تأثیر کوتاه‌مدت خاک‌ورزی و کود دامی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک

آزاده صفادوست[۱]، محمد رضا مصدقی[۱]، علی اکبر محبوبی[۱]، عباس نوروزی[۲] و قاسم اسدیان[۲]

چکیده

افزایش فرسایش و تراکم خاک به واسطه کشت مداوم محصولات ردیفی و خاک‌ورزی فشرده از دلایلی است که سبب نگرانی و توجه بیشتر به روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی شده است. هدف از این تحقیق، بررسی آثار کوتاه‌مدت (یک‌ساله) مدیریت‌های متفاوت بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک لوم شنی تحت کشت ذرت بود. تیمارها شامل سه سیستم خاک‌ورزی (بی‌خاک‌ورزی، NT؛ خاک‌ورزی با گاو آهن قلمی، CP و خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار، MP) و سه سطح کود گاوی کاملاً پوسیده (صفر، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار) بودند. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده انجام گرفت. سه تکرار از تیمارها به صورت بلوک‌های کامل تصادفی به کار رفت. هنگامی که ۱۰۰ درصد پرچم‌های ذرت ظاهر شدند، ضریب آبگذری اشباع (K_s)، تخلخل کل (TP)، تخلخل درشت (Macro–P)، تخلخل ریز (Micro–P) خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۲۲/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. خاک‌ورزی و کود دامی دارای اثرات معنی دار بر $Log[K_s]$، TP، Macro-P و Micro-P بودند. سست و مخلوط شدن کامل خاک سطحی در روش MP، حجم و پیوستگی منافذ را افزایش داد و در نتیجه سبب افزایش K_s، TP، Macro-P و Micro-P نسبت به روش NT شد. افزایش Macro–P در سیستم CP احتمالاً سبب افزایش K_s نسبت به MP گردید. سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی MWD را افزایش داده و افزایش کود آلی باعث افزایش MWD در تمامی تیمارهای خاک‌ورزی گردید. نتایج این تحقیق نشان دهنده اثرات مثبت کاربرد کود آلی (در دوره کوتاه‌مدت) بر ویژگی‌های منافذ و پایداری ساختمان خاک تحت خاک‌ورزی با گاوآهن برگردن‌دار و گاوآهن قلمی در این منطقه بود.

واژه‌های کلیدی: ضریب آبگذری اشباع، تخلخل کل، تخلخل درشت، تخلخل ریز، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، خاک‌ورزی، کود دامی

مقدمه

ساختمان خاک یک ویژگی متغیر و بسیار تأثیرپذیر است که فرایندهای مختلف بر آن مؤثرند. از جمله این فرایندها می‌توان خاک‌ورزی و کاربرد کودهای آلی را نام برد که از موارد مهم در مدیریت زراعی می‌باشند. ساختمان خاک اغلب با واژه‌های اندازه، شکل و مقاومت خاکدانه‌ها یا اندازه، شکل و پایداری منافذ توصیف می‌شود که ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شامل ذخیره رطوبتی و انتقال آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴).

در منابع علمی نتایج ضد و نقیضی درباره تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک گزارش شده است. افیونی و مصدقی (۱) در یک پژوهش شش ساله گزارش کردند که در مزرعه‌ای با خاک لوم شنی، ضریب آبگذری اشباع (K_s)

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲. به ترتیب کارشناس و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

تحت سیستم بی‌خاک‌ورزی به علت اثر مفید این سیستم در بهبود ساختمان خاک، بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. ولی در مزرعه‌ای با خاک لوم رسی شنی، K_s در سیستم بی‌خاک‌ورزی کمتر بود که علت آن را به هم نخوردن و درهم فرورفتگی خاک سنگین تحت این روش دانستند. حاماد و داول‌بیت (۱۸) گزارش کردند که سیستم‌های خاک‌ورزی پس از شش ماه تأثیری بر مقدار آب خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نداشتند. در حالی که محبوبی و همکاران (۲۳) گزارش کردند که استفاده درازمدت سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش K_s نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی می‌شود. آنها K_s بیشتر خاک در روش بی‌خاک‌ورزی را به کانال‌های حاصل از فعالیت کرم‌های خاکی نسبت دادند. بسیاری از محققین گزارش کردند که ضریب آبگذری اشباع و غیر اشباع به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر روش بی‌خاک‌ورزی قرار می‌گیرد و این امر به علت پیوستگی بیشتر منافذ یا حرکت آب از میان منافذ درشت‌تر می‌باشد (۶). نتایج ضد و نقیض حاصل از تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را می‌توان ناشی از وضعیت ناپایدار خاک پس از خاک‌ورزی، سابقه (تاریخچه) کاربری اراضی، شرایط اقلیمی، میزان رطوبت اولیه و نهایی خاک، زمان نمونه‌برداری و به‌هم‌خوردگی خاک دانست.

