



## اثر شاخص‌های پایداری خاکدانه بر عملکرد گندم در یک خاک با سطح ویژه بالا تحت روش‌های مختلف خاک‌ورزی

\* مهدی حسینی<sup>۱</sup>، قربانعلی روشنی<sup>۲</sup> و سیدعلیرضا موحدی‌ننائینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup> استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان، دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۵

### چکیده

به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر نسبت پراکندگی، وضعیت و درجه دانه‌بندی خاکدانه، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه، عملکرد و اجزای عملکرد گندم، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار، طی سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در اراضی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در سید میران اجرا گردید. پنج روش مختلف خاک‌ورزی شامل شخم با گاوآهن برگرداندار سوار به عمق (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) به همراه یک شخم با دیسک، روتیواتور (۱۷-۱۲ سانتی‌متر)، دیسک (۱۰-۸ سانتی‌متر)، چیزل (۳۰-۲۵ سانتی‌متر) و نظام بدون خاک‌ورزی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در مرحله قبل از خوشه‌دهی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نسبت پراکندگی در چیزل و گاوآهن برگرداندار دیده شد. نتایج بیان‌کننده این مطلب است که در خاک‌های با سطح ویژه بالا تفاوت عمده‌ای بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر تأثیر بر پایداری ساختمان خاک نبوده و بنابراین بدون نگرانی از پراکندگی خاک می‌توان شدت خاک‌ورزی را برای حصول عملکرد بیش‌تر افزایش داد در هر دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت بیش‌ترین مقدار درجه و وضعیت دانه‌بندی در خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار دیده شد که منجر به افزایش جذب پتاسیم توسط ریشه و عملکرد گندم شد.

**واژه‌های کلیدی:** خاک‌ورزی، نسبت پراکندگی، درجه و وضعیت دانه‌بندی، پتاسیم، عملکرد گندم

\* مسئول مکاتبه: [mehdi.h.2009@gmail.com](mailto:mehdi.h.2009@gmail.com)

## مقدمه

خاک مهم‌ترین عامل تولید محصولات کشاورزی است و عملیات خاک‌ورزی مؤثرترین نقش را در افزایش عملکرد محصول از نظر اقتصادی به عهده دارد. روش‌های مختلف خاک‌ورزی می‌توانند از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر استقرار گیاه، رشد ریشه و اندام‌های هوایی و در نهایت عملکرد محصول تأثیر بگذارند (کاسل و راکزکوسکی، ۱۹۹۵). کشت و زرع خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر می‌دهد در نتیجه می‌تواند رشد گیاه و عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد (بلوینس و توماس، ۱۹۸۳؛ گرت و لافوند، ۱۹۹۳). خاک‌های با سطح ویژه بالا با افزایش پیوندهای اندروالسی پیوندهای سیمانی مستحکم‌تری بین اجزاء خاک ایجاد می‌کنند که موجب افزایش مقاومت مکانیکی خاک می‌شود. براساس مدل DVLO، نیروهایی که موجب پایداری یک سوسپانسیون کلئیدی می‌شوند نیروهای دافعه لایه‌های دوگانه پخشیده الکتریکی (در فاصله زیاد) و در فاصله کوتاه دافعه فیزیکی است. تنها نیروی جاذبه، نیروهای جاذبه و اندروالی است که موجب ناپایدار شدن سیستم‌های سوسپانسیون کلئیدی، رسوب آن‌ها و تشکیل خاکدانه‌ها می‌شود. افزایش سطح ویژه با افزایش سطوح برخورد کلئیدها احتمال رسوب آن‌ها و تشکیل خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر خاکدانه‌های پایدار کم‌تر تحت تأثیر عوامل ناپایداری مثل خاک‌ورزی و فرسایش تخریب می‌شوند. نمونه‌های متنوعی از کشاورزی ناپایدار وجود دارد که به نابودی کیفیت خاک منتهی می‌شود (مولینس و مکلود، ۱۹۹۰). مطالعات زیادی درباره اثرات مدیریت‌هایی مثل خاک‌ورزی روی خصوصیات ساختمانی خاک به‌ویژه پایداری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها گزارش شده است (مکوی، ۲۰۰۶؛ چن و همکاران، ۲۰۰۳؛ انکرس و پیساند، ۱۹۹۲؛ ایسمایل و بلوینس، ۱۹۹۴). خاک‌ورزی‌های متداول ممکن است ساختمان خاک را تخریب کنند و خطر هرزآب و فرسایش را افزایش دهند. خاک‌ورزی‌های متداول همچنین بر دمای خاک، مقاومت مکانیکی، پیوستگی حفرات درشت (شیبتالو و دیک، ۲۰۰۰)، رطوبت قابل دسترس و عمق توزیع ریشه (دیر و استوارت، ۱۹۹۶) اثر می‌گذارند. نظام بدون خاک‌ورزی در برخی خاک‌ها و شرایط آب و هوایی و مدیریتی امتیاز بیش‌تری نسبت به نظام‌های خاک‌ورزی متداول دارد. این فواید شامل کاهش تعداد رفت و آمد ماشین روی زمین، کاهش هدررفت خاک (ناشی از پایداری بالای خاکدانه) و اثرات مثبت باقی ماندن بقایای گیاهی روی زمین است در حالی‌که فشردگی خاک نفوذ را کاهش می‌دهد و باعث کاهش رشد ریشه می‌شود. بیر و هندریکس (۱۹۹۴) گزارش کردند که باقی گذاشتن بقایای گیاهی در نظام بدون

خاک‌ورزی باعث بهبود ساختمان خاک و مقدار کربن آلی می‌شود. کارتر و رنی (۱۹۸۲) و لال و محبوبی (۱۹۹۴) گزارش کردند که مقدار بالایی از کربن آلی در خاک سطحی در نظام بدون خاک‌ورزی وجود دارد و باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود. کای (۱۹۹۰)، الیوت (۱۹۸۶) و تیسدل و اودس (۱۹۸۲) گزارش کردند که کشت و کار می‌تواند موجب شکستگی خاکدانه‌های خاک و هدررفت کربن آلی خاک شود. هامبلین (۱۹۸۰) دریافت سیستم بدون خاک‌ورزی می‌تواند منجر به کم‌تر شدن میانگین وزنی قطر خاکدانه شود. نظام بدون خاک‌ورزی در ناحیه خشک مرکزی ایران اثر معکوسی بر عملکرد محصول دارد به این دلیل که بافت خاک سنگین و کربن آلی پایین و روی هم رفته باعث سست و ضعیف شدن ساختمان اولیه خاک می‌شود (همت و خاشویی، ۱۹۹۷؛ همت، ۱۹۹۸؛ میرلوحی و حاج‌عباسی، ۲۰۰۰). نظام‌های خاک‌ورزی بر روی خصوصیات خاک مانند وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، خاکدانه و دما اثر دارند که می‌توانند رشد ریشه را تحت تأثیر قرار دهند. از سوی دیگر ریشه‌ها ساختمان خاک و خواص شیمیایی اطراف آن را تغییر می‌دهد و با رشد و گسترش ذرات خاک را جابه‌جا می‌کنند و با جذب آب و عناصر غذایی مقدار آن‌ها را در خاک تغییر می‌دهند (پیرت و دوسان، ۲۰۰۷). یافته‌های شلینگر (۲۰۰۵) نشان می‌دهد که استفاده از نظام بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی متداول منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد گندم، یولاف و جو می‌گردد. کاهش استقرار و رشد اولیه گیاهچه (همت، ۱۹۹۶)؛ (کارلن و گودن، ۱۹۸۷)، تأخیر در استقرار و مواجه شدن با گرمای آخر فصل (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷) و تغییر خواص فیزیکی خاک (هامل، ۱۹۹۵) از دیگر دلایلی است که توسط پژوهشگران مختلف برای کاهش عملکرد دانه در سیستم بدون خاک‌ورزی گزارش شده است. کین و همکاران (۲۰۰۴) نیز در آزمایش خود به نتیجه مشابهی دست یافتند. اما تارکلسونا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که استفاده از کشت بدون خاک‌ورزی در مقابل گاوآهن برگرداندار در طولانی‌مدت منجر به افزایش عملکرد گندم می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه (اراضی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در سیدمیران با ازت کافی، پتاسیم مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه است (سبطی و همکاران، ۲۰۰۹). در این محل با سطح ویژه زیاد (بیش از یکصد مترمربع بر گرم)، پخشیدگی پتاسیم از روی مکان‌های تبادلی به محل ریشه‌ها کند است (علاالدین، ۲۰۱۱). در این خاک‌ها عصاره‌گیر استات آمونیوم، پتاسیم موجود در مکان‌های تبادلی و پتاسیم محلول را اندازه‌گیری می‌کند که همبستگی بالایی با عملکرد دانه ندارد (طالبی‌زاده، ۲۰۰۹). تترافینیل بران سدیم و اضافه بار پتاسیم (وفاخواه، ۲۰۱۰) همبستگی بالایی با عملکرد دانه

