University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

The Effects of Different Rotations under the Conservation and Conventional Tillage Conditions on Soil Physicochemical Properties and Crop Yield of Wheat and Barley

Nosratolla Heidarpour[1]| Raham Mohtashami✉[2]

1. Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran. Email: n.heidarpour@areeo.ac.ir
2. Corresponding Author, Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Kohgiluyeh and Boyerahmad, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yasooj, Iran. Email: r.mohtashami@areeo.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: October 07, 2023
Received in revised form: January 15, 2024
Accepted: January 15, 2024
Published online: June 21, 2024

Keywords:
Direct cultivation,
no tillage,
plant biomass,
soil organic matter.

ABSTRACT

This study was carried out as a split-plot based on randomized complete block design with 16 treatment combinations and in 4 replications for three crop years 2018-2020 in the Gachsaran agricultural research center. The experimental factors included tillage method (A) with two levels A_1= conventional (moldboard plow + disk harrow) and A_2= conservation (No-Till) which were placed in the main plots, and rotation (B) with eight levels consisting of 1) wheat - wheat (control), 2) barley-barley (control), 3) forage (Tolo variety) - wheat, 4) forage - barley, 5) canola - wheat, 6) canola - barley, 7) chickpea - wheat and, 8) chickpea-barley were placed in sub-plots. Also, Karim wheat, Khoram barley, Tolo cluster flower vetch, Adel chickpea, and Hayola 401 canola were used. These products were included in a periodic rotation of three years. The results showed that the increase in yield in wheat rotation was 19.3, 18.2, and 20.7%, respectively, and in barley rotation was 18.2, 18.6, and 10.2%, respectively, compared to continuous wheat and barley cultivation. The highest amount of plant biomass in wheat treatments was obtained by 9352 kg ha^{-1} from the forage rotation option and the highest wheat grain harvest index with of 36.6% was obtained from the canola-wheat rotation option. In barley treatments, the highest values of plant biomass and harvest index were obtained from forage and canola -barley rotation options, respectively. The conservation cultivation method in the canola rotation option increased the amount of moisture in the soil and reduced the specific gravity of the soil. There was the lowest amount of phosphorus and the highest amount of potassium and soil organic carbon percentage in this periodic option. Due to the higher productivity, it is recommended to farmers to alternate wheat and barley crops with canola in conservation tillage conditions, and at the same time, chickpea and forage crops should be used in the middle of their rotation period. Therefore, the acceptance of this system by farmers requires the implementation of this study in dryland conditions, and in this way, it is possible to preserve agricultural land.

Cite this article: Heidarpour, N., & Mohtashami, R. (2024). The effects of different rotations under the conservation and conventional tillage conditions on soil physicochemical properties and crop yield of wheat and barley. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(2), 169-183. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.365534.655029.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.365534.655029

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

اثرات تناوب‌های مختلف تحت شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد محصول گندم و جو

نصرت‌الله حیدرپور[۱] | رهام محتشمی[۲]✉

۱. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، گچساران، ایران. ایمیل: n.heidarpour@areeo.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران. ایمیل: r.mohtashami@areeo.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
بدون خاک‌ورزی، زیست‌توده گیاهی، کشت مستقیم، ماده آلی خاک.

چکیده

این مطالعه به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ ترکیب تیماری و در چهار تکرار به مدت سه سال زراعی ۱۳۹۷–۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی گچساران اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل روش خاک‌ورزی (A) با دو سطح A_1= مرسوم (گاوآهن برگردان‌دار + دیسک) و A_2= حفاظتی (کشت مستقیم) که در کرت‌های اصلی قرار گرفتند، و تناوب (B) با هشت سطح مشتمل بر ۱) گندم – گندم (شاهد)، ۲) جو– جو (شاهد)، ۳) علوفه (ماشک رقم طلوع) –گندم، ۴) علوفه – جو، ۵) کلزا – گندم، ۶) کلزا – جو، ۷) نخود – گندم، و ۸) نخود – جو که در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. همچنین گندم رقم کریم، جو خرم، ماشک گل‌خوشه‌ای طلوع، نخود عادل و کلزا هایولا ۴۰۱ مورد استفاده قرار گرفتند. این محصولات در یک گردش تناوبی سه‌ساله قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میزان افزایش عملکرد در تناوب گندم به‌ترتیب ۱۹/۳، ۱۸/۲، و ۲۰/۷ درصد و در تناوب جو ۱۸/۲، ۱۸/۶، و ۱۰/۲ درصد نسبت به کشت مداوم گندم و جو بود. بیشترین میزان زیست‌توده گیاهی در تیمارهای گندم به میزان ۹۳۵۲ کیلوگرم در هکتار از گزینه تناوبی علوفه و بالاترین میزان شاخص برداشت دانه گندم با مقدار ۳۶/۶ درصد از گزینه تناوبی کلزا – گندم به‌دست آمد. در تیمارهای جو، بیشترین مقادیر زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت به‌ترتیب از گزینه‌های تناوبی علوفه و کلزا – جو حاصل شد. روش کشت حفاظتی در گزینه تناوبی کلزا موجب افزایش میزان رطوبت موجود در خاک شد و جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش داد. کمترین مقدار فسفر و بیشترین مقدار پتاسیم و درصد کربن آلی خاک، در همین گزینه تناوبی وجود داشت. با توجه به بهره‌وری بالاتر به کشاورزان توصیه می‌شود محصولات گندم و جو در شرایط کشت حفاظتی در تناوب با کلزا قرار گرفته و همزمان در میان دوره تناوبی آن‌ها از محصولات نخود و علوفه استفاده شود. بنابراین، پذیرش این سیستم توسط کشاورزان مستلزم اجرای این مطالعه در شرایط دیم بوده و در این راه، امکان حفظ اراضی زراعی نیز فراهم می‌شود.

استناد: حیدرپور، ن.، و محتشمی، ر. (۱۴۰۳). اثرات تناوب‌های مختلف تحت شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد محصول گندم و جو. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۱۶۹–۱۸۳.
Doi: 10.22059/ijfcs.2024.365534.655029

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

پایداری تولید در گیاهان زراعی به دلیل لزوم حفظ امنیت غذایی جامعه، یکی از مهم‌ترین مسائل روز کشاورزی جهان محسوب می‌شود. امروزه با توجه به مشکلات و محدودیت‌های عدیده در منابع تولید، راهی جز اصلاح بسیاری از شیوه‌های کشاورزی باقی نمانده است. از طرفی حفاظت از منابع خاک و آب، به شیوه گسترش سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بیش از پیش حائز اهمیت است (Qahdarijani *et al*., 2013). خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند به تخریب خاک منجر شود و اثرات منفی بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی آن داشته باشد؛ درحالی‌که سامانه بدون خاک‌ورزی ساختار و پایداری خاک را تقویت می‌کند (Nunes *et al*., 2020). خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و بهره‌وری تولید شده است و کشاورزان، دانشمندان و سیاست‌گذاران را برای یافتن روش‌های جایگزین که با محیط زیست سازگار باشند، ترغیب کرده است (Jat *et al*., 2014; Rehman *et al*., 2022).