روزبرگ و مک‌کوی (۲۷) دریافتند که خاک‌ورزی مرسوم تخلخل کل خاک را افزایش می‌دهد، ولی تعداد، پایداری و پیوستگی منافذ درشت (منافذ مؤثر در انتقال مواد) را کاهش می‌دهد. هم‌چنین گزارش شده است بین K_s و اندازه منافذ مؤثر خاک ارتباط مستقیم وجود دارد (۵). حاج‌عباسی و همت (۱۷) گزارش کردند که سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی مرسوم و چند سیستم خاک‌ورزی حفاظتی در سال اول تأثیر معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌ها نداشتند ولی پس از چهار سال سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی دارای اثرات مثبت و معنی‌دار بر پایداری ساختمان خاک بودند.

مواد بهساز آلی مانند کود دامی با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه باعث بهبود ساختمان خاک می‌شوند. لذا کاربرد کود دامی بر ویژگی‌هایی از قبیل نفوذ آب به خاک، ضریب آبگذری و زهکشی خاک تأثیر می‌گذارند. مقاومت خاکدانه‌ها و در نتیجه پایداری منافذ خاک بستگی زیادی به پیوند بین مواد آلی و ذرات خاک دارند. به طور کلی کربن خاک یک عامل اساسی در پایداری ساختمان خاک محسوب می‌شود. دسیلوا و همکاران (۱۴) با مطالعه اثرات کود دامی، کاه برنج و کود سبز بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، گزارش کردند که تیمارهای مواد آلی به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار، میزان آب قابل استفاده در خاک را پس از یک ماه به مقدار قابل‌توجهی افزایش داد.

در ایران به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پژوهش‌های زیادی جهت انتخاب و اصلاح بهترین سیستم‌های مدیریتی زراعی انجام نشده است. هم‌چنین اثرات کوتاه‌مدت عملیات کم‌خاک‌ورزی به علت افزایش چگالی ظاهری و مقاومت فروروی (Penetration resistance) خاک، به خصوص در خاک‌های سنگین با ماده آلی کم، نامطلوب بوده است (۲۴). لذا با توجه به اینکه اغلب خاک‌های ایران دارای ماده آلی اندک، حساس به سله‌بندی و ساختمان ناپایدار می‌باشند (۱۷ و ۲۹)، پژوهش‌های بیشتر در زمینه روش‌های خاک‌ورزی و کاربرد کودهای آلی در مناطق مختلف ضروری می‌باشد. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر کوتاه‌مدت روش‌های خاک‌ورزی و افزودن کود دامی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک در همدان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات سازمان جهاد کشاورزی واقع در ۵ کیلومتری شهر همدان روی یک خاک لوم شنی که جزء سری بهار و از نظر رده USDA، دارای فامیل فاین، لومی، میکسد، مزیک کلسی زرپت (fine-loamy, mixed , mesic Calcixerepts) بود، انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه خشک، متوسط بارندگی ۳۲۸ میلی‌متر در سال، متوسط درجه حرارت ماهانه حداکثر ۲۴٫۵ °c در تیرماه و حداقل ۳ ° c- در دیماه است. محل آزمایش از ده سال قبل تا سال اجرای این تحقیق (بهار ۱۳۸۱) تحت خاک‌ورزی مرسوم (خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه[۱]

بافت	لوم‌شنی	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)	۱/۰۲
شن (٪)	۶۲/۲	رسانایی الکتریکی اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۳۳
سیلت (٪)	۲۶/۰	کربنات کلسیم معادل (٪)	۶/۵
رس (٪)	۱۱/۸	اسیدیته	۸/۰۳
چگالی ظاهری (مگاگرم بر متر مکعب)	۱/۴۸	کربن آلی (٪)	۰/۳۴

۱. نمونه‌برداری از لایه ۳۰- ۰ سانتی‌متر انجام شده است.

دیسک‌زنی) و کشت مستمر ذرت دانه‌ای *(Zea mays* L.) بوده است. برخی از ویژگی‌های عمومی فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

این طرح به صورت یک‌ساله در مزرعه مذکور اجرا شد. تیمارها شامل سه سیستم خاک‌ورزی (بی‌خاک‌ورزی (No-tillage)، NT، خاک‌ورزی با گاو آهن قلمی (Chisel plowing) به عمق ۱۵ سانتی‌متر، CP، و خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار (Moldboard plowing) به عمق ۲۲/۵ سانتی‌متر، MP) و سه سطح کود گاوی کاملاً پوسیده (صفر، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار بر اساس وزن هوا- خشک) بود. آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت که در آن خاک‌ورزی به عنوان کرت اصلی و کود دامی به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. کود گاوی سرند شده به طور هم‌زمان قبل از اعمال تیمارهای خاک‌ورزی به صورت یک‌نواخت روی سطح کرت‌ها توزیع گردید. کودهای شیمیایی دارای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس توصیه کودی با توجه به آزمون خاک اضافه شدند. کود ازته به صورت همراه با کشت و سرک بر اساس عرف محل به کار رفت. پس از اعمال تیمارهای خاک‌ورزی اولیه CP و MP، در این تیمارها خاک‌ورزی ثانویه با ماله‌زنی (Leveler) جهت آماده کردن بستر بذر انجام شد. پس از تسطیح زمین، ذرت دانه‌ای (رقم ۱۰۸) با تراکم ۶۶۰۰۰ بوته در هکتار با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر به صورت دستی در کرت‌های ۱۰×۵ متری و با شیب ۱/۵ درصد کاشته شد. آبیاری به روش بارانی بر اساس عرف محل انجام شد. مقدار کل آب آبیاری برابر با ۱۰۹۹/۱ مترمکعب در هکتار بود. مقدار آب مصرف شده بر اساس نیاز تبخیر-تعرق محاسبه شد که برای ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب برابر با ۴۰۹/۱، ۳۶۳/۶، ۳۶۳/۶ و ۲۵۰ میلی‌متر بود.

