

تأثیر کوتاه مدت گیاهان پوششی زمستانه بر بهبود برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد

سیب‌زمینی

صغری قهرمانی^۱، علی عبادی^{۲*}، احمد توبه^۳، مسعود هاشمی^۴، محمد صدقی^۲، عبدالقیوم قلی‌پوری^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۳

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- استاد گروه علوم خاک، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه ماساچوست، آمریکا

* مسئول مکاتبه: Email: Ebadi@uma.ac.ir

چکیده

اهداف: گیاهان پوششی توانایی بالایی برای کمک به کشاورزی پایدار دارند. هدف از مطالعه حاضر بررسی اثربخشی استفاده از گیاهان پوششی زمستانه ترب‌سفید و یولاف به‌صورت تک‌کشتی یا مخلوط بر بهبود عملکرد سیب‌زمینی و برخی ویژگی‌های خاک بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت پاییزه گیاهان پوششی یولاف (*Avena sativa* L.)، ترب سفید (*Raphanus sativus* L.) و کشت مخلوط آنها با نسبت بذر ۵۰ درصد و تیمار شاهد در سال ۱۳۹۶ و کاشت سیب‌زمینی متعاقب آن در سال ۱۳۹۷ بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی از تیمار تک‌کشتی ترب سفید (۶۶۶/۱ گرم در متر مربع) حاصل شد. بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز از تیمار شاهد (۲۵۲/۶ گرم در متر مربع) به‌دست آمد. تک‌کشتی و کشت مخلوط یولاف و ترب سفید اختلاف آماری معنی‌داری از نظر کاهش زیست‌توده علف‌های هرز نداشتند. غالب ویژگی‌های خاک مورد اندازه‌گیری بجز کربن آلی خاک، تحت تأثیر گیاهان پوششی قرار گرفتند. عملکرد سیب‌زمینی در تک‌کشتی و کشت مخلوط گیاهان پوششی دارای اختلاف آماری معنی‌داری نبود اما در مقایسه با تیمار شاهد بدون کشت گیاهان پوششی، تک‌کشتی یولاف، ترب سفید و کشت مخلوط آنها به ترتیب ۳۱/۴۵، ۲۴/۵۵ و ۲۰/۵۶ درصد عملکرد سیب‌زمینی را افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر تأثیر مثبت گیاهان پوششی زمستانه بصورت تک‌کشتی و کشت مخلوط بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و همچنین عملکرد سیب‌زمینی بود.

واژه‌های کلیدی: ترب سفید، جمعیت میکروبی خاک، سلامت خاک، کربن آلی خاک، کرم خاکی

Short-term Effect of Winter Cover Crops on Improvement of some Soil Properties and Potato Yield

Soghra Ghahremani¹, Ali Ebadi^{*2}, Ahmad Tobeb³, Masoud Hashemi⁴, Mohammad Sedghi², Abdolghayum Gholipuri³

Received: 29 February 2020 Accepted: 03 May 2021

1-PhD. Student of Plant Ecology, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2-Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3-Assoc. prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4-Prof., Dept. of Plant and Soil Sciences Crop Physiology, University of Massachusetts, Amherst

*Corresponding Author Email: Ebadi@uma.ac.ir

Abstract:

Background & Objective: Cover crops have a high ability to help sustainable agriculture. The aim of the present study was to investigate the effectiveness of using white radish and oat cover crops as monoculture or mixed on improvement of some soil properties and potato yield.

Materials & Methods: A field experiment in the form of randomized complete block design with three replications at Research Field of University of Mohaghegh Ardabili in 2017 and 2018. Experimental treatments included of oat (*Avena sativa* L.) and white radish (*Raphanus sativus* L.) monoculture or their intercropping with 50% seed from each other and control (no cover crop) in 2017 and subsequently potato planting in 2018.

Results: The results showed that the highest biomass of cover crops was obtained from monoculture of white radish treatment (466.1 g. m⁻²). The highest biomass of weeds was obtained from control treatment (353.6 g. m⁻²). Monoculture and intercropping of oats and white radish did not have a statistically significant difference in terms of weed biomass reduction. Most of the measured soil properties, except for soil organic carbon, were affected by cover crops. Potato yield in monoculture and intercropping of cover crops did not have a statistically significant difference, but compared to the control treatment without cultivation of cover crops, monoculture of oats, white radish and their intercropping 31.45, 24.55% and 20.56% respectively, increased potato yield.

Conclusion: The results of this experiment showed the positive effect of winter cover crops as monoculture and intercropping on physical, chemical and biological properties of soil as well as potato yield.

Keywords: Earthworm, Soil Health, Soil Microbial Population, Soil Organic Carbon, White Radish

تولید غذا را تحت تاثیر قرار داده و امنیت غذایی مردم را
به مخاطره می‌اندازد (صمدانی و منتظری ۲۰۰۹). تخمین
زده می‌شود که تقریباً ۴۰ درصد از مزارع دنیا

مقدمه

افزایش جمعیت جهان به تولید بیشتر غذا نیاز دارد.
کاهش سریع حاصلخیزی خاک یکی از عواملی است که

می‌شکافند و به زهکشی خاک‌های خیلی مرطوب کمک می‌کنند (صمدانی و منتظری ۲۰۰۹).

گیاهان پوششی ممکن است مناسب‌ترین گزینه برای دستیابی به اهدافی مانند حفاظت از خاک و کنترل علف‌های هرز به طور همزمان باشد، پیش از این نیز، از گیاهان پوششی برای جلوگیری از رشد علف‌های هرز در محصولات باغی و زراعی استفاده شده است (پفیر و همکاران ۲۰۱۵). اشمیت و همکاران (۲۰۱۸)، تعداد باکتری‌های بیشتری در تیمار گیاهان پوششی نسبت به تیمار کنترل به دست آوردند، آن‌ها احتمال دادند دلیل این افزایش، به اثرات تجمعی گیاهان پوششی مانند ورودی‌های کربن آلی بالا مرتبط است. مک‌دانیل و همکاران (۲۰۱۴) عنوان کردند که گیاهان پوششی با افزایش کربن، نیتروژن و بیومس میکروبی خاک، کیفیت و باروری خاک را حفظ کرده و می‌تواند به پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی کمک نمایند. غنی‌سازی و بهبود ویژگی‌های خاک بدون کاربرد مقادیر بالاتر نهاده‌های شیمیایی به عنوان یکی از مزیت‌های اصلی کشت مخلوط جو با گونه‌های ماشک پیشنهاد شده است (بیلماز و همکاران ۲۰۱۴). ویلیامز و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند گیاهان پوششی دارای مزایای زراعی و زیست‌محیطی زیادی هستند، همچنین تأثیرات آن‌ها بر عملکرد محصول بعدی در مناطق، خاک و یا عملیات مختلف مزرعه‌ای متفاوت است. این گیاهان با افزایش نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره سازی آب می‌توانند باعث ثبات عملکرد محصول شود.

