

اثر تخلخل، رطوبت حجمی و دمای خاک بر جذب رطوبت و عملکرد ماده خشک گیاه در روش‌های مختلف خاک‌ورزی

مهدی حسینی^{۱*}، سید علیرضا موحدی نائینی^۱ و مجتبی زراعت پیشه^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۰۸)

چکیده

به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر تخلخل، رطوبت خاک، دمای روزانه و شبانه خاک، جذب رطوبت توسط گیاه و عملکرد ماده خشک گیاه، پژوهشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار، طی سال زراعی ۸۹-۸۸ در اراضی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در سید میران اجرا گردید. ۵ روش مختلف خاک‌ورزی شامل شخم با گاو آهن بر گرداندار سوار به عمق (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) به همراه یک شخم با دیسک، رویتواتور (۱۷-۱۲ سانتی‌متر)، دیسک (۱۰-۸ سانتی‌متر)، چپزل (۳۰-۲۵ سانتی‌متر) و نظام بدون خاک‌ورزی بودند. نتایج نشان داد که در تمام مراحل رشد گندم در عمق ۸-۰ سانتی‌متر بیشترین و کمترین تخلخل خاک مربوط به تیمارهای گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی بود و در عمق ۱۶-۸ سانتی‌متر به جز مراحل قبل از پنجه‌زنی و برداشت، بیشترین مقدار تخلخل خاک مربوط به تیمار گاوآهن برگرداندار می‌باشد. افزایش شدت خاک‌ورزی منجر به افزایش خلل و فرجی شده که آب را در پتانسیل‌های بیش از ۵- بار و کمتر از ۱۵- بار نگهداری می‌کنند. در مرحله قبل از خوشه‌دهی، بیشترین و کمترین دما مربوط به نظام بدون خاک‌ورزی و گاوآهن برگرداندار بود. افزایش شدت خاک‌ورزی موجب افزایش مقدار تخلخل خاک و در نتیجه باعث رشد و توسعه بیشتر ریشه گندم شده و همچنین مقدار رطوبت موجود در خاک کاهش یافت که موجب افزایش جذب آب توسط گیاه و عملکرد ماده خشک شد.

کلمات کلیدی: تخلخل، رطوبت حجمی خاک، جذب رطوبت توسط گیاه، عملکرد ماده خشک گیاه، خاک‌ورزی

۱. گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehdi.h.2009@gmail.com

مقدمه

بدون خاک‌ورزی بیشتر بود. داو و نگوئن (۱۱)، بلیدو و فونتس (۶) گزارش کردند که عملکرد دانه در نظام بدون خاک‌ورزی در سال‌های خشک از خاک‌ورزی با گاو آهن برگردان دار بیشتر بود چون باعث ذخیره رطوبت بیشتری شد. اهلرس (۱۳) نفوذ بیشتر آب در نظام بدون خاک‌ورزی را به منافذ ایجاد شده توسط کرم‌های خاکی نسبت داده است خاک‌ورزی حفاظتی هم چنین آب خاک را از طریق بهبود خصوصیات هیدرولوژی آن افزایش می‌دهد.

مقدار نفوذ آب در خاک و هم‌چنین خلل و فرج درشت خاک در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی متداول کمتر است. کمبود نفوذ می‌تواند باعث کاهش رشد ریشه گندم یا حتی باعث بیماری در ریشه شود.

نظام بدون خاک‌ورزی باعث کاهش هدر رفت خاک به دلیل پایداری بهتر خاکدانه می‌شود (۳۱). از اثرات نظام بدون خاک‌ورزی باعث افزایش مقدار رطوبت قابل دسترسی می‌شود که در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مهم است (۳۳). مجاری‌ها و فضای حفرات حاصل از رشد ریشه و فعالیت جانوران خاک عهده‌دار مقدار بالای خلل و فرج درشت در تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی دستی (شامل استفاده از بیل سنتی دستی) هستند. ضمناً خاک‌ورزی با دیسک منتهی به شکل‌های موقت حفرات درشت می‌شود که به سرعت تحت تأثیر بارش و هرز آب‌های سطحی متلاشی می‌شوند. توزیع حفرات متوسط به مقدار قابل توجهی در تیمار خاک‌ورزی با دیسک بالاتر بود. تفاوت معنی‌داری در توزیع حفرات متوسط تحت بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی دستی وجود ندارد (۲۶). 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 هدر رفت خاک (ناشی از پایداری بالای خاکدانه) و آثار مثبت باقی ماندن بقایای گیاهی روی زمین است در حالی‌که فشردگی خاک نفوذ را کاهش می‌دهد و باعث کاهش رشد ریشه و بقای گیاه می‌شود.

عملیات خاک‌ورزی بخش غیرقابل تفکیک در چرخه تولید محصولات زراعی می‌باشد. اثر خاک‌ورزی بر تولید محصول مربوط به آثار آن روی رشد ریشه و استفاده کافی از آب و عناصر غذایی می‌باشد (۱۹). خاک‌ورزی به‌طور کلی یکی از کارهای اساسی زراعی در کشاورزی به‌منظور تأثیر بر خواص خاک، محیط و تولید محصول به حساب می‌آید (۷) در واقع عملیات خاک‌ورزی مناسب، موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاکدانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (۱). تحقیقات نشان داد که تأثیر ادوات خاک‌ورزی بر خواص فیزیکی خاک معنی‌دار است (۷). توزیع اندازه خلل و فرج از خصوصیات فیزیکی مهم خاک در ارتباط با تولید محصول می‌باشند و تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی قرار می‌گیرند (۱۴).

برزگر و آسودر (۴) اعلام کردند که ادوات خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر تراکم خاک دارد که نتیجه‌ی آن اختلاف معنی‌دار در مقدار عملکرد ماده خشک محصول می‌باشد. خاک‌ورزی‌های متداول هم‌چنین بر دمای خاک، پیوستگی حفرات درشت (۳۲)، رطوبت قابل دسترس و عمق توزیع ریشه (۱۲) اثر می‌گذارد. چاسوت و استمپ (۹) بیان کرد که خاک سطحی بدون خاک‌ورزی معمولاً سردتر و مرطوب‌تر با وزن مخصوص ظاهری بالاتر نسبت به خاک‌ورزی‌های رایج است که این رشد ریشه را تغییر می‌دهد و هم‌چنین بر روی جذب عناصر غذایی مؤثر است. ویتا و پاولو (۳۶) اثر دو نوع نظام خاک‌ورزی شخم با گاو آهن برگردان دار به عمق ۳۰ سانتی‌متر و نظام بدون خاک‌ورزی را بر رطوبت خاک و عملکرد گندم در طی ۲ سال در جنوب ایتالیا بررسی کردند و نتایج نشان داد که مقدار رطوبت خاک در دوره رشد گندم در هر دو فصل رشد در نظام بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی متداول بیشتر بود. بالاتر بودن مقدار رطوبت در نظام بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی متداول بیان‌کننده کاهش تبخیر است. مقدار عملکرد در هر دو سال در خاک‌ورزی متداول نسبت به نظام

(۲۷) و ازت کل خاک (۳۰) قبل از کود دهی و کشت اندازه گیری شد.