چالش دیگر برای کشاورزی مرسوم، خطرات زیست‌محیطی است که می‌تواند به تغییرات اقلیمی منجر شود. حدود ۳۰ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و متان تشکیل می‌دهند که به‌صورت مستقیم باعث تغییرات آب و هوایی می‌شوند (FAO, 2014). به همین دلیل در الگوی جدیدی که فائو برای پایداری تولید تنظیم کرده است، نیاز جهان به یک کشاورزی مولد و پر درآمد که هم‌زمان با افزایش تولید، محیط زیست را حفظ کند، مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی پایداری تولید باید از طریق افزایش تنوع زیستی در سیستم‌های تولیدی گیاهان زراعی، بهره‌وری از لایه‌های رویی و زیرین خاک را افزایش دهد. در این راستا رعایت مجموعه‌ای از عوامل مدیریتی از جمله تناوب زراعی، تغذیه گیاهی و کشاورزی حفاظتی، اهداف مورد نظر را محقق می‌سازد (Kassam *et al*., 2014; Jat *et al*., 2014; Rehman *et al*., 2022).

رعایت تناوب زراعی در سیستم‌های تولیدی از طریق ایجاد تنوع در کاشت محصولات، موجب بهبود حاصلخیزی خاک و پتانسیل تولید در اراضی شده و توانایی بازسازی خاک بعد از تخریب را افزایش می‌دهد (Kochaki *et al*., 2005). در این راستا، کشاورزی حفاظتی توسط سازمان‌های بین‌المللی و غیر دولتی در جهت تحقق اهداف یاد شده و مقابله با تغییرات اقلیمی در دنیا در حال گسترش است (Corbeels *et al*., 2014). این نوع کشاورزی مبتنی بر سه اصل حداقل خاک‌ورزی، پوشش سالانه سطح زمین از بقایای گیاهی و تناوب گیاهان زراعی می‌باشد (Bot & Benites, 2001) و بسیاری از ملزومات بهبود پایدار تولیدات کشاورزی از جمله کاهش تبخیر رطوبت، به‌حداقل‌رساندن علف‌های هرز، بهبود چرخه عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک، حفظ موجودات زیستی خاک، کاهش فرسایش و افزایش سرعت تجزیه کربن خاک را در برمی‌گیرد (Kassam *et al*., 2009; Palm *et al*., 2013). این در حالی است که وجود بقایای گیاهی در سطح خاک، در طولانی‌مدت اثرات قابل ملاحظه‌ای بر حاصلخیزی خاک دارد؛ ولی کشاورزان اغلب تولید محصول را در کوتاه‌مدت ترجیح می‌دهند (Bezner-Kerr *et al*., 2007). ازاین‌رو ترویج تناوب‌های زراعی برای این کشاورزان، نیازمند گنجاندن محصولات غذایی مورد علاقه آن‌ها در گردش تناوبی است (Brouder & Gomez-Macpherson, 2013; Wall *et al*., 2017). از طرفی در حال حاضر بیشتر از ۷۲ درصد از اراضی کشاورزی جهان با کمبود منابع آب آبیاری مواجه هستند (Alves, 2015).

به گزارش Dixon *et al*. (2006)، غلات نسبت به حبوبات یا دانه‌های روغنی از منابع تولید استفاده بیشتری می‌کنند. از طرفی بهره‌وری زراعی و سودمندی اقتصادی در آن دسته از الگوهای تناوبی که غلات در ترکیب آن‌ها وجود دارند بیشتر خواهد بود. Janzen *et al*. (2003) نیز معتقدند که ورود دانه‌های روغنی مانند کلزا در تناوب گندم می‌تواند اثر مثبت و مفیدی بر عملکرد گندم داشته باشد. López-Bellido & López-Bellido (2001) و Sartori *et al*. (2005) نیز اعلام کردند عملکرد گندم در کشت مداوم زمستانه حدود ۳۰/۷ درصد کاهش یافت. در مطالعه دیگری افزایش عملکرد و وزن خشک اندام‌های هوایی گندم پس از کاشت کلزا به دلیل افزایش معنی‌دار تعداد پنجه بارور در واحد سطح گزارش شد (Chandra, 2002).

در یک مطالعه عملکرد گندم بعد از کشت نخود حدود ۴۳ درصد افزایش یافت (Stevenson & Van Kessel, 1996). امروزه کشت مستقیم علی‌رغم ایجاد برخی اثرات منفی بر پاره‌ای از خصوصیات خاک، به یک سیستم مدیریت معمول در حفاظت خاک و آب جهت پایداری بهره‌وری از خاک در اراضی دیم تبدیل شده است (Zhang *et al*., 2017). در مطالعه‌ای تناوب زراعی و مدیریت آب موجود در خاک تحت کشاورزی مرسوم و حفاظتی نشان داد که تناوب در شرایط کشاورزی حفاظتی باعث ذخیره‌سازی حدود

۲۰ میلی‌متر از آب باران در داخل خاک نسبت به حالت کشاورزی مرسوم شد (Stroosnijder, 2009). در بررسی دیگری شرایط کشت حفاظتی ضمن افزایش عملکرد محصول، موجب افزایش ۱۰ درصدی کربن آلی خاک شد (Zhao *et al*., 2017). پژوهشگران دیگری نیز کربن آلی خاک را در تناوب محصولات مختلف تحت شرایط کشاورزی حفاظتی بررسی و اعلام کردند که فقدان پوشش گیاهی باعث کاهش کربن آلی خاک می‌شود و گیاهان خانواده لگومینوزه مهمترین گیاهان برای افزایش میزان کربن آلی خاک در مناطق گرمسیری هستند (Raphael *et al*., 2016).

مطالعه تراکم خاک و عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط کشاورزی حفاظتی نشان داد که استفاده از گاوآهن قلمی در کوتاه مدت باعث افزایش درصد تخلخل خاک می‌شود (Calonego *et al*., 2017). در سازگاری محصولات تناوبی دیم با سیستم کشت مستقیم وجود بقایای گیاهی در طولانی‌مدت موجب افزایش قدرت نگهداری آب باران در خاک، افزایش بهره‌وری و بهبود خصوصیات خاک می‌شود (Hansen *et al*., 2012). در همین راستا گزارش‌هایی در خصوص وجود رواناب‌های زیاد ناشی از بارندگی، نفوذپذیری کم اراضی و تبخیر زیاد رطوبت از سطح خاک نیز در نتیجه پایین‌بودن کارایی مصرف آب در حدود ۳۰–۱۵ درصد منتشر شده است (Rockström *et al*., 2009; Stroosnijder, 2009).

کشاورزی حفاظتی با ذخیره آب در خاک و مقابله با تغییرات اقلیمی و متغیربودن بارش برای کشاورزان خرد بازدهی سریعی دارد (Pittelkow *et al*., 2014; Rockström *et al*., 2009). تناوب‌های اجرا شده در مزارع کشورهای درحال توسعه عموما شامل لگوم‌ها، محصولات پوششی سبز یا سایر محصولات معمول منطقه است (Thierfelder *et al*., 2022). کاشت این محصولات باعث افزایش نیتروژن خاک، راندمان مصرف کود، افزایش بهره‌وری و پروتئین محصول می‌شود (Snapp *et al*., 2010; Franke *et al*., 2014).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی به همراه کاهش هزینه تولید، باعث گسترش سازگاری کشاورزی حفاظتی در مزارع وسیع و مکانیزه شمال و جنوب آمریکا و استرالیا شده است (Kassam *et al*., 2009). هرچند عملکرد نسبی گیاهان زراعی در سیستم کشاورزی حفاظتی نسبت به سیستم مرسوم پایین‌تر است؛ اما این سیستم در مناطق خشک با رعایت اصول کشاورزی حفاظتی قابل اجرا است (Pittelkow *et al*., 2014; Rusinamhodzi *et al*., 2013). این در حالی است که معایب موجود در این سیستم از جمله کاهش عملکرد در اولین سال‌های سازگاری، تقاضای کارگر زیادتر برای وجین علف‌های هرز، افزایش هزینه تهیه نهاده‌ها، رقابت مصرف بقایای گیاهی توسط دام‌های اهلی و ماندن روی سطح زمین و ترویج آن به صورت یک شکل واحد برای همه مزارع وجود دارد (Brouder & Gomez-Macpherson, 2013; Baudron *et al*., 2012; Corbeels *et al*., 2013).

