



Investigation of the Effect of Speed, Depth, and Type of Tillage on Soil Surface Roughness and Burial of Plant Residues in Rainfed Lands

Mostafa Jafarian¹, Jalal Baradaran Motie^{2*}, Rahim Azadnia³

¹PhD Graduate, Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

³PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 04.26.2021

Revised: 08.07.2021

Accepted: 09.05.2021

Keyword:

Tillage

Soil protection

Wind erosion

Water erosion

Image processing

Pin-meter

***Corresponding Author:**

Jalal Baradaran Motie

Email: j.baradaran@um.ac.ir

ABSTRACT

The presence of soil surface roughness and plant residues can slow down the erosion process, particularly on rainfed fields. The aim of this study was to select the most suitable tillage method, which has the highest soil surface roughness index and the lowest rate of the burial of plant residues. Three factors of plowing machine (Moldboard-plow, Moldboard-plow + Disc harrow, Disc plow and Chisel plow), speed (3, 5 and 7 km/h) and tillage depth (15-20 cm and 25-30 cm) were evaluated in a factorial experiment in a completely randomized design. The soil surface roughness was measured using a pin-meter. Image processing techniques were used to determine the percentage of burial of plant residues. The results showed that the effect of all main factors on the soil surface roughness index was significant and the highest and lowest roughness indices were related to moldboard plow (12.8cm) and Moldboard plow+Disc harrow (3.6cm), respectively. In addition, Chisel plows and Disc harrow+Moldboard plow treatment showed the lowest and highest rates of plant residue burial of 29.3% and 92.9%, respectively. Taking into account the results, chisel plow can be selected as the most suitable tillage method in terms of soil protection against wind and water erosion.





دانشگاه فنی و حرفه‌ای
تهران

کارافن

فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

زمستان ۱۴۰۰، دوره ۱۸، شماره ۴، ۹۱-۷۳

آدرس نشریه: <https://karafan.tvu.ac.ir/>

doi:10.48301/KSSA.2021.280529.1474

20.1001.1.23829796.1400.18.4.4.9



شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر سرعت، عمق و نوع خاک‌ورز بر ناهمواری سطح خاک و میزان زیر خاک شدن بقایای گیاهی در اراضی دیم

مصطفی جعفریان^۱، جلال برادران مطیع^{۲*}، رحیم آزادنی^۳

- ۱- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
- ۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- ۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده فنی و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

ناهمواری و وجود بقایای گیاهی در سطح خاک به‌خصوص در اراضی دیم، می‌تواند موجب کند شدن روند فرسایش شود. هدف از این تحقیق، انتخاب مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی است که بیشترین شاخص ناهمواری و کمترین میزان دفن بقایای گیاهی را داشته باشد. آزمایش‌ها با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل نوع دستگاه خاک‌ورز (چهار سطح گاوآهن برگردان‌دار، برگردان‌دار+ دیسک، گاوآهن بشقابی و خاک‌ورز قلمی)، سرعت شخم‌زنی (سه سطح ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت) و عمق شخم (دو سطح ۲۰-۱۵ و ۳۰-۲۵ سانتی‌متر) اجرا شد. ناهمواری سطح خاک، به کمک دستگاه پین‌متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی، از روش پردازش تصویر استفاده شد. نتایج نشان داد تأثیر تمام متغیرهای اصلی بر شاخص ناهمواری سطح خاک معنی‌دار است و بیشترین و کمترین شاخص ناهمواری به ترتیب مربوط به گاوآهن برگردان‌دار (۱۲/۸ سانتی‌متر) و ترکیب برگردان‌دار+ دیسک (۳/۶ سانتی‌متر) بود. همچنین گاوآهن قلمی و شخم ترکیب برگردان‌دار+ دیسک به ترتیب کمترین و بیشترین میزان زیر خاک شدن بقایای گیاهی را با مقادیر ۲۹/۳ و ۹۲/۹ درصد نشان دادند. با توجه به نتایج می‌توان خاک‌ورز قلمی را به‌عنوان مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی از نظر حفاظت از خاک در مقابل فرسایش بادی و آبی انتخاب کرد.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

کلید واژگان:

خاک‌ورزی
حفاظت از خاک
فرسایش بادی
فرسایش آبی
پردازش تصویر
پین‌متر

*نویسنده مسئول: جلال برادران مطیع
پست الکترونیکی:
j.baradaran@um.ac.ir



© 2022 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از عناصر مهم کشاورزی، علاوه بر عوامل طبیعی تحت تأثیر عوامل انسانی نیز دستخوش تغییرات، دگرگونی و فرسایش می‌شود. امروزه مسئله کنترل فرسایش خاک‌های زراعی، به‌عنوان شاخصی از کشاورزی پایدار اهمیت ویژه‌ای یافته است. روان‌آب حاصل از نزولات جوی و نیز روش‌های سنتی آبیاری و همچنین باد از عوامل مهم فرسایش و جابه‌جایی خاک سطحی حاصل‌خیز هستند. خاک‌ورزی نیز به دلیل تغییر در ساختمان و خصوصیات فیزیکی خاک باعث افزایش خطر فرسایش آبی و بادی می‌شود. این مسئله در مورد اراضی شیب‌دار دیم که به‌طور متناوب در حالت آیش رها می‌شوند اهمیت بسیاری دارد. یکی از اقدامات مرسوم در این اراضی، ناهموار کردن سطح خاک به‌منظور جذب بیشتر نزولات جوی و رطوبت است که به کمک ادوات مختلف خاک‌ورزی انجام می‌شود.

از این منظر یکی از اهداف مهم عملیات خاک‌ورزی، تدارک شرایط مطلوب محیطی برای جوانه زدن بذر و نیز رشد و نمو ریشه، کنترل فرسایش خاک، کنترل رطوبت و بهبود شرایط فیزیکی خاک است. اگر نحوه توزیع خاکی که تحت عملیات خاک‌ورزی قرار گرفته است، در شرایط مساعد باشد، نفوذ آب و هوا افزایش و سرعت حرکت روان‌آب کاهش می‌یابد؛ بنابراین مقاومت در برابر فرسایش آبی و بادی و در نهایت رشد مناسب گیاه را در پی خواهد داشت و عملکرد نهایی محصول افزایش خواهد یافت [۱]. سطح متخلخل و پوشیده از مقدار مناسبی از بقایای گیاهی، حرکت روان‌آب را کاهش می‌دهد و باعث نفوذ آب به بستر ریشه گیاه می‌شود. بقایای گیاهی و مواد آلی که به‌صورت مناسب بین لایه‌های شیار شخم قرار می‌گیرند، در فصل رشد گیاه، مانند فیتله‌ای برای جذب آب در قسمت ریشه عمل می‌کند. مخلوط شدن بقایای گیاهی با خاک شخم‌خورده، به رشد میکروارگانیسم‌ها کمک می‌کند و میکروارگانیسم‌ها به‌نوبه خود باعث پوسیدگی و تجزیه خاشاک و سایر بقایای گیاهی می‌شوند. تجزیه مواد آلی در خاک باعث تولید ازت، فسفر و پتاس و سایر مواد غذایی گیاهی در خاک می‌شود. از طرفی تاج‌های لایه‌های شیار شخم باید دارای ارتفاعی یکنواخت و شیارچه یا شکاف بین دو لایه شیار عمقی مطلوب داشته باشد. بهبود این عوامل باعث کاهش جریان روان‌آب و فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار می‌شود [۲]. محققان در زمینه جریان روان‌آب ناشی از آبیاری در مزرعه نیز تحقیقاتی انجام داده‌اند؛ از جمله انتظاری و صبوری‌فرد در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاهش دور آبیاری باعث کاهش جریان روان‌آب و بهبود عملکرد نهایی محصول می‌شود [۳].

نحوه گسترش خاک بر روی زمین و نیز میزان مناسب بقایای گیاهی باقی‌مانده پس از انجام عملیات خاک‌ورزی، در جذب و نگهداشت نزولات جوی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. این موضوع در اراضی دیم که اغلب تسطیح نشده هستند، اهمیتی دوچندان می‌یابد. در زمین‌های مذکور، اقداماتی که در راستای افزایش جذب و نگهداری نزولات جوی و ایجاد ناهمواری بیشینه خاک در دوره پیش از کشت و همچنین باقی‌گذاشتن بقایای گیاهی، انجام می‌شود، در عملکرد نهایی محصول تأثیرگذار است. در نتیجه دانستن مدل توزیع خاک و میزان بقایای گیاهی، ضروری و حائز اهمیت است. علم به این عوامل و اقدام در زمینه بهبود آن‌ها، در محافظت از خاک در برابر فرسایش بادی و آبی و همچنین مدیریت عملیات زراعی پس از خاک‌ورزی کمک شایانی می‌کند؛ بنابراین پروفیل توزیع خاک باید در یک محدوده مناسب و همگون باشد، به دلیل اینکه ناهمگونی بیش از حد پروفیل خاک، منجر به پایین آمدن کیفیت شخم، تردد بیش از حد در مزرعه با انجام دوباره کاری و در نهایت اتلاف انرژی خواهد شد. راه‌حل این مسئله، تعیین عوامل مؤثر بر نحوه توزیع خاک پس از خاک‌ورزی و دانستن میزان زیر خاک شدن بقایای گیاهی و اقدام در راستای بهینه‌سازی آن‌هاست.