گندم با رقم ۱۹-۸۰-N در کرت های آزمایشی کشت گردید. فاصله ردیف های کشت ۲۰ سانتی متر و فاصله بین بذرها در ردیف ۱/۵ سانتی متر و مقدار بذر مصرفی معادل ۲۶۸/۵ کیلوگرم در هکتار بود (کاشت گندم با دست انجام شد). کود پایه مصرفی در مورد تیمارها ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار دی آمونیوم فسفات و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به صورت پخش سطحی قبل از کشت به خاک اضافه شد و سپس به وسیله روتواتور، دیسک، چیزل و برای تیمار گاو آهن برگردان دار و نظام بدون خاک ورزی به ترتیب با استفاده از دیسک و گاو آهن پنجه غازی با خاک مخلوط گردید و هم چنین 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 بلوک ها و کرت ها برای ایجاد بافر کشت صورت گرفت. بذور قبل از کشت به قارچ کش کربوکسی تیرام آغشته شد. کشت به صورت دیم بود.

در طی ۶ مرحله از رشد گیاه قبل از پنجه زنی، پنجه زنی، قبل از خوشه دهی، خوشه دهی، خمیری شدن دانه و برداشت گندم نمونه برداری گیاه به صورت برش سطحی از سطح خاک صورت گرفت که ۱۰ نمونه از هر کرت به صورت تصادفی برداشته و عملکرد ماده خشک و تر اندازه گیری شد. پس از تعیین وزن تر نمونه های گیاه بر حسب گرم، با قرار دادن آنها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد تا زمانی که وزن گیاه در آون با گذشت زمان متوقف شد، وزن خشک و مقدار رطوبت موجود در آنها تعیین شد. در طول دوره رشد در دو عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر برای رطوبت حجمی در ۶ مرحله قبل از پنجه زنی، پنجه زنی، قبل از خوشه دهی، خوشه دهی، خمیری شدن دانه، برداشت گندم نمونه های دست نخورده اخذ و هم چنین در طی ۶ مرحله فوق دمای شبانه (هنگام طلوع آفتاب) و دمای روزانه (یک ساعت پس از ظهر) با دماسنج ترموکوپل در عمق ۸ سانتی متر اندازه گیری شد. قرائت دمای

نظام های خاک ورزی بر روی خصوصیات خاک مانند وزن مخصوص ظاهری، رطوبت، خاکدانه و دما اثر دارد که می تواند رشد ریشه را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر ریشه ها، هم چنین ساختمان خاک و خواص شیمیایی اطراف آنها را تغییر می دهد و با رشد و گسترش آن، ذرات خاک را جابه جا می کنند و با جذب آب و عناصر غذایی مقدار آنها را در خاک تغییر می دهند (۲۹). کورنیش و لیمبری (۱۰) گزارش کردند که واکنش گیاهان در نظام بدون خاک ورزی مشابه واکنش گیاهان گلدانی می باشد و گیاهانی که در محفظه کوچک رشد می کنند حتی اگر آب و عناصر غذایی به اندازه کافی در اختیارشان باشد در مقایسه با گیاهانی که در محفظه های بزرگ رشد می کنند کوچک تر هستند. هدف از این پژوهش بررسی اثر تخلخل، رطوبت و دمای خاک روی جذب رطوبت توسط گیاه و عملکرد ماده خشک گیاه در یک خاک با سطح ویژه بالا بود.

مواد و روش ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۴ تکرار، طی سال زراعی ۸۹-۸۸ در اراضی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در سید میران اجرا گردید. در تاریخ ۸۸/۹/۲۹ گندم رقم ۱۹-۸۰-N در کرت های آزمایشی کشت گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و وضعیت پارامترهای جوی در جداول ۱ و ۲ آمده است. پنج روش مختلف خاک ورزی شامل شخم با گاو آهن برگردان دار سوار به عمق (۲۵-۲۰ سانتی متر) به همراه یک شخم با دیسک، روتواتور (۱۷-۱۲ سانتی متر)، دیسک (۱۰-۸ سانتی متر)، چیزل (۳۰-۲۵ سانتی متر) و نظام بدون خاک ورزی در نظر گرفته شدند. طول هر کرت آزمایش ۵ متر و عرض آنها ۵ متر در نظر گرفته شد. هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، واکنش گل اشباع (۲۷)؛ کربن آلی به روش والکلی-بلاک (۲۷)؛ درصد شن، رس و سیلت به روش هیدرومتری (۲۷) و پتاسیم قابل تبادل به روش استات آمونیوم یک مولار خنثی انجام شد و با دستگاه فلیم فوتومتر قرائت شد (۲۷)، فسفر قابل جذب به روش اولسن

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

سیلت	شن	رس	ماده آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	pH	EC (dS/m)
۴۷/۶	۱۸/۴۷	۳۳/۹۳	۰/۶۷	۰/۱۱	۷/۳۳	۲۶۰	۷/۳۳	۰/۶

سیلت، شن، رس، ماده آلی و نیتروژن برحسب درصد هستند؛ فسفر و پتاسیم برحسب میلی گرم بر کیلوگرم خاک هستند.

جدول ۲. وضعیت پارامترهای جوی گرگان از آذر تا خرداد (زمان برداشت گندم) در سال زراعی ۸۸-۸۹

سال	ماه‌های سال	بارندگی (میلی‌متر)			میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)
		میزان بارندگی	تعداد روزهای بارندگی	حداکثر بارش ۲۴ ساعته	
۱۳۸۸	آذر	۷۳	۹	۳۷	۱۰/۸
۱۳۸۸	دی	۲۲	۹	۱۰	۱۱/۱
۱۳۸۸	بهمن	۸۰	۱۲	۲۱/۷	۱۰
۱۳۸۸	اسفند	۸۱	۱۳	۲۸/۶	۱۱/۵
۱۳۸۹	فروردین	۱۸/۸	۹	۶/۱	۱۳/۷
۱۳۸۹	اردیبهشت	۴۱/۱	۱۳	۱۵/۴	۱۹/۱
۱۳۸۹	خرداد	۰	۰	۰	۲۷/۵

خاک و نمونه برداری رطوبت خاک در یک روز انجام شد. تخلخل خاک نیز در طی ۶ مرحله فوق با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. وزن مخصوص حقیقی در هر دو عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر ۲/۵۹ گرم بر سانتی متر مکعب بوده است. وزن مخصوص حقیقی به روش پیکرومتر اندازه‌گیری شد (۲۷). وزن مخصوص ظاهری خاک در طول دوره رشد محصول در ۶ مرحله قبل از پنجه‌زنی، پنجه‌زنی، قبل از خوشه‌دهی، خوشه‌دهی، هنگام خمیری شدن دانه، زمان برداشت گندم و در دو عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر با استفاده از استوانه فلزی و نمونه‌های دست نخورده خاک گرفته شد. در دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت گندم از دو عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر برای تمام تکرارها مقدار رطوبت در دو فشار ۵ و ۱۵ بار و در فشارهای پایین (۰، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۳، ۱ بار) تکرار در تیمارهای خاک‌ورزی (گاواهن برگرداندار، روتیواتور، دیسک، چیزل و بدون خاک‌ورزی) در مرحله قبل از خوشه‌دهی با استفاده از رینگ‌های دستگاه تمپی سل نمونه دست نخورده از عمق ۸-۰ سانتی‌متری برداشت شد. در دو مرحله قبل از خوشه‌دهی و برداشت گندم ۱۰ بوته گندم به‌طور تصادفی