بنابراین، هدف اصلی این مطالعه ارزیابی و مقایسه اثرات مدیریت بقایای گیاهی روی خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد محصولات تناوبی در شرایط دیم کشاورزی حفاظتی و کشت مرسوم بود. همچنین هدف دیگر این مطالعه بهبود رطوبت خاک و تولید محصول با در نظر گرفتن کشت مداوم گندم و جو به عنوان شاهد و همچنین کشت آن‌ها در قالب سیستم‌های تناوبی محصولات کلزا، نخود و علوفه می‌باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ ترکیب تیماری در چهار تکرار طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۷ به مدت سه سال (زمین قبل از شروع آزمایش‌ها به‌صورت آیش بود) به شرح زیر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم گچساران اجرا شد. کرت اصلی شامل روش خاک‌ورزی در دو سطح حفاظتی (کشت مستقیم) و مرسوم (گاوآهن برگردان‌دار + هرس بشقابی) و کرت‌های فرعی شامل تناوب در هشت سطح شامل گندم – گندم (رقم کریم)، جو– جو (رقم خرم)، علوفه (ماشک گل خوشه‌ای رقم طلوع) گندم، علوفه (ماشک گل‌خوشه‌ای رقم طلوع) – جو ، کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) – گندم، کلزا – جو، نخود (رقم عادل) – گندم و نخود – جو بود. در طی اجرای آزمایش و مراحل مختلف رشد گیاه موارد زیر اندازه‌گیری شدند: ۱) نمونه‌برداری کلی از خاک در عمق ۳۰–۰ سانتی‌متر قبل از شروع اجرای مطالعه به منظور تعیین ازت اولیه، pH، کربن آلی، فسفر و پتاس خاک

و اندازه‌گیری آن‌ها (شکل ۱ و جدول ۲)، ۲) اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک قبل از شروع و مقایسه آن با جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای مختلف پس از اجرای مطالعه در اعماق ۱۰– ۰ و ۲۰–۱۰ سانتی‌متری خاک.

برای تعیین جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های دست‌نخورده خاک توسط استوانه‌هایی با حجم مشخص برداشت و بلافاصله وزن شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون گذاشته و مجددا توزین شدند و توسط معادله (۱) مقدار عددی آن به‌دست آمد:

$$bd = \frac{ws}{V} \quad (1)$$

که در این معادله bd= جرم مخصوص ظاهری خاک،

ws ($g.cm^{-3}$) = جرم خاک خشک،

V (g) = حجم استوانه (حجم خاک) (cm^3) می‌باشند.

۳) اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی خاک در عمق‌های ۱۰ –۰ و ۲۰–۱۰ سانتی‌متری در زمان رسیدن دانه گندم و جو.

برای تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، نمونه‌ها پس از برداشت و توزین، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهـداری و مجدداً توزین شده و سپس محاسبات لازم با استفاده از فرمول (۱) انجام شد:

$$Mc = \frac{(Ww - Wd)}{Wd} \times 100 \quad (1)$$

در این فرمول Mc= درصد رطوبت وزنی خاک Ww = وزن خاک مرطوب، Wd (g)=وزن خاک خشک (g) هستند.

۴) اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به شرح زیر انجام شد:

– پس از رسیدن کامل محصولات و حذف حاشیه‌ها، عملکرد دانه باقیمانده کرت به عنوان معیاری برای تولید در واحد سطح در نظر گرفته شد. در این راستا، برداشت محصول نخود و علوفه با دست و برداشت کلزا با کمباین انجام شد.

– برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده نیز در پایان دوره رسیدگی گیاهان زراعی، یکی از ردیف‌های میانی کاشت به مساحت چهار متر مربع با رعایت فاصله نیم‌متر از ابتدا و انتهای آن، از فاصله دو سانتی‌متری سطح زمین، کف‌بر و توزین شد. سپس نمونه‌های تصادفی ۵۰۰ گرمی از محصول در ظرفی قرار داده و جهت خشک‌شدن تدریجی و کامل به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. در پایان وزن نمونه خشک‌شده اندازه‌گیری و عملکرد زیست‌توده آن‌ها به تناسب سطح محاسبه شد.

– برای تعیین شاخص برداشت هر تیمار، وزن دانه‌های موجود در نمونه تصادفی انتخاب‌شده برای عملکرد زیست‌توده، توزین و با تقسیم بر وزن خشک کل نمونه ضربدر ۱۰۰ اقدام شد.

محل اجرای این مطالعه شامل دو قطعه زمین مشابه از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی بود. ابعاد هر کرت اصلی با توجه به عرض کار ماشین‌ها ۲۰×۵ متر، فاصله بین تکرارها هشت متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در طول دوره تناوبی، تیمارهای کشت حفاظتی و مرسوم قبل از بارندگی موثر به تناسب اجرا شدند. از گندم رقم کریم، جو خرم، ماشک گل خوشه‌ای طلوع، نخود عادل و کلزا هایولا ۴۰۱ استفاده شد و این محصولات در یک گردش تناوبی قرار گرفتند. میزان بذر هر محصول بر اساس وزن هزار دانه و تراکم کاشت دانه در متر مربع، مشخص شد. در این راستا، گندم با تراکم ۳۰۰، جو با تراکم ۲۰۰، نخود با تراکم ۳۰، علوفه با تراکم ۱۵۰ دانه در متر مربع و لحاظ وزن هزار دانه آن‌ها در عمق مناسب چهار تا شش سانتی‌متری خاک کاشته شده و کشت تیمارهای کلزا نیز بر مبنای هفت کیلوگرم در هکتار در عمق دو تا سه سانتی‌متری خاک انجام گرفت. در طول فصل رشد مراقبت‌های زراعی لازم به‌تناسب نوع محصول انجام و با علف‌های هرز گندم با سموم گرانستار و تاپیک به ترتیب به میزان ۲۵ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله سه تاپنج برگی مبارزه شد. در تیمارهای جو و کلزا نیز به‌ترتیب از علف‌کش های گرانستار (۲۵ گرم) و لونترال (۰/۸ لیتر در هکتار) استفاده و در محصولات نخود و علوفه نیز به روش وجین دستی اقدام شد. همچنین در جهت تعیین نیاز تغذیه‌ای گیاه، قبل از شروع اجرای پروژه از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری خاک، نمونه مرکبی برداشت و

آنالیز شد و کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم براساس نتایج تجزیه خاک، با در نظر گرفتن حدود بحرانی، کود نیتروژنه به میزان ۸۰ کیلوگرم و فسفره ۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از منابع کودی سولفات آمونیم و سوپرفسفات تریپل تهیه و به صورت یکسان در کلیه پلات‌ها مصرف شدند. هر ساله قبل از اجرای آزمایش و در فرصت مناسب ماشین‌های کاشت مورد مطالعه (خطی‌کار مرسوم و کشت مستقیم) در حالت کارگاهی و مزرعه‌ای کالیبره شدند. جدول ۱ مشخصات ماشین‌های کاشت مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ماشین‌های کاشت مورد استفاده.