در حدود ۱۱۴ روز پس از اعمال تیمارها، هنگامی که تمامی پرچم‌های گیاه ذرت ظاهر شدند، نمونه‌های خاک دست‌نخورده به روش نمونه‌برداری سیلندری با استفاده از سیلندرهایی از جنس فولاد، دارای قطر داخلی ۵۱ میلی‌متر و ارتفاع ۷۵ میلی‌متر به منظور تعیین ضریب آبگذری اشباع (K_s)، تخلخل کل (TP)، تخلخل درشت (Macro–P)، تخلخل ریز (Micro–P) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) برداشت شد. نمونه‌برداری از محل ردیف کشت جایی که چرخ‌های ماشین کشاورزی تردد نداشتند، از لایه‌های ۷/۵- ۰، ۱۵- ۷/۵ و ۲۲/۵- ۱۵ سانتی‌متر صورت گرفت. هم‌چنین به کمک یک بیلچه از لایه‌های مذکور نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها صورت گرفت. سعی شد در حین نمونه‌برداری حداقل آسیب به خاکدانه‌ها وارد شود.

ضریب آبگذری اشباع خاک (K_s) به روش بار آبی ثابت (Constant-head method) تعیین گردید (۲۱). تخلخل کل (TP) به روش اشباع و سپس خشک کردن نمونه‌ها در آون (۱۰۵° c به مدت ۲۴ ساعت) اندازه‌گیری شد. تخلخل درشت (Macro-P) و تخلخل ریز (Micro-P) خاک با استفاده از داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی حاصل از روش صفحه فشار (Pressure plate) مشخص گردید. به طوری که Macro-P درصد آب خارج شده از خاک اشباع تحت فشار (مکش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

ماتریک) kPa ۱۰ و رطوبت حجمی باقی مانده در خاک در این فشار به عنوان Micro-P در نظر گرفته شد (۲۰). نمونه‌های برداشت شده برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک، هوا-خشک گردیده و از الک‌های ۸ و ۴ میلی‌متری عبور داده شدند تا خاکدانه‌ها در دامنه ۴ تا ۸ میلی‌متری جدا گردند. پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر (Wet sieving) (۳۱) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک به دست آمده به روش فوق روی یک ردیف سرند (ترتیب الک‌ها از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ میلی‌متر) قرار گرفته و به مدت ۵ دقیقه توسط یک موتور با ۳۰ دور در دقیقه در آب بالا و پایین برده شد. خاکدانه‌های باقی مانده روی هر سرند در آون و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها پس از انجام تصحیح ذرات شن تعیین شد. نهایتاً میانگین وزنی قطر خاکدانه (Mean weight diameter) (MWD) به عنوان شاخص پایداری ساختمان خاک با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i w_i$$

که در معادله فوق $\bar{x}_i$ میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده روی هر سرند یا میانگین قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر سرند به وزن کل خاکدانه‌ها و n تعداد سرندها می‌باشند.

تجزیه واریانس برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک به طور مستقل برای هر لایه نمونه‌برداری شده انجام گرفت. با توجه به این که تبدیل لگاریتمی سبب کاهش ضریب پراکندگی (Coefficient of variation) داده‌های K_s شد، بنابراین تجزیه واریانس روی داده‌های لگاریتم ضریب آبگذری اشباع (Log $[K_s]$) انجام شد. منابع تغییرات شامل روش‌های خاک‌ورزی، سطوح کود گاوی و اثرات متقابل آنها بود که با استفاده از نرم‌افزار SAS (۲۸) پردازش شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس برای ویژگی‌های K_s، TP، Macro-P، Micro-P و MWD در لایه‌های مختلف خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر تیمارهای خاک‌ورزی و کود دامی بر K_s، TP، Macro-P، Micro-P و MWD در تمام لایه‌های خاک معنی‌دار بود. اثرات متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و کود دامی فقط در لایه سوم بر Macro-P معنی‌دار شد. معنی‌دار نشدن آثار متقابل بیانگر اثرات مستقل سیستم‌های خاک‌ورزی و کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد.

تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک

۱. ضریب آبگذری اشباع خاک

نتایج به دست آمده اثر معنی‌دار تیمارهای خاک‌ورزی را بر لگاریتم ضریب آبگذری اشباع (Log $[K_s]$) نشان می‌دهد (جدول ۲). تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر Log $[K_s]$ در لایه‌های مختلف خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. در لایه‌های ۷/۵-۰ و ۱۵-۷/۵ سانتی‌متری خاک، مقادیر K_s در تیمارهای خاک‌ورزی به ترتیب NT < MP < CP بود. افزایش K_s در CP نسبت به MP را می‌توان به بهم‌خوردگی کمتر خاک و تجمع بیشتر کود دامی در لایه‌های بالایی نسبت داد. چنین اثری توسط محبوبی و همکاران (۲۳) نیز گزارش شده است. لذا به نظر می‌رسد که خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی سبب حفظ پیوستگی منافذ و عدم متراکم شدن خاک شده و این فرایندها در افزایش K_s خاک بسیار مؤثر بوده است. عمق کمتر به هم خوردگی خاک و تنش ناشی از CP باعث کاهش K_s در مقایسه با MP در لایه سوم گردید. نتایج واهل و همکاران (۳۰) پیوستگی بیشتر منافذ درشت در یک خاک سیلتی تحت خاک‌ورزی حفاظتی را نشان داد. هم‌چنین بهاتاچاریا و همکاران (۱۰) گزارش کردند که مقادیر K_s به طور معنی‌داری در سیستم بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. کیولارو و لامادالنا (۱۲) گزارش کردند که مقادیر K_s پس از انجام خاک‌ورزی، بزرگتر از مقادیر آن قبل از خاک‌ورزی بود. ولی در یک پژوهش دو ساله تفاوت اثر خاک‌ورزی مرسوم (خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار) و کم‌خاک‌ورزی (شخم سطحی با دیسک) بر ویژگی‌های فیزیکی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و کود دامی بر ضریب آبگذری اشباع (K_s)، تخلخل کل (TP)، تخلخل درشت (Macro-P)، تخلخل ریز (Micro-P) خاک و میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها [۱]

منبع تغییر	درجه آزادی	نسبت F				
		Log[K_s]	TP	Macro-P	Micro-P	MWD
لایه ۰ –۷/۵ cm						
خاک‌ورزی	۲	۷۱۶/۴۲	۸۱/۱۰	۱۴/۷	۲۴/۰	۱۸۸/۶
کود دامی	۲	۱۸۴/۲	۴۵/۹	۴۷/۸	۱۱/۹	۲۰۳/۵
خاک‌ورزی × کود دامی	۴	۳/۰۴	۰/۳۹	۱/۱	۰/۲	۲,۴
لایه ۷/۵ –۱۵ cm						
خاک‌ورزی	۲	۱۱۸/۱۷	۱۹۴/۵	۱۵/۱۰	۲۳/۸	۱۲۹/۸
کود دامی	۲	۶۱/۲۱۰	۳۸/۸	۲۵/۵	۷/۲	۱۳۸/۲
خاک‌ورزی × کود دامی	۴	۲/۷۲	۱/۳۹	۲/۱	۰/۶	۲/۸
لایه ۱۵ –۲۲/۵ cm						
خاک‌ورزی	۲	۲۸۶/۱۷	۵۱/۱۰	۱۰۳/۶	۱۳/۵	۶۴/۳
کود دامی	۲	۸/۹۷	۷/۱۸	۱۸/۵	۱/۳	۶/۴
خاک‌ورزی × کود دامی	۴	۲/۰۴	۱/۰	۴/۳$^{\times}$	۰/۱	۰/۹

۱. ** و * : به ترتیب نشان دهندهٔ تاثیر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

جدول ۳. تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی بر ضریب آبگذری اشباع (K_s)، تخلخل کل (TP)، تخلخل درشت (Macro-P)، تخلخل ریز (Micro-P) خاک و میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها[۱]

خاک‌ورزی[۲]	Log[K_s] (سانتی‌متر بر ساعت)	TP (٪ حجمی)	Macro-P (٪ حجمی)	Micro-P (٪ حجمی)	MWD (میلی‌متر)
لایه ۰ –۷/۵ cm					
NT	۰/۴۶ ^{c}	۴۱/۲ ^{c}	۱۵/۳ ^{b}	۲۵/۹ ^{c}	۱/۴۶ ^{a}
CP	۰/۷۱ ^{a}	۵۰/۴ ^{b}	۱۹/۰ ^{a}	۳۱/۴ ^{b}	۱/۰۳ ^{b}
MP	۰/۶۲ ^{b}	۵۴/۶ ^{a}	۱۷/۵ ^{ab}	۳۷/۱ ^{a}	۰/۶۰ ^{c}
لایه ۷/۵ –۱۵ cm					
NT	۰/۴۱ ^{c}	۳۴/۹ ^{c}	۱۲/۲ ^{b}	۲۲/۶ ^{c}	۱/۳۸ ^{a}
CP	۰/۶۹ ^{a}	۴۴/۶ ^{b}	۱۷/۶ ^{a}	۲۷/۰ ^{b}	۰/۹۰ ^{b}
MP	۰/۵۹ ^{b}	۴۹/۷ ^{a}	۱۶/۴ ^{a}	۳۳/۵ ^{a}	۰/۵۵ ^{c}
لایه ۱۵ –۲۲/۵ cm					
NT	۰/۳۶ ^{b}	۳۰/۶ ^{b}	۱۰/۷ ^{b}	۱۹/۹ ^{a}	۱/۱۹ ^{a}
CP	۰/۳۴ ^{b}	۲۶/۵ ^{c}	۱۱/۳ ^{b}	۱۵/۲ ^{b}	۱/۱۳ ^{a}
MP	۰/۵۵ ^{a}	۳۸/۹ ^{a}	۱۵/۵ ^{a}	۲۳/۳ ^{a}	۰/۴۸ ^{b}