برای تعیین وزن خشک ریشه نمونه برداری شد و در آزمایشگاه پس از قطع ریشه از سایر قسمت‌های گیاه و شستشو، ریشه‌ها جمع‌آوری و در داخل ظروفی در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس توزین گردید. تعیین تراکم نیز در مرحله برداشت انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها و همبستگی‌ها براساس نرم‌افزار SAS انجام گردیده است.

$$[1] \quad (\text{وزن مخصوص حقیقی} / \text{وزن مخصوص ظاهری}) - 1 = \text{تخلخل}$$

نتایج و بحث

اثر کاربرد روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر تخلخل خاک در دو عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی‌متر در جدول ۳ آمده است. همان‌گونه که در این جدول نشان داده شده است در عمق ۸-۰ سانتی‌متر در مرحله قبل از خوشه‌دهی بیشترین تخلخل خاک مربوط به گاواهن برگرداندار است و کمترین مربوط به نظام بدون خاک‌ورزی می‌باشد و اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین خاک‌ورزی با گاواهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی وجود داشت. مقدار تخلخل خاک در تیمارهای روتیواتور،

جدول ۳. مقایسه میانگین تخلخل خاک در اعماق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر سطح خاک برای تیمارهای آزمایشی

تیمار	قبل از پنجه‌زنی	پنجه‌زنی	قبل از خوشه‌دهی	خوشه‌دهی	خمیری شدن	برداشت
عمق ۰-۸ سانتی متر						
برگردان	۰/۵۴۸ ^b	۰/۵۰۶ ^b	۰/۵۲۱ ^c	۰/۴۹۸ ^b	۰/۴۸۹ ^b	۰/۴۶۷ ^c
روتیواتور	۰/۵۴۴ ^b	۰/۴۹۹ ^b	۰/۴۸۸ ^{bc}	۰/۴۹۴ ^b	۰/۴۷۷ ^b	۰/۴۵ ^{bc}
دیسک	۰/۴۷۱ ^b	۰/۴۷۵ ^b	۰/۴۸۳ ^{bc}	۰/۴۹ ^b	۰/۴۷۵ ^b	۰/۴۲۴ ^{ab}
چیزل	۰/۴۹ ^b	۰/۴۴۸ ^{ab}	۰/۴۷۳ ^b	۰/۴۶۷ ^b	۰/۴۷۷ ^b	۰/۴۴۴ ^{abc}
بدون خاک‌ورزی	۰/۳۸۳ ^a	۰/۳۸۹ ^a	۰/۴۰۹ ^a	۰/۴۲۵ ^a	۰/۴۲۴ ^a	۰/۴۱۷ ^a
عمق ۱۶-۸ سانتی متر						
برگردان	۰/۴۲۲ ^a	۰/۴۲ ^b	۰/۴۳۷ ^b	۰/۴۳۱ ^c	۰/۴۱۷ ^b	۰/۳۸۶ ^a
روتیواتور	۰/۴۳۱ ^a	۰/۴۰۴ ^{ab}	۰/۳۹۷ ^a	۰/۴۰۹ ^{bc}	۰/۳۸۸ ^{ab}	۰/۳۹۴ ^a
دیسک	۰/۴۰۴ ^a	۰/۳۸۸ ^a	۰/۳۷۹ ^a	۰/۳۶۷ ^a	۰/۳۷۸ ^a	۰/۳۷۴ ^a
چیزل	۰/۴۰۶ ^a	۰/۳۹۷ ^{ab}	۰/۴۰۱ ^a	۰/۳۸۵ ^{ab}	۰/۴۰۲ ^{ab}	۰/۳۷۵ ^a
بدون خاک‌ورزی	۰/۳۹۹ ^a	۰/۳۸۹ ^a	۰/۳۶۹ ^a	۰/۳۷۱ ^a	۰/۳۷۹ ^a	۰/۳۷۳ ^a

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

اصلی در حرکت آب ایفا می‌کنند و هم‌چنین به‌عنوان مجرا برای رشد ریشه و حرکت مواد جامد قابل حل هستند (۳). در عمق ۸-۱۶ سانتی‌متر، در مرحله قبل از خوشه‌دهی بیشترین و کمترین تخلخل خاک مربوط به تیمارهای گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی می‌باشد که اختلاف معنی‌داری بین خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار با سایر روش‌های خاک‌ورزی وجود داشت و مقدار تخلخل خاک در تیمارهای روتیواتور، دیسک و چیزل به‌ترتیب ۰/۳۹۷، ۰/۳۷۹ و ۰/۴۰۱ بود. در مرحله برداشت اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود نداشت بیشترین و کمترین تخلخل خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای روتیواتور و نظام بدون خاک‌ورزی می‌باشد. در مراحل پنجه‌زنی، خوشه‌دهی و خمیری شدن بیشترین و کمترین تخلخل خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای گاوآهن برگرداندار و دیسک می‌باشد. خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار باعث به‌هم‌زدن کامل خاک تا عمق ۲۵ سانتی‌متر شده و خلل و فرج خاک را تا این عمق افزایش می‌دهد. خاک‌ورزی با روتیواتور باعث پودر شدن خاک سطحی شده که باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود و خاک‌ورزی با دیسک فقط لایه‌های سطحی خاک را به‌هم زده ولی خاک را به‌مقدار زیاد زیر و رو نمی‌کند. گاوآهن چیزل خاک را به هم نمی‌زند

دیسک و چیزل به‌ترتیب ۰/۴۸۸، ۰/۴۸۳ و ۰/۴۷۳ می‌باشد. در مرحله برداشت نیز اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی وجود داشت که بیشترین و کمترین تخلخل خاک مربوط به تیمارهای گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی بود و مقدار تخلخل در تیمارهای روتیواتور، دیسک و چیزل به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۴۲۴ و ۰/۴۴۴ است. در سایر مراحل نیز بیشترین و کمترین تخلخل خاک مربوط به تیمارهای گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی بود که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و نظام بدون خاک‌ورزی وجود داشت این نتایج موافق با نتایج به‌دست آمده توسط عظیم زاده و کوچکی (۲) بود. در واقع با افزایش شدت خاک‌ورزی مقدار خلل و فرج خاک افزایش یافت. اوسانیتان و اویدل (۲۶) بیان کردند که مقدار خلل و فرج کل در خاک‌ورزی با دیسک نسبت به نظام بدون خاک‌ورزی بیشتر است. با کاهش خاک‌ورزی، فضای کل خلل فرج کمتر، مقدار خلل و فرج ریز زیاد و خلل و فرج پر از هوا کمتر می‌شوند (۳۵). افزایش کل خلل و فرج در تیمارهای مربوط به خاک‌ورزی متداول معمولاً موقت است زیرا بارش موجب اثرات ماندگار بر خاک و منتهی به فشردگی می‌شود. حفرات درشت یک نقش

جدول ۴. مقایسه میانگین رطوبت حجمی خاک در عمق ۸-۰ و ۱۶-۸ سانتی متر سطح خاک برای تیمارهای آزمایشی