ترب سفید (*Raphanus sativus* L.) گیاه پوششی زمستانه منحصر به فرد که در دنیا به طور فزاینده‌ای کاشته می‌شود و رفتار متفاوتی با دیگر گیاهان پوششی دارد (ویل و کرمن ۲۰۰۷). کاهش تراکم خاک (چین و همکاران ۲۰۱۰)، افزایش نفوذپذیری خاک، سرکوب علف‌های هرز (لاولی و همکاران ۲۰۱۱) و افزایش میزان فسفر خاک (وایت و ویل ۲۰۱۱) از جمله مزایای این گیاه می‌باشد. ترب سفید به سرعت در پاییز رشد می‌کند که ممکن است به مهار علف‌های هرز زمستانه یکساله نیز کمک

حاصلخیزی خود را از دست داده‌اند که این امر روی تولید ۱۶ درصد از مزارع اثر معنی‌داری داشته است (صمدانی و منتظری ۲۰۰۹). در حال حاضر، به منظور افزایش تولید در واحد سطح تقریباً بدون توجه به محیط زیست از هر گونه روش و نهاده‌ای مانند خاک‌ورزی بی-رویه و کاربرد ناصحیح کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی بهره‌برداری می‌شود. از اهداف عمده کشاورزی پایدار، کاهش و یا عدم استفاده از نهاده‌های مصنوعی مانند کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی است. در چنین سیستمی در جهت حفظ ذخایر طبیعی خاک و تعادل طبیعی آفات، عوامل بیماری‌زای گیاهی و علف‌های هرز، استفاده از روش‌های طبیعی ترغیب می‌شود تا پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی و باغی با حداقل آثار سوء زیست‌محیطی برای درازمدت حفظ شود (صمدانی و منتظری ۲۰۰۹).

واژه گیاه پوششی به گونه‌هایی اطلاق می‌شود که برای بهبود باروری خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، غنی‌سازی و حفاظت از خاک، افزایش مواد مغذی، کیفیت خاک و آب قابل دسترس گیاه استفاده می‌شوند. این گیاهان همچنین باعث حفظ تنوع زیستی و میکروبی خاک می‌گردند (پارمود و همکاران ۲۰۱۸). گیاهان پوششی می‌توانند باعث کاهش فرسایش، افزایش جمعیت میکروبی، نیتروژن و کربن خاک، کنترل علف‌های هرز و کمک به جلوگیری از ورود بیش از حد عناصر معدنی به آب‌های زیرزمینی شوند (پوپلو و دون ۲۰۱۵).

گیاهان پوششی به چند طریق موجب بهبود خاک می‌شوند. جلوگیری از فرسایش خاک واضح‌ترین اثر مفید گیاهان پوششی روی خاک است، اما تأثیر آن‌ها بر افزایش مواد آلی در بلند مدت بدست خواهد آمد. گیاهان پوششی بطور مستقیم بوسیله جذب مواد غذایی که ممکن است از پروفیل خاک آبشویی شوند موجب کاهش هدر رفت عناصر غذایی خاک می‌شوند. این گیاهان زیستگاه یا منبع غذایی خوبی برای بسیاری از ارگانیس‌م‌های مهم خاک بوده، لایه‌های زیرین خاک را

مزرعه آزمایشی از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌هایی بصورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری سطح مزرعه جمع‌آوری و پس از مخلوط کردن به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید. نتایج آزمون خاک به شرح جدول ۱ می‌باشد. همچنین اطلاعات آب و هوایی محل در سال اجرای آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت گیاهان پوششی یولاف (*Avena sativa* L.)، ترب سفید (*Raphanus sativus* L.) و کشت مخلوط آنها با نسبت بذر ۵۰ درصد و یک تیمار شاهد (بدون گیاه پوششی) بود. زمین مورد نظر شخم خورده و تسطیح شد و گیاهان پوششی بصورت ردیفی در کرت‌های ۳×۶ متری در تاریخ ۲۲ شهریور ۱۳۹۶ کشت گردید. میزان بذر مصرفی برای یولاف و ترب سفید به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. بلافاصله بعد از کاشت گیاهان پوششی آبیاری انجام گرفت. با توجه به میزان بارندگی در پاییز و زمستان نیازی به آبیاری مجدد در گیاهان پوششی نبود. تیمار شاهد همزمان با سایر تیمارهای گیاهان پوششی آبیاری شد. برای تعیین زیست‌توده گیاهان پوششی و علف‌های هرز یک مرحله نمونه‌برداری از تیمارهای آزمایشی در اواخر آذر ۹۶ انجام شد. از هر کرت دو کوادرات یک مترمربعی به صورت تصادفی برداشت و علف‌های هرز و گیاهان پوششی آن تفکیک شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. ده روز قبل از کشت سیب زمینی بقایای گیاهان پوششی بوسیله دیسک با خاک مخلوط گردید. در این آزمایش، از سیب زمینی رقم آگرا استفاده شد. هر کرت آزمایش شامل ۴ ردیف کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت سیب زمینی ۱۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ و تاریخ سبز شدن بوته‌ها ۴ خرداد ماه بود.

کند. این گیاه پوششی به یخ‌زدگی حساس است و در زمستان با قرارگیری در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود (ویل و همکاران ۲۰۰۹). ریشه و بخش هوایی ترب سفید دارای نسبت کربن به نیتروژن کمتری است به همین دلیل بقایای آن در طول دوره زمستان به سرعت تجزیه شده و بقایای اندکی در بهار بر روی سطح خاک باقی می‌ماند (لاولی و همکاران ۲۰۱۲). برعکس ترب سفید گیاهان پوششی از خانواده غلات بدلیل بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن نیاز به مدیریت زمانی دقیقی دارند تا کاشت گیاه بعدی به تاخیر نیفتد (لاولی و همکاران ۲۰۱۲).

