نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۶ شماره ۱/ سال ۱۴۰۰/ صفحه‌های ۶۷-۵۷

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.44861.1157

تاثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت بر خصوصیات فیزیکی خاک و کارآیی مصرف آب در ذرت دانه‌ای

مجید روزبه[۱]* و سیدابراهیم دهقانیان[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۲

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

*مسئول مکاتبه: roozbeh.majid@gmail.com

چکیده

به‌منظور ارزیابی تاثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مقادیر مختلف سوپرجاذب بر خصوصیات فیزیکی خاک و کارآیی مصرف آب آبیاری در ذرت دانه‌ای پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب طی دو سال زراعی اجرا شد. عامل کرت اصلی شامل خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی و عامل کرت فرعی شامل کاربرد ۸۰ ، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و عدم مصرف سوپرجاذب (به‌عنوان شاهد) بود. نتایج نشان داد که روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۳ و ۹/۲ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک شده است. یافته‌ها هم‌چنین آشکار ساخت که مقادیر سوپرجاذب تاثیر معنی‌داری بر جرم مخصوص ظاهری و شاخص مخروطی در لایه سطحی خاک داشتند. بیشترین میزان تخلخل و کمترین مقدار جرم مخصوص و شاخص مخروطی خاک زمانی مشاهده شد که ماده سوپر جاذب رطوبت به‌میزان۱۲۰ و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شده بود. عملکرد دانه ذرت و کارایی مصرف آب آبیاری واکنش‌های متفاوتی به مقادیر سوپرجاذب داشتند. بیشترین میزان عملکرد دانه ذرت و کارآیی مصرف آب آبیاری از ترکیب روش‌بی خاک‌ورزی و مقادیر ۱۲۰ و ۱۴۰ کیلوگرم سوپرجاذب، بدون داشتن اختلاف معنی‌داری حاصل شد. بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به میانگین عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب آبیاری، به‌کارگیری ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار ماده سوپرجاذب در ترکیب با روش بی خاک‌ورزی برای نواحی جنوب استان فارس و مناطقی با اقلیم مشابه مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، سوپرجاذب، شاخص مخروطی، عملکرد ذرت، وضعیت بقایا

Effects of Conservation Tillage Systems and Different Super Absorbent Polymer Rates on Soil Physical Properties and Water Use Efficiency in Grain Corn

Majid Roozbeh[1]* and Sayed Ebrahim Dehghanian[1]

Received: 4 Mar 2021 Accepted: 12 Jun 2021

[1]Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Darab, Iran

*Corresponding author: roozbeh.majid@gmail.com

Abstract

A field study was conducted to evaluate the effects of conservation tillage systems and different super absorbent polymer (SAP) rates on soil physical properties, grain yield and irrigation water use efficiency at Darab Agricultural Research Station during two growth seasons. The experimental design was done as split-plot based on a randomized complete blocks with three replications. The different tillage systems were in three levels of conventional tillage, reduced tillage and no-tillage as the main plot and rates of SAP as the subplot include: 0, 80, 100, 120, 140 kg ha^{-1} super absorbent application. The results showed that the no-tillage and reduced tillage systems increased soil bulk density in the 0-10 cm soil layer by 19.3% and 9.2%, respectively, compared with the conventional tillage. The findings also revealed that the effect of different tillage systems and rates of super absorbent polymer on soil bulk density and cone index of soil in the surface soil layer were significant. The highest porosity, the lowest cone index and bulk density were seen in the application of 120 and 140 kg ha^{-1} super absorbent polymer. Corn yield and irrigation water use efficiency had a different reaction to the different rates of super absorbent polymer. The highest corn yield and irrigation water use efficiency was obtained at the combination of no-tillage with 120and 140 kg ha^{-1} super absorbent polymerapplication, although there was no significant difference between them. According to our findings and based on the crop yield and irrigation water use efficiency, the application of 120 kg ha^{-1} super absorbent in combination with no-tillage method were seen suitable in the south of Fars province and areas with similar climate.

Keyword: Cone index, Corn yield, Residue condition, Soil bulk density, Soil moisture

How to cite:

Roozbeh, M., and Dehghanian, S. E. 2021. *Effects of Conservation Tillage Systems and Different Super Absorbent Polymer Rates on Soil Physical Properties and Water Use Efficiency in Grain Corn*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (1): 57-67.

۱- مقدمه

بسیاری از خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل درصد پایین ماده آلی، دارای ظرفیت نگه‌داری پایین آب و کارآیی اندک مصرف آب می‌باشند. این مسایل در جنوب کشور و در جاهایی‌که عملیات زراعی به‌روش مرسوم انجام می‌شود، از شدت بیشتری برخوردار است. عملیات خاک‌ورزی مرسوم در درازمدت موجب تخریب ساختمان خاک و کاهش ماده آلی خاک می‌شود (Baker *et al.* 2007). این در حالی است که طبق گزارش بسیاری از محققین ظرفیت نگه‌داری آب-خاک و دیگر خصوصیات خاک همبستگی مثبتی با میزان بقایای گیاهی، مواد آلی اضافه‌شده به خاک و نوع عملیات خاک‌ورزی دارد (Minasny & McBratney, 2018). بررسی‌های Shen *et al.* (2018) و Bescansa *et al.* (2006) مشخص می‌کند که اعمال خاک‌ورزی حفاظتی و تغییر در میزان بقایای گیاهی در سطح خاک منجر به تغییرات مثبتی در خصوصیات فیزیکی خاک مثل پایداری بیشتر خاک‌دانه‌ها، بهبود ماده آلی خاک و ظرفیت آب قابل استفاده گیاه می‌شود.