تیمار	قبل از پنجه زنی	پنجه زنی	قبل از خوشه دهی	خوشه دهی	خمیری شدن	برداشت
عمق ۸-۰ سانتی متر						
برگردان	۰/۲۶۲ ^a	۰/۵۱۷ ^a	۰/۲۴۵ ^b	۰/۲۱۹ ^a	۰/۰۸۲ ^{ab}	۰/۱۱۴ ^{ab}
روتیواتور	۰/۲۷۹ ^a	۰/۴۶۶ ^a	۰/۳۲۶ ^{ab}	۰/۲۳۵ ^a	۰/۱۰۱ ^{ab}	۰/۱۰۸ ^{ab}
دیسک	۰/۳۰۴ ^a	۰/۴۱۸ ^a	۰/۲۶۹ ^b	۰/۲۲۸ ^a	۰/۱۱۷ ^a	۰/۱۲۲ ^a
چیزل	۰/۲۹۱ ^a	۰/۴۸۱ ^a	۰/۳۶۸ ^{ab}	۰/۲۳۲ ^a	۰/۰۷ ^b	۰/۰۷۹۹ ^b
بدون خاک ورزی	۰/۳۱۳ ^a	۰/۴۱۳ ^a	۰/۴۷۳ ^a	۰/۲۵۲ ^a	۰/۰۸ ^{ab}	۰/۱۰۵ ^{ab}
عمق ۱۶-۸ سانتی متر						
برگردان	۰/۳۴۵ ^a	۰/۵۲۶ ^a	۰/۳۸۴ ^a	۰/۲۶۴ ^a	۰/۱۵۴ ^{ab}	۰/۱۸۱ ^a
روتیواتور	۰/۳۵۸ ^a	۰/۴۷۱ ^a	۰/۴۴۱ ^a	۰/۲۶۶ ^a	۰/۱۶۱ ^{ab}	۰/۱۶۸ ^{ab}
دیسک	۰/۳۳۳ ^a	۰/۴۵۴ ^a	۰/۴۶ ^a	۰/۲۹ ^a	۰/۱۷۵ ^a	۰/۱۸۲ ^a
چیزل	۰/۳۴۸ ^a	۰/۴۹ ^a	۰/۳۷۷ ^a	۰/۲۶۲ ^a	۰/۱۲۹ ^b	۰/۱۵۲ ^{ab}
بدون خاک ورزی	۰/۳۲۳ ^a	۰/۴۸۳ ^a	۰/۵ ^a	۰/۲۷۵ ^a	۰/۱۴۴ ^{ab}	۰/۱۲۷ ^b

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد است.

کمتری رطوبت را نسبت به دیگر تیمارها از خاک جذب کرد و مقدار رطوبت خاک در نظام بدون خاک ورزی افزایش یافت. بومهارت و جونز (۵) نیز اظهار داشتند که سیستم بدون خاک ورزی رطوبت خاک را در مقایسه با شخم مرسوم بهبود می بخشد. کارلن و ولنهایت (۱۸) بیان کردند مقدار رطوبت حجمی در بدون خاک ورزی، خاک ورزی با چیزل و برگردان به ترتیب ۰/۳۲۴، ۰/۲۲۵ و ۰/۲۳۱ بود. نورود (۲۴) گزارش کرد که کاهش خاک ورزی باعث ذخیره بیشتر رطوبت در خاک شده است و این مطلب به دلیل کاهش تبخیر از سطح خاک بود. وزن ریشه در هر دو مرحله قبل از خوشه دهی و برداشت در تیمار گاوآهن برگرداندار بیشتر از سایر روش های خاک ورزی بود و در مرحله قبل از خوشه دهی اختلاف معنی داری از نظر آماری با سایر روش های خاک ورزی داشت ولی در مرحله برداشت اختلاف معنی داری از نظر آماری با روتیواتور نداشت (جدول ۵). هم چنین هر چه خاک کمتر به هم بخورد تلفات رطوبت آن کمتر است که دلیل آن کاهش تهویه و تبخیر از سطح خاک می باشد مخصوصاً در رابطه با گاوآهن برگرداندار که در اثر شخم سطح تماس خاک با هوا بیشتر می شود و در نتیجه تبخیر از سطح خاک افزایش می یابد کمپیل و اختر (۸) نیز کاهش

بلکه در خاک شکاف ایجاد می کند در تیمار بدون خاک ورزی خاک اصلاً بهم نمی خورد به همین دلیل تخلخل خاک آن در مقایسه با خاک ورزی با گاوآهن برگردان دار کمتر بود.

همان گونه که جدول ۴ ملاحظه می شود در عمق صفر تا ۸ سانتی متر، بیشترین مقدار رطوبت در تمامی تیمارها به جز بدون خاک ورزی در مرحله پنجه زنی می باشد زیرا مقدار بارندگی در این مرحله از رشد گیاه بیشتر از مراحل دیگر بوده است و منجر به عدم اختلاف معنی دار بین تیمارهای خاک ورزی شده است. و مقدار رطوبت در تیمار گاوآهن برگرداندار بیشتر از سایر روش های خاک ورزی می باشد چون مقدار خلل و فرج در این تیمار بیشتر از سایر روش های خاک ورزی بود. کمترین مقدار رطوبت در مراحل خمیری شدن و برداشت بود زیرا مقدار بارندگی سال در ماه خرداد تقریباً صفر بوده است. فقط در مراحل قبل از خوشه دهی، خمیری شدن و برداشت اختلاف معنی دار بین تیمارهای خاک ورزی وجود داشته است. بیشترین مقدار رطوبت در مراحل قبل از پنجه زنی، قبل از خوشه دهی و خوشه دهی مربوط به نظام بدون خاک ورزی بود. دلیل افزایش مقدار رطوبت در نظام بدون خاک ورزی نسبت به دیگر روش های خاک ورزی، رشد و توسعه کمتر ریشه بود و مقدار

جدول ۵. مقایسه میانگین وزن ریشه (در مراحل قبل از خوشه‌دهی و برداشت) و تراکم

تراکم	وزن ریشه (برداشت)	وزن ریشه (قبل از خوشه‌دهی)	تیمار
۲۳۳/۸۷ ^a	۳۱۵۵ ^a	۲۳۷۱/۶ ^a	برگردان‌دار
۲۳۲/۶۱ ^a	۲۷۲۶/۳ ^a	۱۸۷۷/۳ ^b	روتیواتور
۱۹۰/۹۴ ^{ab}	۱۷۳۸/۳ ^b	۱۱۱۳/۸ ^c	دیسک
۱۵۸/۰۵ ^b	۱۰۳۸/۴ ^c	۴۸۸/۷ ^d	چیزل
۱۵۲/۲۳ ^b	۸۹۹/۲ ^c	۴۵۲/۴ ^d	بدون خاک‌ورزی