استفاده از گیاهان پوششی سال‌هاست که مورد توجه انسان بوده ولی با عرضه آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و کودهای شیمیایی محدود و تقریباً فراموش شده است. بی‌اطلاعی از نحوه بکارگیری گیاهان پوششی و مزایای آن از عواملی است که موجب عدم استفاده از آنها شده است. در حال حاضر در ایران بررسی‌های منسجمی در مورد گیاهان پوششی و فواید آن به عمل نیامده است. بنابراین نیاز است که در زمینه گیاهان پوششی و روش‌های استفاده از آن بررسی‌هایی صورت گیرد. هدف از اجرای این پژوهش دسترسی به ترکیب مناسب گیاهان پوششی زمستانه جهت افزایش حاصلخیزی، بهبود شرایط خاک و افزایش عملکرد سیب‌زمینی و در راستای اهداف کشاورزی پایدار بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر گیاهان پوششی بر روی برخی خصوصیات فیزیکی و زیستی خاک و عملکرد سیب‌زمینی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی 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 در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. به منظور مطالعه وضعیت خاک

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

هدایت الکتریکی	شن	سیلت	رس	بافت	کربنات کلسیم	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	pH
(dS. m ⁻¹)	%			%			(Mg. kg ⁻¹)			
۲/۶	۳۵	۴۲	۲۳	لوم	۱۴/۵	۰/۶	۰/۰۶	۲۹/۸۲	۹۵/۹۴	۷/۸

جدول ۲- میانگین بارش و دمای در محل آزمایش (اردبیل، ایران)

۱۳۹۶		
میزان بارش (mm)	میانگین دما (°C)	
۳۲/۹	۱۴/۴	اردیبهشت
۲/۴	۱۷/۳	خرداد
۹/۳	۱۹/۵	تیر
۱/۳	۲۰/۹	مرداد
۰/۱	۲۰/۰	شهریور
۴۳/۶	۱۱/۸	مهر
۹/۷	۱۱/۷	آبان

درصد رطوبت جرمی خاک: در بررسی درصد رطوبت جرمی خاک یک نمونه خاک از مرکز هر کرت آزمایشی با استفاده از اوگر به میزان ۱۰۰ گرم و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. بعد از توزین وزن تر، نمونه‌ها در ظروف مخصوص در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. سپس اقدام به توزین مجدد نمونه‌ها گردید و با استفاده از رابطه زیر رطوبت خاک تعیین گردید.

$$\theta m = \frac{W_{sw} - W_{sd}}{W_{sd}} \times 100$$

W_{sw} وزن تر نمونه اولیه خاک برداشت شده (گرم)،

W_{sd} وزن خاک خشک شده (گرم)، و θm درصد

اندازه‌گیری مدت زمان نفوذ آب به خاک: در بررسی میزان نفوذپذیری خاک ابتدا یک حلقه آلومینیومی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر در زمین (بطوری که نیمی از رینگ در خاک فرو رود) قرار داده شد و مدت زمان نفوذ مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر آب به داخل خاک با کورنومتر اندازه‌گیری شد و به عنوان میزان نفوذپذیری خاک برای تیمارهای مختلف گیاهان پوششی تعیین گردید (مویبوس-کلون و همکاران ۲۰۱۶).

مقاومت فروری خاک: میزان مقاومت فروری خاک با دستگاه پنترومتر مدل Hand penetrometer 06.01SA Eijkelkam ساخت هلند مورد بررسی قرار گرفت. همچنین همزمان با اندازه‌گیری مقاومت فروری خاک، درصد جرمی رطوبت خاک نیز مورد سنجش قرار گرفت (لویی و موریسون ۲۰۰۲).

رطوبت وزنی می باشد (کلوت ۱۹۸۶).

جمعیت میکروبی خاک: جمعیت میکروبی خاک با استفاده از روش بیشترین تعداد محاسبه گردید. برای این منظور پس از نمونه برداری از سطح مزرعه و انتقال آن به آزمایشگاه، یک گرم از خاک نمونه با سرم فیزیولوژیک مخلوط گردید و سری رقت ده دهی تهیه شد. سپس از هر رقت تهیه شده به داخل لوله آزمایش حاوی محیط کشت مایع Nutrient Broth منتقل شد و انکوبه گردید. پس از انکوباسیون، رشد یا عدم رشد باکتری در محیط کشت یادداشت شد. بیشترین تعداد محتمل باکتری در هر میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری با استفاده از جدول آماری مخصوص این روش (جدول مک‌گریدی) محاسبه شد (بال ۲۰۱۴).

جرم مخصوص ظاهری خاک: نمونه‌های لازم از هر کرت آزمایشی بوسیله آوگر حاوی سیلندر از عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری بصورت دست نخورده برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و توزین شد. سپس یک طرف سیلندر را با فویل آلومینیومی پوشش داده و در آون 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 زیر وزن مخصوص ظاهری خاک برای هر تیمار محاسبه گردید.

$$pb = \frac{Wsd}{v}$$

که در آن Wsd وزن خاک خشک (گرم)، V حجم سیلندر مورد نظر (سانتی‌مترمکعب)، pb وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) می‌باشد (الکساندر ۱۹۷۷).

شمارش کرم‌های خاکی: برای این منظور از پودر خردل به میزان ۱۰ گرم در لیتر استفاده شد و گودال‌هایی به مساحت ۲۵×۲۵×۲۵ سانتی‌متر ایجاد گردید و پس از گذشت ۳۰ دقیقه از زمان افزودن محلول اقدام به شمارش کرم‌خاکی شد (موبیوس-کلون و همکاران ۲۰۱۶).

کربن آلی خاک: نمونه‌برداری از تمامی کرت‌های آزمایشی (سه نمونه از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری) انجام شده و پس از مخلوط کردن به منظور بررسی کربن آلی به روش والکی و بلک (واکلی و بلک ۱۹۳۴) مورد سنجش قرار گرفت.

درصد تخلخل: به منظور تعیین درصد تخلخل خاک با در نظر گرفتن مقدار چگالی حقیقی خاک ۲/۶۵ از رابطه زیر استفاده گردید (اردکانی و همکاران ۲۰۰۷)

$$\text{درصد تخلخل} = \frac{2.65 - \text{چگالی ظاهری}}{2.65} \times 100$$

تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین تاثیر تیمارها با استفاده از آزمون Lsd در سطح احتمال $\alpha \leq 5\%$ انجام گرفت.