در این حوزه تحقیقات مختلفی صورت گرفته است؛ از جمله در تحقیقی، تأثیر عمق کار و سرعت پیشروی بر روی به‌هم‌خوردگی خاک توسط دو نوع گاواهن پنجه‌غازی و دو نوع دیسک در خاک لومی شنی انجام گرفت؛ نتایج این تحقیق نشان داد که میزان به‌هم‌خوردگی خاک در هر دو نوع وسیله خاک‌ورز با افزایش عمق کار، افزایش می‌یابد؛ همچنین پژوهشگران این تحقیق بیان کردند تأثیر عمق کار نسبت به‌سرعت پیشروی بر نحوه توزیع خاک بیشتر است و

نیز دیسک با دو صفحه مقعر، بیشترین به هم خوردگی خاک را ایجاد می‌کند [۴]. محققان دیگری به بررسی تأثیر سرعت خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی بر جابه‌جایی خاک با شخم به وسیله گاوآهن پنجه‌غازی پرداختند. برای اندازه‌گیری جابه‌جایی خاک از مکعب‌های آلومینیومی به حجم یک سانتی‌متر مکعب استفاده کردند. به این صورت که ابتدا مکعب‌های ساخته شده را درون خاک و در ارتفاع‌های مختلف قرار دادند و پس از انجام عملیات خاک‌ورزی، با فلز یاب جایگاه جدید مکعب‌ها را یافتند و نتیجه گرفتند که با کاهش سرعت خاک‌ورزی، جابه‌جایی خاک به میزان ۷۰ درصد کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت، میزان به هم خوردگی خاک به میزان ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین افزایش سرعت خاک‌ورزی باعث کاهش برآمدگی ایجاد شده در خاک می‌شود. ایشان بیان کردند برای حفاظت خاک، خاک‌ورزی در سرعت کم منجر به ایجاد سطح ناصاف و کمتر مدفون کردن بقایا می‌شود و لذا مؤثرتر است [۵].

در بررسی دیگری، پژوهشگران پروفیل خاک ایجاد شده پس از خاک‌ورزی را با استفاده از یک تیغه پنجه‌غازی با سرعت‌های ۵ و ۷/۵ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت مدل کردند. خصوصیات خاک، سرعت پیشروی، عمق کار، ابعاد وسیله خاک‌ورزی، زاویه پنجه‌غازی و زاویه شاخه از جمله عواملی بود که در این مدل در نظر گرفته شد. نتایج آزمون آن‌ها در انباره خاک^۱ نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی، خاک در سطح وسیع‌تری توزیع می‌شود و ارتفاع پشته‌های ایجاد شده در خاک به میزان ناچیزی کاهش می‌یابد؛ همچنین افزایش سرعت خاک‌ورزی باعث پرتاب بیشتر خاک، افزایش عمق شیار و افزایش عرض به هم خوردگی می‌شود. ضمن این‌که در سرعت ۵ کیلومتر بر ساعت پروفیل خاک شکلی مانند مثلث متساوی‌الساقین دارد [۶]. محققانی نیز با تهیه تصاویر به صورت اسکن شده از سطح خاک با ابزاری مخصوص، ویژگی‌هایی از قبیل موقعیت و مرز کلوخه‌ها پس از خاک‌ورزی را با محاسبه شاخص‌های تصویر استخراج کردند [۷].

محمودی و همکاران در پژوهشی، تأثیر عوامل سرعت و عمق خاک‌ورزی را با استفاده از دو نوع تراکتور، بر روی ویژگی جرم مخصوص ظاهری خاک به عنوان عامل مهمی از ویژگی‌های خاک پس از خاک‌ورزی بررسی کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش سرعت خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش پیدا می‌کند و افزایش عمق خاک‌ورزی سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود [۸]. در پژوهشی دیگر، پژوهش‌گران برای بررسی وضعیت خاک پس از خاک‌ورزی، تغییرات مکانی فشردگی خاک را با استفاده از روش‌های زمین‌آماری مطالعه کردند و بهترین الگو برای تخمین فشردگی خاک را گزارش کردند [۹]. در تحقیقی دیگر در همین زمینه که در شمال غرب ایران انجام شد میزان جابه‌جایی خاک پس از انجام عملیات خاک‌ورزی با استفاده از ادوات مختلف خاک‌ورزی شامل گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن چیزل و نیز روش کم خاک‌ورزی اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد استفاده از گاوآهن برگردان‌دار بیشترین جابه‌جایی خاک (حدود ۵۷ سانتی‌متر) و گاوآهن چیزل و کم خاک‌ورزی با استفاده از کولتیواتور سبک، به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی‌متر جابه‌جایی خاک داشتند. ایشان نتیجه گرفتند کم خاک‌ورزی یا استفاده از ادواتی مثل گاوآهن چیزل می‌تواند به‌طور قابل توجهی فرسایش خاک را محدود کند [۱۰]. در پژوهشی دیگر، محققان این حوزه، توزیع خاک روی زمین پس از خاک‌ورزی را با استفاده از ردیاب‌های رنگی خاک و تجزیه و تحلیل تصاویر بررسی کردند. این محققان چهار عمق مختلف و چهار نوع عملیات مختلف خاک‌ورزی را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند حرکت عمودی خاک از صفر تا ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفته است و نیز خاک‌ورزی عمیق احتمالاً مواد مغذی و تأمین آب برای رشد محصول را پس از دوره آیش بهتر فراهم می‌کند [۱۱]. پژوهشگران در این زمینه تحقیقاتی، به مدل‌سازی توزیع اندازه منافذ خاک پس از خاک‌ورزی نیز پرداخته‌اند و اثرات خاک‌ورزی را بر عامل فوق‌الذکر پیش‌بینی کردند [۱۲]. در مقیاس آزمایشگاهی نیز مطالعه جابه‌جایی ذرات خاک پس از عبور تیغه پنجه‌غازی انجام شده است. در پژوهش مذکور، پنج نشانه با رنگ‌های مختلف در سطح خاک در مسیر پیشروی تیغه پنجه‌غازی قرار داده شد. نتایج نشان داد که بیشترین جابه‌جایی خاک در اطراف مرکز مسیر تیغه بود و با دور شدن از مرکز تیغه، جابه‌جایی خاک کاهش می‌یافت [۱۳].

¹ Soil bin

محقق دیگری برای محصول گندم بیان کرد استفاده از روش خاک‌ورزی حفاظتی و باقی‌گذارن بقایای گیاهی، ضمن افزایش میزان جذب آب در خاک، موجب افزایش عملکرد نیز شده است [۱۴]. در تحقیقی دیگر محققان بیان کردند که فرسایش آبی خاک و از دست رفتن مواد مغذی خاک در اراضی شیب‌دار به‌طور بالقوه‌ای تحت تأثیر شکل خاک‌ورزی و دستگاه خاک‌ورز است. ایشان نتیجه گرفتند که خاک‌ورزی در راستای شیب تا ۳۰ برابر نسبت به خاک‌ورزی عمود بر شیب، موجب کاهش مواد آلی سطح خاک می‌شود [۱۵]. شم‌آبادی در پژوهشی تأثیر کم‌خاک‌ورزی و حفظ رطوبت خاک و عملکرد محصول گندم در شرایط دیم، در منطقه دیم کالیپوش شاهرود را بررسی کرد. او با پنج روش مختلف، عملیات تهیه بستر بذر را اجرا کرد و به‌عنوان نتیجه، با توجه به برگردانی کمتر خاک به‌وسیله گاوآهن چیزل و مقاومت کششی کمتر آن در واحد عرض و در عمق کار معین، استفاده از آن را در فصل پاییز در منطقه مذکور توصیه کرد [۱۶].