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

جدول ۶ نشان می‌دهد که از مرحله قبل از خوشه‌دهی تا برداشت گندم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود ندارد و در دو مرحله پنجه‌زنی و قبل از خوشه‌دهی بیشترین و کمترین درصد رطوبت موجود در گیاه به ترتیب مربوط به خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و نظام بدون خاک‌ورزی می‌باشد که در مرحله پنجه‌زنی اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین گاوآهن برگردان‌دار با نظام بدون خاک‌ورزی وجود دارد. پالا و رایان (۲۸) بیان کرد که مصرف آب در نظام بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج کمتر بود. ظاهراً تیمارهای خاک‌ورزی تأثیری بر رطوبت گیاه در مراحل قبل از خوشه‌دهی تا زمان برداشت نداشتند. بنابراین تغییرات رطوبت خاک با روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر تغییرات رطوبت گیاه و فیزیولوژی آن مؤثر نبوده است. با توجه به غیر معنی‌دار بودن مقدار رطوبت موجود در گیاه در مرحله قبل از خوشه‌دهی، اما از مقایسه بین دو جدول ۳ و ۶ این مطلب روشن می‌شود که مقدار جذب رطوبت و عملکرد ماده خشک گیاه در گاوآهن برگردان‌دار در مرحله قبل از خوشه‌دهی نسبت به سایر تیمارها زیاد بود و مقدار رطوبت حجمی خاک در گاوآهن برگردان‌دار نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی کمتر است چون مقدار تخلخل در گاوآهن برگردان‌دار و در نتیجه مقدار رشد و توسعه ریشه گیاه نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی بیشتر بود در نتیجه میزان جذب آب، عناصر غذایی توسط گیاه و وزن خشک گیاه نیز نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود. لوپز و آرو (۲۱) گزارش کردند که عملکرد محصول تحت مدیریت بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی‌های متداول در سال‌های با بارندگی زیاد

ذخیره رطوبت در خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار در اوایل دوره را در مقایسه با نظام بدون خاک‌ورزی با افزایش سطح تماس خاک با هوا و در نتیجه انجام فرآیند تبخیر بیشتر دانسته‌اند و همچنین نامبردگان گزارش نموده‌اند، نظام بدون خاک‌ورزی کمترین به هم خوردگی را داشت که باعث افزایش مقدار رطوبت در آن شده است و خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار کمترین مقدار رطوبت را دارا بود. ویلهلم و بوزرزور (۳۷) گزارش نمودند که تراکم کمتر ریشه در نظام بدون خاک‌ورزی که به دلیل وجود سخت لایه حاصل می‌شود باعث محدودیت جذب آب به وسیله ریشه خواهد شد و عملکرد کمتر نظام بدون خاک‌ورزی به این موضوع نسبت داده می‌شود. نیبورگ و مالهی (۲۵) گزارش کردند که ذخیره رطوبت در نظام بدون خاک‌ورزی از خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و شخم کاهش یافته بیشتر بود.

در عمق ۱۶-۸ سانتی‌متر، از مرحله قبل از پنجه‌زنی تا خوشه‌دهی اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود ندارد. در مراحل خوشه‌دهی، خمیری شدن و برداشت بیشترین مقدار رطوبت مربوط به تیمار خاک‌ورزی با دیسک می‌باشد زیرا در خاک‌ورزی با دیسک خاک فقط تا عمق کاشت به هم می‌خورد ولی اعماق پایین تر از عمق کاشت در این روش خاک‌ورزی تحت تأثیر ماشین‌آلات در زمان کاشت فشرده شده و سخت لایه در اعماق بالاتر تشکیل می‌شود که منجر به افزایش وزن مخصوص ظاهری و رطوبت حجمی خاک در این عمق می‌شود.

جدول ۶. مقایسه میانگین درصد رطوبت موجود در گیاه گندم و عملکرد ماده خشک آن در ۶ مرحله از مراحل رشد گیاه گندم

برای تیمارهای آزمایشی

تیمار	قبل از پنجه زنی	پنجه زنی	قبل از خوشه دهی	خوشه دهی	خمیری شدن	برداشت گندم
درصد رطوبت موجود در گیاه						
برگردان	۴۵۵/۴۹ ^{ab}	۵۳۴/۸ ^a	۴۱۷/۱۸ ^a	۲۱۴/۷۶ ^a	۶۰/۶۳ ^a	۹/۰۲۲ ^a
روتیواتور	۴۵۲/۶۷ ^{ab}	۵۳۲/۱۲ ^a	۳۸۳/۲۱ ^a	۲۰۹/۳ ^a	۶۶/۶۱ ^a	۹/۰۵۸ ^a
دیسک	۴۷۸/۰۹ ^a	۴۵۴/۸۵ ^b	۳۸۷/۲ ^a	۲۲۸/۰۶ ^a	۶۹/۶۳ ^a	۸/۷۳۹ ^a
چیزل	۴۵۹/۶ ^{ab}	۴۷۶/۴۲ ^{ab}	۳۶۶/۱۳ ^a	۲۱۷/۵ ^a	۵۲/۵۸ ^a	۹/۱۷۵ ^a
بدون خاک و رزی	۴۴۲/۱۷ ^b	۴۵۳/۰۵ ^b	۳۶۳/۷۲ ^a	۲۰۱/۹۹ ^a	۶۷/۴۱ ^a	۸/۸۲ ^a
عملکرد ماده خشک گیاه (کیلو گرم در هکتار)						
برگردان دار	۷۰/۱۸ ^a	۵۶۴/۴۵ ^{ab}	۳۸۱۹ ^a	۵۸۱۹/۷ ^a	۸۸۱۴ ^a	۹۷۲۲/۷ ^a
روتیواتور	۶۲/۷۳ ^{ab}	۶۱۱/۶۸ ^a	۳۵۹۴/۶ ^{ab}	۵۵۹۲/۵ ^{ab}	۸۴۸۹ ^{ab}	۹۰۷۲/۴ ^a
دیسک	۵۱/۴۹ ^{bc}	۴۰۷/۷۱ ^{bc}	۲۷۳۴/۹ ^{bc}	۴۱۷۶ ^{bc}	۶۵۰۹ ^{bc}	۶۹۴۳/۲ ^b
چیزل	۳۹/۱۳ ^{cd}	۲۹۶/۷ ^c	۲۱۹۱/۷ ^{cd}	۳۴۷۶/۶ ^c	۵۵۵۰ ^{cd}	۵۴۰۴/۹ ^{cb}
ورزی بدون خاک	۳۳/۳۲ ^d	۲۶۳/۲۲ ^c	۱۶۶۶/۲ ^d	۲۸۴۵/۸ ^c	۳۹۰۴ ^d	۴۶۸۴/۶ ^c

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد است

جدول ۷. مقدار رطوبت حجمی (θ_v) در پتانسیل های ۰ تا ۱ بار در عمق ۸-۰ سانتی متر برای تیمارهای خاک و رزی

در مرحله قبل از خوشه دهی

تیمار	$\theta_v(0)$	$\theta_v(0/0.5)$	$\theta_v(0/1)$	$\theta_v(0/3)$	$\theta_v(1)$
برگردان	۰/۵۷	۰/۴۰۹	۰/۳۹۸	۰/۳۶۸	۰/۳۲۳
روتیواتور	۰/۵۵	۰/۳۸	۰/۳۶۹	۰/۳۳۹	۰/۲۹۹
دیسک	۰/۴۶	۰/۳۴۱	۰/۳۳۷	۰/۳۱۵	۰/۲۷۷
چیزل	۰/۴۹	۰/۳۶۴	۰/۳۶۲	۰/۳۳۸	۰/۲۹۵
بدون شخم	۰/۵۰۲	۰/۳۸۱	۰/۳۷۸	۰/۳۵۹	۰/۳۳۲