نتایج و بحث

زیست‌توده گیاهان پوششی: تیمارهای گیاهان پوششی از نظر مقدار ماده خشک تولیدی تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴). بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی (۴۶۶/۱ گرم در مترمربع) مربوط به تربسفيد بود (جدول ۴). اکبری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند تربسفيد در مقایسه با دیگر گیاهان پوششی زیست‌توده بیشتری را در پاییز تولید کرد. تربسفيد در طی چند هفته پس از کاشت سطح خاک را به طور کامل می‌پوشاند و ماده خشک هوایی و ریشه‌ای زیادی تولید می‌کند که منجر به تجمع بیومس بیشتر می‌شود (کلارک ۲۰۰۷؛ قهرمانی و همکاران ۲۰۲۰).

زیست‌توده علف‌های هرز داخل گیاهان پوششی: اثر گیاهان پوششی بر بیومس علف‌های هرز زمستانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثربخشی تربسفيد در کاهش علف‌های هرز در مقایسه با یولاف ممکن است به علت اثرات آللوپاتی گلوکوزینولات‌ها و ایزوتیوسیانات‌های تولید شده توسط تربسفيد و یا از طریق استقرار سریع، توسعه کانوپی و

جمعیت میکروبی خاک برای کشت مخلوط و تک‌کشتی گیاهان پوششی وجود ندارد. افزایش بیومس میکروبی در این تیمارها، احتمالاً به دلیل وجود منابع متنوع و مغذی بیشتر و فراهم شدن مواد غذایی لازم برای فعالیت ریزجانداران خاک است. میکروارگانسیم‌ها برای حفظ ساختار فیزیکی و زیستی خاک بسیار مهم هستند، هنوز اطلاعات کمی در مورد تأثیر گیاهان پوششی و خاکورزی بر ترکیب جمعیت میکروبی خاک و خدماتی که در سیستم‌های کشاورزی ارائه می‌دهند وجود دارد (بندر و همکاران ۲۰۱۶). گیاهان پوششی می‌توانند جمعیت میکروبی خاک و مقدار N و C خاک را افزایش دهند (ناوارو-نویا و همکاران ۲۰۱۳؛ پوپلو و دون ۲۰۱۵)، اثر این گیاهان بر روی جوامع میکروبی در کوتاه مدت آشکار شده و فراتر از ریزوسفر گسترش می‌یابد. یک توجه مهم و مرتبط برای استفاده از گیاهان پوششی به منظور بهبود سلامت خاک این است که آن‌ها منابع لازم را برای تغذیه جوامع میکروبی خاک در طی دوره‌ای که مزرعه خالی از گیاه اصلی است، فراهم می‌کند، مسلماً جمعیت علف‌های هرز که در طی فصل آیش رشد می‌کنند می‌تواند همین کار را انجام دهد، اما گیاهان پوششی کاری فراتر از فراهم کردن منابع برای جوامع میکروبی خاک انجام می‌دهند و آن افزایش جمعیت گروه خاصی از میکروبی‌های خاک است که می‌تواند به طور مستقیم باعث بهبود سلامت خاک شود برای مثال، بازسازی جمعیت قارچی که معمولاً در سیستم‌های مدرن کشاورزی کاهش می‌یابد و می‌تواند ماده آلی خاک را بهبود داده و باعث افزایش ثبات خاکدانه‌ها شود (فاینی و همکاران ۲۰۱۷).

کرم خاکی: نتایج تجزیه داده‌های آزمایش نشان داد که گیاهان پوششی بر جمعیت کرم‌های خاکی اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). کشت خالص تربسفيد دارای بیشترین تعداد جمعیت کرم خاکی بود و کمترین میانگین از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۴). احتمالاً وجود زیست‌توده تولیدی بیشتر در کشت تربسفيد

تولید بیومس زیاد سبب جلوگیری از جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز باشد (برمن و اسمیت ۲۰۰۵؛ مالیک و همکاران ۲۰۰۸). کنترل علف‌های هرز بوسیله گیاهان پوششی را می‌توان با رقابت برای آب، مواد غذایی، سایه‌اندازی و ایجاد شرایط نامساعد برای جوانه‌زنی علف‌های هرز در زیر تاج‌پوشش گیاهان پوششی توصیف نمود. تغییرات دمایی و کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور در زیر کانوپی گیاهان پوششی نیز از دیگر دلایل کاهش جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز است (براست و همکاران ۲۰۱۴). استفاده از گیاهان پوششی مانند ترپچه بیومس علف‌های هرز را در پاییز کاهش داد که در نتیجه توانست در کاهش استفاده از سموم مفید باشد (اریلی و همکاران ۲۰۱۱).

تأثیر گیاهان پوششی بر صفات خاک

کربن آلی خاک: بر اساس نتایج، گیاهان پوششی اثر معنی‌داری بر میزان کربن آلی خاک نداشتند (جدول ۳). فعالیت‌های انسان می‌تواند بیشترین نقش را بر روی ماده آلی خاک داشته باشد. ماده آلی خاک علاوه بر اینکه منبع غذایی مهمی را برای رشد گیاه فراهم می‌سازد، در ساخت، تکامل، حفاظت و نگهداری اکوسیستم خاک نیز دارای اهمیت فراوانی است و به عنوان جزء مهم ساختمان خاک جهت افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی به‌عنوان منبع غذا برای میکروارگانسیم‌های خاک و فراهم کننده حفاظت مکانیکی سطح خاک مطرح است (شمس-الدین سعید و همکاران ۲۰۱۷). بیشتر مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان پوششی غلظت کربن آلی خاک را در طولانی مدت افزایش می‌دهند و اثرات آن‌ها در چند سال اول پس از استقرار قابل تشخیص نیست (بلانکو کانکویی و همکاران ۲۰۱۵).

