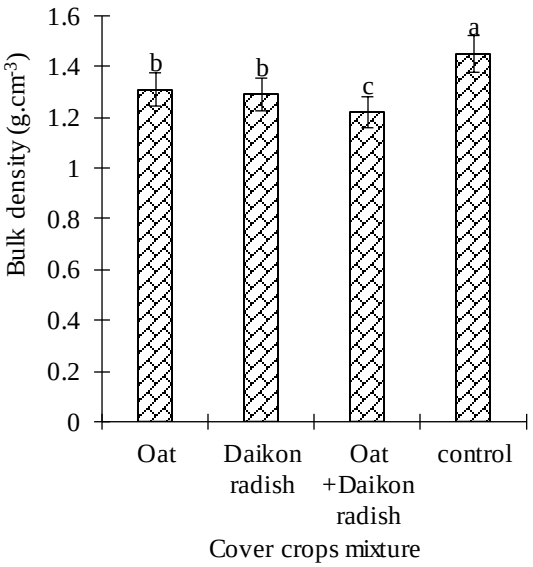
شکل ۱۲- مقایسه سال‌های زراعی در افزایش درصد رطوبت جرمی خاک

Figure 12. Comparison of crop years in increasing soil mass moisture percentage

جرم مخصوص ظاهری خاک

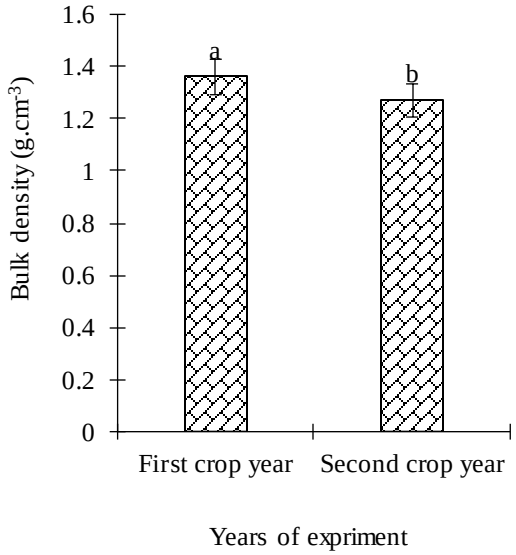
جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین (۱/۴۵ گرم بر سانتیمتر مکعب) از تیمار شاهد بدون گیاه پوششی و کمترین (۱/۲۲ گرم بر سانتیمتر مکعب) از کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید حاصل شد (شکل ۱۳). همچنین نتایج نشان داد که تک‌کشتی یولاف زراعی و ترب سفید (به‌ترتیب ۱/۳۱ و ۱/۲۹ گرم بر سانتیمتر مکعب) اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱۳). نتایج مقایسه تیمار شاهد با تک‌کشتی یولاف زراعی، تک‌کشتی ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها نشان داد که جرم مخصوص ظاهری خاک به‌ترتیب ۹/۶۵، ۱۱/۰۳ و ۱۵/۸۶درصد کاهش یافت (شکل ۱۳). نتایج مقایسه سال-های زراعی بیانگر کاهش قابل توجه ۶/۶۱ درصدی جرم مخصوص ظاهری خاک در سال دوم زراعی بود (شکل ۱۴). بیان شده است که گیاهان پوششی می‌توانند از طریق ایجاد کانال‌های ریشه در خاک موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و درصد تخلخل شوند (Blanco-Canqui *et al*., 2015). در یک بررسی گزارش شده است که جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر تک‌کشتی سان‌همپ[1] و سویا پنج درصد کاهش یافت (Blanco-Canqui *et al*., 2012). نتایج این آزمایش نیز از احتمال تأثیر ریشه گیاهان پوششی یولاف زراعی و ترب سفید پیروی می‌کند، اگرچه در شرایط مزرعه‌ای تفکیک و سنجش میزان زیست‌توده ریشه این گیاهان از خاک امکان‌پذیر نبود اما در زمان نمونه-برداری جرم مخصوص ظاهری خاک، حفره‌های حاصل از ریشه ترب سفید در خاک کاملاً مشهود بود (شکل ۲-B). بنابراین به‌نظر می‌رسد کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در پایان دو سال زراعی همگام با بهبود صفاتی مانند کربن آلی خاک، جمعیت میکروبی خاک و کاهش زمان نفوذ آب به خاک بوده است. از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد بیشتر از میزان زیست‌توده گیاهی تولید شده توسط گیاهان پوششی یولاف زراعی، ایجاد حفره در خاک توسط ترب سفید بر کاهش جرم مخصوص ظاهری مؤثر بوده است.