طبق بررسی‌های انجام شده مشخص گردید شخم اراضی دیم در استان‌های خراسان تا عمق ۳۰ سانتی‌متر عموماً با دستگاه‌های گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن بشقابی و دیسک و قلمی انجام می‌شود. از آنجا که جذب حداکثری رطوبت حاصل از نزولات جوی در خاک، کاهش سرعت روان‌آب و کاهش فرسایش بادی از دو عامل ناهمواری سطح خاک (پروفیل خاک) و وجود بقایای گیاهی بر روی زمین تأثیر می‌پذیرد، بررسی رابطه بین دستگاه‌های خاک‌ورز و عوامل بیان شده مورد توجه قرار گرفت. با توجه به بررسی منابع انجام شده تاکنون هیچ تحقیق جامع و عملی مبتنی بر بررسی عوامل متعدد تأثیرگذار بر خاک‌ورزی در اراضی دیم صورت نگرفته است؛ لذا این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع حفظ و بهره‌برداری بهینه از نزولات جوی و اهمیت جلوگیری از فرسایش آبی و بادی در جهت حفاظت از خاک با ارزش کشاورزی و با هدف بررسی رابطه بین نوع خاک‌ورز، سرعت کار و عمق کار با شاخص ناهمواری سطح خاک و درصد زیرخاک شدن بقایای گیاهی، انجام شد.

روش‌شناسی

با توجه به اهداف تحقیق، به‌منظور بررسی دو عامل ناهمواری سطحی و میزان زیر خاک شدن بقایای گیاهی که از عوامل مهم در مقابله با فرسایش آبی و بادی در اراضی دیم هستند، آزمایش در قطعه زمینی به مساحت ۲ هکتار با ابعاد ۱۵۰×۱۳۰ متر با موقعیت $36^{\circ}18'30.3''N$ $59^{\circ}31'53.8''E$ در شهر مشهد، با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. نمونه خاک محل آزمون از دو عمق موردنظر تهیه گردید و در آزمایشگاه خاک‌شناسی آزمایش شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد، همچنین مقدار شوری (EC) خاک به روش محلول ۱:۱ توسط هدایت‌سنج AZ8603 اندازه‌گیری گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. متغیرهای مستقل شامل نوع خاک‌ورز (در ۴ سطح)، سرعت پیشروی (در ۳ سطح)، عمق کار (در ۲ سطح) و تکرار (در ۳ سطح) و متغیرهای وابسته نیز شامل میزان ناهمواری سطح خاک^۱ و درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی بود. براساس تحقیقات میدانی صورت گرفته، سطوح متغیرها براساس عملیات رایج آماده‌سازی اراضی دیم انتخاب شدند که هدف از آن، ایجاد خاک با سطح ناهموار به‌منظور جذب بیشترین نزولات جوی و همچنین کمترین میزان دفن بقایا در راستای کاهش فرسایش آبی و بادی بود. برای این منظور، چهار نوع عملیات خاک‌ورزی متداول شامل استفاده از گاوآهن برگردان‌دار سه‌خیش، استفاده از گاوآهن بشقابی سه‌بشقاب، استفاده ترکیبی از گاوآهن برگردان‌دار و دو بار دیسک‌زنی با دیسک دوزانویی^۲ ۲۸ پره و گاوآهن قلمی^۳ ۵ شاخه در نظر گرفته شد. مشخصات فنی دستگاه‌های استفاده شده در جدول ۲ آمده است. به‌منظور بررسی تأثیر سرعت پیشروی بر روی متغیرهای وابسته، سرعت‌های ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر

¹ Soil roughness

² Tandom

³ Chisel

ساعت بر پایه شرایط رایج شخم‌زنی با تراکتورهای تیپ ۲ (تک دیفرانسیل) انتخاب شد. برای متغیر عمق کار، براساس روش‌های مرسوم خاک‌ورزی، دو سطح در نظر گرفته شد. سطح اول خاک‌ورزی در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و سطح دوم آن، در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. هر کدام از تیمارها در سه تکرار و هر تکرار با پنج قرائت انجام شد (جدول ۳). روش کار به این صورت بود که در جهت طولی زمین، به‌ازای هر تیمار سه مسیر به طول ۱۴۰ متر و عرض ۴ متر انتخاب شد و در هر مسیر در فواصل ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر، پنج قرائت انجام گردید. میانگین قرائت‌ها در هر مسیر به‌عنوان عدد مربوط به تکرار ثبت شد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	رطوبت (%)	pH	EC (dS.m ⁻¹)
۲۰-۱۵	لوم رسی	۲۴	۴۸	۲۸	۱۱/۱۳	۷/۲	۱/۰۵
۳۰-۲۵	لوم	۲۶	۴۸	۲۶	۱۴/۲۳	۷/۴	۰/۹۸

جدول ۲. مشخصات فنی دستگاه‌های خاک‌ورز مورد استفاده در این تحقیق

نام دستگاه	تعداد عامل خاک‌ورز	عامل خاک‌ورز	عرض کار دستگاه (cm)	توضیحات
گاواهن برگردان‌دار	۳ خیش	خیش شبه استوانه‌ای با عرض ۳۰ سانتیمتر	۹۰	شاسی قوطی
دیسک	۲۸ پره	پره مقعر لبه صاف به قطر ۵۰ سانتیمتر	۲۵۰	دو ردیفه
گاواهن بشقابی	۳ بشقاب	بشقاب لبه صاف به قطر ۶۵ سانتیمتر	۹۰	مجهز به کمک برگردان
گاواهن قلمی	۵ شاخه	تیغه‌های قلمی به عرض ۱۲ سانتیمتر	۱۶۰	شاسی قوطی

خلاصه مشخصات تیمارهای ارزیابی شده در این تحقیق به همراه کد اختصاصی در نظر گرفته شده برای هر تیمار در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مشخصات تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق

کد تیمار	خاک‌ورز	سرعت (Km.hr ⁻¹)	عمق (cm)	کد تیمار	خاک‌ورز	سرعت (Km.hr ⁻¹)	عمق (cm)
P31	گاواهن برگردان‌دار	۳	۲۰-۱۵	H31	برگردان‌دار + دیسک	۳	۲۰-۱۵
P32	گاواهن برگردان‌دار	۳	۳۰-۲۵	H32	برگردان‌دار + دیسک	۳	۳۰-۲۵
P51	گاواهن برگردان‌دار	۵	۲۰-۱۵	H51	برگردان‌دار + دیسک	۵	۲۰-۱۵

کد تیمار	خاک‌ورز	سرعت (Km.hr ⁻¹)	عمق (cm)	کد تیمار	خاک‌ورز	سرعت (Km.hr ⁻¹)	عمق (cm)
P52	گاواهن برگردان‌دار	۵	۳۰-۲۵	H52	برگردان‌دار + دیسک	۵	۳۰-۲۵
P71	گاواهن برگردان‌دار	۷	۲۰-۱۵	H71	برگردان‌دار + دیسک	۷	۲۰-۱۵
P72	گاواهن برگردان‌دار	۷	۳۰-۲۵	H72	برگردان‌دار + دیسک	۷	۳۰-۲۵
D31	گاواهن بشقابی	۳	۲۰-۱۵	C31	گاواهن قلمی	۳	۲۰-۱۵
D32	گاواهن بشقابی	۳	۳۰-۲۵	C32	گاواهن قلمی	۳	۳۰-۲۵
D51	گاواهن بشقابی	۵	۲۰-۱۵	C51	گاواهن قلمی	۵	۲۰-۱۵
D52	گاواهن بشقابی	۵	۳۰-۲۵	C52	گاواهن قلمی	۵	۳۰-۲۵
D71	گاواهن بشقابی	۷	۲۰-۱۵	C71	گاواهن قلمی	۷	۲۰-۱۵
D72	گاواهن بشقابی	۷	۳۰-۲۵	C72	گاواهن قلمی	۷	۳۰-۲۵

آزمون‌ها با استفاده از تراکتور MF285 تک‌دیفرانسیل انجام شد. مقادیر سطوح سرعت پیشروی (۳، ۵، ۷ کیلومتر بر ساعت) با اندازه‌گیری زمان عبور تراکتور از فاصله‌ای به طول ۲۰ متر (استاندارد ملی ۲۸۰۷) به‌طور جداگانه برای هر دستگاه در عمق مشخص (حذف اثر بکسوات تراکتور) براساس دنده و دور موتور تراکتور، محاسبه و تنظیم شد. عمق کار نیز به روش گفته شده در استاندارد ملی ۲۷۳۲ اندازه‌گیری و به کمک چرخ تشبیت عمق و سیستم هیدرولیک تراکتور تنظیم شد.