Pragmatics	Jointer type	Row distance (cm)	Sower number	Needed power (horsepower)	Width of work (cm)	Mashinery type
Shilan model yucan	Tensile	17	15	110	255	direct seeding
Barzegar model Hamadan	Tensile	17.5	13	90	225	Linear customary

نتایج اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک در اعماق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری قبل از اجرای پروژه نشان داد مقادیر آن‌ها به‌ترتیب ۱/۲۸ و ۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند. نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ آمده است. نتایج سالانه با نرم‌افزار Mstatc تجزیه آماری و میانگین تیمارها با آزمون LSD مقایسه شدند. برای آزمون یکنواختی خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد، سپس تجزیه واریانس مرکب انجام و تیمار برتر انتخاب شد.

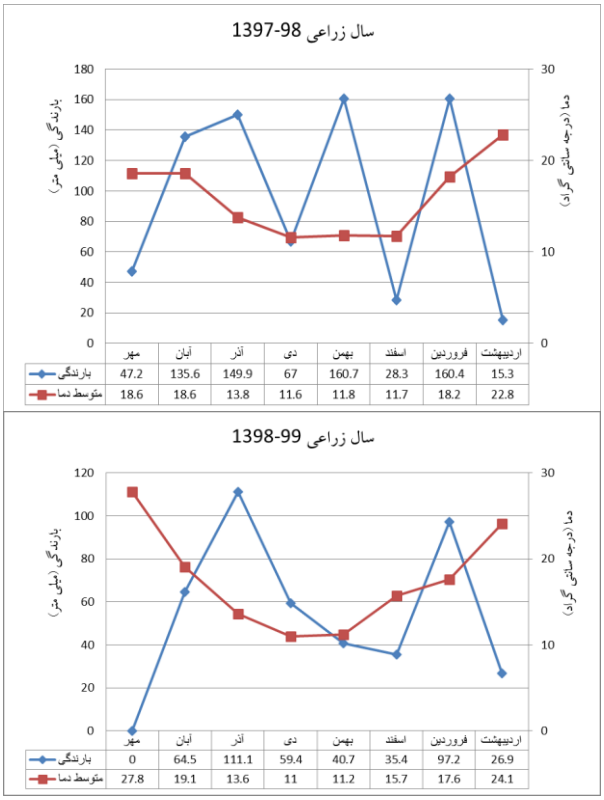
جدول ۲. میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (میانگین سال‌ها).

Soil texture	Potassium (mgkg^{-1})	Phosphorus (mgkg^{-1})	Organic carbon (%)	$CaCo_3$ (%)	pH	EC (dSm^{-1})	Saturation (%)	Soil depth (cm)
Silt- Clay-Sand	362	15.3	0.875	42.0	7.2	1.12	42	0-30

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. بررسی برخی عوامل اقلیمی موثر بر اندازه‌گیری متغیرها

شکل ۱ عوامل اقلیمی دما و بارش در طول سال‌های ارزیابی مطالعه را توصیف می‌کند. در سال زراعی پایانی علی‌رغم بارش بسیار زیاد اول فصل رشد در آذرماه به میزان ۱۴۰/۵ میلی‌متر، تمام تیمارها در انتهای فصل دچار تنش خشکی شدند؛ در عین حال به دلیل اجرای تیمارها قبل از بارندگی‌های مؤثر پاییزه که همانند آبیاری تکمیلی زمان کاشت عمل کرده است، به علت طولانی‌تر شدن فصل رشد و استفاده مؤثر از نزولات آسمانی ابتدای فصل رشد، عملکرد تیمارها در حد قابل قبولی بوده است. این وضعیت فواید کاشت قبل از بارندگی‌های مؤثر پاییزه و آبیاری تکمیلی زمان کاشت را در تولید گندم دیم نشان می‌دهد. همچنین در هر سه سال زراعی متوسط دما در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به دلیل متغیربودن متوسط حداقل‌ها و حداکثرهای دما، متفاوت بود. ولی در مجموع سال‌های ارزیابی از نظر دمایی شرایط تقریباً مشابهی با هم داشتند.



	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
بارندگی	47.2	135.6	149.9	67	160.7	28.3	160.4	15.3
متوسط دما	18.6	18.6	13.8	11.6	11.8	11.7	18.2	22.8

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
بارندگی	0	64.5	111.1	59.4	40.7	35.4	97.2	26.9
متوسط دما	27.8	19.1	13.6	11	11.2	15.7	17.6	24.1

شکل ۱. نمودار آمبروترمیک دما و بارش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم گچساران در سال‌های زراعی.

۳-۲. عملکرد دانه، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس مندرجات این جدول، عملکرد دانه، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت تیمارها در نتیجه اثر عوامل "سال و اثر متقابل سال × روش خاک‌ورزی، تناوب و اثر متقابل سال × تناوب"، اختلاف معنی‌داری از خود نشان دادند. در همین راستا، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول اجرای آزمایش عملکرد دانه گندم و زیست‌توده گیاهی آن نسبت به سال سوم، به‌ترتیب ۱/۱۹ و ۱/۹ برابر بوده است (جدول ۴).

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها کاشت گندم دیم در روش کشت حفاظتی همزمان با افزایش عملکرد دانه، موجب افزایش در میزان زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت شد (جدول ۴). Jalali & Esfandiari, (2016) اعلام کردند که کشت مرسوم از شاخص برداشت بالاتری نسبت به کشت حفاظتی برخوردار بود. به‌نظر می‌رسد دلیل این مغایرت به‌واسطه نوع گونه گیاهی، منطقه آزمایش و نوع تناوب بوده است. همچنین گزینه‌های تناوبی حاوی گندم و جو شامل علوفه، کلزا و نخود از شرایط بسیار مطلوبی نسبت به گزینه کشت مداوم گندم و کشت ممتد جو برخوردار بود. به‌نحوی‌که میزان افزایش عملکرد آن‌ها در گندم به‌ترتیب ۱۹/۳، ۱۸/۲، و ۲۰/۷ درصد و در جو ۱۸/۲، ۱۸/۶، و ۱۰/۲ درصد بود. همین روند در خصوص صفات زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت وجود داشت (جدول ۵). بیشترین میزان زیست‌توده گیاهی در تیمارهای گندم به میزان ۹۳۵۲ کیلوگرم در هکتار از گزینه تناوبی علوفه – گندم و بالاترین میزان شاخص برداشت دانه با مقدار ۳۶/۶ درصد از گزینه تناوبی کلزا – گندم به‌دست آمد که می‌تواند به دلیل بهبود خواص فیزیکی خاک، افزایش ماده آلی و استفاده از مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک باشد. همچنین در تیمارهای

حاوی محصول جو، بیشترین مقادیر زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت به‌ترتیب از گزینه‌های تناوبی علوفه – جو و کلزا – جو، حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب بررسی اثرات تناوب‌های مختلف زراعی در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در گیاه گندم.