در این عمق، میزان کل خلل و فرج خاک با گاو آهن برگرداندار و روتیواتور افزایش یافته است زیرا میزان نگهداری رطوبت در حالت اشباع (پتانسیل صفر بار) از سایر تیمارها بیشتر است. جدول ۸ نشان می دهد که اختلاف معنی داری از نظر آماری بین روش های مختلف خاک و رزی در پتانسیل های ۱۵-۱ بار در مرحله قبل از خوشه دهی و ۵-۱ بار مرحله برداشت وجود داشت که بیشترین مقدار رطوبت در این دو پتانسیل مربوط به نظام بدون خاک و رزی بود ولی در عمق ۱۶-۸ سانتی متر اختلاف معنی داری از نظر آماری بین روش های مختلف خاک و رزی وجود نداشت. در عمق ۸-۰ سانتی متر، زیاد بودن درصد رطوبت در پتانسیل ۱۵-۱ بار در مرحله قبل از خوشه دهی با

پایین تر بود. ولی در سال های خشک معکوس بود. لویزبیلیدو و فونتس (۲۲) گزارش کردند در حالتی که رطوبت خاک عامل محدود کننده رشد گیاه است عملکرد خشک همیشه در خاک و رزی حفاظتی مساوی یا بیشتر از شخم با گاو آهن برگرداندار است. کارلن و گودن (۱۷) گزارش کردند که استفاده از گاو آهن برگرداندار در مقایسه با دیسک عملکرد ماده خشک را به صورت معنی داری افزایش داد. آنها این افزایش عملکرد را به شکستن سخت لایه توسط این ادوات نسبت داده اند که خود باعث تهویه بهتر خاک شده است. نگهداری رطوبت حجمی خاک در فشارهای صفر، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۳ و ۱ بار در عمق صفر تا ۸ سانتی متر در جدول ۷ آورده شده است به نظر می رسد که

جدول ۸. مقایسه میانگین مقدار رطوبت در دو فشار ۵ و ۱۵ بار در عمق ۸-۱۶ و ۱۶-۸ سانتی متر برای تیمارهای خاک ورزی

تیمار	قبل از خوشه‌دهی		برداشت	
	θ_v (۵)	θ_v (۱۵)	θ_v (۵)	θ_v (۱۵)
عمق ۸-۱۶ سانتی متر				
برگردان	۰/۲۵۸ ^a	۰/۲۳۹ ^b	۰/۲۷۸ ^b	۰/۲۷۵ ^a
روتیواتور	۰/۲۵۳ ^a	۰/۲۳ ^b	۰/۲۹۹ ^{ab}	۰/۲۸۳ ^a
دیسک	۰/۲۶۲ ^a	۰/۲۳۲ ^b	۰/۳۰۴ ^{ab}	۰/۲۹۱ ^a
چیزل	۰/۲۶۹ ^a	۰/۲۵۹ ^{ab}	۰/۲۸۶ ^b	۰/۲۵۷ ^a
بدون خاک‌ورزی	۰/۲۹۷ ^a	۰/۲۹۴ ^a	۰/۳۲۴ ^a	۰/۳۰۱ ^a
عمق ۱۶-۸ سانتی متر				
برگردان	۰/۲۸۷ ^a	۰/۲۷۷ ^a	۰/۳۳۵ ^a	۰/۳۱۸ ^a
روتیواتور	۰/۲۹۰ ^a	۰/۲۷۹ ^a	۰/۳۲۴ ^a	۰/۳۱۴ ^a
دیسک	۰/۳۰۰ ^a	۰/۲۷۶ ^a	۰/۳۲۲ ^a	۰/۳۰۷ ^a
چیزل	۰/۲۹۳ ^a	۰/۲۸۰ ^a	۰/۳۲۳ ^a	۰/۳۱۹ ^a
بدون خاک‌ورزی	۰/۲۹۳ ^a	۰/۲۹۰ ^a	۰/۳۳۷ ^a	۰/۳۱ ^a

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

نگهداری رطوبت در نظام بدون خاک‌ورزی را به میزان ماده آلی خاک نسبت داد.

دمای خاک

همان‌طوری که در جدول ۹ نشان داده شده است در دمای شبانه خاک به‌جز مرحله قبل از خوشه‌دهی، در سایر مراحل اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود ندارد. در دمای روزانه خاک، در دو مرحله اول اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود نداشت. اما در مراحل قبل از خوشه‌دهی و خمیری شدن اختلاف معنی‌داری بین گاوآهن برگردان و بدون خاک‌ورزی وجود داشته است. با توجه به اینکه در تیمار بدون خاک‌ورزی مقدار رطوبت در هر دو عمق در مرحله قبل از خوشه‌دهی نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی بیشتر است انتظار داریم که هدایت دمایی آن بیشتر و در نتیجه مقدار دمای آن کمتر باشد اما وضعیت برعکس شد و مقدار دما در نظام بدون خاک‌ورزی بیشتر از سایر روش‌های خاک‌ورزی شده است به‌نظر می‌رسد که نوع خاک‌ورزی به‌طور مستقیم تأثیر قابل توجهی بر دمای

تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به گاوآهن برگرداندار، روتیواتور و دیسک به معنی کم شدن تعداد خلل و فرج ریزی است که با روش‌های خاک‌ورزی اخیر آب را در پتانسیل ۱۵- بار نگهداری می‌کنند و افزایش خلل و فرجی است که آب را در پتانسیل‌های بیش از ۵- بار و کمتر از ۱۵- بار نگهداری می‌کنند زیرا در پتانسیل ۵- بار اختلاف معنی‌داری در میزان نگهداری آب با روش‌های مختلف خاک‌ورزی وجود ندارد. ولی در زمان برداشت با اثر عوامل محیطی، خلل و فرج درشتی که آب را در پتانسیل‌های بیش از ۵- بار نگهداری می‌کند، کاهش یافته‌اند زیرا میزان خلل و فرجی که آب را در پتانسیل‌های ۵- و ۱۵- بار نگهداری می‌کند در زمان برداشت در عمق صفر تا ۸ سانتی متر نسبت به مرحله قبل از خوشه‌دهی بیشتر شده‌اند. این تغییرات در عمق ۱۶-۸ سانتی متر معنی‌دار نیست.