[1] -Sunn hemp



شکل ۱۳- جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 13. The bulk density of the soil under the influence of cover crops

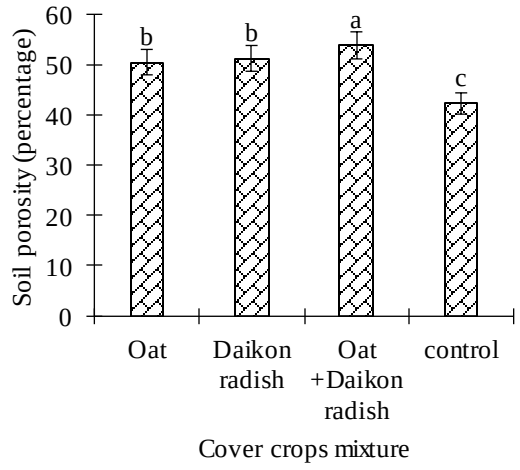


شکل ۱۴- مقایسه سال‌های زراعی در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک

Figure 14. Comparison of cropping years in reducing the bulk density of the soil

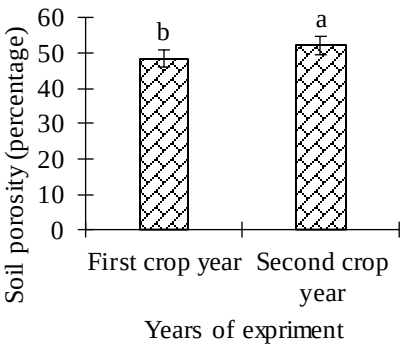
درصد تخلخل خاک

درصد تخلخل خاک مانند جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر سال و گیاهان پوششی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد تخلخل خاک از کشت مخلوط یولاف زراعی و ترب سفید ۵۳/۸۳ درصد حاصل شد (شکل ۱۵). این در حالی بود که کمترین درصد تخلخل خاک (۴۲/۲۸ درصد) در تیمار شاهد بدون گیاه پوششی ثبت شد (شکل ۱۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تک-کشتی یولاف زراعی و ترب سفید (به‌ترتیب ۵۰/۵۰ و ۵۱/۲۵ درصد) اختلاف آماری معنی‌داری ازنظر درصد تخلخل خاک نداشتند (شکل ۱۵). نتایج مقایسه میانگین سال‌های آزمایش نیز نشان داد که در سال دوم زراعی در مقایسه با سال اول زراعی ۷/۰۱ درصد تخلخل خاک افزایش یافته است (شکل ۱۶). بیان شده است که درصد تخلخل خاک متأثر از جرم مخصوص ظاهری، مدیریت سیستم‌های کاشت گیاهان پوششی است (Esfandiary Ekhlas *et al*., 2018). نتایج حاصل از این آزمایش نیز بیانگر آن بود که با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی، درصد تخلخل خاک افزایش می‌یابد. مهمترین دلیل افزایش تخلخل خاک علاوه بر تأثیر برخی از صفات خاک مانند کربن آلی خاک و زمان لازم برای نفوذ آب، می‌تواند ناشی از حضور ریشه گیاهان پوششی به‌ویژه حفره-های حاصل از ترب سفید در خاک باشد. گزارش شده است که تأثیر گیاهان پوششی از طریق کربن آلی خاک بر جرم مخصوص ظاهری خاک می‌تواند به‌طور مستقیم موجب افزایش درصد تخلخل خاک شود (Blanco-Canqui *et al*., 2011; Adetunji *et al*., 2020).