جمعیت میکروبی خاک: نتایج مقایسه میانگین

داده‌ها نشان داد که بیشترین جمعیت میکروبی خاک مربوط به کشت تربسفيد بود که نسبت به تیمار شاهد ۱۰ برابر افزایش نشان داد (جدول ۴). کالدرن و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که هیچ‌گونه تفاوتی در

مقایسه با تیمار شاهد کاهش ۲۷/۷ درصدی داشت. در همین راستا، سایر پژوهشگران نیز کاهش معنی‌داری در مقاومت فروروی خاک بعد از کاشت گیاهان پوششی را گزارش نموده و دلیل آن را فعالیت‌های فیزیکی ریشه‌های قوی گیاهان پوششی در خاک بیان کرده‌اند (بو و همکاران ۲۰۱۲). کاهش میزان مقاومت فروروی و جرم مخصوص ظاهری خاک با کاشت گیاهان پوششی گزارش شده است. این اثر را می‌توان به انعطاف‌پذیری خاک در اثر ریشه‌های گیاهان پوششی و همچنین افزایش محتوی ماده آلی خاک، پایداری ساختمان یا توسعه بیوپورها بعد از رشد ریشه نسبت داد (لینارس و همکاران ۲۰۱۴؛ ویترو و همکاران ۲۰۱۲).

درصد رطوبت جرمی خاک: بیشترین درصد رطوبت جرمی خاک از تیمار ترب‌سفید بدست آمد که با تیمار ترب‌سفید + یولاف تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). احتمالاً بدلیل ایجاد تخلخل در خاک توسط ریشه‌ها و زیست توده تولیدی زیاد توسط گیاهان پوششی و بر جای ماندن بقایای این گیاهان بصورت خاکپوش در سطح خاک میزان تبخیر و رواناب از سطح خاک کم شده و نتیجه آن افزایش درصد رطوبت جرمی خاک می‌باشد. گیاهان پوششی به کاهش تبخیر از سطح خاک و حفظ رطوبت حاصل از آبیاری و بارندگی کمک می‌کند و قابلیت دسترسی گیاه به آب در کشت‌های بعدی را افزایش می‌دهد، این گیاهان قابلیت نگهداری آب در خاک در پتانسیل آب مربوط به ظرفیت مزرعه‌ای و آب در دسترس گیاه را به ترتیب ۱۱-۱۲ و ۲۱-۲۲ درصد افزایش داد (پارمود و همکاران ۲۰۱۸). گیاهان پوششی مثل یک مانع بین سطح خاک و بارش باران عمل کرده و آن را قادر می‌سازد شدت برخورد قطرات باران با خاکدانه‌ها را کاهش دهد که نتیجه آن ثبات خاکدانه‌ها و افزایش نفوذ و ذخیره آب و کاهش رواناب می‌باشد (شارما و همکاران ۲۰۱۲؛ سامیس و همکاران ۲۰۱۲).

منبع غذایی لازم برای کرم‌های خاکی را فراهم کرده است. پژوهشگران نشان دادند که تعداد و بیوماس کرم‌های خاکی در تیمارهای دارای گیاهان پوششی نسبت به تیمار بدون گیاه پوششی به ترتیب ۱/۲ و ۱/۴ برابر بیشتر بود (کروکو و همکاران ۲۰۱۸). در پژوهشی کشت گیاهان پوششی نخود و جو دوسر نیز در مقایسه با تیمار بدون گیاه پوششی، جمعیت کرم‌های خاکی بیشتری داشت (روآرتی و همکاران ۲۰۱۷).

زمان نفوذ آب به خاک: تأثیر گیاهان پوششی بر زمان نفوذ آب به خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین زمان نفوذ آب در تیمار شاهد بود و کشت گیاهان پوششی موجب افزایش سرعت نفوذ (کاهش زمان) گردید به طوری که تیمارهای گیاهان پوششی دارای کمترین زمان نفوذ در مقایسه با تیمار شاهد بودند. به نظر می‌رسد گیاهان پوششی هدایت هیدرولیکی خاک را با افزایش درصد خلل و فرج خاک بهبود می‌بخشد (دیورر و همکاران ۲۰۰۹). در بیشتر خاک‌ها نفوذپذیری آب تحت تأثیر قابلیت لایه سخت سطح خاک قرار می‌گیرد که به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد. بهبود ظرفیت نفوذ در خاک‌های مدیریت شده توسط گیاهان پوششی چندین دلیل دارد، نخست، بیوماس تولیدی این گیاهان و تجزیه آن ویژگی‌های خاک را بهبود بخشیده و مقدار آبی که می‌تواند از طریق پروفیل خاک نفوذ کند را افزایش می‌دهد، بهبود ثبات خاکدانه‌ها و حفظ آن‌ها در مقابل اثرات مستقیم قطرات باران و سرانجام افزایش تعداد ماکروپورها که باعث افزایش نفوذ و کاهش روان‌آب می‌شود (دیورر و همکاران ۲۰۰۹؛ گومز و همکاران ۲۰۰۹).

مقاومت فروروی خاک: میزان مقاومت فروروی خاک تحت تأثیر تیمارهای گیاهان پوششی قرار گرفت، به طوری که کاشت گیاهان پوششی موجب کاهش میزان مقاومت فروروی خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۴). کمترین میزان مقاومت فروروی خاک در کشت ترب‌سفید با میانگین ۱/۱۲ پاسکال بود که در

(شمس‌الدین سعید و همکاران ۲۰۱۷). احتمالاً سامانه‌ی ریشه‌ای گیاهان پوششی و گسترش آن که نوعی شخم زیستی است، سبب افزایش این ویژگی شده است. بلازویز- ووزنیاک و کونوپینسکی (۲۰۱۳) گزارش کردند بیومس گیاهان پوششی تأثیر مثبتی بر تخلخل خاک پس از زمستان داشت و بیشترین درصد تخلخل از تیمار گندم‌سیاه بدست آمد. در میان عوامل مختلف محرک تخلخل خاک، پوشش گیاهی نقش مهمی ایفا می‌کند. ریشه‌ها نقش کلیدی در اثرات مرتبط بر ساختمان و هیدرولوژی خاک دارند (بنگوگ ۲۰۱۲؛ لاگسون ۲۰۱۳).