Variation source	df	Mean squares		
		Grain yield	Biological yield	Harvest index
Year	2	106729707.8 **	581078630.6 **	460.6 **
Error a	9	282550.1	5405264.1	56.2
Tillage Method	1	583553.3 ns	237304.7 ns	98.8 ns
Year × Tillage Method	2	504684.5 *	12866538.7 **	104.6 **
Error b	9	136186.3	1330572.4	5.33
Rotation	7	1487790.5 **	4159829.6 *	30.2 *
Year × Rotation	14	871739.4 **	3305909.4 *	40.4 *
Tillage Method × Rotation	7	211598.14 ns	1311250.9 ns	10.2 ns
Y × T M × R	14	373181.62 ns	1933771.5 ns	5.62 ns
Error c	126	283147.2	2304897.1	18.9
(%)Coefficient Variation (C.V)		17.5	17.2	12.5

جدول ٤. مقایسه‌ی میانگین‌های اثرات سال، روش خاک‌ورزی و تناوب بر عملکرد دانه، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت گندم.

Harvest index (%)	Biological yield (Kgha^{-1})	Grain yield	Year/ Tillage Method /Rotation	Variation source
37.3 a	12199 a	4509 a	1397-98	Crop year
35.2 b	7822 b	2578 b	1398-99	
31.9 c	6424 c	2058 c	1399-00	
1.326	662.7	212	LSD 1%	
35.5 A	8850 A	3104 A	Conservation(No-Till)	Tillage Method
34.1 A	8780 A	2994 A	Conventional	
---	---	---	LSD	
34.4 AB	8403 BC	2736 bc	Wheat - Wheat	Rotation
32.8 B	8206 C	2651 c	Barley- Barley	
34.2 AB	9352 A	3265 a	Forage - Wheat	
34.9 AB	9019 ABC	3133 ab	Forage - Barley	
36.6 A	8848 ABC	3235 a	Rapeseed - Wheat	
35.3 AB	8983 ABC	3144 a	Rapeseed - Barley	
35.7 A	9249 AB	3302 a	Chickpea - Wheat	
34.5 AB	8460 BC	2922 abc	Chickpea - Barley	
5% = 2.489	5% = 867.3	1% = 401.7	LSD	

* حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

همچنین در این مطالعه، اثرات متقابل عوامل تاثیرگذار بر عملکرد دانه گندم، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت مورد بررسی قرار گرفت. در این میان نتایج نشان داد که در اثر عوامل ترکیبی " سال × روش خاک‌ورزی"، صفات زراعی یاد شده در سال اول زراعی از بالاترین مقادیر برخوردار بودند (جدول ۵)؛ به‌طوری‌که عملکرد دانه در شرایط کشت حفاظتی و مرسوم در سال اول، به ترتیب با ۴۵۲۰ و ۴۴۹۸ کیلوگرم در هکتار، افزایش بسیار خوبی داشته‌اند. همین شرایط برای زیست‌توده گیاهی نیز وجود داشت؛ ولی در مورد شاخص برداشت، نتایج کمی متفاوت بود. بالاترین مقدار شاخص برداشت به میزان ۳۷/۴ درصد، در سال دوم از روش کشت حفاظتی و کمترین مقدار آن (۳۱/۹ درصد) در سال سوم از روش مرسوم، به‌دست آمد.

جدول ۵. اثرات اصلی " سال × روش خاک‌ورزی" بر عملکرد دانه، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت.

Crop year	Tillage Method	Grain yield	Biological yield	Harvest index
		($Kgha^{-1}$)		(%)
1397-98	Conservation	4520 a	12251 a	37.2 a
	Conventional	4498 a	12148 a	37.3 a
1398-99	Conservation	2576 b	7401 bc	37.4 a
	Conventional	2582 b	8243 b	32.9 b
1399-00	Conservation	2216 c	6900 c	32.0 b
	Conventional	1901 c	5949 d	31.9 b
LSD		5% = 208.7	1% = 937.2	1% = 1.876

نتایج نشان داد اثر متقابل "سال × تناوب" روی عملکرد دانه گندم، زیست‌توده و شاخص برداشت معنی‌دار بود؛ به‌نحوی‌که بالاترین مقادیر در هر سه صفت یاد شده در سال اول از تیمارهای تناوبی علوفه – گندم و علوفه – جو به‌دست آمد (جدول ۶). این وضعیت در حالی بود که در سال‌های دوم و سوم با میزان بارندگی کمتر، بالاترین مقادیر از گزینه‌های تناوبی کلزا – گندم و کلزا – جو، حاصل شد. این روند برای هر دو صفت عملکرد دانه و زیست‌توده گیاهی گندم مشابه بود. در همین رابطه مندرجات جدول ۶ نشان داد که کاشت گندم و جو دیم در شرایط کشت ممتد و مداوم موجب شدکه عملکرد دانه و زیست‌توده گیاهی نسبت به سایر گزینه‌های تناوبی، کاهش محسوسی داشته باشند. به‌عبارتی، تناوب‌های مختلف زراعی، در هر شرایطی (کشت حفاظتی و مرسوم)، نسبت به عدم رعایت تناوب، عملکرد مطلوب‌تری خواهند داشت. بنابراین، با استناد به این نتایج و در راستای رسیدن به حداکثر عملکرد و پایداری آن، لازم است کشت گندم دیم را به سمت کشت حفاظتی (مستقیم) و در قالب اجرای تناوب‌های زراعی، هدایت کرد. Rockström *et al.* (2009) در یک بررسی به این نتیجه رسیدند که افزایش عملکردهای مختلفی بین ۱۲۰–۲۰ درصد از سیستم کشاورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شده است. مطالعه دیگری نیز نشان داد در شرایط کاهش خاک‌ورزی عملکرد دانه گندم و زیست‌توده کل ۱۸ و ۱۵ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت (Hofmeijer *et al.*, 2019). Stevenson & Van Kessel (1996) نیز بیان کردند عملکرد گندم در کشت بعد از نخود نسبت به کشت مداوم گندم، مقدار ۴۳ درصد افزایش یافت.

۳–۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

۱–۳–۳. کربن آلی خاک

اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر درصد کربن آلی خاک معنی‌دار نشد (جدول ۷)؛ با این حال هم روش‌های خاک‌ورزی و کاشت و هم تناوب‌های مختلف، نسبت به قبل از اجرای پروژه، مقدار درصد کربن آلی خاک را افزایش دادند. در این میان بالاترین مقدار متعلق به گزینه تناوبی کلزا با ۱/۱۰۵ درصد بود که نسبت به کشت ممتد گندم و جو به‌ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۵۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). Madejón *et al.* (2009) و Garcıa-Orenes *et al.* (2009) گزارش کردند که استفاده از روش حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک موجب افزایش ماده آلی خاک می‌شود. همچنین در شرایط بدون خاک‌ورزی در کشت گندم درصد کربن آلی خاک ۲/۸ درصد بالاتر بود که این امر می‌تواند در افزایش عملکرد دانه گندم اثرگذار باشد (Nadeem *et al.*, 2019).

۲–۳–۳. رطوبت وزنی خاک

رطوبت موجود در خاک، منبع تامین آب گیاه در شرایط دیم می‌باشد. ازاین‌رو، ذخیره باران‌های پاییزی و بهاری در خاک و کاهش تلفات تبخیر در این شرایط بسیار مهم بوده و در این آزمایش، مقادیر رطوبت موجود در خاک در لایه ۲۰–۰ سانتی‌متری خاک (عمق‌های ۱۰–۰ و ۲۰–۱۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که "اثرات سال و تناوب و اثر متقابل روش خاک‌ورزی × تناوب" بر درصد رطوبت وزنی خاک در هر دو عمق اندازه‌گیری‌شده در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). نوع روش خاک‌ورزی با توجه به برهم‌زدن خاکدانه‌ها و لایه‌های رویی خاک موجب تغییر درصد رطوبت وزنی خاک شد. همچنین نوع تناوب گیاهی با تاثیر بر ماده آلی خاک روی درصد رطوبت وزنی خاک تاثیر گذاشت.