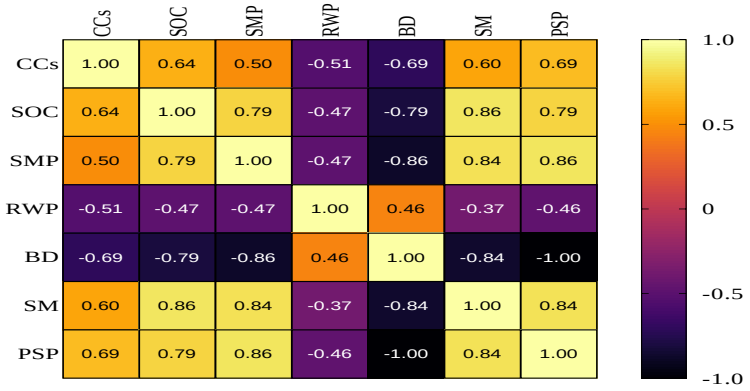
شکل ۱۵- تغییرات درصد تخلخل خاک تحت تأثیر گیاهان پوششی

Figure 15. Variations in soil porosity percentage under the effect of cover crops



شکل ۱۶- مقایسه سال‌های زراعی در افزایش درصد تخلخل خاک

Figure 16. Comparison of cropping years in increasing the percentage of soil porosity



شکل ۱۷- نتایج همبستگی اسپیرمن

Figure 17. Spearman correlation results

گیاهان پوششی (CCs)،کربن آلی خاک (SOC)، جمعیت میکروبی خاک (SMP)، مدت زمان نفوذ آب به خاک (RWP)، جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد رطوبت جرمی خاک (SM) و درصد تخلخل خاک (PSP)

Cover crops (CCs), Soil organic carbon (SOC), Rate of water penetration (RWP), Bulk density (BD), Soil moisture percentage (SM) and Porosity soil percentage (PSP)

همبستگی اسپیرمن

نتایج حاصل از همبستگی اسپیرمن نشان داد که ترکیب‌های مختلف بقایای گیاهان پوششی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر محتوای کربن آلی خاک ($r=0.64^{**}$)، جمعیت میکروبی خاک ($r=0.50^{*}$)، درصد رطوبت جرمی خاک ($r=60^{**}$) و درصد تخلخل خاک ($r=69^{**}$) داشتند (شکل ۱۶). همچنین نتایج همبستگی اسپیرمن نشان داد که رابطه معنی‌دار و کاهشی بین ترکیب‌های مختلف بقایای گیاهان پوششی و مدت زمان لازم برای نفوذ آب ($r=-0.51^{*}$) و جرم مخصوص ظاهری خاک ($r=-0.69^{**}$) وجود داشت (شکل ۱۶).

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی با توجه به میزان بذر مصرفی متعلق به تک‌کشتی یولاف زراعی و پس از آن کشت مخلوط یولاف زراعی با ترب سفید بود. سهم بیشتر زیست‌توده گیاهان پوششی در کشت مخلوط متعلق به گیاه یولاف زراعی بود، به طوری که انتخاب تراکم کاشت (میزان بذر مصرفی) با نسبت ۵:۱ در کشت مخلوط یولاف زراعی با ترب سفید موجب ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای و غالبیت گیاه پوششی یولاف زراعی شده بود. ترب سفید با وجود تولید کمترین زیست‌توده گیاهان پوششی در تک‌کشتی و کشت مخلوط توانست بر بسیاری از صفات فیزیکی خاک مؤثر باشد، به طوری که جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد تخلخل و مدت زمان نفوذ آب به خاک تحت تأثیر حفره‌های حاصل از این گیاه در خاک قرار گرفتند. کشت مخلوط بر سایر صفات مورد بررسی مانند درصد کربن آلی خاک و جمعیت میکروبی خاک مؤثر بود. از نتایج چنین استنباط می‌گردد، علاوه بر میزان زیست‌توده گیاهان پوششی، انتخاب گونه مناسب گیاه پوششی، تراکم کاشت و سرعت تجزیه بافت‌های گیاهی آن‌ها در بازده زمانی مشخص بر تأثیرپذیری ویژگی‌های خاک از گیاهان پوششی مؤثر است. همچنین در شرایط اقلیمی شهرستان اردبیل کشت مخلوط یولاف زراعی و تک‌کشتی ترب سفید علیرغم تولید زیست‌توده کمتر در مقایسه با یولاف زراعی موجب بهبود صفات منتخب خاک شد.