۱. برای هر عمق و در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
۲. NT: بی‌خاک‌ورزی، CP: خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی، MP: خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

یک خاک لوم رسی سیلتی در ناحیه مرکزی ایران معنی‌دار نبود (۲۹). احتمالاً ساختمان ناپایدار این خاک‌ها به دلیل میزان کم ماده آلی از دلایل عدم اثر معنی‌دار سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر ویژگی‌های خاک می‌باشد.

۲. مشخصه‌های منافذ خاک

تیمارهای خاک‌ورزی به طور معنی‌داری منافذ خاک را در سه لایه متوالی خاک تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). مقادیر TP در لایه‌های ۷/۵-۰ و ۱۵-۷/۵ سانتی‌متر بین تیمارهای خاک‌ورزی (CP و MP) و بی‌خاک‌ورزی (NT) اختلاف معنی‌داری داشت. در این دو لایه تغییرات TP به صورت NT < CP < MP بود. در لایه ۲۲/۵-۱۵ سانتی‌متر به علت نامناسب‌تر شدن شرایط خاک و تنش ناشی از گاوآهن قلمی و مالیدگی خاک (Soil smearing)، کاهش TP تحت تیمار CP در مقایسه با MP مشاهده گردید (جدول ۳). هم‌چنین در این لایه به علت کاهش مواد آلی، مقدار TP کاهش یافت. روش MP به علت مخلوط کردن کود و بقایای آلی در لایه شخم‌خورده دارای بیشترین مقدار TP و کمترین مقدار چگالی ظاهری (۳) بود. نتایج افیونی و مصدقی (۱) نیز تخلخل بیشتر خاک تحت سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به بی‌خاک‌ورزی را نشان می‌دهد. هم‌چنین برزگر و همکاران (۸) گزارش کردند که در نواحی نیمه خشک، ذخیره آب خاک تحت سیستم خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود.

سیستم MP در لایه‌های ۷/۵-۰ و ۱۵-۷/۵ سانتی‌متری دارای Macro-P کمتری در مقایسه با CP بود (جدول ۳). میانگین Macro-P در این دو لایه دارای ترتیب NT < MP < CP بود. در این لایه‌ها با این‌که تخلخل درشت در CP نسبت به MP بیشتر بود ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند، در حالی که تفاوت آنها با NT معنی‌دار بود. در عمق سوم Macro-P در CP به طور معنی‌داری نسبت به MP کاهش یافت (۱۱/۳ در برابر ۱۵/۵ درصد) که علت آن عمق به‌هم‌خوردگی بیشتر و تأثیر آن در ایجاد منافذ درشت‌تر در MP نسبت به خاک به هم نخورده در CP در لایه‌های پایین‌تر بود. فرارز و همکاران (۱۶) نیز طی تحقیقی سه ساله گزارش کردند که در یک خاک لومی، حجم منافذ با قطر بزرگ‌تر از ۲۰ میکرون تحت سیستم خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از بی‌خاک‌ورزی بود.

تغییرات تخلخل ریز تحت تیمارهای خاک‌ورزی روندی مشابه تغییرات TP در لایه‌های متوالی خاک داشت (جدول ۳). منافذ با قطر ۰/۱ تا ۳۰ میکرون معمولاً به منافذ ذخیره کننده آب معروف می‌باشند و شامل منافذی هستند که آب قابل استفاده برای گیاه را نگه‌داری می‌کنند. تردد چرخ‌ها و تنش‌های حاصله و در نتیجه افزایش چگالی ظاهری، این منافذ را به مقدار قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۱۳). با توجه به این که خاک منطقه مورد مطالعه دارای ساختمان ناپایدار و میزان ماده آلی کمی بود، سیستم NT در کوتاه‌مدت باعث کاهش TP، Macro-P و Micro-P خاک گردید.

۳. پایداری خاکدانه‌ها

پایداری خاکدانه‌ها که با شاخص MWD مشخص گردید، به طور معنی‌داری به ترتیب MP < CP < NT تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی قرار گرفت (جدول‌های ۲ و ۳). در لایه ۷/۵-۰ سانتی‌متری، میانگین MWD در سیستم NT، ۳۰٪ نسبت به سیستم CP (۱/۴۶ در برابر ۱/۰۳ میلی‌متر)، و ۵۹٪ نسبت به سیستم MP (۱/۴۶ در برابر ۰/۶۰ میلی‌متر) بیشتر بود. هم‌چنین میانگین MWD در تیمار CP، ۴۲٪ نسبت به تیمار MP بیشتر بود (۱/۰۳ در برابر ۰/۶۰ میلی‌متر). همین روند تغییرات در لایه ۱۵-۷/۵ سانتی‌متر نیز مشاهده شد، با این تفاوت که اختلاف مقادیر مشاهده شده نسبت به لایه اول کمتر بود. حاج عباسی و همکاران (۲) نیز با مطالعه اثر سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک طی دو سال گزارش کردند که خاک‌ورزی باعث افزایش درصد خاکدانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) گردید. در لایه ۲۲/۵-۱۵ سانتیمتری، MWD تحت تیمار MP نسبت به CP و NT به طور معنی‌داری کمتر بود. میانگین MWD در روش‌های NT و CP،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