جدول ٦. اثرات اصلی " سال × تناوب" بر عملکرد دانه، زیست‌توده گیاهی و شاخص برداشت.

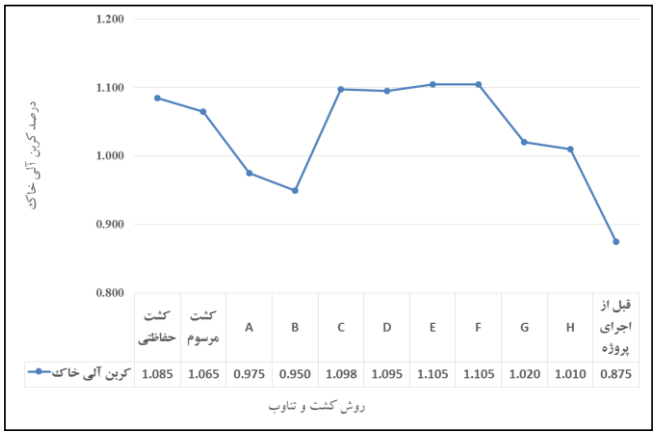
Crop year	Rotation	Grain yield	Biological yield	Harvest index
		(Kgha^{-1})		(%)
1397 - 1398	wheat - wheat	4605 bc	12031 a-c	38.1 a-c
	barley- barley	3927 d	10862 c	37.3 a-d
	Forage - Wheat	5232 a	13480 a	39.5 a
	Forage - Barley	4413 b-d	12431 ab	36.6 a-d
	Rapeseed - Wheat	4825 ab	12468 a	39.1 ab
	Rapeseed - Barley	4145 cd	11979 ab	34.8 b-e
	Chickpea - Wheat	4901 ab	13408 a	36.6 a-d
	Chickpea - Barley	4025 d	10938 bc	36.4 a-d
1398 - 1399	wheat - wheat	1979 h-j	7589 de	35.9 a-d
	barley- barley	2543 e-g	8200 d	34.4 c-e
	Forage - Wheat	2538 e-g	7702 de	33.5 d-f
	Forage - Barley	2756 ef	7898 de	34.9 b-e
	Rapeseed - Wheat	2576 ef	7619 de	34.8 c-e
	Rapeseed - Barley	2790 e	7711 de	36.6 a-d
	Chickpea - Wheat	2739 ef	7877 de	35.4 a-e
	Chickpea - Barley	2710 ef	7977 d	35.8 a-e
1399 -1400	wheat - wheat	1625 ij	5591 f	29.1 gh
	barley- barley	1483 j	5558 f	26.8 h
	Forage - Wheat	2027 g-i	6873 d-f	29.7 f-h
	Forage - Barley	2230 fgh	6727 d-f	33.2 d-g
	Rapeseed - Wheat	2305 e-h	6456 ef	35.9 a-d
	Rapeseed - Barley	2497 e-h	7261 de	34.5 c-e
	Chickpea - Wheat	2266 e-h	6463 ef	35.1 b-e
	Chickpea - Barley	2032 g-i	6465 ef	31.5 e-g
LSD		1% = 526.5	5% = 1502	5% = 4.31

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول ۷. تجزیه واریانس اثر عوامل روش خاک‌ورزی و تناوب زراعی بر درصد کربن آلی خاک.

Mean squares		
Organic carbon (%)	df	Variation source
0.003612 ^{ns}	1	Replication
0.0008 ^{ns}	1	Tillage method
0.00002	1	Error
0.0062 ^{ns}	7	Rotation
0.00274 ^{ns}	7	Tillage method × Rotation
0.00603	14	Total error
7.32	(%) Coefficient variation	

از طرف دیگر، اثرات متقابل "روش خاک‌ورزی × تناوب" مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مشخص شد که بالاترین مقادیر درصد رطوبت وزنی خاک در روش حفاظتی و از گزینه‌های تناوبی کلزا – گندم و کلزا – جو به‌دست آمد (جدول ۱۰) که به نظر می‌رسد به دلیل وجود ریشه‌های نیمه‌عمیق کلزا و نقش بقایای کلزا در بهبود تهویه و ساختمان خاک باشد.



شکل ۲. درصد کربن آلی خاک در پایان اجرای پروژه در تناوب‌های مختلف.

A = گندم –گندم، B= جو - جو، C = علوفه - گندم، D = علوفه - جو، E = کلزا - گندم، F = کلزا – جو، G = نخود – گندم، H = نخود – جو

جدول ۸. تجزیه واریانس مرکب اثر تناوب زراعی در شرایط کشت حفاظتی و مرسوم بر درصد رطوبت وزنی خاک.

		Mean squares	
		Moisture cotent of the soil	
Variation source	df	0-10 cm	10-20 cm
Year	2	452.6 **	623.13 **
Error	9	10.966	6.78
Tillage method	1	6.45 ns	5.10 ns
Year × Tillage method	2	9.76 ns	2.93 ns
Error	9	3.46	0.391
Rotation	7	4.494 **	1.473 **
Year × Rotation	14	0.626 ns	0.055 ns
Tillage method × Rotation	7	3.766 **	2.191 **
Y × T M × R	14	1.241 ns	0.413 ns
Total error	126	1.301	0.781
(%) Coefficient variation		13.2	8.21

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

۳-۳-۳. جرم مخصوص ظاهری خاک

یکی از مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی تراکم خاک، اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری بوده که میزان کمتر آن در خاک‌های کشاورزی مفید است. این صفت در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک قبل و بعد از اجرای مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در نتیجه اثر تناوب و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سایر عوامل در پایان اجرای مطالعه بود (جدول ۱۱). نتیجه این اندازه‌گیری‌ها به‌طور متوسط مقادیر ۱/۲۸ و ۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌ترتیب در عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بود (شکل ۱). بر همین اساس، کاهش مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق نمونه‌برداری مشهود بود. با توجه به اینکه در اجرای این مطالعه تناوب‌های مختلف با گندم و جو رعایت شده است، این کاهش می‌تواند در نتیجه اثرات مثبت تناوب در خاک و افزایش حاصلخیزی آن باشد، زیرا با اعمال تناوب زراعی بقایای محصول، کودهای

سبز و سایر بقایای گیاهی به خاک افزوده شده و موجب افزایش مواد آلی می‌شوند. ازآنجایی‌که مواد آلی اضافه‌شده به خاک با سرعت تخریب نمی‌شوند در صورت انجام تناوب زراعی، نیاز به خاک‌ورزی نیز کمتر شده و به‌تدریج جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، مشخص شد که در این پروژه، عمق نمونه‌برداری ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، بیشترین مقدار تراکم را داشته و مقدارآن به‌طور متوسط ۱/۲۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است (شکل ۳). کاهش تراکم خاک در این پروژه احتمالا به دلیل افزایش نفوذپذیری آب در اثر حفظ بقایای گیاهی، سست و پوک‌شدن خاک و افزایش تدریجی مواد آلی می‌باشد؛ به‌طوری‌که میانگین کلی آن‌ها در نیمرخ ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک از مقادیر به‌دست‌آمده در قبل از اجرای آزمایش کمتر بوده است (جدول ۱۲). در این میان کشت گندم و جو در تناوب با کلزا به‌ترتیب با ۰/۹۸ و ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، از کمترین مقدار برخوردار بود. Karoma *et al*., (2014) اعلام کردند تناوب زراعی در شرایط متفاوت خاک‌ورزی، تغییر معنی‌داری در مقدار جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک نداشته است.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل سال، روش خاک‌ورزی و تناوب زراعی بر درصد رطوبت وزنی خاک.