گندم نشان می‌دهند. هدف از این پژوهش بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر رشد ریشه و جذب عناصر غذایی نسبت پراکندگی، وضعیت و درجه دانه‌بندی خاکدانه، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه و تأثیر این فاکتورها بر جذب پتاسیم توسط ریشه و عملکرد گندم در یک خاک با سطح ویژه و مقاومت مکانیکی بالا بود. در صورتی که شدت‌های بالای خاک‌ورزی (گاواهن برگرداندار) موجب تغییرات شدید در پایداری خاکدانه‌ها (نسبت پراکندگی، وضعیت و درجه دانه‌بندی خاکدانه، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه) شوند حتی با افزایش عملکرد محصول در یک کشاورزی پایدار توصیه نمی‌شوند زیرا باعث تلفات لایه سطحی خاک (شامل مواد آلی) با فرسایش و کاهش تدریجی حاصلخیزی خاک می‌شوند.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در اراضی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در سیدمیران اجرا گردید. پنج روش مختلف خاک‌ورزی شامل شخم با گاواهن برگرداندار سوار به عمق (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) به همراه یک شخم با دیسک، روتیواتور (۱۷-۱۲ سانتی‌متر)، دیسک (۱۰-۸ سانتی‌متر)، چیزل (۳۰-۲۵ سانتی‌متر) و نظام بدون خاک‌ورزی در نظر گرفته شدند. طول هر کرت آزمایش ۵ متر و عرض آن هم ۵ متر در نظر گرفته شد. گندم رقم N-۸۰-۱۹ در کرت‌های آزمایشی کشت گردید. فاصله ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بذرها در ردیف ۱/۵ سانتی‌متر و مقدار بذر مصرفی معادل ۲۶۸/۵ کیلوگرم در هکتار بود (کاشت گندم با دست انجام شد). مقدار کود مصرفی براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نتایج گزارش شده توسط طالبی‌زاده (۲۰۰۹) به صورت پخش سطحی قبل از کشت به خاک اضافه شدند زیرا سابقه پژوهش نشان می‌دهد که در محل مورد آزمایش بیش‌ترین عملکرد با ترکیب کودی نام‌برده حاصل می‌شود. در محل آزمایش، فسفات آمونیوم در تامین فسفر گیاه از سوپرفسفات کلسیم مؤثرتر است. کلسیم به‌دست آمده از سوپرفسفات با رقابت با پتاسیم در جذب ریشه‌ای موجب کاهش عملکرد گندم می‌شود. در ضمن آمونیوم به‌دست آمده از فسفات آمونیوم رقیب خوبی برای پتاسیم برای جایگزینی روی سطوح تبادل‌ی خاک است که موجب افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک که محل حضور ریشه‌هاست می‌شود (در تمام تیمارها ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار دی‌آمونیم فسفات و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم). سپس به‌وسیله روتیواتور، دیسک، چیزل و برای تیمار گاواهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب با استفاده از دیسک و

گاوآهن پنجه غازی با خاک مخلوط گردید و همچنین مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت کود سرک بدون مخلوط کردن با خاک در یک مرحله قبل از ساقه رفتن مصرف گردید. در فواصل بین بلوک‌ها و کرت‌ها حاشیه کشت ایجاد شد. بذور قبل از کشت به قارچکش کربوکسی تیرام آغشته شدند و کشت به صورت دیم بود. مقدار ازت کل خاک، پتاسیم خاک (راو و تاکر، ۱۹۹۷)، فسفر خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (پیچ و میلر، ۱۹۸۲)، بافت خاک و درصد شن، سیلت و رس (کلوت و کمپل، ۱۹۸۶)، کربنات کلسیم معادل (پیچ و میلر، ۱۹۸۲) و ظرفیت تبادل کاتیونی (چاپمن، ۱۹۶۵) قبل از کوددهی و کشت اندازه‌گیری شد. در دو مرحله قبل از خوشه‌دهی (۸۹/۱/۱۷) و برداشت گندم (۸۹/۳/۲۲) برای پایداری خاکدانه (نسبت پراکندگی، درجه دانه‌بندی، وضعیت دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین وزنی هندسی خاکدانه) از عمق ۰-۳۰ نمونه‌های دست‌نخورده تهیه و با روش الک تر اندازه‌گیری شد (ون‌باول، ۱۹۴۹). مقدار رطوبت در اعماق ۰-۱۸ و ۱۶-۸ سانتی‌متر در مرحله قبل از خوشه‌دهی در تیمارهای گاوآهن برگرداندار (۰/۳۸۴، ۰/۲۴۵)، روتیواتور (۰/۳۲۶، ۰/۴۴۱)، دیسک (۰/۲۶۹، ۰/۴۶)، چیزل (۰/۳۶۸، ۰/۳۷۷) و بدون خاک‌ورزی (۰/۴۷۳، ۰/۵) و در مرحله برداشت در اعماق ۰-۸ و ۱۶-۸ در تیمارهای گاوآهن برگرداندار (۰/۱۱۴، ۰/۱۸۱)، روتیواتور (۰/۱۰۸، ۰/۱۶۸)، دیسک (۰/۱۲۲، ۰/۱۸۲)، چیزل (۰/۷۹۹، ۰/۱۵۲) و بدون خاک‌ورزی (۰/۱۰۵، ۰/۱۲۷) بود. همچنین در دو مرحله قبل از خوشه‌دهی (۸۹/۱/۱۹) و برداشت (۸۹/۳/۲۱)، نمونه خاک از هر کرت گرفته شد و مقدار ازت آمونیاکی به روش رنگ‌سنجی (پیچ و میلر، ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل جذب خاک با عصاره‌گیرهای تترافنیل بران سدیم (کاکس و جورن، ۱۹۹۶)، استات آمونیوم (راو و تاکر، ۱۹۹۷)، اضافه بار پتاسیم (بولت، ۱۹۷۸)، پتاسیم محلول (علی‌احیایی، ۱۹۹۷)، کلسیم و منیزیم تبدالی و محلول (علی‌احیایی، ۱۹۹۷) و سطح ویژه با روش اتیلن گلایکول مونو اتیل اتر (کارتر و همکاران، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، برای تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه بر حسب گرم و تعداد خوشه در مترمربع، تعداد ۱۵ بوته از هر کرت برداشت شد. برای تعیین عملکرد از سطح ۱/۵×۱/۵ متر نمونه‌برداری انجام شد و پس از جدا کردن دانه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و عملکرد در واحد سطح تعیین شد.

**نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک:** نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب خاک قبل از کشت گندم در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک لومی رسی سیلتی می‌باشد. سطح ویژه ۱۳۰ مترمربع بر گرم و غلظت پتاسیم قابل جذب خاک با استات آمونیوم ۲۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. براساس این نتایج غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در حد خیلی زیاد (دامنه >۴۰، ۸۰-۴۱، ۱۲۰-۸۱)

۱۶۰-۱۲۱ و بیش تر از ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل جذب خاک به ترتیب بیانگر مقادیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می باشد (هاولین و همکاران، ۲۰۰۵). بوده اما گیاه قادر به جذب این مقدار زیاد پتاسیم نمی باشد زیرا سطح ویژه زیاد با کاهش نسبت آب موجود در خلل و فرج به لایه دوگانه پخشیده الکتریکی موجب کاهش پخشیدگی پتاسیم به داخل محلول خاک و کاهش قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاه می گردد (علاءالدین، ۲۰۱۱). میزان سطح ویژه، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به ترتیب ۱۳۰ مترمربع بر گرم خاک، ۱۶ درصد، ۱۸ میلی اکی والان بر ۱۰۰ گرم خاک و ۰/۶ دسی زیمنس بر متر بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش پیش از کشت.

سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (میلی گرم خاک)	فسفر (میلی گرم خاک)	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان بر ۱۰۰ گرم خاک)	EC (دسی زیمنس بر متر)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	سطح ویژه (مترمربع بر گرم خاک)
۴۷/۶۰	۱۸/۴۷	۳۳/۹۳	۰/۱۱	۲۶۰	۷/۳۳	۱۸	۰/۶	۱۶	۱۳۰

## نتایج و بحث

مقایسه میانگین کاربرد روش های مختلف خاک ورزی بر پایداری خاکدانه در عمق ۰-۳۰ سانتی متر در جدول ۲ آمده است. در نسبت پراکندگی<sup>۱</sup> اختلاف معنی داری از نظر آماری در سطح ۵ درصد بین روش های مختلف خاک ورزی در هر دو مرحله قبل از خوشه دهی و برداشت وجود دارد. در مرحله قبل از خوشه دهی بیشترین و کمترین مقدار نسبت پراکندگی به ترتیب با چیزل و گاو آهن برگردان (بیشترین شدت خاک ورزی) دیده شد. بنابراین تفاوت عمده ای بین روش های خاک ورزی از نظر تأثیر بر پایداری ساختمان خاک نیست و بدون نگرانی از پراکندگی خاک می توان شدت خاک ورزی را افزایش داد. هرچه نسبت پراکندگی کم تر باشد، خاکدانه پایداری بیشتر است. اولین بررسی پایداری خاکدانه ها قبل از خوشه دهی انجام شد که براساس جدول ۲، نسبت پراکندگی با روش های مختلف خاک ورزی یا مشابه شاهد است و یا کم شد. بنابراین با معیار قرار دادن نسبت پراکندگی، قطعاً خاک ورزی موجب کاهش پایداری خاکدانه نشد. در مورد وضعیت دانه بندی<sup>۲</sup> در هر دو مرحله

1- Dispersion Ratio

2- Status of Aggregation

اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود ندارد. در مرحله قبل از خوشه‌دهی بیش‌ترین و کم‌ترین درجه دانه‌بندی به‌ترتیب با گاوآهن برگرداندار و چیزل دیده شد اما در مرحله برداشت بیش‌ترین و کم‌ترین درجه دانه‌بندی<sup>۱</sup> به‌ترتیب با گاوآهن برگرداندار و بدون شخم دیده شد. در مرحله قبل از خوشه‌دهی میانگین وزنی قطر<sup>۲</sup> خاکدانه با خاک‌ورزی با دیسک و بدون شخم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دارند و بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه به‌ترتیب با تیمارهای دیسک و نظام بدون شخم دیده شد. در مرحله برداشت اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در میانگین وزنی قطر خاکدانه بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود نداشت. در یک خاک با سطح ویژه عادی، یانگ و واندر (۱۹۹۸) به مطالعه اثرات سه روش خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار (۲۵-۲۰ سانتی‌متر)، دیسک (۷/۵-۱۰ سانتی‌متر) و نظام بدون خاک‌ورزی بر اندازه و پایداری خاکدانه پرداختند. تیمار بدون خاک‌ورزی، میانگین وزنی قطر خاکدانه بزرگ‌تری (با روش الک خشک) نسبت به تیمار با دیسک یا گاوآهن برگرداندار داشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه (با روش الک خشک) با تیمارهای بدون خاک‌ورزی، دیسک و گاوآهن برگرداندار به‌ترتیب ۸/۸، ۷/۱ و ۷/۲ میلی‌متر بود. لال و محبوبی (۱۹۹۴) گزارش کردند که بدون خاک‌ورزی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های مقاوم در برابر آب نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی بیش‌تر بود. با روش بدون خاک‌ورزی کاهش میانگین وزنی قطر نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی نیز مشاهده شده است. (آنگر، ۱۹۹۷). پرفکت و کای (۱۹۹۷) دریافتند که پایداری ساختمان خاک با افزایش مقدار رطوبت خاک در زمان نمونه‌برداری کاهش می‌یابد و نشان داد که تغییرات در مقدار رطوبت در طی فصل مهم‌ترین عامل در تعیین نوسانات فصلی پایداری خاکدانه می‌باشد. در روش‌های مختلف خاک‌ورزی میانگین هندسی قطر<sup>۳</sup> خاکدانه‌ها در هر دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت. در مرحله قبل از خوشه‌دهی بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به‌ترتیب مربوط به تیمارهای روتیواتور و دیسک بود و در مرحله برداشت بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار به‌ترتیب مربوط به روتیواتور و بدون شخم بود. وضعیت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه نیز مانند نسبت پراکندگی بر عدم تخریب خاکدانه‌ها با افزایش شدت خاک‌ورزی در خاک محل آزمایش با سطح ویژه بالا دلالت دارند.

1- Degree of Aggregation

2- Mean Weight Diameter

3- Geometric Mean Diameter

جدول ۲- مقایسه میانگین نسبت پراکندگی، وضعیت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین وزنی هندسی خاکدانه برای تیمارهای آزمایشی در مراحل قبل از خوشه‌دهی و برداشت.

تیمار	قبل از خوشه‌دهی						برداشت					
	G.M.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	DR	G.M.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	DR		
برگردان	۱/۰۰۰۱ <sup>a</sup>	۰/۸۰۳ <sup>a</sup>	۰/۷۱۹ <sup>a</sup>	۰/۱۴۷۴ <sup>a</sup>	۰/۴۶۸ <sup>ab</sup>	۰/۹۹۹۱ <sup>a</sup>	۰/۶۷۸ <sup>ab</sup>	۰/۹۹۸ <sup>a</sup>	۰/۱۸۹۵ <sup>a</sup>	۰/۳۴۷ <sup>b</sup>		
روتیواتور	۱/۰۰۱۳ <sup>a</sup>	۱/۲۹۳ <sup>ab</sup>	۰/۴۸۵ <sup>ab</sup>	۰/۱۴۵۷ <sup>a</sup>	۰/۳۸۳ <sup>b</sup>	۰/۹۹۹۸ <sup>a</sup>	۰/۸۰۶ <sup>bc</sup>	۰/۶۶۱ <sup>bc</sup>	۰/۱۴۸۹ <sup>a</sup>	۰/۴۳۳ <sup>ab</sup>		
دیسک	۱/۰۰۱۱ <sup>a</sup>	۱/۲۶۳ <sup>a</sup>	۰/۵۲۳ <sup>ab</sup>	۰/۱۳۳۵ <sup>a</sup>	۰/۳۴۴ <sup>b</sup>	۰/۹۹۷۵ <sup>a</sup>	۰/۹۲۹ <sup>a</sup>	۰/۹۶۹ <sup>ab</sup>	۰/۱۶۷۱ <sup>a</sup>	۰/۳۴۹ <sup>b</sup>		
چیزول	۱/۰۰۰۴ <sup>a</sup>	۰/۷۹۳ <sup>a</sup>	۰/۴۱۷ <sup>ab</sup>	۰/۱۵۷۱ <sup>a</sup>	۰/۵۶۹ <sup>a</sup>	۰/۹۹۹۷ <sup>a</sup>	۰/۶۱۴ <sup>ab</sup>	۰/۴۸۴ <sup>c</sup>	۰/۱۳۳۳ <sup>a</sup>	۰/۵۷۳ <sup>a</sup>		
بدون شخم	۰/۹۹۹۷ <sup>a</sup>	۰/۷۱۴ <sup>a</sup>	۰/۲۹۵ <sup>b</sup>	۰/۱۱۵۹ <sup>a</sup>	۰/۴۸۶ <sup>ab</sup>	۰/۹۹۹۳ <sup>a</sup>	۰/۴۹۸ <sup>b</sup>	۰/۶۶۳ <sup>c</sup>	۰/۱۶۰۳ <sup>a</sup>	۰/۵۷۵ <sup>a</sup>		