ناهمواری‌ها و نحوه توزیع خاک هنگام عملیات خاک‌ورزی، یکی از عوامل مؤثر بر میزان جذب رطوبت و همچنین کاهش فرسایش آبی و بادی است. اندازه‌گیری ناهمواری سطح خاک پس از خاک‌ورزی به کمک سازه پین‌متر^۱ انجام شد. استفاده از پین‌متر یکی از روش‌های مطلوب برای تعیین ناهمواری (زبری) خاک است [۱۷؛ ۱۸]. بدین منظور مطابق شکل ۱، یک سازه فلزی به طول ۲۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ساخته شد که در فواصل ۵ سانتی‌متری دارای محل‌هایی برای قرارگیری پین‌های شاخص بود؛ متناسب با شرایط در نظر گرفته شده برای این تحقیق، تعداد این سوراخ‌ها ۴۰ عدد در نظر گرفته شد. هنگام اجرای آزمایش، سازه به‌صورت عمود بر مسیر حرکت بر روی سطح خاک قرار می‌گرفت. یک بار پیش از خاک‌ورزی در محلی صاف در قسمت میانی مزرعه شیب زمین به کمک تراز مجهز به زاویه‌سنج اندازه‌گیری و سپس در محل‌های انجام هر قرائت، سطح پین‌متر با توجه به شیب مزرعه تنظیم می‌گردید. سپس ارتفاع نوک پین‌ها از سطح میانی سازه اندازه‌گیری شد. به منظور کمی کردن تغییرات پروفیل خاک از شاخص ناهمواری سطح خاک مطابق رابطه (۱) استفاده شد. مجموعه داده‌های هر قرائت که شامل ارتفاع نقاط در راستای طول سازه پین‌متر است به نرم‌افزار Excel انتقال داده شد و انحراف معیار آن به‌عنوان شاخص ناهمواری سطحی در نظر گرفته شد [۱۷].

¹ Pin-meter



شکل ۱. سازه پین‌متر طراحی شده به منظور اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع نقاط مختلف خاک و محاسبه شاخص ناهمواری سطح خاک

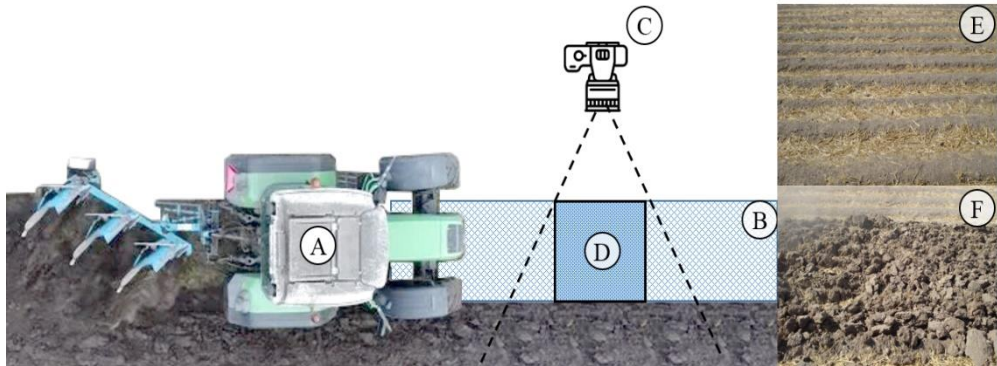
$$SR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، SR^1 معرف شاخص ناهمواری سطح خاک، X_i معرف مقدار ارتفاع میله (پین) i ام نسبت به سطح مبنا (میلی‌متر)، \bar{X} معرف میانگین مقادیر X_i ها و n تعداد میله‌های به کار گرفته شده در هر قرائت است. تعیین درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی در مزارع پس از خاک‌ورزی، عموماً به روش استفاده از چارچوب‌های استاندارد 1×1 متر مربع و جمع‌آوری و توزین بقایای گیاهی قبل و بعد از کار دستگاه به صورت تصادفی انجام می‌شود؛ اما از آن جا که این روش مستلزم صرف وقت زیادی است و نیز به دلیل اینکه دقیقاً نمی‌توان از یک نقطه قبل و بعد از کار نمونه‌برداری نمود، عموماً با خطا همراه است، برای افزایش دقت لازم است تعداد نقاط بیشتری داده‌برداری شده و میانگین‌گیری صورت گیرد. در این تحقیق برای دستیابی به دقت حداکثری، از روش تصویربرداری و سپس پردازش تصاویر استفاده شد. پس از مشخص شدن مسیر حرکت تراکتور و وسیله خاک‌ورز به میزان 1 Mg/ha گندم با رطوبت اولیه $8/5$ درصد محاسبه و به صورت یکنواخت بر روی مسیرهای حرکت پخش شد [۱۹]. در هر قرائت دوربین تصویربرداری دیجیتال بر روی پایه در کنار مسیر، طوری ثابت می‌شد که بتوان یک تصویر کامل از بخشی از مسیر قبل از عبور وسیله تهیه کرد. سپس بدون تغییر مکان دوربین و تنظیمات آن پس از عبور دستگاه خاک‌ورز، دقیقاً از همان محل، تصویر دیگری تهیه شد (شکل ۲). تصاویر پس از انتقال به رایانه توسط نرم‌افزار Image J V1.52 تحلیل شدند. با ایجاد قاب مجازی با ابعاد $a \times a$ روی تصویر و محاسبه سطح پوشیده شده از بقایای گیاهی قبل و بعد از عبور دستگاه، درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی محاسبه شد (رابطه ۲). مقدار a عبارت بود از 80 درصد عرض کار دستگاه در تصویر که به دلیل حذف اثر لبه‌ها مقدار 80 درصد عرض کار در نظر گرفته شد.

$$RB = \frac{RS_1 - RS_2}{RS_1} \times 100 \quad (۲)$$

¹ Surface roughness

در این رابطه، RB^1 درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی، RS_1 سطح پوشیده شده از بقایا قبل از عبور دستگاه (پیکسل) و RS_2 سطح پوشیده شده از بقایا پس از عبور دستگاه (پیکسل) است. داده‌های به دست آمده با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، توسط نرم‌افزار SPSS 18 مورد ارزیابی و مقایسه میانگین قرار گرفت. همچنین منحنی‌های پروفیل خاک نیز برای هر کدام از چهار نوع خاک‌ورز تهیه شد.



شکل ۲. طرح‌واره حرکت تراکتور حین شخم‌زنی و نحوه فرارگیری دوربین برای محاسبه درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی. A: تراکتور و خاک‌ورز، B: امتداد مسیر حرکت، C: دوربین متصل به سه پایه، D: قاب دیجیتال که سطح پوشش بقایا قبل و بعد از عبور تراکتور در آن محاسبه می‌شود، E و F: نمونه‌ای از تصاویر قبل و بعد از عبور تراکتور.

نتایج و بحث

بررسی شاخص ناهمواری سطح خاک پس از خاک‌ورزی

نتایج اندازه‌گیری شاخص ناهمواری سطح خاک پس از انجام خاک‌ورزی با تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش، در جدول ۴ ارائه شده است. این تیمارها شامل عمق کار، سرعت پیشروی و نوع خاک‌ورز به کار گرفته شده می‌باشند.

جدول ۴. مقادیر میانگین و انحراف معیار شاخص ناهمواری سطح خاک (سانتی‌متر) در سه تکرار

عمق کار	سرعت پیشروی ($km.h^{-1}$)	متغیر	برگردان‌دار	بشقابی	برگردان‌دار+دیسک	قلمی
۱۵-۲۰ سانتی‌متر	۳	میانگین	۸/۸	۸/۷	۵/۳	۴/۴
		انحراف	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۱
		میانگین	۸/۱	۸/۱	۳/۶	۵/۴
	۵	انحراف	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۳۴۵
		میانگین	۸/۲	۶/۹	۴/۲	۶/۶
		انحراف	۰/۱	۰/۷	۰/۲	۰/۴
۲۵-۳۰ سانتی‌متر	۳	میانگین	۱۲/۷	۱۱/۱	۶/۳	۵/۱
		انحراف	۰/۴	۰/۹	۰/۲	۰/۱
		میانگین	۱۲/۳	۹/۷	۵/۸	۶/۹

¹ residual burry

عمق کار	سرعت پیشروی (km.h^{-1})	متغیر	برگردان‌دار	بشقابی	برگردان‌دار+دیسک	قلمی
		انحراف	۱/۰	۰/۹	۰/۲	۰/۱
		میانگین	۱۰/۴	۱۰/۴	۴/۱	۷/۲
	۷	انحراف	۰/۴	۰/۸	۰/۲	۰/۷