References

Acton D.F., and Gregorich L.J. 1995. The health of our soils - towards sustainable agriculture in Canada. *Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa*, Ont. xiv + 138 pp.

Adetunji A.T., Ncube B., Mulidzi R., and Lewu F.B. 2020. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. *Soil and Tillage Research*, 204(2020)104717: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104717

Ahmadnia F., Ebadi A., Hashemi M., and Ghavidel A. 2020. Investigating the short time effect of cover crops on biophysical properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(6): 277-290. (In Persian)

Ahmadnia F., Ebadi A., Hashemi M., and Nabati L. 2020. Investigating the effectiveness of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea*) and Rye (*Secale cereal* L.) in weed suppression and yield of Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *Gongylodes*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 43-56. (In Persian)

Ahmadnia F., Ebadi A., Hashemi M., Ghavidel A., and Ghahremani S. 2021. Evaluation of short-term effect of oat and chickling pea cover crops in improving selected soil properties. *Applied Soil Research*, 9(1): 72-87. (In Persian)

Alear L., and Bradford J. 2005. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 51(1):13-33. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0167

Alexander M. 1977. Introduction to Soil Microbiology (2nd Ed). *John Wiley and Sons Inc, New York*, 467p.

Almeida W.S., Panachuki E., Oliveira P.T.S., Menezes R.S., Sobrinho T.A., and Carvalho D.F. 2017. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 175: 130-138. DOI:10.1016/j.still.2017.07.009

Ardakani M.R., Razavi M., and Zafarian F. 2007. Experimental Methods in plant Ecology (Translate). University of Tehran Press (UTP),180p.

Attard, E., Recous S., Chabbi A., De Berranger C., Guillaumaud N., Labreuche J., Philippot L., Schmid B., Le Roux X. 2011. Soil environmental conditions rather than denitrifier abundance and diversity drive potential denitrification after changes in land uses. *Global Change Biology*, 2011(17): 1975-1989. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02340.x

Ball A.S. 2014. Cell Bacterial Culturing. (Ghavidel, A. and Najirad, S). *Published at Ardebil Jihad*,118p.

Basche A.D., and Delonge M.S. 2019. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *Agronomy & Horticulture-Faculty Publication*, 1280: 1-23. https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/1280

Blanco-Canqui H., Claassen M., and Presley D., 2012. Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil–crop relationships. *Agronomy Journal*,104(1):137-147. doi:10.2134/agronj2011.0240

Blanco-Canqui H., Shaver T.M., Lindquist J.L., Shapiro C.A., Elmore R.W., Francis C.A., and Hergert G.W. 2015. Cover crops and ecosystem services: insights from studies intemperate soils. *Agronomy Journal*, 107: 2449-2474. https://doi.org/10.2134/agronj15.0086

Bowles T.M., Jackson L.E., Loeher M., and Cavagnaro T.R. 2017. Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology*, 54:1785-1793. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12815.