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد.  
 DR: نسبت پراکندگی (بدون بعد)، S.O.A: وضعیت دانه‌بندی (بدون بعد)، D.O.A: درجه دانه‌بندی (بدون بعد)، M.W.D: میانگین وزنی قطر خاکدانه (برحسب میلی‌متر)، G.M.D: میانگین هندسی قطر خاکدانه (برحسب میلی‌متر).



ضرایب همبستگی بین نسبت پراکندگی، وضعیت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه با عناصر غذایی خاک: از بین پارامترهای پایداری خاکدانه، فقط درجه و وضعیت دانه‌بندی با غلظت عناصر غذایی همبستگی دارند. همبستگی بالایی بین آمونیوم با وضعیت دانه‌بندی (۰/۷۲۱) و درجه دانه‌بندی (۰/۶۱۳) در مرحله قبل خوشه‌دهی دیده شد. احتمالاً با افزایش شدت خاک‌ورزی و وضعیت دانه‌بندی شدت اکسیداسیون مواد آلی و آمونیوم خاک افزایش می‌یابد. در مرحله برداشت همبستگی مثبت و بالایی بین درجه دانه‌بندی با آمونیوم وجود دارد (۰/۶۰۷). همبستگی اضافه بار پتاسیم با وضعیت دانه‌بندی (۰/۷۵-) و درجه دانه‌بندی (۰/۶۹-) و همچنین با پتاسیم عصاره‌گیری شده با تترافنیل بران سدیم (۰/۶۵۱-) و (۰/۶۸-) بالا و منفی می‌باشد (جدول ۳). همبستگی منفی به معنی محدودیت پتاسیم برای استفاده گیاه است. هر چند با بهبود وضعیت دانه‌بندی و افزایش درجه دانه‌بندی سرعت انتشار و پخشیدگی پتاسیم از سطح کلویدهای خاک به سمت ریشه و جذب ریشه‌ای بیش‌تر می‌شود ولی غلظت پتاسیم خاک به دلیل افزایش تراکم و رشد ریشه گندم (جدول ۴) کاهش می‌یابد. به دلیل این‌که سرعت رشد گیاه و جذب پتاسیم توسط ریشه در مرحله قبل از خوشه‌دهی نسبت به مرحله برداشت زیاد هست به این خاطر همبستگی‌ها در مراحل قبل از خوشه‌دهی و برداشت به ترتیب منفی و مثبت است (لازم به ذکر است که تأثیر محدودیت پتاسیم در مرحله قبل از خوشه‌دهی نسبت به مراحل دیگر رشد بر عملکرد نهایی بیش‌تر است و جذب بیش‌تر پتاسیم در این مرحله از رشد گیاه ممکن است باعث افزایش عملکرد گندم شود در صورتی که افزایش پتاسیم به خاک در مراحل بعدی بر عملکرد معمولاً مؤثر نیست). در زمان برداشت، همبستگی بین وضعیت دانه‌بندی با پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله تترافنیل بوران سدیم ۰/۷۳۹ و با اضافه بار پتاسیم ۰/۵۸۳ می‌باشد که به نظر می‌رسد در این مرحله وضعیت دانه‌بندی بر پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله تترافنیل بوران سدیم تأثیر بیش‌تری دارد (جدول ۳) که این نتایج موافق با نتایج به دست آمده توسط علالدین (۲۰۱۱) بود. به نظر می‌رسد وضعیت دانه‌بندی در هر دو مرحله مهم‌ترین عامل مؤثر بر انتشار و پخشیدگی پتاسیم به سمت ریشه گیاه باشد. وجود همبستگی بالا بین پتاسیم قابل عصاره‌گیری با تترافنیل بران سدیم و اضافه بار پتاسیم و درجه دانه‌بندی بیانگر وابستگی پدیده‌های جذب سطحی و واجذب آن به خصوصیات فیزیکی خاک و سرعت پخشیدگی پتاسیم بین محلول خاک و لایه دوگانه پخشیده الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه (با سطح ویژه بالا)

است. علاءالدین (۲۰۱۱) و شفيعی (۲۰۱۳)، با مطالعه تعداد زیادی از خاک‌های استان تهران و گلستان و روش آماری شبکه عصبی و این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند. مبانی شیمی- فیزیک<sup>۱</sup> این نتیجه‌گیری بتفصیل بیش‌تر در امینی و موحدی‌نائینی (۲۰۱۳) آمده است. سرعت واکنش‌های تبادلی برای کمپلکس‌های درون کره‌ای توسط واکنش‌های سطحی<sup>۲</sup> کنترل می‌شود ولی تبادل کمپلکس‌های برون‌کره‌ای و یون‌های موجود در لایه دوگانه پخشیده الکتریکی به سرعت پخشیدگی یون‌ها بین محلول خاک و لایه دوگانه پخشیده الکتریکی وابسته است<sup>۳</sup> (اسپوسیتو، ۲۰۰۸). اگر پخشیدگی کنترل‌کننده سرعت تبادلات کاتیونی باشد با لایه دوگانه پخشیده الکتریکی کاملاً گسترش یافته و خلل و فرج ریز کم که مانع جریان یون‌ها بین محلول خاک و لایه دوگانه نمی‌شوند، سرعت پخشیدگی بین لایه دوگانه و محلول مجاور<sup>۴</sup> تعیین‌کننده سرعت واکنش‌های تبادلی است ولی با خلل و فرج ریز زیاد و لایه دوگانه پخشیده الکتریکی منقطع سرعت واکنش‌های تبادلی با تاخیر در مسیر حرکت در این خلل و فرج ریز کنترل می‌شود<sup>۵</sup>.

در مرحله برداشت همبستگی بین کلسیم و منیزیم تبادلی با وضعیت دانه‌بندی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد به نظر می‌رسد وضعیت دانه‌بندی تأثیر بیشتری بر روی کلسیم نسبت به منیزیم داشت ولی در مرحله قبل از خوشه‌دهی اثر وضعیت دانه‌بندی فقط بر کلسیم در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. با بهبود وضعیت دانه‌بندی کلسیم تبادلی نیز مانند پتاسیم تبادلی افزایش می‌یابد. افزایش وضعیت دانه‌بندی با تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک قابلیت دسترسی به کلسیم تبادلی را نیز افزایش می‌دهد که با نتایج افزایش پتاسیم قابل استفاده گیاه با بهبود وضعیت دانه‌بندی مطابقت دارد. همبستگی بالایی بین وضعیت دانه‌بندی و درجه دانه‌بندی با پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول وجود نداشت این مطلب نشان می‌دهد که وضعیت و درجه دانه‌بندی تأثیر بیشتری بر کاتیون‌های تبادلی نسبت به کاتیون‌های محلول داشتند. به‌طور کلی، از بین عصاره‌گیرهای مختلف پتاسیم (تترافنیل بران سدیم، استات آمونیوم، اضافه بار پتاسیم و پتاسیم محلول)، وضعیت دانه‌بندی و درجه دانه‌بندی تأثیر بیشتری بر روی اضافه بار پتاسیم داشتند (جدول ۳).