هیل (۱۵) بیان کرد نظام بدون خاک‌ورزی باعث کاهش فضای خلل و فرج شده است که می‌تواند یک تأثیر منفی بر روی عملکرد محصول داشته باشد زیرا تغییر در شبکه خلل و فرج باعث تغییر در ذخیره و انتقال هوا، آب و نمک شده که بر روی عملکرد محصول اثر می‌گذارد. لال (۲۰) ظرفیت بالای

جدول ۹. مقایسه میانگین دمای شبانه و روزانه خاک (سانتی‌گراد) در عمق ۸-۰ سانتی‌متر سطح خاک برای تیمارهای خاک‌ورزی

تیمار	قبل از پنجه‌زنی	پنجه‌زنی	قبل از خوشه‌دهی	خوشه‌دهی	خمیری شدن	برداشت
دمای شبانه						
برگردان	۷/۲۷ ^a	۱۳/۶ ^a	۱۵/۳ ^c	۲۱/۷۲ ^a	۲۴/۳۷ ^a	۲۸/۸ ^a
روتیواتور	۷/۴ ^a	۱۳/۸ ^a	۱۵/۳۵ ^{bc}	۲۲/۰۲۵ ^a	۲۴/۷۷ ^a	۲۸/۵ ^a
دیسک	۷/۳ ^a	۱۳/۴۲ ^a	۱۵/۴۵ ^{bc}	۲۲/۱ ^a	۲۴/۶ ^a	۲۸/۸۲ ^a
چیزل	۷/۵۵ ^a	۱۳/۸۲ ^a	۱۵/۷ ^{ab}	۲۲ ^a	۲۵/۱۵ ^a	۲۸/۹۵ ^a
بدون خاک‌ورزی	۷/۱۷ ^a	۱۳/۸۲ ^a	۱۶ ^a	۲۲ ^a	۲۵/۶۲ ^a	۲۹ ^a
دمای روزانه						
برگردان	۱۲/۷۲ ^a	۱۶/۴۵ ^a	۱۷/۵۴ ^c	۲۷/۲ ^{ab}	۳۱/۴۷ ^{bc}	۳۴/۸۲ ^a
روتیواتور	۱۲/۵۲ ^a	۱۶/۰۷ ^a	۱۷/۷۷ ^c	۲۵/۶۲ ^b	۳۰/۰۷۵ ^c	۳۲/۵۷ ^b
دیسک	۱۳/۲۵ ^a	۱۶/۵ ^a	۱۸/۱۵ ^{bc}	۲۵/۷۲ ^{ab}	۳۱/۰۵ ^c	۳۳/۸ ^{ab}
چیزل	۱۲/۶۵ ^a	۱۶/۳۵ ^a	۱۸/۷۵ ^{ab}	۲۷/۰۲۵ ^{ab}	۳۲/۹ ^{ab}	۳۴/۸ ^a
بدون خاک‌ورزی	۱۳/۰۷ ^a	۱۶/۵۵ ^a	۱۹/۲۵ ^a	۲۷/۴۵ ^a	۳۳/۳ ^a	۳۵ ^a

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

دهد و با ایجاد بسته‌های هوایی جدید موجب کاهش ظرفیت گرمایی خاک شخم خورده شود.

جدول ۱۰ نشان می‌دهد که بالاترین همبستگی بین تخلخل با وزن ریشه در مرحله قبل از خوشه‌دهی در عمق صفر تا ۸ سانتی‌متر (۰/۷۵۸) و در عمق ۱۶-۸ سانتی‌متر در مرحله خوشه‌دهی (۰/۶۳۸) دیده می‌شود. بالاترین همبستگی بین وزن ریشه و رطوبت حجمی در عمق صفر تا ۸ سانتی‌متر در مرحله قبل از خوشه‌دهی دیده می‌شود و در سایر مراحل همبستگی بالایی وجود ندارد (۰/۶۲۱-) احتمالاً همبستگی منفی در افق‌های سطحی به معنی جذب آب به وسیله ریشه عمدتاً از افق‌های سطحی و گاه از افق‌های پایین‌تر بود. بالاترین همبستگی بین وزن ریشه و دمای شبانه و روزانه خاک در مرحله قبل از خوشه‌دهی دیده می‌شود. همبستگی با دما معمولاً همبستگی‌های بالایی نیستند. همبستگی بالایی بین رطوبت حجمی در ۱۵- بار با وزن ریشه (در مرحله قبل خوشه‌دهی) در عمق صفر تا ۸ سانتی‌متر (۰/۶-) دیده می‌شود. همبستگی منفی در این مرحله بیانگر میزان رطوبت به سهولت قابل استفاده گیاه است. از بین خواص فیزیکی مورد مطالعه، تخلخل عامل مؤثر در رشد و توسعه ریشه گیاه و در نتیجه افزایش جذب رطوبت و عملکرد ماده خشک گیاه بود.

خاک نداشت. ممکن است خاک‌ورزی به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر تراکم پوشش گیاهی دمای خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

درواقع تیمارهای با تراکم بالای گندم موجب ممانعت از رسیدن انرژی خورشید به سطح خاک در طول روز و خنک‌تر ماندن خاک با حضور گیاه گندم می‌گردد. برای مثال در تیمار گاوآهن برگرداندار نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی تراکم گیاه زیاد بود (جدول ۵) در نتیجه مقدار دمای خاک در گاوآهن برگرداندار نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی کمتر بود. نیدل و ابوحمده (۲۳) در طی پژوهشی در کشور اردن بر روی هدایت دمایی خاک، بیان کردند که تیمارهای شخم خورده با روتیواتور و چیزل هدایت دمایی کمتری نسبت به نظام بدون خاک‌ورزی دارد. مقدار کاهش هدایت دمایی در تیمار خاک‌ورزی روتیواتور نسبت به تیمار چیزل بالاتر بود. وان دوین (۳۴) گزارش کرد دمای خاک شخم خورده نسبت به خاک شخم نخورده بیشتر بود. هیلل (۱۶) بیان کرد تغییر در دمای خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی به دلیل تغییر در هدایت دمای خاک بود که خاک‌ورزی موجب هدایت دمایی پایین‌تری نسبت به خاک‌های شخم نخورده می‌شود. به هم‌زدن خاک در اثر خاک‌ورزی می‌تواند نسبت حجم هوا به ذرات خاک را تغییر

جدول ۱۰. ضرایب همبستگی بین تخلخل خاک، رطوبت حجمی خاک و دمای خاک در اعماق ۸-۱۶ و ۱۶-۸ سانتی متر با وزن ریشه در مرحله برداشت

عمق (cm)	زنی قبل از پنجه	زنی پنجه	دهی قبل از خوشه	دهی خوشه	خمیری شدن دانه	برداشت
۸-۱۶	۰/۶۵۲**	۰/۶۸۱**	۰/۷۵۸**	۰/۵۶۱*	۰/۴۴۲ ^{ns}	۰/۵۶۷**
۱۶-۸	۰/۲۲۸ ^{ns}	۰/۴۸۷*	۰/۵۲۸*	۰/۶۳۸**	۰/۳۸۹ ^{ns}	۰/۱۶۴
۸-۱۶	۰/۲۱۸ ^{ns}	۰/۰۹۴ ^{ns}	۰/۲۰۲ ^{ns}	۰/۱۱۳ ^{ns}	۰/۱۵۱ ^{ns}	۰/۴۲۷ ^{ns}
۸-۱۶	۰/۴۵۴*	۰/۱۵۲ ^{ns}	۰/۶۲۱**	۰/۲۴۱ ^{ns}	۰/۲۰۱ ^{ns}	۰/۳۲۲ ^{ns}
شبهانه	۰/۰۴۷ ^{ns}	۰/۰۹۸ ^{ns}	۰/۷**	۰/۲۴۷ ^{ns}	۰/۵۶۵**	۰/۳۹۷ ^{ns}
روزانه	۰/۰۵۴ ^{ns}	۰/۰۴۲ ^{ns}	۰/۷۰۴**	۰/۴۱۹ ^{ns}	۰/۴۳۷ ^{ns}	۰/۴۶۶*

ns: اختلاف معنی داری وجود ندارد. *: معنی دار در سطح ۰/۰۵. **: معنی دار در سطح ۰/۰۱