Chaichi M.R., Farhoodi R., Majnoun Hosseini N., and Savachebi GH. 2008. Effect of wheat residue management on soil properties and on sunflower yield in double cropping system. *Iranin Journal of Field Crop Science*, 39(1): 11-20. (In Persian)

Coombs C., Lauzon J.D., Deen B., and VanEerd L.L. 2017. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field Crops Research*, 201:75-85. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.11.001

Cuevas J., Daliakopoulos I.N., Moral E.D., Hueso J.J., and Tsanis IK, 2019. A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, 9(295): 1-22. doi:10.3390/agronomy9060295

Dane J.H., and Topp G.C. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. *Soil Science Society of America Journal*, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Esfandiary Ekhlas E., Nael M., and Hamzei J. 2018. The effect of integrated management of conservation tillage and Lathyrus sativus cover cropping on Cucurbita pepo yield and selected soil quality indicators. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2): 421-434. (In Persian)

Finney D.M., Buyer J.S., and Kaye J.P. 2017. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72 (4):361-73. doi:10.2489/jswc.72.4.361.

Ghahremani S., Ebadi A., Tobeh A., Hashemi M., Sedghi M., and Gholipuri A. 2020. The effect of cover crops on yield and weeds control of Patato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(1): 119-134. (In Persian)

Ghahremani, S., Ebadi A., Tobeh A., Hashemi M., Sedghi M., Gholipoouri A., and Barker A.V. 2021. Short-Term Impact of Monocultured and Mixed Cover Crops on Soil Properties, Weed Suppression, and Lettuce Yield. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4): 406-415. DOI: 10.1080/00103624.2020.1854295

Gudarzi, M., Ebadi A., Ahmadnia F., Hashemi M., and Ghahremani S. 2020. Effect of cover crops on yield and weeds control of Lettuce Icebergs (*Lactuca sativa* var. Ice berg). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4): 173-184. (In Persian)

Gupta PK. 2004. Soil, Plant, Water and fertilizer analysis. *Agro bios*, India. 438p.

Hallama, M., Pekrun C., and Lambers H., 2019. Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil*, 2019(434): 7-45. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7

Hesami E., Jahan M., Nassiri-Mahallati M., and Farhoudi R. 2018. Effects of plant residues in two types of soil texture on soil characteristics and corn (*Zea mays* L.) NS640 yield in a reduced Tillage cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1): 67-81. (In Persian)

Irmak, S., Sharma V., Mohammed A.T., and Djaman K. 2018. Impacts of cover crops on soil physical properties: Field capacity, permanent wilting point, soil-water holding capacity, bulk density, hydraulic conductivity, and infiltration. *Transactions of the ASABE*, 61 (4):1307–1321. doi:10.13031/trans.12700.

Khodashenas A., Koocheki A., Rezvani Moghadam P., Lakzian A., and Nassiri Mahallati M. 2010. Evaluation of agricultural practices effect on soil bacterial diversity and abundance. *JWSS- Journal of Water and Soil Scienc*, 14(52): 99-114. (In Persian)

Kim, N., Zabaloy M.C., Guan K., and Villamil M.B. 2020. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil biology and Biochemistry*, 142(2020):107701, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107701

Klute A.1986. Water retention: Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis: Part1- Physical and Mineralogical Methods (methods of soil anl.), Madison, Wis: American Society of Agronomy: *Soil Science Society of America*, pp. 635-662. https://doi.org/10.1002/gea.3340050110

Li L.N., Xi Y.G., Chen E., He L.P., Wang L., Xiao X.J., and Tian W. 2018. Effects of tillage and green manure crop on composition and diversity of soil microbial community. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34 (4): 342-348. http://www.ere.ac.cn/.../column79.shtml

McDaniel M.D., Tiemann L.K., Grandy A.S. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24: 560-570. https://doi.org/10.1890/13-0616.1.

Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Ristow A.J., Van-Es H., MThies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Kurtz K.S.M., Wolfe D.W., and Abawi G.S. 2016. Comprehensive assessment of soil health – The cornell framework, Edition 3.2, cornell university, Geneva, NY.