- 1- Physical Chemistry
- 2- Reaction Controlled
- 3- Transport Controlled
- 4- Film Diffusion
- 5- Intra Particle Diffusion

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عناصر غذایی خاک با نسبت پراکندگی، وضعیت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه در مراحل قبل از خورشده‌دهی و برداشت گندم.

برداشت		قبل از خورشده‌دهی							
G.M.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	Dr	G.M.I.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	Dr
۰/۱۲۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۷۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۷ <sup>**</sup>	۰/۳۷۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۴ <sup>NS</sup>	۰/۲۵۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۵۴ <sup>*</sup>	۰/۱۳۰ <sup>**</sup>	۰/۲۲۱ <sup>**</sup>	۰/۳۰۹ <sup>NS</sup>
۰/۲۱۷ <sup>NS</sup>	۰/۲۵۸ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۵ <sup>NS</sup>	۰/۱۴۷ <sup>NS</sup>	۰/۳۴۷ <sup>NS</sup>	۰/۲۱۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۱۶ <sup>NS</sup>	۰/۱۱۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۷۸ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۳ <sup>NS</sup>
۰/۱۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۹ <sup>**</sup>	۰/۰۴۷ <sup>NS</sup>	۰/۱۹۱ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۷۸۰ <sup>**</sup>	۰/۱۵۱ <sup>**</sup>	۰/۱۸۳ <sup>NS</sup>
۰/۴۲ <sup>NS</sup>	۰/۴۴۸ <sup>*</sup>	۰/۱۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۱۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۸۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۸ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۹ <sup>NS</sup>	۰/۵۰۸ <sup>*</sup>	۰/۵۲۶ <sup>**</sup>	۰/۰۵ <sup>NS</sup>
۰/۵۹ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۵ <sup>NS</sup>	۰/۱۵۵ <sup>NS</sup>	۰/۵۸۳ <sup>**</sup>	۰/۳۷۷ <sup>NS</sup>	۰/۳۵۹ <sup>NS</sup>	۰/۵۰۳ <sup>*</sup>	۰/۷۹ <sup>**</sup>	۰/۷۵ <sup>**</sup>	۰/۱۴۹ <sup>NS</sup>
۰/۰۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۱۴۴ <sup>NS</sup>	۰/۱۱۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۵ <sup>*</sup>	۰/۲۵۵ <sup>NS</sup>	۰/۲۸۸ <sup>NS</sup>	۰/۴۴ <sup>NS</sup>	۰/۳۲۷ <sup>NS</sup>	۰/۴۴۳ <sup>*</sup>	۰/۳۲۸ <sup>NS</sup>
۰/۲۷۶ <sup>NS</sup>	۰/۳۸۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۸۸ <sup>NS</sup>	۰/۴۹ <sup>*</sup>	۰/۴۳۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۱۹ <sup>NS</sup>	۰/۲۰۵ <sup>NS</sup>	۰/۱۹۳ <sup>NS</sup>	۰/۲۱۷ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۸ <sup>NS</sup>
۰/۴۶ <sup>NS</sup>	۰/۴۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۹ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۶۶ <sup>NS</sup>	۰/۲۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۹ <sup>NS</sup>	۰/۱۹۸ <sup>NS</sup>
۰/۲۲۴ <sup>NS</sup>	۰/۴۹۷ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۴۸ <sup>NS</sup>	۰/۲۷۹ <sup>NS</sup>	۰/۳۰۴ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۴ <sup>NS</sup>
۰/۰۴۴ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۵ <sup>NS</sup>	۰/۲۲۹ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۳ <sup>NS</sup>	۰/۴۳ <sup>NS</sup>	۰/۱۱۳ <sup>NS</sup>	۰/۴۵ <sup>NS</sup>	۰/۵۳۶ <sup>*</sup>

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و NS غیرمعنی‌دار.  
 DR: نسبت پراکندگی، S.O.A: وضعیت دانه‌بندی، D.O.A: درجه دانه‌بندی، M.W.D: میانگین وزنی قطر خاکدانه، G.M.I.D: میانگین هندسی قطر خاکدانه.

اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی صفات زراعی: اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر وزن ریشه در جدول ۴ ارایه شده است. در هر دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن ریشه به‌ترتیب مربوط به خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی بود که در مرحله قبل از خوشه‌دهی اختلاف معنی‌داری بین خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و سایر روش‌های خاک‌ورزی دیده شد. در مرحله برداشت خاک‌ورزی با دیسک اختلاف معنی‌داری با سایر روش‌های خاک‌ورزی داشت. موسوی فضل و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایش خود دریافتند که خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگرداندار منجر به ایجاد بیش‌ترین تراکم و رشد ریشه در مرحله پنجه‌زنی گندم شد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه و کاه، تعداد خوشه در مترمربع و تراکم به‌ترتیب مربوط به خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی بود (جدول ۴). کوینکه و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایش خود مشخص کردند که عملکرد سورگوم در اثر استفاده از گاوآهن برگرداندار در مقایسه با نظام بدون خاک‌ورزی افزایش می‌یابد. عظیم‌زاده و همکاران (۲۰۰۲) نیز در آزمایش خود نشان دادند که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گندم دارند. با نظام بدون خاک‌ورزی در مقایسه با سایر روش‌های خاک‌ورزی با نامطلوب بودن درجه و وضعیت دانه‌بندی، انتشار و پخشیدگی عناصر غذایی از جمله پتاسیم از سطح کلویید خاک به‌سمت ریشه کاهش می‌یابد و نیز مقاومت مکانیکی بالاتر خاک از گسترش ریشه و رشد آن می‌کاهد (جدول ۴) و تلفیق این دو عامل موجب کاهش عملکرد گندم می‌شوند. با توجه به همبستگی بالای بین تعداد خوشه در مترمربع با عملکرد دانه (۰/۸۱۷) و تراکم گیاه با عملکرد کاه (۰/۸۵۵) با رفع کمبود مهم‌ترین عامل محدودکننده در مرحله قبل از خوشه‌دهی (پتاسیم) از طریق افزایش رشد ریشه و نیز بهبود وضعیت و درجه دانه‌بندی موجب افزایش تعداد خوشه در مترمربع، تراکم گیاه شده که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه و کاه شده است. این نتایج موافق با نتایج به‌دست آمده توسط (امینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ سبطی، ۲۰۰۷؛ طالبی‌زاده، ۲۰۰۹) بود. گسترش کم‌تر ریشه در نظام بدون خاک‌ورزی باعث می‌شود گیاه نتواند آب و عناصر غذایی موردنیاز خود را جذب کند. پالا و رایان (۱۹۹۸) بیان کردند که مصرف آب در نظام بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی‌های رایج کم‌تر

بود. ویلهلم و بوزرزور (۱۹۸۹) کاهش عملکرد در نظام بدون خاک‌ورزی را به کاهش رشد ریشه و محدودیت جذب آب نسبت داده است. اسپیل و کرکستون (۱۹۹۲) گزارش کردند که ریشه‌های موجود در منطقه فشرده خاک، ضخیم‌تر و کوتاه‌تر بودند که همین موضوع باعث کاهش عملکرد دانه و کاه گردید. رقابت علف‌های هرز مزرعه به‌خصوص علف‌های هرز برگ باریک با گیاه مورد زراعت برای کسب منابع محیطی نیز یکی دیگر از عوامل کاهش عملکرد در نظام بدون خاک‌ورزی می‌باشد.