نتیجه گیری

رطوبت به سهولت قابل استفاده گیاه می شود. این تغییرات در عمق ۸-۱۶ سانتی متر معنی داری نیست. در مرحله قبل از خوشه دهی، بیشترین و کمترین دما مربوط به نظام بدون خاک ورزی و گاواهن برگردان دار بود. به نظر می رسد که نوع خاک ورزی به طور مستقیم تأثیر قابل توجهی بر دمای خاک نداشت. ممکن است خاک ورزی به طور غیرمستقیم از طریق تأثیر بر تراکم پوشش گیاهی دمای خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از تمام کسانی که در این پژوهش کمک کرده اند و همچنین از زحمات مهندس محمد عجمی و مهندس محمدزمان علاالدین کارشناسان آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با افزایش شدت خاک ورزی مقدار تخلخل خاک و در نتیجه رشد و توسعه ریشه گندم و سطح تماس ریشه با خاک افزایش یافته و همچنین مقدار رطوبت موجود در خاک کاهش یافت که موجب افزایش جذب آب توسط گیاه و عملکرد ماده خشک شد. گاواهن برگردان دار با افزایش مقدار خلل و فرج خاک باعث افزایش رشد ریشه شد و مقدار رطوبت خاک کاهش یافت و مقدار جذب آب و عملکرد ماده خشک افزایش یافت. در مرحله قبل از خوشه دهی، با کاهش خاک ورزی مقدار خلل و فرجی که آب را در پتانسیل ۱۵- بار نگهداری می کنند افزایش یافت. افزایش شدت خاک ورزی منجر به افزایش خلل و فرجی شد که آب را در پتانسیل های بیش از ۵- بار و کمتر از ۱۵- بار نگهداری می کنند زیرا در پتانسیل ۵- بار، اختلاف معنی داری در میزان نگهداری آب با روش های مختلف خاک ورزی وجود نداشت. در واقع با افزایش خاک ورزی مقدار خلل و فرج درشت افزایش و خلل و فرج ریز کاهش یافته اند. در نتیجه میزان

منابع مورد استفاده

- عاکف، م. و ا. باقری. ۱۳۷۸. مدیریت خاک و نقش ماشین های کشاورزی در خصوصیات فیزیکی خاک. ترجمه. انتشارات دانشگاه گیلان.
- عظیم زاده، م. و ع. کوچکی. ۱۳۸۱. بررسی اثر روش های مختلف شخم بر وزن مخصوص ظاهری، تخلخل، رطوبت خاک و عملکرد گندم در شرایط دیم. مجله علوم زراعی ایران ۴(۳): ۲۲۴-۲۰۹.
- Ankeny, M. D. and T. C. Kaspar. 1990. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. Soil Sci. Am. J. 54: 837-840.

4. Barzegar, A. and A. Asoodar. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil Till. Res.* 71: 49-57.
5. Baumhardt, R. and O. Jones. 2002. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil Till. Res.* 68:71-82.
6. Belido, L. L. and M. Fuentes. 1996. Long term tillage, crop rotation and nitrogen fertilizer effect on wheat yield under rain fed Mediterranean condition. *Agron. J.* 88: 783-791.
7. Boydas, M. G. and N. Turgut. 2007. Effect of tillage implements and operating speeds on soil physical properties and wheat emergence. *Turk. J. Agric. For.* 31: 399-412.
8. Campbell, J. A. and M. E. Akhtar. 1990. Impact of tillage on soil water regimes in the rainfed areas of Pakistan. *Soil Phys.* 267- 275.
9. Chassot, A. and P. Stamp. 2001. Root distribution and morphology of maize seedling as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant Soil* 231: 123-135.
10. Cornish, P. S. and J. R. Lymbery. 1987. Reduced early of direct drilled wheat in southern new south Wales: Causes and consequences. *Aust. J. Exp. Agric.* 27: 869-880.
11. Dao, T. H. and H. T. Nguyen. 1984. Growth response of cultivation to conservation tillage in a continuous wheat cropping system. *Agron. J.* 81: 923-929.
12. Dwyer, L. and M. L. Stewart. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76: 23-28.
13. Ehlers, W. 1985. Observation earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Sci.* 119: 242-249.
14. Ferreras, L. A. and J. L. Costa. 1999. Effect 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.
15. Hill, R. 1990. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 161-166.
16. Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego, USA.
17. Karlen, D. L. and D. T. Gooden. 1987. Tillage system for wheat production in the southeastern Costal Plains. *Agron. J.* 79: 582-587.
18. Karlen, D. and N. Wollenhaupt. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.* 32: 313-327.
19. Lal, R. and M. Mahboubi. 1994. Long term tillage and rotation effects on properties of central Ohio soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 506-512.
20. Lal, R. 1989. Tillage effect on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 762-768.
21. Lo'pez, M.V. and J. L. Arru'e. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till. Res.* 44: 35-54.
22. Lo'pez-Bellido, L. and M. Fuentes. 1996. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under Mediterranean conditions. *Agron. J.* 88: 783-791.
23. Nidal, H. and Abu-Hamdeh. 2000. Effect of tillage treatments on soil thermal conductivity. *Soil Till. Res.* 56: 145-151.
24. Norwood, C. 1999. Water use and yield of dryland row crops as affected by tillage. *Agron. J.* 91: 108-115.
25. Nyborg, M. and S. S. Malhi. 1989. Effect of zero and conventional tillage on barley yield and nitrate nitrogen content, moisture and temperature of soil in North-Central Alberta. *Soil Till. Res.* 15:1-9.
26. Osunbitan, J. A. and D. J. Oyedele. 2005. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil Till. Res.* 82: 57-64.
27. Page, A. L. and R. H. Miller. 1982. *Method of soil Analysis*. Part 2, 2nd ed., Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. of Agron., Soil Sci. Soc. of America.
28. Pala, M. and J. Rayan. 1998. Tillage system and stubble management in a Mediterranean-type environment N. R. M. P, ICARDA. *Experim. Agric.* 36: 223-242.
29. Pierret, A. and C. Doussan. 2007. Root functionalarchitecture: A framework for modeling the interplay between roots and soil. *Vadose Zone J.* 6: 269-281.
30. Rao, C. S. and P. N. Takker. 1997. Evaluation of different extractants for measuring the soil potassium and determination of critical levels for plant available K in smectitic soils for sorghum. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 45:113-119.
31. Rhoton, F. E. 2000. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 700-709.
32. Shipitalo, M. J. and W. A. Dick. 2000. Conservationtillage and macropore factors that affect water movement andthe fate of chemicals. *Soil Till. Res.* 53: 167-183.
33. Unger, P. W. and T. C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: A review. *Agron. J.* 86: 759-766.

34. Van Duin, R. 1956. On the Influence of Tillage on Conduction of Heat, Diffusion of Air, and Infiltration of Water in Soil. Landbouwk Onderz, Wageningen, The Netherlands.
35. VanOuwkerk, C. and F. R. Boone. 1970. Soil physical aspects of zero tillage experiments. Neth. J. Agric. Sci. 18: 247-261.
36. Vita, P. and E. Paolo. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield. Soil Till. Res. 92: 69-78.
37. Wilhelm, W. and W. H. Bouzerzour. 1989. Soil disturbance residue management effect on winter wheat growth and yield. Agron. J. 81: 581-588.