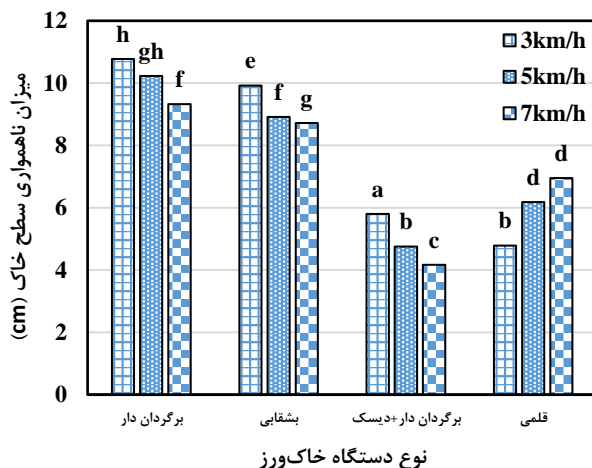
از بررسی مقادیر میانگین شاخص ناهمواری سطح خاک نتیجه می‌شود که بیشترین میزان آن به مقدار ۱۲/۷۴cm در تیمار P32 (گاواهن برگردان‌دار، با سرعت خاک‌ورزی 3 kmhr^{-1} و عمق ۳۰-۲۵) رخ داده است و همچنین کمترین میزان آن به مقدار ۴/۱۳۷cm برای تیمار H72 (گاواهن برگردان‌دار+دیسک، با سرعت خاک‌ورزی 7 kmhr^{-1} و عمق ۲۵-۳۰) ایجاد شده است. همچنین از این نتایج این‌گونه برمی‌آید که روند تغییرات شاخص ناهمواری سطح خاک از بیشینه به کمینه به ترتیب در گاواهن برگردان‌دار، گاواهن بشقابی، گاواهن قلمی و در نهایت خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار+دیسک واقع شده است. برای تحلیل بهتر برون داده‌های تحقیق، تجزیه واریانس نتایج انجام گرفت. براساس جدول ۵، تأثیرات سه عامل اصلی نوع خاک‌ورز، سرعت پیشروی و عمق کار بر روی شاخص ناهمواری سطح خاک پس از انجام خاک‌ورزی بررسی گردید.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر متغیرهای موردبررسی بر شاخص ناهمواری سطح خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار F
نوع خاک‌ورز (A)	۳	۱۱۲/۱۳	۷۵۴/۰۴**
سرعت پیشروی (B)	۲	۱/۶۸	۱۱/۳۳**
عمق کار (C)	۱	۷۱/۳۰	۴۷۹/۴۶**
اثر متقابل A×B	۶	۵/۱۲	۳۴/۴۳**
اثر متقابل C×A	۳	۶/۴۲	۴۳/۱۹**
اثر متقابل C×B	۲	۱/۰۸	۷/۳۰**
اثر متقابل A×B×C	۶	۰/۵۲	۳/۵۲ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۱۵	

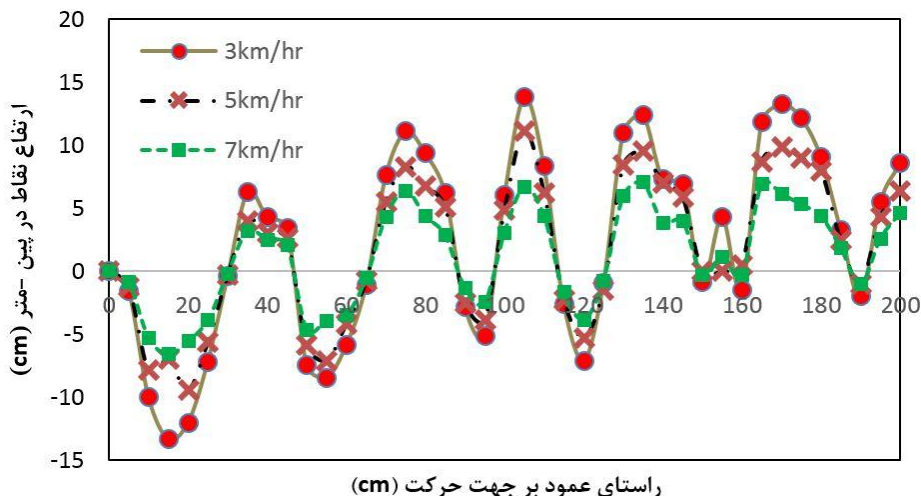
** اثر معنی‌دار در سطح ۰/۱، * اثر معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ^{ns} اثر معنی‌دار ندارد.

از جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت تأثیر عوامل نوع خاک‌ورز، سرعت پیشروی و عمق کار در سطح ۱ درصد روی شاخص ناهمواری سطح خاک معنی‌دار است و همچنین تأثیر متقابل نوع خاک‌ورز و سرعت پیشروی، تأثیر متقابل نوع خاک‌ورز و عمق کار و نیز تأثیر متقابل عمق کار و سرعت پیشروی در سطح ۱ درصد بر میزان ناهمواری سطح خاک معنی‌دار شده است. به علت معنی‌دار شدن آثار متقابل مذکور در سطح ۱ درصد بر روی شاخص ناهمواری سطح خاک، به کمک آزمون دانکن در شکل ۳، ۴ و ۵ مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد. میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند.



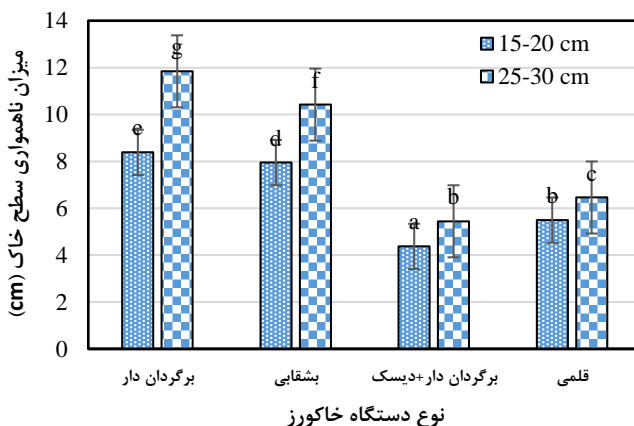
شکل ۳. مقایسه میانگین شاخص ناهمواری خاک برای سه سرعت پیشروی و چهار نوع خاک‌ورز

همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است برای انواع خاک‌ورزها به‌جز گاوآهن قلمی، با افزایش سرعت پیشروی، مقدار ناهمواری سطح خاک کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده این است که زمانی که خیش با سرعت پیشروی بیشتر کار می‌کند، خاک با ضربه به سطح صفحه برگردان و سطح بشقاب برخورد می‌کند و این ضربه باعث خرد شدن کلوخه‌ها می‌شود و از ناهمواری سطح خاک کاسته می‌شود، همچنین با سرعت گرفتن کلوخه‌های خاک روی سطح تیغه خاک‌ورز با شدت بیشتری از صفحه برگردان جدا می‌شوند و به زمین برخورد می‌کنند؛ بنابراین بیشتر خرد می‌شوند [۲]. برای نمونه در شکل ۴ منحنی تغییرات پروفیل خاک برای شخم برگردان‌دار در سه سرعت مختلف ارائه شده است. در واقع این شکل، خروجی نتایج به‌دست‌آمده از سازه پین‌متر را برای یک نوع خاک‌ورز ارائه می‌کند که محور افقی آن راستای عمود بر جهت حرکت تراکتور و محور عمودی آن نیز ارتفاع نقاط ثبت شده توسط سازه پین‌متر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش سرعت پیشروی، عمق جوی و ارتفاع پشته‌ها کمتر می‌گردد. دلیل این پدیده این است که در سرعت پیشروی بیشتر تراکتور، فرصت نفوذ تیغه به عمق فراهم نمی‌شود و لذا ارتفاع پشته و عمق جوی در قیاس با سرعت‌های پایین‌تر تراکتور کمتر شده است. همچنین مطابق شکل ۳، به‌جز دو مورد (گاوآهن برگردان‌دار در دو سرعت ۳ و ۵ کیلومتر بر ساعت و نیز گاوآهن قلمی در دو سرعت ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت) کلیه خاک‌ورزها در تمام سرعت‌های مورد آزمایش، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. از طرفی با مقایسه سرعت‌های نظیر، در گاوآهن‌های برگردان‌دار و بشقابی و نیز خاک‌ورزی برگردان‌دار+دیسک مشاهده شد که شاخص ناهمواری سطح خاک، به‌ترتیب از برگردان‌دار به بشقابی و از بشقابی به برگردان‌دار+دیسک کاهش می‌یابد؛ از این رو برای ایجاد بیشترین میزان ناهمواری خاک، اگر از سرعت‌های کمتر تراکتور و از خاک‌ورزی‌هایی مطابق ترتیبی که بیان شد، استفاده شود نتیجه بهتری حاصل می‌شود اما نتایج در خصوص گاوآهن قلمی نشان داده است که با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، میزان ناهمواری سطح خاک افزایش یافته است. دلیل این پدیده این است که با توجه به شکل خاص تیغه‌های قلمی و مکانیزم عمل آن، هنگام استفاده از گاوآهن قلمی، با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، شدت پاشش خاک و شکافتن زمین افزایش می‌یابد و کلوخه بیشتری ایجاد می‌شود، این موضوع باعث افزایش ناهمواری خاک می‌گردد.