ضرایب همبستگی بین نسبت پراکندگی، وضعیت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه با عملکرد و اجزا عملکرد: از بین پارامترهای پایداری خاکدانه، فقط درجه دانه‌بندی و وضعیت دانه‌بندی در مرحله قبل از خوشه‌دهی تأثیر بیشتری بر روی عملکرد دانه و کاه داشت. همبستگی بالایی بین عملکرد کاه با وضعیت دانه‌بندی (۰/۶۸۷) و درجه دانه‌بندی (۰/۷۱۹) در سطح ۱ درصد وجود دارد و همبستگی کم‌تری بین عملکرد دانه با وضعیت دانه‌بندی (۰/۴۵۷) و درجه دانه‌بندی (۰/۵۲۲) در سطح ۵ درصد وجود دارد. احتمالاً دو عامل وضعیت (یا درجه دانه‌بندی) و وزن ریشه تعیین‌کننده عملکرد نهایی دانه و کاه گندم هستند. ضرایب همبستگی تعداد خوشه و تراکم با درجه دانه‌بندی در مرحله قبل از خوشه‌دهی به ترتیب ۰/۴۷۹ و ۰/۵۱۳ بودند. در مرحله برداشت، همبستگی بالایی بین عملکرد دانه و کاه با وضعیت دانه‌بندی و درجه دانه‌بندی دیده نشد. میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه در هیچ‌یک از مراحل رشد بر روی عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر نداشتند (جدول ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)، کاه (کیلوگرم بر هکتار)، وزن هزارانه (گرم)، تعداد خوشه در مترمربع، مقاومت مکانیکی خاک (کیلوپاسکال)، وزن خشک ریشه (کیلوگرم بر هکتار) و تراکم (تعداد بوته در مترمربع).

تراکم	وزن ریشه (برداشت)	وزن ریشه (قبل خوشه‌دهی)	مقاومت مکانیکی خاک (قبل خوشه‌دهی)	مقاومت مکانیکی خاک (قبل خوشه‌دهی)	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در سنبه	وزن هزارانه	عملکرد کاه	عملکرد دانه خشک	تیمار
۲۳۳/۸ <sup>a</sup>	۳۱۵ <sup>a</sup>	۲۳۷/۶ <sup>a</sup>	۱۳۸۵/۵ <sup>c</sup>	۳۲/۸۹ <sup>ab</sup>	۳۵۱/۶ <sup>a</sup>	۳۲/۸۹ <sup>ab</sup>	۳۲/۲۱ <sup>a</sup>	۴۸۷۲/۷ <sup>a</sup>	۲۱۶۷/۲ <sup>ab</sup>	برگردان
۲۳۲/۶۱ <sup>a</sup>	۲۷۲۶/۳ <sup>ab</sup>	۱۸۷۷/۳ <sup>ab</sup>	۱۸۴۸/۹ <sup>b</sup>	۲۹/۷۸۸ <sup>ab</sup>	۳۴۰/۴۸ <sup>a</sup>	۲۹/۷۸۸ <sup>ab</sup>	۳۰/۹۴ <sup>ab</sup>	۴۶۴۶ <sup>a</sup>	۱۹۵۸/۴ <sup>ab</sup>	روتوتاتور
۱۹۰/۹۴ <sup>ab</sup>	۱۷۳۸/۳ <sup>ab</sup>	۱۱۱۳/۸ <sup>c</sup>	۲۰۴۱/۷ <sup>b</sup>	۲۳۲/۹۹ <sup>bc</sup>	۳۴۰/۰۸ <sup>a</sup>	۳۴/۰۰۸ <sup>a</sup>	۳۲/۶۶ <sup>a</sup>	۴۳۱۹/۷ <sup>ab</sup>	۱۶۵۳/۷ <sup>abc</sup>	دیسک
۱۵۸/۰۵ <sup>b</sup>	۱۰۳۸/۴ <sup>c</sup>	۴۸۸۸/۴ <sup>d</sup>	۲۲۹۲/۱ <sup>b</sup>	۱۹۷/۳۳ <sup>c</sup>	۲۷۸/۱۳ <sup>bc</sup>	۲۷/۸۱۳ <sup>bc</sup>	۳۷/۳۸ <sup>a</sup>	۳۵۲۴/۷ <sup>ab</sup>	۱۵۰۵/۴ <sup>c</sup>	چیزل
۱۵۲/۲۳ <sup>ab</sup>	۸۹۹/۳ <sup>c</sup>	۴۵۲/۴ <sup>d</sup>	۳۱۱۳/۱ <sup>a</sup>	۱۷۶/۹۹ <sup>c</sup>	۲۲/۶۹ <sup>c</sup>	۲۲/۶۹ <sup>c</sup>	۳۸/۳۳ <sup>ab</sup>	۳۰۷۲/۱ <sup>b</sup>	۱۳۰۵/۶ <sup>c</sup>	بدون خاک‌ورزی

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین پایداری خاکدانه (نسبت پراکندگی، وضیعت دانه‌بندی، درجه دانه‌بندی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و میانگین هندسی قطر خاکدانه) در دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت با وزن ریشه، عملکرد و اجزاء عملکرد.

برداشت		قبل از خوشه‌دهی							
G.M.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	Dr	G.M.D	M.W.D	D.O.A	S.O.A	Dr
-	-	-	-	-	-۰/۰۱۶ <sup>NS</sup>	۰/۱۲۱ <sup>NS</sup>	۰/۴۳ <sup>NS</sup>	۰/۲۶۹ <sup>NS</sup>	-۰/۴۷۵ <sup>*</sup>
۰/۲۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۲۱۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۵۳ <sup>NS</sup>	-۰/۱۰۵ <sup>NS</sup>	-۰/۲۵۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۷۳ <sup>NS</sup>	۰/۴۰۹ <sup>NS</sup>	۰/۲۸۳ <sup>NS</sup>	-۰/۳۳۹ <sup>NS</sup>
۰/۰۴۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۱۴۴ <sup>NS</sup>	-۰/۳۷۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۴۸ <sup>NS</sup>	-۰/۰۳۴ <sup>NS</sup>	-۰/۱۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۵۲۲ <sup>*</sup>	۰/۴۵۷ <sup>*</sup>	۰/۰۹۹ <sup>NS</sup>
-۰/۱۱۱ <sup>NS</sup>	-۰/۱۲۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۴۶ <sup>NS</sup>	-۰/۳۷۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۷ <sup>NS</sup>	-۰/۲۶۵ <sup>NS</sup>	-۰/۲۷۳ <sup>NS</sup>	۰/۷۱۹ <sup>**</sup>	۰/۶۸۷ <sup>**</sup>	۰/۱۲۳ <sup>NS</sup>
-۰/۰۰۰۷ <sup>NS</sup>	-۰/۰۰۹ <sup>NS</sup>	۰/۳۴۷ <sup>NS</sup>	-۰/۱۸۴ <sup>NS</sup>	-۰/۰۴۴ <sup>NS</sup>	-۰/۰۳۳ <sup>NS</sup>	-۰/۰۳۸ <sup>NS</sup>	۰/۴۷۹ <sup>*</sup>	۰/۳۶۱ <sup>NS</sup>	-۰/۲۲۱ <sup>NS</sup>
۰/۰۹۹ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۸ <sup>NS</sup>	۰/۳۶۱ <sup>NS</sup>	۰/۱۷۳ <sup>NS</sup>	-۰/۲۶۳ <sup>NS</sup>	-۰/۰۵۷ <sup>NS</sup>	۰/۲۵۴ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۹۹ <sup>NS</sup>	-۰/۲۷۸ <sup>NS</sup>
۰/۳۱۹ <sup>NS</sup>	۰/۲۷۹ <sup>NS</sup>	-۰/۰۹۴ <sup>NS</sup>	۰/۳۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۸۸ <sup>NS</sup>	۰/۳۸۳ <sup>NS</sup>	۰/۳۳۶ <sup>NS</sup>	-۰/۲۰۹ <sup>**</sup>	-۰/۲۱۶ <sup>**</sup>	-۰/۱۹۴ <sup>NS</sup>
-۰/۱۰۸ <sup>NS</sup>	-۰/۱۳ <sup>NS</sup>	۰/۲۲۹ <sup>NS</sup>	-۰/۲۹۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۳۳ <sup>NS</sup>	-۰/۰۲۲۹ <sup>NS</sup>	-۰/۰۸۹ <sup>NS</sup>	۰/۵۱۳ <sup>*</sup>	۰/۴۷ <sup>*</sup>	-۰/۱۰۷ <sup>NS</sup>