Mukumbareza C., Muchaonyerwa P., and Chiduza C., 2015. Effects of oats and grazing vetch cover crops and fertilization on microbial biomass and activity after five years of rotation with maize. *South Africa Journal of Plant and Soil*, 32:189-197. https://doi.org/10.10 80/02571862.2015.1025446

Olsen SR., and Sommers LE. 1982. Phosphorus. In: Page AL. (Ed), Methods of Soil Analysis, Agronomy. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties (2nd Ed). *American Society Agronomy, Madison*, pp. 403- 430

Page AL., Miller RH., and Keeney DR. 1982. Method of Soil Analysis (part 2: Chemical and Microbiological Properties). *American society of Agronomy, Madison*, 1121p.

Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere L., and Grace P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 2014(187): 87-105. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010

Parmodh S., Atinderpal S., Charanjit S.K., Amandeep S.B., Kulbhushan K.G., Mahendra D., and Robert L.S. 2018. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture-A Review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9: 1935-1951. DOI: 10.4236/ajps.2018.99140

Pfeiffer A., Silva E., and Colquhoun J. 2016. Living mulch cover crops for weed control in small-scale applications. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 31(4): 309-317. https://doi.org/10.1017/S1742170515000253

Poeplau C., and Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - a meta‐analysis. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 200: 33-41. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024

Sapkota T.B., Mazzoncini M., Bàrberi P., Antichi D., and Silvestri N. 2012. Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012(32): 853-863. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0079-0

Shamsaddin Saiedi M., Ghanbari A., Ramroudi M., and Khezri A. 2017. Effects of green manure management and fertilization treatments on the chemical and physical properties and fertility of soil journal. *Journal of Water and Soil Science*, 21(1): 37-49. (In Persian)

Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S., Grover K.K., Dia M., and Steiner R.L. 2018. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture-a review paper. *American Journal of Plant Science*, 9(9):1935-1951. https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140

Singh A., and Kaur J. 2012. Impact of conservation tillage on soil properties in rice wheat cropping system. *Agricultural Science Research Journal*, 2(1): 30-41.

Sintim H.Y., Bandopadhyay S., English M.E., Bary A.I., DeBruyn J.M., Schaeffer C.A., Reganold J.P., and Flury M. 2018. Impacts of biodegradable plastic mulches on soil health. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 273: 36-49. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.002

Soti P.G., Rugg S., and Racelis A. 2016. Potential of cover crops in promoting mycorrhizal diversity and soil quality in organic farms. *Journal of Agricultural Science*, 8(8):42-47. DOI:10.5539/jas.v8n8p42

Stott DE., and Moebius-Clune BN. 2017. Soil Health: Challenges and Opportunities in Global Soil Security. *Springer International Publishing*, 2017: 109-121.

Surucu A., Ozyazici M.A., Bayrakli B., and Kizilkaya R. 2014. Effects of green manuring on soil enzyme activity. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23: 2126-2132.

Tautges N.E., Chiartas J.L., Gaudin A.C.M., O'Geen A.T., Herrera I., and Scow K.M. 2019. Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration differ in surface and subsurface soils. *Global Change Biology*, 2019; 00: 1-14. DOI: 10.1111/gcb.14762

Tsiafouli M.A., Thebault E., Sgardelis S.P., De Ruiter P.C., Van der Putten W.H., Birkhofer K., Hemerik L., De Vries F.T., Bardgett R.D., Brady M.V., Bjornlund L., Jorgensen H.B., Christensen S., Hertefeldt T.D., Hotes S., Gera Hol W.H., Frouz J., Liiri M., Mortimer S.R., Setala H., Tzanopoulos J., Uteseny K., Pizl V., Stary J., Wolters V., and Hedlund K. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21: 973-985. Doi: 10.1111/gcb.12752

Van Es H.M., and Karlen D.L. 2019. Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. *Soil Science Society of America Journal*, 83: 721-732. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0338

Walkley A., and Black I.A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Yang T., Siddique K.H.M., and Liu K. 2020. Cropping systems in agriculture and their impact on soil health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23(2020) e 01118: 1-13. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118.