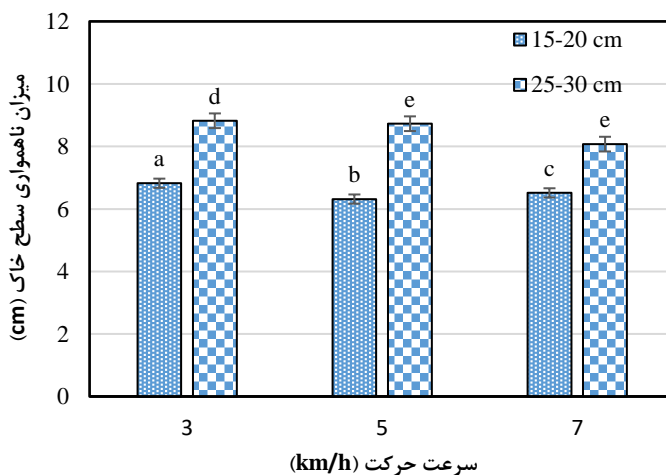
شکل ۴. تغییرات منحنی پروفیل خاک پس از شخم برگردان‌دار در سه سرعت ۳، ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت در عمق ۱۵-۲۰ سانتی‌متر

محققانی که اثر عامل سرعت خاک‌ورزی را بر ویژگی جرم مخصوص ظاهری خاک بررسی کرده بودند، نتیجه گرفتند که با افزایش سرعت خاک‌ورزی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش پیدا می‌کند و دلیل کاهش وزن مخصوص در سرعت‌های بالاتر را نبود وقت کافی برای اعمال وزن تراکتور و دستگاه بر خاک و ایجاد فشردگی اعلام کردند [۸]. از آنجایی که در سطوح خاک هموارتر، جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر است، یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج تحقیق مذکور را تأیید می‌کند. ضمن این‌که نتایج این بخش از پژوهش با نتایج تحقیق [۲۰] مطابقت دارد؛ زیرا این محقق، تأثیر سرعت پیشروی و نوع خاک‌ورز را بر چگالی و ناهمواری خاک، معنادار یافت.



شکل ۵. مقایسه میانگین میزان ناهمواری خاک برای دو عمق کار و چهار نوع خاک‌ورز

همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود برای تمام انواع خاک‌ورزهای مورد استفاده، با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقدار ناهمواری سطح خاک افزایش یافته است. از طرفی مطابق شکل ۵، کلیه خاک‌ورزهای استفاده شده در هر دو عمق مورد تحقیق، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند؛ لیکن بین دو خاک‌ورز برگردان‌دار+دیسک در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و قلمی در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است. همچنین با مقایسه عمق‌های نظیر، مشاهده می‌شود که میزان ناهمواری سطح خاک، به‌ترتیب از برگردان‌دار به بشقابی و از بشقابی به قلمی و از قلمی به برگردان‌دار+دیسک کاهش می‌یابد. این مطلب با نتایج [۲۱] نیز مطابقت دارد، آنان بیان کردند که گاواهن قلمی، تأثیر بیشتری بر ناهمواری خاک نسبت به استفاده از دیسک دارد؛ از این رو برای ایجاد بیشترین میزان ناهمواری خاک پس از خاک‌ورزی توصیه می‌شود، در صورت امکان به‌ترتیب گاواهن برگردان‌دار، بشقابی و برگردان‌دار+دیسک در اولویت استفاده قرار گیرند.



شکل ۶. مقایسه میانگین شاخص ناهمواری خاک برای دو عمق کار و سه سرعت پیشروی

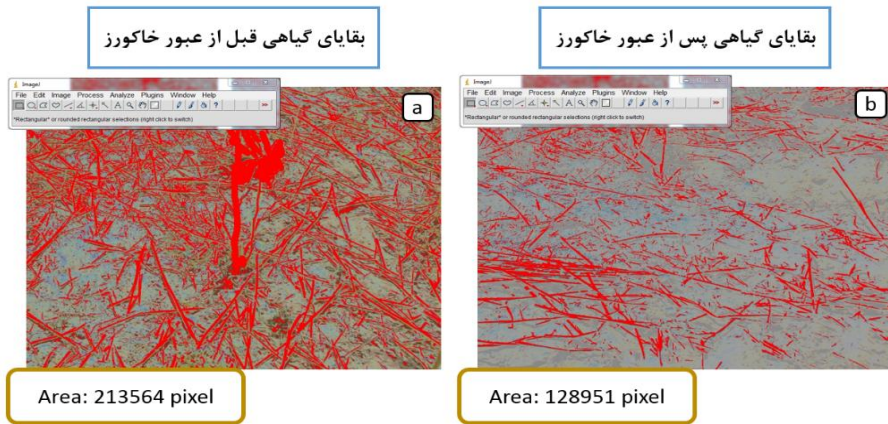
در شکل ۶، مقایسه میانگین شاخص ناهمواری خاک برای دو عامل عمق کار و سرعت پیشروی انجام شده است. برای تمام انواع خاک‌ورزهای مورد استفاده در هر سه سرعت تحقیق شده، با افزایش عمق خاک‌ورزی، مقدار ناهمواری سطح خاک افزایش یافته است. از طرفی مطابق شکل ۶، در هر سه سرعت تحقیق شده، هر دو عمق خاک‌ورزی، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند؛ تنها بین دو سرعت ۵ و ۷ کیلومتر بر ساعت و در عمق ۲۸ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

بررسی شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی

تصاویر تهیه شده از مزرعه در دو مرحله قبل و پس از عبور خاک‌ورز، ابتدا به‌منظور بهبود امکان جداسازی نقاط شامل بقایای گیاهی، مورد پیش‌پردازش در حوزه نور، رنگ و کنتراست قرار گرفت. سپس نواحی شامل بقایای گیاهی به روش مرزهای رنگ^۱ در نرم‌افزار Image J ماسک شد و سطح شامل بقایا در هر تصویر محاسبه گردید. برای نمونه در شکل ۷، نتایج حاصل برای دستگاه خاک‌ورز قلمی ارائه شده است. تصاویر آماده شده به کمک شاخص زیر خاک شدن

¹ Colour threshold

بقایای گیاهی برحسب درصد پس از پردازش تصاویر اخذ شده از مسیر حرکت ادوات قبل و پس از خاک‌ورزی به کمک رابطه ۲ محاسبه شد.



شکل ۷. نواحی انتخاب شده شامل بقایای گیاهی در تصویر تهیه شده قبل (a) و پس (b) از عبور دستگاه خاک‌ورز قلمی. مطابق این تصویر ۴۰ درصد بقایا دفن شده است (نقاط قرمز رنگ بقایای گیاهی در تصویر می‌باشد که از پس‌زمینه جدا شده است).

مقادیر میانگین و انحراف معیار شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی برحسب درصد، با تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. مقادیر میانگین و انحراف معیار درصد زیر خاک شدن بقایای گیاهی

عمق کار	سرعت پیشروی (km/h)	متغیر	برگردان‌دار	بشقابی	برگردان‌دار + دیسک	قلمی
۲۰-۱۵ سانتی‌متر	۳	میانگین	۶۵/۳	۶۳/۱	۸۰/۴	۲۹/۳
		انحراف معیار	۵/۵	۵/۱	۶/۲	۷/۵
	۵	میانگین	۷۴/۶	۷۲/۶	۸۵/۲	۳۵/۵
		انحراف معیار	۲/۵	۲/۱	۱/۲	۰/۵
	۷	میانگین	۷۱/۰	۶۸/۶	۸۱/۱	۳۵/۵
		انحراف معیار	۱/۰	۱/۷	۰/۷	۲/۲
۳۰-۲۵ سانتی‌متر	۳	میانگین	۸۲/۳	۸۰/۴	۹۲/۲	۴۰/۱
		انحراف معیار	۱/۵	۱/۶	۰/۹	۲/۵
	۵	میانگین	۸۲/۵	۸۱/۱	۹۰/۶	۴۱/۷
		انحراف معیار	۳/۱	۲/۹	۲/۱	۳/۱
	۷	میانگین	۸۸/۰	۸۵/۶۶۳	۹۰/۷۷۰	۳۸/۶۳۳
		انحراف معیار	۳/۶	۳/۹	۰/۴	۱/۵