۵۹٪ بیشتر از روش MP بود (۱/۱۶ در برابر ۴۸/. میلی‌متر). به هم نخوردن خاک در این لایه در تیمار CP باعث تشابه مقادیر MWD آن با تیمار NT گردید. این موضوع بیانگر آن است که خاک‌ورزی باعث شکسته شدن خاکدانه‌ها می‌شود و ذرات یا خاکدانه‌های ریزتری را به‌وجود می‌آورد (۲). این نتایج با یافته‌های برزگر و همکاران (۸)، حاج‌عباسی و همت (۱۷) و محبوبی و همکاران (۲۳) هماهنگ می‌باشد.

تأثیر کود دامی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک

۱. ضریب آبگذری اشباع خاک

افزودن کود دامی به خاک سبب افزایش Log [K_s] شد (جدول ۲). تیمارهای کودی ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار، به طور متوسط باعث افزایش به ترتیب ۱۶ و ۳۰ درصدی Log [K_s] در همه لایه‌ها نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). در واقع افزودن کود آلی به خاک باعث افزایش تخلخل، سطح ویژه، تغییر توزیع اندازه خاکدانه‌ها، بهبود گنجایش نگه‌داری رطوبت و ضریب آبگذری خاک می‌شود (۱۵). اوهیو و همکاران (۲۵) گزارش کردند که با افزودن مواد آلی به خاک، ضریب آبگذری خاک افزایش می‌یابد. آنها دلیل این امر را سهولت حرکت آب از منافذ به دلیل افزایش پیوستگی آنها و افزایش تخلخل خاک ذکر کردند. هم‌چنین شیرانی و همکاران (۲۹) گزارش کردند که افزایش کود دامی به طور معنی‌داری Log [K_s] یک خاک لوم رسی سیلتی در اصفهان را افزایش داد.

۲. مشخصه‌های منافذ خاک

افزودن کود دامی به طور معنی‌داری توزیع اندازه منافذ را تحت تأثیر قرار داد (به استثنای Micro-P در لایه سوم) (جدول ۲). کاربرد کود دامی در خاک باعث افزایش TP در خاک شد. به طوری که افزودن میزان ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی در هکتار به ترتیب باعث افزایش ۱۷ و ۳۴ درصدی تخلخل در لایه اول، ۱۸ و ۲۹ درصد در لایه دوم و ۷ و ۲۰ درصد در لایه سوم نسبت به شاهد گردید (جدول ۴).

برای تمام مشخصه‌های منافذ خاک، تأثیر کود دامی به صورت ۶۰ تن در هکتار >۳۰ تن در هکتار > شاهد در تمامی لایه‌ها بود. کلیک و همکاران (۱۱) نیز با مطالعه اثرات کمپوست، میکوریزا، کود دامی و کود شیمیایی بر خواص فیزیکی خاک گزارش کردند که افزودن کمپوست و کود دامی به ترتیب باعث افزایش ۸۶ و ۵۶ درصدی مقدار آب قابل استفاده خاک گردید. اختلاف مشخصه‌های منافذ بین تیمارهای کودی در لایه اول نسبت به لایه‌های دیگر بیشتر بود. همان طور که جدول ۴ نیز نشان می‌دهد اختلاف بین توزیع اندازه منافذ در لایه سوم نسبت به لایه اول کمتر بود. این نتایج با گزارشات اندرسون و همکاران (۷) و لال و همکاران (۲۲) مطابقت دارد.

۳. پایداری خاکدانه‌ها

اثرات معنی‌دار کاربرد کود دامی بر MWD در لایه‌های مختلف خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. در همه لایه‌ها شاخص MWD با افزودن کود دامی به خاک افزایش پیدا کرده است. تأثیر کود دامی بر MWD به صورت ۶۰ تن در هکتار >۳۰ تن در هکتار > شاهد به ترتیب ۱/۳۲، ۱/۰۲ و ۰/۷۵ میلی‌متر برای لایه اول، ۱/۱۸، ۰/۹۶ و ۰/۶۹ میلی‌متر برای لایه دوم و ۱/۰۲، ۰/۹۶ و ۰/۸۳ میلی‌متر برای لایه سوم بود (جدول ۴). تجمع بیشتر کود دامی در لایه‌های اول و دوم باعث به وجود آمدن اختلاف بیشتر MWD در بین تیمارهای کودی گردید.