تأثیر گیاهان پوششی بر عملکرد سیب‌زمینی:

نتایج نشان داد که گرچه اختلاف آماری معنی‌داری از نظر عملکرد سیب‌زمینی در تک‌کشتی یولاف، ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها وجود نداشت اما در مقایسه با تیمار شاهد بدون کشت گیاهان پوششی، تک‌کشتی یولاف، ترب سفید و کشت مخلوط آن‌ها به ترتیب ۳۱/۴۵، ۲۴/۵۵ و ۲۰/۵۶ درصد عملکرد سیب‌زمینی را افزایش دادند (جدول ۴). از آنجاییکه در تولید سیب زمینی کودهای شیمیایی خصوصاً نیتروژنی استفاده نشده بود، افزایش عملکرد می‌تواند بدلیل افزایش زیست توده و فراهمی نیتروژن بوسیله گیاه پوششی زمستانه یولاف در تک‌کشتی و کشت مخلوط باشد که در پژوهش‌های دیگران نیز به چنین نتایجی اشاره شده است (بلانکو کانکی و همکاران ۲۰۱۵؛ قهرمانی و همکاران ۲۰۲۱). همچنین احتمال می‌رود با توجه به نسبت کربن به نیتروژن کمتر در ترب سفید و تجزیه نسبتاً سریع این گیاه پوششی، عناصر غذایی کافی در خاک فراهم و منجر به افزایش عملکرد سیب‌زمینی شده باشد. صمدانی و منتظری (صمدانی و منتظری ۲۰۰۹) بیان کردند، چنانچه یک گیاه پوششی از تیره خردل در پاییز کشت شود و پس از رشد کامل و پیش از کاشت سیب‌زمینی با انجام خاکورزی وارد خاک گردد، عملکرد سیب زمینی افزایش یافته و میزان مصرف علف‌کش کاهش

جرم مخصوص ظاهری خاک: اثر گیاهان پوششی بر

جرم مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاشت گیاهان پوششی منجر به کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید، به طوری که بیشترین وزن مخصوص ظاهری در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). جرم مخصوص حقیقی از خصوصیات ذرات خاک بوده و با عملیات زراعی تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند، اما جرم مخصوص ظاهری خاک نشان دهنده تراکم خاک است که در پژوهش حاضر تحت تأثیر گیاهان پوششی تفاوت معنی‌دار داشت و کاشت گیاهان پوششی منجر به کاهش میانگین این صفت گردید. از دلایل این امر می‌توان به کاهش فشردگی خاک در اثر مدفون شدن حجم زیادی از بقایای گیاهی و به دنبال آن افزایش خلل و فرج اشاره کرد. در واقع هر چه خاکی از نظر مواد آلی غنی‌تر باشد، جرم مخصوص ظاهری آن کمتر است، زیرا ماده آلی به تدریج ساختمان فیزیکی با تخلخل بیشتری را موجب می‌گردد و در نتیجه جرم معینی از خاک در حجم بیشتری ظاهر می‌نماید (گرونیگن و همکاران ۲۰۱۱). پژوهشگران کاهش معنی‌داری در تراکم خاک و افزایش خلل و فرج بعد از کشت گیاهان پوششی را گزارش نموده و علت آن را فعالیت‌های فیزیکی ریشه‌های قوی گیاهان پوششی در خاک بیان کردند (بو و همکاران ۲۰۱۲). همچنین باقی گذاشتن بقایا در سطح زمین، چگالی خاکدانه را کاهش داده و باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود (گرونیگن و همکاران ۲۰۱۱).

درصد تخلخل: درصد تخلخل خاک تحت تأثیر

تیمارهای گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری نشان داد. به طوری که کمترین میانگین مربوط به تیمار شاهد بود و کشت تمامی تیمارهای گیاهان پوششی بیشترین درصد تخلخل خاک را نشان دادند. پژوهشگران بیان داشتند که خاک‌هایی که درصد تخلخل بیشتری دارند جرم مخصوص ظاهری یا تراکم پوسته کمتری دارند

می‌یابد. جهانزاد و همکاران (جهانزاد و همکاران ۲۰۱۷) مشاهده نمودند که تیمار تربسفيد و نخود زمستانه نسبت به چاودار زمستانه و تیمار بدون گیاهان پوششی دارای بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی بود. گیاهان پوششی بخصوص تربسفيد و نخود زمستانه نیاز به کود نیتروژن سیب‌زمینی را کاهش داده و باعث بهبود کارایی مصرف نیتروژن شدند (جهانزاد و همکاران

۲۰۱۷). گیاهان پوششی دارای مزایای زراعی و زیست-محیطی هستند، همچنین تاثیرات آن‌ها بر عملکرد محصول بعدی در مناطق، خاک و یا عملیات مختلف مزرعه‌ای متفاوت است. این گیاهان با افزایش نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره سازی آب میتوانند باعث ثبات عملکرد محصول شود (ویلیامز و همکاران ۲۰۱۶).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر گیاهان پوششی بر صفات خاکی و عملکرد سیب‌زمینی

میانگین مربعات												
منابع تغییر	درجه آزادی	زیست‌توده گیاهان پوششی	زیست-توده علف‌های هرز	جمعیت میکروبی	نفوذپذیری	مقاومت فروروی خاک	کرم‌های خاکی	کربن آلی	جرم مخصوص ظاهری	درصد تخلخل	رطوبت جرمی خاک	عملکرد سیب-زمینی
بلوک	۲	۵۳۴۸*	۷۱/۰۷ ^{ns}	۵/۱۱ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۱۶ ^{ns}	۲/۲۸ ^{ns}	۱/۸۶ ^{ns}	۰/۱۱۸ ^{ns}
گیاهان پوششی	۳	۱۱۸۲۶۸ ^{**}	۲۵۹۸۴ ^{**}	۵/۵۹ ^{**}	۴/۶۸ ^{**}	۰/۰۱۱*	۲/۹۷*	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۵۶*	۷۶/۴۹*	۲۱/۶۲*	۰/۷۳۷ ^{**}
اشتباه آزمایشی	۶	۹۰۸	۳۲۵۱۱	۴/۱۹	۰/۳۸	۰/۰۲۳	۰/۴۷	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۶۴	۹/۲۴	۲/۵۲	۰/۰۴۱۳
ضرب تغییرات (%)		۱۰/۸	۲۲/۷	۲۸/۹	۲۵/۰۱	۱۲/۱۶	۹/۹	۷/۹	۵/۵	۶/۸	۷/۶	۱۶/۳

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر گیاهان پوششی بر صفات خاکی و عملکرد سیب‌زمینی