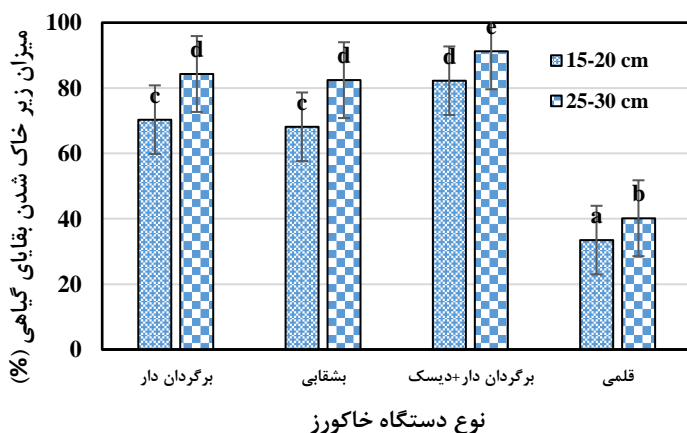
از بررسی مقادیر میانگین شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی نتیجه می‌شود که بیشترین میزان آن به مقدار ۹۲/۲ درصد برای تیمار H32 و کمترین میزان آن به مقدار ۲۹/۴ درصد برای تیمار C31 ایجاد شده است. همچنین روند تغییرات شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی از بیشینه به کمینه به ترتیب در خاک‌ورز برگردان‌دار+دیسک، گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن بشقابی و گاوآهن قلمی رخ داده است. در جدول ۷، نتایج تجزیه واریانس برای بررسی تأثیرات سه عامل اصلی نوع خاک‌ورز، سرعت پیشروی و عمق کار بر روی شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی بررسی شده است.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس تأثیر متغیرهای مورد بررسی بر میزان زیر خاک شدن بقایای گیاهی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	مقدار F
نوع خاک‌ورز (A)	۳	۸۷۴۶/۸۹	۸۴۵/۵۵**
سرعت پیشروی (B)	۲	۱۰۲/۰۸	۹/۸۷**
عمق کار (C)	۱	۲۱۶۶/۲۹	۲۰۹/۴۱**
اثر متقابل A×B	۶	۱۲/۶۶	۱/۲۳ ^{ns}
اثر متقابل A×C	۳	۶۳/۱۳	۶/۱۰**
اثر متقابل B×C	۲	۸۱/۲۸	۷/۸۵**
اثر متقابل A×B×C	۶	۱۲/۱۸	۱/۱۷ ^{ns}
خطا	۴۸	۱۰/۳۴	

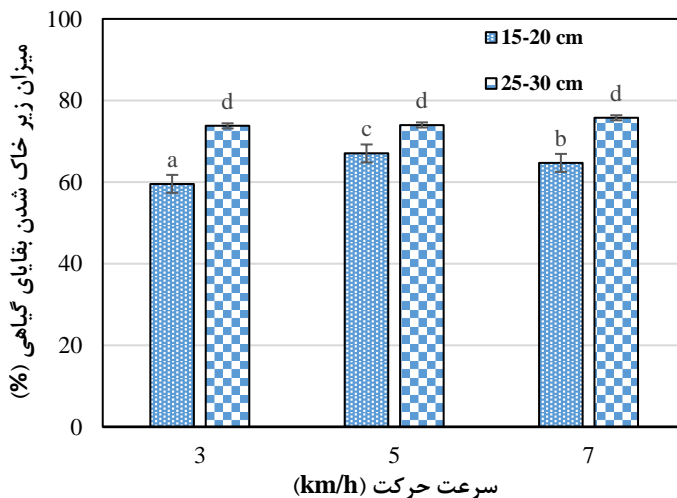
** اثر معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، * اثر معنی‌دار در سطح ۵٪، ns اثر معنی‌دار ندارد.

از جدول ۷ می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر عوامل نوع خاک‌ورز، سرعت پیشروی و عمق کار در سطح ۱ درصد روی شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی معنی‌دار است و همچنین تأثیر متقابل نوع خاک‌ورز و عمق کار و نیز تأثیر متقابل سرعت پیشروی و عمق کار در سطح ۱ درصد بر میزان ناهمواری سطح خاک معنی‌دار شده است. به علت معنی‌دار شدن آثار متقابل مذکور در سطح ۱ درصد، به کمک آزمون دانکن در شکل ۸ و ۹ مقایسه میانگین داده‌ها انجام شده است. میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن دارند.



شکل ۸. مقایسه میانگین شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی برای دو عمق کار و چهار نوع خاک‌ورز

همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، برای تمام انواع خاک‌ورزهای مورد استفاده، با افزایش عمق خاک‌ورزی، شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی، افزایش یافته است. همچنین مطابق شکل ۸، کلیه خاک‌ورزهای استفاده شده در هر دو عمق مورد تحقیق، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند و نیز با مقایسه عمق‌های نظیر، مشاهده می‌شود که شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی، برای خاک‌ورزی با تیمار برگردان‌دار+دیسک بیشترین و برای گاوآهن قلمی، کمترین مقدار را دارد. بنابراین از این نظر گاوآهن قلمی نتیجه بهتری را نشان می‌دهد. وجود اختلاف در مقدار زیر خاک شدن بقایای گیاهی در تیمارهای مختلف، بستگی به ساختار و عملکرد گاوآهن‌های مورد استفاده دارد. گاوآهن برگردان‌دار، به علت اختلاط بیشتر خاک و بقایای گیاهی، بقایای بیشتری را مدفون می‌کند و درصد کمی از بقایا را روی سطح مزرعه باقی می‌گذارد. گاوآهن بشقابی با توجه به ساختار آن، فقط بخشی از بقایای گیاهی را به زیر خاک می‌برد [۲۲]. همچنین اعمال دو بار دیسک زنی موجب اختلاط بیشتر خاک و دفن بیشتر بقایای گیاهی شد. شایان ذکر است که گاوآهن قلمی، سطح خاک را به‌صورت خرد شده و باز برای دریافت و نگهداری نزولات جوی و مقاومت به فرسایش بادی خاک به جای می‌گذارد. به کارگیری گاوآهن قلمی، بیشترین بقایای گیاهی را در سطح خاک باقی می‌گذارد که این موضوع باعث کاهش تبخیر و فرسایش خاک می‌شود؛ بنابراین گاوآهن، قلمی گزینه‌ای مطلوب برای خاک‌ورزی پوشش‌دار است [۲۳].



شکل ۹. مقایسه میانگین شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی برای دو عمق کار و سه سرعت پیشروی

در شکل ۹، مقایسه میانگین شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی برای دو عامل عمق کار و سرعت پیشروی انجام شده است. برای تمام انواع خاک‌ورزهای مورد استفاده در هر سه سرعت تحقیق شده، با افزایش عمق خاک‌ورزی، شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی افزایش یافته است. از طرفی مطابق شکل ۹، در هر سه سرعت تحقیق شده، هر دو عمق خاک‌ورزی، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند؛ با این وجود، در عمق ۲۸ سانتی‌متر و برای هر سه سرعت پیشروی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشده است.

ظریف‌نشاط و همکاران نیز تأثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر برخی خصوصیات خاک را سنجیدند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فقط تیمار روش‌های خاک‌ورزی بر میزان برگردان شدن بقایای گیاهی، تأثیر معنی‌دار داشته است و بر این اساس حداکثر میزان برگردان شدن بقایای گیاهی را ۸۹/۲۲ درصد به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار گزارش

کردند و پس از آن، روش کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی قرار داشتند. همچنین آن‌ها بیان کردند نوع تیغه‌ها و ساختمان ادواتی که در عملیات خاک‌ورزی استفاده می‌شوند بر برگردان شدن بقایای گیاهی تأثیر مستقیم دارد [۲۴].