اثرات معنی‌دار کود دامی بر MWD را می‌توان به آثار چسبانندگی مواد آلی و در نتیجه تجمع ذرات خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها، تغییر در توزیع اندازه منافذ و افزایش ظرفیت جذب سطحی خاک‌ها نسبت داد. شیرانی و همکاران (۲۹) نیز در یک پژوهش دو ساله در مورد اثر خاک‌ورزی و کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک گزارش نمودند که افزایش کود دامی به میزان ۶۰ تن در هکتار باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در لایه ۵-۰ سانتی‌متر گردید. ولی در لایه‌های زیر ۵ سانتی‌متر آثار کود دامی معنی‌دار نبود. هم‌چنین برزگر و همکاران (۹) با بررسی اثر مواد آلی و نوع رس بر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

جدول ۴. تأثیر کود دامی بر ضریب آبگذری اشباع (K_s)، تخلخل کل (TP)، تخلخل درشت (Macro-P)، تخلخل ریز (Micro-P) خاک و میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها[1]

کود دامی (تن در هکتار)	Log[K_s] (سانتی‌متر بر ساعت)	TP (٪ حجمی)	Macro-P (٪ حجمی)	Micro-P (٪ حجمی)	MWD (میلی‌متر)
لایه ۰ – ۷/۵ cm					
صفر	۰/۵۱ c	۴۱/۷ c	۱۴/۳ c	۲۷/۴ c	۰/۷۵ c
۳۰	۰/۵۹ b	۴۸/۶ b	۱۶/۹ b	۳۱/۷ b	۱/۰۲ b
۶۰	۰/۶۹ a	۵۵/۹ a	۲۰/۶ a	۳۵/۳ a	۱/۳۲ a
لایه ۷/۵ – ۱۵ cm					
صفر	۰/۴۸ c	۳۷/۲ c	۱۳/۰ c	۲۳/۸ b	۰/۶۹ c
۳۰	۰/۵۷ b	۴۳/۹ b	۱۵/۰ b	۲۸/۵ a	۰/۹۶ b
۶۰	۰/۶۴ a	۴۸/۰ a	۱۸/۲ a	۲۹/۹ a	۱/۱۸ a
لایه ۱۵ – ۲۲/۵ cm					
صفر	۰/۳۶ b	۲۹/۴ b	۱۱/۰۳ c	۱۸/۴ a	۰/۸۳ b
۳۰	۰/۴۲ a	۳۱/۴ b	۱۲/۲ b	۱۹/۲ a	۰/۹۶ a
۶۰	۰/۴۶ a	۳۵/۳ a	۱۴/۲ a	۲۱/۱ a	۱/۰۲ a

۱. برای هر عمق و در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

پراکنش ذرات خاک، نشان دادند که مواد آلی باعث بهبود ساختمان خاک‌های سدیمی، حتی قبل از کاهش قلیائیت، گردید. پاگلی و همکاران (۲۶) نیز نشان دادند که پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و کود کمپوست افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی (CP) به علت کمتر شکسته شدن خاکدانه‌ها و تجمع بیشتر کود دامی در لایه‌های سطحی، سبب افزایش ضریب آبگذری اشباع (K_s) خاک شد. کاهش K_s، TP، Macro-P و Micro-P تحت تیمار CP در مقایسه با تیمار MP در لایه سوم خاک را می‌توان به تنش‌ها و مالیدگی خاک حاصل از این گاوآهن (CP) نسبت داد.

به علت شرایط فیزیکی نامناسب این خاک (میزان کم ماده آلی، ساختمان ناپایدار و چگالی ظاهری بالا)، کمترین مقادیر K_s در تیمار بی‌خاک‌ورزی (NT) در کوتاه‌مدت به دست آمد. هم‌چنین این تیمار آثار کمتری بر مشخصه‌های منافذ خاک داشت.

در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار (MP)، به علت مخلوط شدن کود آلی با لایه خاک زراعی و در نتیجه بهبود ساختمان خاک و هم‌چنین ایجاد بازشدگی و سست‌شدن بیشتر خاک، بیشترین مقادیر TP و Macro-P مشاهده شد.

افزودن کود دامی به خاک دارای آثار معنی‌دار بر K_s، TP، Macro-P و Micro-P بود. آثار قابل‌توجه کود دامی بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را می‌توان به ساختمان ضعیف خاک به علت میزان کم ماده آلی آن نسبت داد.

کاهش به هم خوردگی خاک (کم شدن عملیات خاک‌ورزی) و افزایش کود دامی موجب افزایش MWD گردید.

با توجه به این که افزودن کود دامی باعث بهبود ساختمان فیزیکی خاک شد، لذا در صورت توجیه اقتصادی، کاربرد کود دامی می‌تواند موجب بهبود شرایط فیزیکی نامطلوب خاک گردد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به کاربردن سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی همراه با کود دامی می‌تواند در به وجود آمدن شرایط فیزیکی مطلوب در خاک مؤثر باشد. لذا انجام پژوهش‌های میان‌مدت (۵ سال) و درازمدت (۲۰ سال) در رابطه با اثر سیستم‌های مدیریتی مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی خاک با توجه به شرایط خاک و اقلیم منطقه ضروری می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان در انجام این تحقیق و فراهم ساختن تجهیزات لازم سپاسگزاری می‌شود. هم‌چنین از دانشگاه بوعلی سینا به علت تأمین بخشی از هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م. و م. ر. مصدقی. ۱۳۸۰. اثر روش‌های خاک‌ورزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و حرکت برمید. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۲: ۳۹- ۵۲.