ترکیب‌های پوششی	زیست‌توده گیاهان پوششی (g.m ⁻²)	زیست-توده علف‌های هرز (g.m ⁻²)	جمعیت میکروبی (g. no ⁻¹)	زمان لازم برای نفوذ آب (S)	مقاومت فروروی (Pa)	کرم‌های خاکی (No.)	کربن آلی (%)	درصد تخلخل (%)	جرم مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)	رطوبت جرمی خاک (%)	عملکرد سیب-زمینی (kg.m ⁻²)
تربسفيد	۴۶۶/۱ ^a	۱۳۸/۴ ^b	۱۰.۶۳۳۳۳ ^a	۱/۸۵ ^b	۱/۱۲ ^b	۳ ^a	۰/۷۵ ^{ab}	۴۷/۵۵ ^a	۱/۳۹ ^b	۲۳/۸ ^a	۳/۷۳ ^a
یولاف	۳۰۷ ^b	۱۸۵/۱ ^b	۶۹۳۳۳۳ ^a	۲ ^b	۱/۲۱ ^b	۱/۶۷ ^{ab}	۰/۸ ^a	۴۸/۰۵ ^a	۱/۳۸ ^b	۲۰/۵ ^{bc}	۳/۳۸ ^{ab}
تربسفيد+یولاف	۳۴۷/۳ ^b	۲۰۲/۸ ^b	۹۷۳۳۳۳ ^a	۱/۷۱ ^b	۱/۱۵ ^b	۲/۳۳ ^a	۰/۷۴ ^{ab}	۴۵/۵۴ ^a	۱/۴۴ ^b	۲۱/۷ ^{ab}	۳/۲۱ ^b
شاهد	-	۳۵۲/۶ ^a	۱۰.۶۳۳۳ ^b	۴/۳۴ ^a	۱/۵۵ ^a	۰/۶۷ ^b	۰/۶۶ ^b	۳۶/۹۸ ^b	۱/۶۷ ^a	۱۷/۴ ^c	۲/۵۵ ^c
LSD	۶۰/۲	۱۰۰/۱	۴/۰۹	۱/۲۴	۰/۳۱	۱/۳۷	۰/۱۲	۶/۰۷	۰/۱۶	۳/۱۷	۰/۴۱

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد در آزمون LSD ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

بین تیمارهای تک‌کشتی تربسفيد، یولاف و کشت مخلوط آن‌ها وجود نداشت. در مقایسه با تیمار شاهد یا بدون کشت گیاهان پوششی، تیمارهای تک‌کشتی و کشت مخلوط یولاف و تربسفيد بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند زمان نفوذ آب، مقاومت

نتایج به دست آمده نشان داد که اگرچه بیشترین زیست‌توده گیاهان پوششی از تیمار تک‌کشتی تربسفيد (۴۶۶ گرم در متر مربع) حاصل شد اما اختلاف آماری معنی‌داری از نظر کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در

گیاهان پوششی است. بنابراین می‌توان گفت که کشت گیاهان پوششی زمستانه چه بصورت تک‌کشتی و چه بصورت مخلوط بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و عملکرد سیب‌زمینی موثر بود.

سیاسگزاری

از مسئولین و کارکنان آزمایشگاه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی و خانم دکتر فاطمه احمدنیا که در اجرای این طرح نهایت همکاری را با ما داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی میشود.

فروروی خاک، جرم مخصوص ظاهری، درصد تخلخل خاک، کربن آلی، جمعیت میکروبی و کرم‌های خاکی تأثیرگذار بودند. با توجه به نتایج مطالعات پیشین گرچه انتظار می‌رفت به دلیل سودمندی‌های کشت مخلوط در استفاده از منابع تأثیر متمایزی در برابر تک‌کشتی داشته باشد اما نتایج حاصل از این آزمایش اینگونه نبود. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که تک‌کشتی ترب سفید و یولاف و همچنین کشت مخلوط آن‌ها دارای اثر مشابهی بر عملکرد سیب‌زمینی بودند و این در حالی است که در شرایط عدم کشت گیاهان پوششی، عملکرد سیب‌زمینی دچار کاهش محسوسی در مقایسه با تیمارهای دارای

منابع مورد استفاده

- Alexander M. 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Ardakani MR, Razavi M and Zafarian F. 2007. Experimental Methods in plant Ecology (Translate). University of Tehran Press (UTP). (In Persian).
- Bender SF, Wagg C and van der Heijden MG. 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. Trends in Ecology and Evolution, 31: 440-452.
- Bengough AG. 2012. Water dynamics of the root zone: Rhizosphere biophysics and its control on soil hydrology. Vadose Zone Journal, 11. doi:10.2136/vzj2011.0111
- Blanco-Canqui H, Shaver TM, Lindquist JL, Shapiro CA, Elmore RW, Francis CA and Hergert GW. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. Agronomy Journ, 107(6):2449-74.
- Błażewicz-Woźniak M and Konopiński M. 2013. Impact of cover crops and tillage on porosity of podzolic soil. International Agrophysics, 27(3): 247–255.
- Bo Z, Lixia Y, Limei G, Gong C, Yuegao H, Haiming T, Chunfang X, Xiaoping X, Guangli Y, Surya NA and Zhaohai Z. 2012. Performance of two winter cover crops and their impacts on soil properties and two subsequent rice crops in Dongting Lake Plain, Hunan, China. Soil and Tillage Research, 124: 95-101.
- Brennan EB and Smith RF. 2005. Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. Weed Technology, 19:1017–1024. doi:10.1614/WT-04-246R1.1
- Brust J, Claupein W and Gerhards R. 2014. Growth and weed suppression ability of common and new covercrops in Germany. Crop Protection, 63:1–8.
- Calderón FJ, Nielsen DC, Acosta-Martinez V, Vigil MF and Lyon DJ. 2016. Cover crop effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the Central Great Plains of North America. Pedosphere, 26(2): 192–205.
- Chen HL, Tian XH, Wang XF, Cao YX, Wu YH and Wang ZH. 2010. Effects of different cultivation models on soil water, soil temperature and yield during the winter wheat growth in the Weibei Dry Highland. Acta Ecologica Sinca, 30:2424– 2433.
- Clark A. 2007. Managing Cover Crops Profitably, 3rd Edition: Beltsville, Maryland: Sustainable Agriculture Network. USDA-SARE. 244 Pages.