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روش‌های مرسوم خاک‌ورزی زمین‌های دیم از نظر شاخص ناهمواری سطح خاک و میزان زیرخاک شدن بقایای گیاهی بررسی شد. با توجه به اهمیت حفظ خاک حاصلخیز و همچنین جذب حداکثر نرولات جوی، انتخاب تیماری که بیشترین شاخص ناهمواری سطح خاک و کمترین میزان زیرخاک شدن بقایای گیاهی را در پی داشته باشد، به منظور به‌حداقل رساندن فرسایش بادی و آبی، مد نظر قرار گرفت. بررسی روش‌های خاک‌ورزی شامل گاوآهن‌های برگردان‌دار، بشقابی، قلمی و اعمال دیسک پس از شخم برگردان‌دار در سه سرعت پیشروی و دو عمق کار نشان داد بالاترین شاخص ناهمواری سطح خاک با گاوآهن برگردان‌دار و کمترین میزان زیرخاک شدن بقایای گیاهی با گاوآهن قلمی حاصل شده است. مقدار شاخص ناهمواری سطح خاک با گاوآهن برگردان‌دار بین ۸/۱ تا ۱۲/۷ سانتی‌متر و برای گاوآهن قلمی در سرعت ۷ و عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر ۴/۴ تا ۷/۲۷ سانتی‌متر به‌دست آمد. هرچند که شخم با گاوآهن برگردان‌دار از نظر اختلاط حداکثری بقایای گیاهی با خاک به دلیل انتقال مواد مغذی سطحی به عمق خاک و محل ریشه مزیت دارد اما از جنبه مباحث حفاظت از خاک به دلیل انتقال لایه‌های مرطوب زیرین به سطح و افزایش سرعت روان‌آب به دلیل نبود بقایای گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک مانند استان خراسان رضوی، توصیه نمی‌شود. همچنین شایان ذکر است که افزایش سرعت پیشروی و عمق کار گاوآهن قلمی می‌تواند موجب افزایش شاخص ناهمواری سطح خاک شده و به مقادیر مربوط به گاوآهن برگردان‌دار نزدیک شود. بیشترین شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی به مقدار ۹۲/۲ درصد برای تیمار H32 و کمترین میزان آن به مقدار ۲۹/۴ درصد برای تیمار C31 ایجاد شده است. طبق یافته‌های این پژوهش، تأثیر عوامل نوع خاک‌ورزی، سرعت پیشروی و عمق کار در سطح ۱ درصد روی شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی معنی‌دار شده است و همچنین اثر متقابل نوع خاک‌ورزی و عمق کار و نیز اثر متقابل سرعت پیشروی و عمق کار در سطح ۱ بر میزان ناهمواری سطح خاک معنی‌دار شده است. از طرفی روند تغییرات شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی از بیشینه به کمینه به ترتیب در خاک‌ورزی برگردان‌دار+دیسک، گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن بشقابی و گاوآهن قلمی رخ داده است. ضمن این‌که با افزایش عمق خاک‌ورزی، شاخص زیر خاک شدن بقایای گیاهی افزایش یافته است. از این رو طبق بررسی انجام شده و نتایج تحقیق با دیدگاه حفاظت از خاک در مقابل فرسایش بادی و آبی برای اراضی دیم استفاده از گاوآهن قلمی در عمق و سرعت کمتر توصیه می‌شود.

Reference

- [1] Ajdadi, F. R., Gilandeh, Y. A., Mollazade, K., & Hasanzadeh, R. P. R. (2016). Application of machine vision for classification of soil aggregate size. *Soil and Tillage Research*, 162, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.012>
- [2] Mansouri Rad, D. (2014). *Tractors and Agricultural Machinery*. Bu-Ali Sina University.
- [3] Entezari, A., & Sabourifard, H. (2021). Effect of planting dates and irrigation intervals on quality and quantity performance of Nutrifeed Millet. *Karafan Quarterly Scientific Journal*. https://karafan.tvu.ac.ir/article_129330.html?lang=en
- [4] Rahman, S., & Chen, Y. (2001). Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil and Tillage Research*, 58(1), 19-29. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00181-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00181-1)

- [5] Liu, J., & Kushwaha, R. L. (2006). Modeling of Soil Profile Produced by a Single Sweep Tool. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, 1-13. <https://hdl.handle.net/1813/10586>
- [6] Liu, J., Chen, Y., & Kushwaha, R. L. (2010). Effect of tillage speed and straw length on soil and straw movement by a sweep. *Soil and Tillage Research*, 109(1), 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.014>
- [7] Chimi Chiadjeu, O., Le Hégarat-Mascle, S., Vannier, E., Taconet, O., & Dusséaux, R. (2014). Automatic clod detection and boundary estimation from Digital Elevation Model images using different approaches. *CATENA*, 118, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.003>
- [8] Mahmoudi, A., Jalali, A., Valizadeh, M., & Skandari, I. (2015). The effects of forward speed and depth of conservation tillage on soil bulk density. *Journal of Agricultural Machinery*, 5(2), 368-380. <https://doi.org/10.22067/jam.v5i2.28533>
- [9] Bahrpour, V., Rouhani, A., Abbaspour-Fard, M. H., Zarifneshat, S., & Aghkhani, M. H. (2018). Spatial Variability Analysis and Zoning of Soil Compaction Using Different Geostatistical Methods. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 49(3), 329-340. <https://doi.org/10.22059/IJBSE.2018.227916.664911>
- [10] Kouselou, M., Hashemi, S., Eskandari, I., McKenzie, B., Karimi, E., Rezaei, A., & Rahmati, M. (2018). Quantifying soil displacement and tillage erosion rate by different tillage systems in dryland northwestern Iran. *Soil Use and Management*, 34(1), 48-59. <https://doi.org/10.1111/sum.12395>
- [11] Scanlan, C. A., & Davies, S. L. (2019). Soil mixing and redistribution by strategic deep tillage in a sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 185, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.008>
- [12] Chandrasekhar, P., Kreiselmeier, J., Weninger, T., Julich, S., Feger, K.-H., Schwen, A., & Schwärzel, K. (2019). Modeling the evolution of soil structural pore space in agricultural soils following tillage. *Geoderma*, 353, 401-414. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.017>
- [13] Massah, J., Etezadi, H., Azadegan, B., & Hassan-Beygi, S. R. (2020). Modelling of Soil Displacement Resulting from Sweep during Tillage Operation Using Image Processing. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(2), 415-424. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-18284-en.html>
- [14] Karami, A. (2020). Effect of different tillage methods on some soil physical properties. *Applied Field Crops Research*, 33(1), 61-81. <https://doi.org/10.22092/aj.2019.122917.1328>
- [15] Hou, T., Filley, T. R., Tong, Y., Abban, B., Singh, S., Papanicolaou, A. N. T., Wacha, K. M., Wilson, C. G., & Chaubey, I. (2021). Tillage-induced surface soil roughness controls the chemistry and physics of eroded particles at early erosion stage. *Soil and Tillage Research*, 207, 104807. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104807>
- [16] Shamabadi, Z. A.-A. (2011, November 22-23). *Study of the effect of conservation tillage and preservation of crop residues against dehydration in rainfed conditions*. University of Tehran, Department of Irrigation Engineering, Karaj, Alborz, Iran. <https://civilica.com/doc/173293>
- [17] Thomsen, L. M., Baartman, J. E. M., Barneveld, R. J., Starkloff, T., & Stolte, J. (2015). Soil surface roughness: comparing old and new measuring methods and application in a soil erosion model. *SOIL*, 1(1), 399-410. <https://doi.org/10.5194/soil-1-399-2015>

- [18] Vidal Vázquez, E., Miranda, J. G. V., & Paz González, A. (2007). Describing soil surface microrelief by crossover length and fractal dimension. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 14(3), 223-235. <https://doi.org/10.5194/npg-14-223-2007>
- [19] Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ghanbari, A., & Khorramdel, S. (2019). Effect of tillage systems and crop residues on soil bulk density and chemical properties under corn (*Zea mays* L.)-bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping. *Agroecology*, 11(3), 1123-1138. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=758802>
- [20] Muhsin, S. J. (2017). Performance study of moldboard plow with two types of disc harrows and their effect on some soil properties under different operating conditions. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 30(2), 1-15. <https://doi.org/10.37077/25200860.2017.37>
- [21] Panachuki, E., Bertol, I., Alves, T., Oliveira, P. T. S. d., & Rodrigues, D. B. B. (2015). Effect of soil tillage and plant residue on surface roughness of an Oxisol under simulated rain. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 268-278. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20150187>
- [22] Ahmadi Moghaddam, P., Eftekhari, L., Mardani, A., & Khodaverdilo, H. (2016). Determination of crop residues and the physical and mechanical properties of soil in different tillage systems. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(1), 102-113. <https://doi.org/10.22067/jam.v6i1.32700>
- [23] Behaen, M., Afzalnia, S., & Roozbeh, M. (2011, September 21-23). *Impact of crop residue management on the crop yield, soil organic matter, and soil properties in irrigated wheat-corn rotation*. 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Istanbul, Turkey.
- [24] Zarifneshat, S., Saeidi Rad, M. H., & Safari, M. (2020). Effect of Conservation and Conventional Tillage on Some Machine and Soil Parameters in Cold Regions of Khorasan Razavi Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(4), 939-949. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.268169.665106>