Variation source	Treatment	Moisture cotent of the soil	
		0-10 cm	10-20 cm
Crop year	1397-98	11.3 a	13.9 a
	1398-99	8.6 b	10.8 b
	1399-00	6.0 c	7.7 c
LSD 1%		1.069	0.359
Tillage method	Conservation	8.8 A	10.9 a
	Conventional	8.4 A	10.6 a
LSD		---	---
Rotation	wheat – wheat	8.8 a-c	10.6 bc
	barley- barley	8.7 abc	10.6 bc
	Forage – Wheat	9.3 a	11.1 a
	Forage – Barley	8.1 c	10.8 a-c
	Rapeseed – Wheat	9.1 ab	11.1 ab
	Rapeseed – Barley	8.4 bc	10.8 a-c
	Chickpea – Wheat	8.3 bc	10.8 a-c
	Chickpea – Barley	8.2 c	10.4 c
LSD		1% = 0.861	5% = 0.505

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

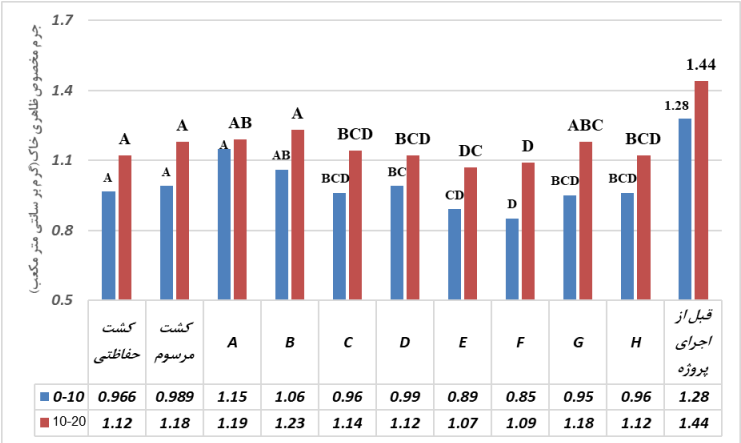
جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل "روش خاک‌ورزی × تناوب" بر درصد رطوبت وزنی خاک.

Tillage Method	Rotation	Moisture cotent of the soil	
		0-10 cm	10-20 cm
Conservation	wheat - wheat	8.9 a-d	9.9 b
	barley- barley	9.5 ab	10.8 ab
	Forage - Wheat	8.5 b-e	11.3 a
	Forage - Barley	7.5 e	10.5 ab
	Rapeseed - Wheat	8.7 a-e	11.4 a
	Rapeseed - Barley	9.9 a	11.3 a
	Chickpea - Wheat	8.3 b-e	10.8 ab
	Chickpea - Barley	7.7 de	10.4 ab
Conventional	wheat - wheat	8.6 b-e	10.2 a
	barley- barley	9.1 a-c	10.4 ab
	Forage - Wheat	8.9 a-c	11.1 a
	Forage - Barley	8.7 b-e	11.1 a
	Rapeseed - Wheat	8.1 c-e	11.1 a
	Rapeseed - Barley	8.4 b-e	11.3 a
	Chickpea - Wheat	8.4 b-e	10.7 ab
	Chickpea - Barley	8.7 b-e	10.4 ab
LSD 1%		1.218	0.944

Commented [D1]: در محل مناسب در متن به این جدول ارجاع شود.

جدول ۱۱. تجزیه واریانس اثر عوامل روش خاک‌ورزی و تناوب زراعی بر جرم مخصوص ظاهری خاک.

Variation source	df	Mean squares	
		Bulck density of the soil (gcm^{-3})	
		0-10 cm	10-20 cm
Year	1	0.012 ^{ns}	0.034 ^{ns}
Tillage Method	1	0.0045 ^{ns}	0.027 ^{ns}
Error	1	0.0018	0.012
Rotation	7	0.0357 *	0.0097 *
Tillage Method × Rotation	7	0.0077 ^{ns}	0.00132 ^{ns}
Total error	14	0.0059	0.0027
(%)Coefficient Variation	−	7.86	4.5



شکل ۳. مقایسه میانگین مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک با متوسط آن‌ها قبل از اجرای پروژه.

a

جدول ۱۲. مقایسه میانگین اثرات اصلی روش خاک‌ورزی و تناوب بر جرم مخصوص ظاهری خاک.

Variation source	Treatment	Bulck density of the soil (gcm^{-3})		Mean Bulck density of the soil (gcm^{-3})
		0-10 cm	10-20 cm	
Tillage Method	**Conservation**	**0.966 A**	**1.12 a**	**1.043**
	Conventional	**0.989 A**	**1.18 A**	**1.085**
LSD		---	---	---
Rotation	wheat - wheat	1.15 a	1.19 ab	1.17
	barley- barley	1.06 ab	1.23 a	1.145
	Forage - Wheat	0.96 b-d	1.14 b-d	1.05
	Forage - Barley	0.99 bc	1.12 b-d	1.055
	Rapeseed - Wheat	0.89 cd	1.07 cd	0.98
	Rapeseed - Barley	0.85 d	1.09 d	0.97
	Chickpea - Wheat	0.95 b-d	1.18 a-c	1.065
	Chickpea - Barley	0.96 b-d	1.12 b-d	1.040
LSD 5%		0.1166	0.079	---

۴. نتیجه‌گیری

در طول اجرای این مطالعه محصولات گندم و جو تحت تناوب‌های مختلف زراعی در شرایط کشاورزی حفاظتی و مرسوم به مدت چهار سال زراعی مورد ارزیابی قرار گرفته و مشخص شد که کشت این گیاهان زراعی به صورت تناوبی نسبت به کشت مداوم آن‌ها در شرایط کشت حفاظتی از عملکرد بیشتری برخوردار است. در این میان اختلاف معنی‌داری بین تناوب محصولات علوفه، کلزا و نخود با محصولات گندم و جو، مشاهده نشد؛ ولی بیشترین میزان عملکرد دانه محصولات گندم و جو به‌ترتیب از گزینه تناوبی نخود – گندم و کلزا – جو به‌دست آمد. همچنین بیشترین میزان زیست‌توده گیاهی محصولات یاد شده نیز به‌ترتیب از تناوب‌های علوفه – گندم و علوفه – جو حاصل شد. همچنین روش کشت حفاظتی در گزینه تناوبی کلزا موجب افزایش میزان رطوبت موجود در خاک در زمان رسیدن دانه‌های گندم و جو شده و همزمان جرم مخصوص ظاهری خاک را نسبت به قبل از اجرای پروژه، بیشتر کاهش داد. در همین حال کمترین مقدار فسفر و بیشترین مقدار پتاسیم و درصد کربن آلی خاک، در همین گزینه تناوبی مشاهده شد. بنابراین، سیستم تک‌کشتی از ساختار ضعیفی برخوردار بوده و نتیجه استمرار آن موجب ناپایداری عملکرد و مستعدشدن آن برای غلبه علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها می‌شود. در عین حال، گزینه تناوبی نخود با محصولات یادشده نیز بهره‌وری بالایی به‌ویژه برای محصول گندم نشان داد. با این مفروضات به نظر می‌رسد گزینه تناوبی کلزا با محصولات گندم و جو در شرایط کشت حفاظتی از نظر خصوصیات زراعی، ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک، کارآیی تولید و بهره‌وری اقتصادی، مناسب‌ترین گزینه تناوبی در این مطالعه باشد. بدیهی است پذیرش این سیستم توسط کشاورزان مستلزم اجرای این پروژه در شرایط دیم زارعین بوده و در این راه، امکان حفظ اراضی زراعی نیز فراهم می‌شود.