- Deurer M, Grinev D, Young I, Clothier BE and Müller K. 2009. The impact of soil carbon management on soil macropore structure: a comparison of two apple orchard systems in New Zealand. *European Journal of Soil Science*, 60: 945–955.
- Ghahremani S, Ebadi A, Tobeh A, Hashemi M, Sedghi M, Gholipour A and Barker AV. 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.
- Ghahremani S, Ebadi A, Tobeh A, Hashemi M, Sedghi M and Gholipour A. 2020. The effect of cover crops on yield and weeds control of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 14(1): 119-134. (In Persian).
- Ghavidel A and Najirad S. 2014. Cell Bacterial Culturing (Translate). Ardebil Jihad. (In Persian)
- Gomez J, Sobrinho T, Giráldez J and Ferere E. 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102: 5-13.
- Groenigen AV, Recous S, Mary B and Aita C. 2011. Simulating the effects of N availability, straw particle size and location in soil on C and N mineralization. *Plant and soil*. 300: 189-201.
- Jahanzad E, Barker AV, Hashemi M, Sadeghpour A and Eaton T. 2017. Forage Radish and Winter Pea Cover Crops Outperformed Rye in a Potato Cropping System. *Soil Fertility and Crop Nutrition*, 109(2): 1–8.
- Klute A. 1986. Water retention: laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part1- Physical and Mineralogical Methods (Methods of Soil Anal.)*, 635–662 p.
- Korucu T, Shipitalo MJ and Kaspar TC. 2018. Rye Cover Crop Increases Earthworm Populations and Reduces Losses of Broadcast, Fall-Applied, Fertilizerin Surface Runoff. *Soil and Tillage Research*, 180: 99-106.
- Lawley YE, Teasdale JR and Weil RR. 2012. The mechanism for weed suppression by a forage radish cover crop. *Agronomy Journal*, 104:205–214.
- Lawley YE, Weil RR and Teasdale JR. 2011. Forage radish winter cover crops suppress winter annual weeds in fall and before corn planting. *Agronomy Journal*, 103:137–144.
- Linares R, de la Fuente M, Junquera P, Lissarrague JR and Baeza P. 2014. Effects of soil management in vineyard on soil physical and chemical characteristics. *BIO Web of Conferences*, 37th World Congress of Vine and Wine and 12th General Assembly of the OIV. 3: 01008. November 2014.
- Logsdon SD. 2013. Root effects on soil properties and processes: Synthesis and future research needs. In: Timlin T, Ahuja LR (eds) *Enhancing understanding and quantification of soil– root growth interactions. Advances in Agricultural Systems Modeling*, 4. doi:10. 2134/advagricsystem14.c8
- Lowery B and Morrison JE. 2002. Soil penetrometers and penetrability. In: Dane J.H and Topp GC, (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part4, Physical Methods*. pp: 363–388. Soil Science Society of America, Madison.
- Malik MS, Norsworthy JK, Culpepper AS, Riley MB and Bridges W. 2008. Use of wild radish (*Raphanus raphanistrum*) and rye cover crops for weed suppression in sweet corn. *Weed Science*, 56:588–595.
- McDaniel M, Tiemann L and Grandy AS. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24: 560–570.
- Moebius-Clune BN, Moebius-Clune DJ, Gugino BK, Idowu, OJ, Schindelbeck RR, Ristow AJ, Van-Es H, MThies JE, Shayler HA, McBride MB, Kurtz KSM, Wolfe DW and Abawi GS. 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health the Cornell Framework, Edition 3.2*, Cornell University, Geneva, NY. <http://www.css.cornell.edu/extension/soil-health/manual.pdf>
- Navarro-Noya YE, Gómez-Acata S, Montoya-Ciriaco N, Rojas-Valdez A, Suañez-Arriaga MC, Valenzuela- Encinas C, Jimenez-Bueno N, Verhulst N, Govaerts B and Dendooven L. 2013. Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 65: 86-95.

- O'Reilly KA, Robinson DE, Vyn RJ and Van Eerd LL. 2011. Weed Populations, Sweet Corn Yield, and Economics Following Fall Cover Crops. *Weed Technology*, 25(3):374-384.
- Parmodh S, Atinderpal S, Charanjit SK, Amandeep SB, Kulbhushan KG, Mahendra D and Robert LS. 2018. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture-A Review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9: 1935-1951.
- 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: 309–317.
- 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.
- Roarty S, Hackett RA and Schmidt O. 2017. Earthworm Populations in Twelve Cover Crop and Weed Management Combinations. *Applied Soil Ecology*, 114: 142-151.
- Samedani B and Montazeri M. 2009. The use of cover crop in sustainable agriculture. Iranian Resarch Institute of Plant Protection, Tehran. 186 pp. (In Persian).
- Sammis T, Sharma P, Shukla M, Wang J and Miller D. 2012. A Water-Balance Drip-Irrigation Scheduling Model. *Agricultural Water Management*, 113: 30-37.
- Shamsaddin-saied 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 of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 21(1):37-49. (In Persian).
- Sharma P, Shukla MK, Sammis TW and Adhikari P. 2012. Nitrate-Nitrogen Leaching from Onion Bed under Furrow and Drip Irrigation Systems. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID: 650206.
- Smith RG, Atwood LW and Warren ND. 2014. Increased productivity of a cover crop mixture is not associated with enhanced agroecosystem services. *PLoS ONE*, 9(5): e97351.
- Virto I, Imaz MJ, Fernández-Ugalde O, Urrutia I, Enrique A and Bescansa P. 2012. Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Spanish Journal of Agriculture Research*, 10(4): 1121-1132.
- Walkley A and Black IA. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Weil RR and Kremen A. 2007. Thinking across and beyond disciplines to make cover crops pay. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87:551-557.
- White CM and Weil RR. 2011. Forage radish cover crops increase soil test Phosphorus surrounding holes created by radish taproots. *Soil Science Society America Journal*, 75:121–130.
- Williams A, Hunter MC, Kammerer M, Kane DA, Jordan NR, Mortensen DA, Smith RG, Snapp S and Davis AS. 2016. Soil Water Holding Capacity Mitigates Downside Risk and Volatility in US Rainfed Maize: Time to Invest in Soil Organic Matter? *Plos One*. 11:e0160974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160974> PMID: 27560666
- Yilmaz S, Ozel A, Atak M and Erayman M. 2014. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 135-143.