۲. حاج عباسی، م.ع.، آ. میرلوحی و م. صدرارحامی. ۱۳۷۸. اثر روش‌های خاک‌ورزی بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد ذرت در مزرعه تحقیقاتی لورک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳: ۱۳- ۲۳.

۳. صفادوست، آ.، ع. ا. محبوبی، م. ر. مصدقی، ع. نوروزی و ق. اسدیان. ۱۳۸۴. اثر کوتاه مدت روش‌های خاک‌ورزی و کود دامی بر جرم مخصوص ظاهری، مقاومت فروروی خاک و مشخصه‌های ریشه ذرت. مجله پژوهش کشاورزی آب، خاک و گیاه در کشاورزی ۵: ۱۴-۲۹.

۴. همت، ع.م. و م.ر. مصدقی. ۱۳۸۰. *خاک ورزی برای تولید محصول در مناطق کم باران* (ترجمه). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

5. Ahuja, L. R., D. K. Cassel, R.R. Bruce and B. B. Barnes. 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. Soil Sci. 148: 404–411.
6. Allmaras, R. R., R. W. Rickman, L. G. Ekin and B. A. Kimball. 1977. Chiselling influences on soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 796–803.
7. Anderson, S. H., C. J. Gantzer and J. R. Brown. 1990. Soil physical properties after 100 years of continuous cultivation. J. Soil Water Conserv. 45: 117-121.
8. Barzegar, A. R., M. A. Asoodar, A. Khadish, A. M. Hashemi and S. J. Herbert. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. Soil Till. Res. 71: 49-57.
9. Barzegar, A. R., P. N. Nelson, M. J. Oades and P. Rangasamy. 1997. Organic matter, sodicity and clay type influence on soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1131-1137.
10. Bhattacharyya, R., V. Prakash, S. Kundu and H. S. Gupta. 2005. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. Soil Till. Res. 86: 129-140.
11. Celik, I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of Chromoxerert soil. Soil Till. Res.78: 56-67.
12. Ciollaro G. and N. Lamaddalena. 1998. Effect of tillage on the hydraulic properties of a vertic soil. J. Agric. Eng. Res. 71: 147–155.
13. da Silva, A. and B. D. Kay. 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 877-883.
14. Desilva, A. and Br. Mapa. 1994. Effect of organic matter on available water in noncalcarous brown soils. Sirlankan. J. Agri Sci. 31: 82- 92
15. Epstein, E. 1975. Effects of sewage sludge on soil physical properties. J. Environ. Qual. 4: 139-142.
16. Ferreras, L. A., J. L. Costa, F. O. Garcia and C. Pecorari. 2000. Effects of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. Soil Till. Res. 54: 31-39.
17. Hajabbasi, M.A. and A. Hemmat. 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]

soil in central Iran. Soil Till. Res. 56: 205-212.
18. Hammad, E. A. and M. I. Dawelbit. 2001. Effect of tillage and field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in vertisols of Kenana Sugar Estate, Sudan. Soil Till. Res. 62: 101-109.
19. Kay, B. D. and D. A. Angers. 1999. Soil structure. PP: A229-A275. *In*: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
20. Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. PP: 635– 662. *In*: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis.: Part I, Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. Agronomy Monograph, ASA, WI.
21. Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. PP: 687– 734. *In*: Klute, A. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part I, Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed., Agronomy Monograph, ASA, WI,
22. Lal, R., A. A. Mahboubi and N. R. Fausey. 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 517-522.
23. Mahboubi A. A., R. Lal and N. R. Fausey. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 506-512.
24. Mosaddeghi, M.R., A. Hemmat, M.A. Hajabbasi, A. Alexandrou. 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. Soil Till. Res. 70: 53–64.
25. Ohu, J. O., G. S. Raghavan and E. Mckeys. 1985. Peat moss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. Trans. ASAE 28(2): 420-424.
26. Pagliai, M.G., G. Guidi, M. Lamarea, M.M. Giachetti and L. Lucamanate. 1981. Effect of sewage sludge and compost on soil porosity and aggregation. J. Environ. Qual. 10: 556-561.
27. Roseberg, R. J. and E. L. McCoy. 1992. Tillage and traffic changes in macroporosity and macropore continuity: an ability assessment. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1261–1267.
28. SAS Institute. 1990. SAS User's Guide: Statistics. Ver. 6a., SAS Institute Inc., North Carolina, USA.
29. Shirani, H., M. A. Hajabbasi, M. Afyuni and A. Hemmat. 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil Till. Res. 68: 101-108.
30. Wahl, N. A., O. Bens, U. Buczko, E. Hangen and R. F. Hüttl. 2004. Effects of conventional and conservation tillage on soil hydraulic properties of a silty-loamy soil. Phys. Chem. Earth 29: 821–829.
31. Yoder, R. E. 1936. A direct method of aggregate analysis and study of physical nature of erosion losses. J. Am. Soc Argon. 28: 337-351.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.8.5]