۵. منابع

Alves, R. (2015). Ana e EMBRAPA concluem levantamento sobre irrigação com pivôs centrais no Brasil. *Available from: www2. ana. gov. br/Paginas/imprensa/noticia. aspx.*

Baudron, F., Andersson, J.A., Corbeels, M., & Giller, K.E. (2012). Failing to yield? Ploughs, conservation agriculture and the problem of agricultural intensification: An example from the Zambezi Valley, Zimbabwe. *Journal of Development Studies*, *48*(3), 393-412.

Bot, A., & Benites, J. (2001). *Conservation Agriculture: Case studies in Latin America and Africa* (No. 78). Food & Agriculture, Org.

Brouder, S.M., & Gomez-Macpherson, H. (2014). The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *187*, 11-32.

Calonego, J.C., Raphael, J.P., Rigon, J.P., de Oliveira Neto, L., & Rosolem, C.A. (2017). Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, *85*, 31-37.

Chandra, G., & Chandra, G. (2002). *Fundamentals of Agronomy*. Oxford and IBH Publishing Company Pvt. Limited.

Corbeels, M., De Graaff, J., Ndah, T.H., Penot, E., Baudron, F., Naudin, K., & Adolwa, I.S. (2014). Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *187*, 155-170.

Dixon, J., Nalley, L., Kosina, P., La Rovere, R., Hellin, J., & Aquino, P. (2006). Adoption and economic impact of improved wheat varieties in the developing world. *The Journal of Agricultural Science*, *144*(6), 489-502.

FAO (2014). *Food Productions [WWW Document]. URL http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx* (accessed 5.5.15.).

Franke, A.C., Van Den Brand, G.J., & Giller, K.E. (2014). Which farmers benefit most from grain legumes in Malawi? An ex-ante impact assessment based on farm characteristions and model explorations. *European Journal of Agronomy*, *58*, 28-38.

García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M.B., Arcenegui, V., & Sempere, J.G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, *106*(1), 117-123.

Hansen, N.C., Allen, B.L., Baumhardt, R.L., & Lyon, D.J. (2012). Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid US Great Plains. *Field Crops Research*, *132*, 196-203.

Hofmeijer, M.A., Krauss, M., Berner, A., Peigné, J., Mäder, P., & Armengot, L. (2019). Effects of reduced tillage on weed pressure, nitrogen availability and winter wheat yields under organic management. *Agronomy*, *9*(4), 180.

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H., & Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67*, 85-102.

Jalali, A.E., & Esfandiari, H. (2014). The effect of tillage systems and different crop rotations on wheat yield. *Journal of Plant Production* (*Scientific Journal of Agriculture*), *39*(2), 43-56.

Jat, R.A., Sahrawat, K.L., Kassam, A.H., & Friedrich, T. (2014). Conservation agriculture for sustainable and resilient agriculture: Global status, prospects and challenges. Conservation agriculture: *Global Prospects and Challenges*, 1-25.

Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *7*(4), 292-320.

Kassam, A.H., Basch, G., Friedrich, T., Shaxson, F., Goddard, T., Amado, T.J., & Mkomwa, S. (2014). Sustainable soil management is more than what and how crops are grown. *In Rolul Agriculturii în Acordarea Serviciilor Ecosistemice şi Sociale* (pp. 230-270).

Kochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Zare Faizabadi, A., & Jahan Bin, C. (2005). Evaluation of different periodic systems in Iran. *Research and Construction, 63*, 81-70.

López-Bellido, R.J., & López-Bellido, L. (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: Effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research, 71*(1), 31-46.

Madejón, E., Murillo, J.M., Moreno, F., López, M.V., Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, J., & Cantero, C. (2009). Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil and Tillage Research*, *105*(1), 55-62.

Nadeem, F., Farooq, M., Nawaz, A., & Ahmad, R. (2019). Boron improves productivity and profitability of bread wheat under zero and plough tillage on alkaline calcareous soil. *Field Crops Research*, *239*, 1-9.

Nunes, M.R., Karlen, D.L., Veum, K.S., Moorman, T.B., & Cambardella, C.A. (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, *369*, 114335.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *187*, 87-105.

Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, *517*(7534), 365-368.

Qahdarijani, M., Almasi, M., Yousefi, R., & Emami, M. (2013). Investigating the problems, problems and limitations of conservation tillage in Iran. *7th National Congress of Agricultural Machines and Mechanization Engineering*, Shiraz, Shiraz University.

Raphael, J.P., Calonego, J.C., Milori, D.M.B., & Rosolem, C.A. (2016). Soil organic matter in crop rotations under no-till. *Soil and Tillage Research*, *155*, 45-53.

Rehman, A., Farooq, M., Lee, D.J., & Siddique, K.H. (2022). Sustainable agricultural practices for food security and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(56), 84076-84095.

Rockström, J., Kaumbutho, P., Mwalley, J., Nzabi, A.W., Temesgen, M., Mawenya, L., & Damgaard-Larsen, S. (2009). Conservation farming strategies in East and Southern Africa: Yields and rain water productivity from on-farm action research. *Soil and Tillage Research*, *103*(1), 23-32.

Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Van Wijk, M.T., Rufino, M.C., Nyamangara, J., & Giller, K.E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, *31*, 657-673.

Sartori, L., Basso, B., Bertocco, M., & Oliviero, G. (2005). Energy use and economic evaluation of a three-year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Engineering*, *91*(2), 245-256.

Snapp, S.S., Blackie, M.J., Gilbert, R.A., Bezner-Kerr, R., & Kanyama-Phiri, G.Y. (2010). Biodiversity can support a greener revolution in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(48), 20840-20845.

Stevenson, F.C., & Kessel, C.V. (1996). The nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea to succeeding crops. *Canadian Journal of Plant Science*, *76*(4), 735-745.

Stroosnijder, L. (2009). Modifying land management in order to improve efficiency of rainwater use in the African highlands. *Soil and Tillage Research*, *103*(2), 247-256.

Thierfelder, C., & Mhlanga, B. (2022). Short-term yield gains or long-term sustainability? A synthesis of conservation agriculture long-term experiments in Southern Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 326*, 107812.

Wall, P.C. (2017). Conservation agriculture: Growing more with less-the future of sustainable intensification. In *Conservation Agriculture for Africa: Building Resilient Farming Systems in a Changing Climate* (pp. 30-40). Wallingford UK: CABI.

Zhang, Y., Wang, R., Wang, S., Wang, H., Xu, Z., Jia, G., & Li, J. (2017). Effects of different sub-soiling frequencies incorporated into no-tillage systems on soil properties and crop yield in dryland wheat-maize rotation system. *Field Crops Research*, *209*, 151-158.

Zhao, X., Liu, S.L., Pu, C., Zhang, X.Q., Xue, J.F., Ren, Y.X., & Zhang, H.L. (2017). Crop yields under no-till farming in China: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy, 84*, 67-75.