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>NS</sup> غیرمعنی‌دار.  
 DR: نسبت پراکندگی، S.O.A: وضیعت دانه‌بندی، D.O.A: درجه دانه‌بندی، M.W.D: میانگین وزنی قطر خاکدانه، G.M.D: میانگین هندسی قطر خاکدانه.

## نتیجه گیری

در خاک‌های با سطح ویژه بالا، پخشیدگی پتاسیم توسط میزان منافذ بین اجزا خاک کنترل می‌شود<sup>۱</sup> در صورتی که در خاک‌هایی با سطح ویژه معمولی سرعت تبادل پتاسیم بین فاز سطح ذرات خاک و محلول توسط سرعت حرکت یون‌ها در غشاء لایه دوگانه پخشیده<sup>۲</sup> کنترل می‌شود. در نتیجه با توجه به نتایج این پژوهش در یک خاک با سطح ویژه بالا، وضعیت و درجه دانه‌بندی بر جذب پتاسیم و عملکرد گندم مؤثر بودند. چون افزایش شدت خاک‌ورزی با استفاده از گاواهن برگرداندار باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک، افزایش رشد ریشه و عملکرد شد ولی موجب تحلیل وضعیت و درجه دانه‌بندی نشد می‌توان در این خاک‌ها بدون نگرانی از تخریب خاک، افزایش شدت خاک‌ورزی را برای حصول عملکرد بالا پیشنهاد نمود. یعنی با توجه به نتایج به دست آمده از نسبت پراکندگی، عملیات خاک‌ورزی پس از کشت نباید از نظر تخریب ساختمان نگران‌کننده باشد چون با سطح ویژه بالا و چسبندگی زیاد این خاک‌ها (مقاومت مکانیکی بالا)، تخریب خاک با افزایش شدت عملیات خاک‌ورزی کم‌تر نگران‌کننده است. با افزایش سطح ویژه نیروهای وانروالی بین اجزاء خاک افزایش و پیوندهای سیمانی بین اجزاء خاک قوی‌تر می‌شوند. بنابراین طراحی وسایل خاک‌ورزی که بتوانند با ایجاد شیار سطح خاک را پس از سبز شدن گندم زمانی که هنوز رشد ریشه گندم مانع کار این وسیله خاک‌ورزی بین ردیف‌های کشت گندم نیست به هم بزنند توصیه می‌شود. به‌طور کلی خاک‌ورزی با گاواهن برگرداندار با افزایش درجه دانه‌بندی، وضعیت دانه‌بندی و همچنین رشد ریشه موجب افزایش جذب پتاسیم توسط ریشه و عملکرد گندم نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی شد. با توجه به این که مقدار جذب پتاسیم توسط ریشه در ارتباط مستقیم با درجه دانه‌بندی و وضعیت دانه‌بندی هست بنابراین انجام مدیریت‌هایی که باعث افزایش درجه دانه‌بندی و وضعیت دانه‌بندی (مانند افزایش شدت خاک‌ورزی) می‌شود الزامی است. در خاک‌های با سطح ویژه بالا و احتمال تحلیل وضعیت و درجه دانه‌بندی و افزایش مقاومت مکانیکی خاک ممکن است روش‌های بدون خاک‌ورزی روش‌های موفق‌تری نباشند. با افزایش شدت خاک‌ورزی پتاسیم قابل عصاره‌گیری خاک در مرحله قبل از خوشه‌دهی کاهش و جذب پتاسیم و عملکرد افزایش یافت. بنابراین حدود کفایت عناصر خاک باید برای روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت‌های مختلف زراعی تعیین شوند.

- 1- Intra Particle Controlled
- 2- Film Diffusion Controlled



### سپاسگزاری

بدین وسیله از تمام کسانی که در این پژوهش کمک کرده‌اند و همچنین از زحمات مهندس محمد عجمی و مهندس محمدزمان علالدین کارشناسان آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان سپاسگزاری می‌نمایم.

### منابع

1. Alaeddin, M.Z. 2011. Physical and chemical parameters affecting plant available potassium in some soils of Golestan and Tehran Provinces. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
2. Aliehyaei, M. 1997. Soil Chemical Analysis Methods. Soil and Water Research Institute Tehran. Vol. 1, No. 893.
3. Amini, S., and Movahedi Naeini, S.A.R. 2013. Effects of Paper Mill Sludge Application on Physical Properties of an Illitic Loess Slowly Swelling Soil With High Specific Surface Area And Wheat Yield In a Temperate Climate. J. Agric. Sci. 1: 295-313.
4. Amini, S., Movahedi Naeini, S.A.R., and Mashayekhi, K. 2012. Effects of Paper-Mill Sludge as a Mulch versus Topsoil Incorporation on Potassium Uptake and the Grain Yield of Rain-Fed Wheat in a High Specific Surface Loess Soil with Illite Dominance in Clay Fraction. Applied and Environmental Soil Science. 10: 1-10.
5. Angers, D.A., and Peasant, A. 1992. Early cropping included changes in soil aggregation, organic carbon, and microbial biomass. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 115-119.
6. Azimzadeh, S., Kuchaki, A., and Pala, M. 2002. Study on the effect of plow different methods on bulk density, porosity, soil moisture and wheat yield. Iran. J. Crop Sci. 4: 218-233.
7. Bear, M.H., and Hendrix, P.F. 1994. Water stable aggregates and organic carbon fractions in conventional and no tillage soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 777-786.
8. Blevins, R.L., and Thomas, G.W. 1983. Changes in soil properties after 10 years of continuous non-tilled and conventional tilled corn. Soil Till. Res. 3: 135-146.
9. Bolt, G.H. 1978. Soil chemistry. Part B, Physico-Chemical Models. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsredam, 281p.
10. Carter, D.L., Mortland, M.M., and Kemper, W.D. 1986. Specific surface area, P 413-423. In: Klute, A (ed.), Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods, 2nd edition, Part 1. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

11. Carter, M.R., and Rennie, D.A. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming system: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potential. *Can. J. Soil Sci.* 62: 587-597.
12. Cassel, C.W., and Raczowski, D.K. 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1436-1443.
13. Chan, K.Y., Heenan, D.P., and So, H.B. 2003. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 43: 325-334.
14. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, P 781-790. In: Black, C.A (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
15. Cox, A.E., and Joern, B.C. 1996. Nonexchangeable Ammonium and Potassium Determination in soils with a Modified Sodium Tetraphenylboron Method. *WI. Soil. Sci. Soc. Am. J.* 60: 114-120.
16. Dwyer, L.M., and Stewart, B.L. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76: 23-28.
17. Elliott, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorous in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
18. Farooq, U., Sharif, M., and Erenstein, O. 2007. Adoption and impacts of zero tillage in the rice-wheat zone of irrigated Punjab, Pakistan. Research Report. CIMMYT India and RWC, New Delhi, India.
19. Grant, C.A., and Lafond, G.P. 1993. The effects of tillage and crop sequences on bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73: 223-232.
20. Hamblin, A.P. 1980. Changes in aggregate stability and associated organic carbon properties after direct drilling and plowing on some Australian soils. *Aust. J. Soil Sci.* 18: 27-36.
21. Hammel, J.E. 1995. Long-term tillage and crop rotation effects on winter production in northern Idaho. *Agron. J.* 87: 16-22.
22. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizer.* Prentice Hall, U.S.A.
23. Hemmat, A. 1996. Effects of seedbed preparation and planting methods on emergence of irrigated winter wheat. *Iran. J. Agric. Sci.* 27: 55-68.
24. Hemmat, A. 1998. Seedbed characteristic effect on wheat emergence in conventional and conservation tillage system. In: Bartali, E.H., and M. Daoudi (Eds.), *Proceedings of 13<sup>th</sup>.*
25. Hemmat, A., and Khashoei, A. 1997. Effects of direct-drilling, non inversion, and conventional tillage systems on yield of irrigated winter wheat. *Iran J. Agric. Sci.* 28: 19-34.
26. Ismail, I., and Blevins, R.L. 1994. Long term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 193-198.

27. Karlen, D.L., and Gooden, D.T. 1987. Tillage systems for wheat production in the southeastern Coastal Plains. *Agron. J.* 79: 582-587.
28. Kay, B.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12: 1-52.
29. Klute, A., and Campbell, G.S. 1986. *Method of Soil Analysis (part 1) Physical and mineralogical methods.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 1188p.
30. Lal, R., and Mahboubi, A. 1994. Long term tillage and rotation effects on properties of central Ohio soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 517-522.
31. McVay, K.A. 2006. *Soil Physical Conditions in Conservation Tillage Systems.* Kansas State Univ. Research and Extensions. In: [www.agecon.okstate.edu/isct/labranza/mcvay/soilphys.doc](http://www.agecon.okstate.edu/isct/labranza/mcvay/soilphys.doc).
32. Mirlohi, A.F., and Hajabbasi, M.A. 2000. Tillage effects of yield of six maize genotypes. *J. Agric. Wat. Rev. Sci. Tech.* 4: 78-87.
33. Mousavi Fazl, M., Barzegar, A., and Asudar, M. 2004. Effect of tillage methods on wheat root development and density, P 320-321. In: 9<sup>th</sup> Soil Science Congress of Iran. Soil Conservation and Watershed Research Institute.
34. Mullins, C.E., and McLeod, D.A. 1990. Hard setting soils: behavior, occurrence and management. *Adv. Soil Sci.* 11: 37-108.
35. Ossible, M., and Crookston, R.K. 1992. Sub surface compaction reduces the root and shoot growth and gain yield of wheat. *Agron. J.* 84: 34-38.
36. Page, A.L., and Miller, R.H. 1982. *Method of soil Analysis. Part 2, chemical and microbiological properties, Second Edition, No. 9.*
37. Pala, M., and Rayan, J. 1998. *Tillage systems and stubble management in a mediteranean-type environment N. R. M. P, ICARDA.*
38. Perfect, E., and Kay, B.D. 1990. Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 173-179.
39. Pierret, A., and Doussan, C. 2007. Root functional architecture: a framework for modeling the interplay between roots and soil. *Vadose Zone. J.* 6: 269-281.
40. Qin, R., Stamp, P., and Richner, W. 2004. Impact of tillage on root systems of winter wheat. *Agron. J.* 96: 1523-1530.
41. Quincke, J.A., Wortmann, C.S., Mamo, M., Franti, T., Drijber, R.A., and Garcia, J.P. 2007. Effect of one-time tillage of no-till systems on soil physical properties phosphorus runoff and crop yield. *Agron. J.* 99: 1104-1110.
42. Rao, C.S., and Takker, P.N. 1997. Evaluation of different extractants for measuring the soil potassium and determination of critical levels for plant available K in semectitic soils for sorghum. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 45: 113-119.
43. Schillinger, W.F. 2005. Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. *Crop Science.* 45: 2636-2643.
44. Sebti, M. 2007. *Soil microbial and Azotobacter population with vermicompost application and the wheat growth and yield. M.Sc. Thesis. Gorgan University Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. (In Persian)*

45. Sebti, M., Movahedi Naeini, S.A., Ghorbani Nasrabadi, R., Roshani, Gh., Shahriari, Gh., and Movahedi, M. 2009. A suitable soil plant available potassium extractant for a loess soil with illite dominance in clay fraction and the effects of Azotobacter and vermicompost on wheat yield, potassium uptake and tissue concentration. *J. Plant Prod.* 4: 59-76.
46. Shafiei, S.A. 2013. Soil physical parameters rendering ammonium acetate unsuitable for available potassium extraction and those controlling potassium availability. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. (In Persian)
47. Shipitalo, M.J., and Dick, W.A. 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil Till. Res.* 53: 167-183.
48. Sposito, G. 2008. *The chemistry of soils*; second edition. USA: Oxford University Press, 329p.
49. Talebizadeh, E. 2009. The effect of calcium, ammonium and potassium based phosphorous fertilizers on potassium uptake by rain-fed winter wheat in a potassium fixing loess soil with a dominance of weathered mica in clay fraction. M.Sc. thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. (In Persian)
50. Tarkalson, D.D., Hergert, G.W., and Cassman, K.G. 2006. Long-term effects of tillage on soil chemical properties and grain yields of a dryland winter wheat sorghum/corn-fallow rotation in the great plains. *Agron. J.* 98: 26-33.
51. Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Organic carbon and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-161.
52. Unger, P.W. 1997. Measurement of induced aggregate and organic carbon content in the surface layer of a Torricic Paleosol. *Soil Till. Res.* 42: 185-205.
53. Vafakha, M. 2010. The effect of calcium bearing amendments on root zone potassium release and wheat uptake in a dom. M.Sc. Thesis. Gorgan University Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
54. Van Bavel, C.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 14: 20-23.
55. Wilhelm, W., and Bouzerzour, W.H. 1989. Soil disturbance residue management effect on winter wheat growth and yield. *Agron. J.* 81: 581-588.
56. Yang, X., and Wander, M. 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability: tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. *Soil Till. Res.* 49: 173-183.



## **Effect of aggregate stability indices on wheat yield in a soil with high specific surface under different tillage methods**

**\*M. Hosseini<sup>1</sup>, Gh.A. Roshani<sup>2</sup> and S.A.R. Movahedi Naeini<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Gorgan Soil Research Institute, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07/19/2013; Accepted: 07/27/2014

### **Abstract**

Effects of different tillage systems on dispersion ratio, status of aggregation, degree of aggregation, mean weight diameter, geometric diameter, the rain-fed wheat yield and the yield components were investigated by a field trial using a completely randomized block design with five treatments in four replicates during 2009-2010 growing season at Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources Research Farm located at seyedMiran, Gorgan. Tillage treatments used were moldboard plough (20-25 cm) with disc, roto-tiller (12-17 cm), double disc (8-10 cm), Chisel plough (25-30 cm) and No-tillage. Results showed that the maximum and minimum dispersion ratios occurred with chisel and moldboard plough respectively which indicate various tillage methods hardly influence aggregate stability in soils with high specific surface. With no concerns for loss in aggregate stability, tillage intensities may be intensified for greater yield goals. Maximum status and degree of aggregation occurred with moldboard ploughing with the consequent increases of potassium root uptake and the yield of wheat at both before heading and harvest stages.

**Keywords:** Tillage, Dispersion ratio, Status of aggregation, Degree of aggregation, Potassium uptake, Wheat yield

---

\* Corresponding Authors; Email: mehdi.h.2009@gmail.com