علی‌الرغم این‌که بهبود خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک می‌تواند از طریق نگه‌داشت بقایای مجصولات مثل گندم یا ذرت و اختلاط نسبی آنها با خاک تحت سامانه‌های کشاورزی حفاظتی بدست آید (Mulumba & L al, 2008)، اما در طی چند سال گذشته ارزش افزوده بقایای زراعی به‌ویژه بقایای گندم به‌خاطر تامین غذای دام موجب شده است که اکثریت بقایا، که به‌عنوان جزء اصلی کشاورزی حفاظتی می‌باشند، از مزرعه خارج و فقط مقدار بسیار اندکی از آنها در سطح خاک مزرعه باقی گذاشته می‌شود که تاثیر چندانی در بهبود خصوصیات کیفی خاک، ندارد. بنابراین، راهکارهایی نظیر سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی اگرچه در درازمدت و در تلفیق با تناوب‌های زراعی مناسب، سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و تولید محصول می‌شوند با این وجود این سیستم‌ها در شرایط عدم وجود بقایا نمی‌توانند رشد و نمو محصول را در شرایط کم‌آبی و تنش رطوبتی به نحو مطلوبی ضمانت نمایند (Barros *et al.* 2017). تحت این شرایط، بررسی‌ها نشان داده است یکی از راه‌های اصلاح ساختمان خاک و بهینه‌سازی کاربرد آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک، به‌کارگیری استراتژی‌های جدید نظیر پلیمرهای سوپر جاذب[1] رطوبت به‌عنوان یک عامل کمکی و جایگزین بقایای زراعی به منظور جبران کاهش حجم بقایا بر سطح خاک و افزایش اثر بخشی مزایای تکنولوژی‌های حفاظتی در مناطق خشک و نیمه خشک است (Xu *et al.* 2015).

سوپر جاذب‌ها قادر به جذب و نگه‌داری آب به میزان صدها برابر وزن خود می‌باشند. این مواد با کاهش نفوذ آب به زیر ناحیه ریشه، ظرفیت نگه‌داری آب در خاک را افزایش می‌دهند (Sarvas *et al.* 2007). استفاده از سوپر جاذب‌ها می‌تواند به‌طور موثری توانایی لایه بالایی خاک را در نگه‌داری آب قابل استفاده برای گیاه و تولید محصول را بهبود داده و نفوذ عمقی آب و آبشویی کود و فلزات سنگین را به لایه‌های پایینی خاک کاهش دهد (Qu & Varannes, 2009). تحقیقات هم‌چنین نشان داده است که سوپر جاذب‌ها می‌توانند موجب کاهش مقاومت به نفوذ (Busscher *et al.*, 2009)، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب-خاک، خاکدانه‌سازی و کمک به حفاظت از ماده آلی خاک شوند (John *et al.*, 2005). بررسی‌ها آشکار ساخته است که مکانیسم جذب و آزاد کردن آب توسط سوپر جاذب‌ها با متاثر نمودن خصوصیات مکانیکی و شیمیایی خاک، جمعیت میکروبی و رشد ریشه، الگوی حرکت و جابجایی آب-خاک را بهبود می‌خشد (Li *et al.*, 2014). این تاثیرگذاری به میزان پلیمر مصرفی و خصوصیات خاک بستگی دارد (Yu *et al.*, 2017).

گزارش‌های متعددی در خصوص استفاده از سوپرجاذب‌ها در تولید محصولات مختلف وجود دارد و نتایج متفاوتی هم در باره تاثیر مقادیر مصرفی آن بر وضعیت آب-خاک و عملکرد محصول از جمله ذرت ارائه شده است. در برخی گزارش‌ها اظهار شده که با افزایش میزان مصرف سوپر جاذب، مقدار هدایت الکتریکی خاک در بافت‌های لومی و رسی به‌ترتیب، ۲۰ و ۱۶/۹ درصد کاهش از خود نشان داد (Dorraji *et al.*, 2019). khodadadi Dehkordi *et al.* (2013) در ارزیابی میانگین رطوبت و پتانسیل ماتریک ناحیه ریشه ذرت متاثر از مقادیر مختلف سوپرجاذب با استفاده از مدل جذب آب بیان داشتند که با افزایش میزان سوپرجاذب، محتوای رطوبت خاک در ناحیه ریشه در طول فصل رشد تفاوت معنی‌داری ایجاد می‌نماید. سایر مطالعات نیز از تاثیر مطلوب افزایش غلظت سوپر جاذب بر محتوای رطوبتی خاک، کاهش تبخیر تجمعی و رشد محصول حکایت داشته است (Malekian *et al.*, 2012). گزارش (Robiul Islam *et al.* 2011) نشان می‌دهد که میزان عملکرد ذرت با به‌کارگیری سوپرجاذب در نواحی خشک و نیمه خشک شمال چین افزایشی در حدود ۱۱ تا ۲۹ درصد داشته است. (Jahan *et al.* 2013) در بررسی تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب بر کاهش تنش خشکی و عملکرد ذرت دانه‌ای اظهار کرد که بین سطوح سوپرجاذب (۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و اثرات متقابل آنها با دور آبیاری تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه ذرت وجود نداشته است. در پژوهش دیگری گزارش شد که کاربرد سوپرجاذب به‌میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه ذرت تحت شرایط تنش و غیرتنش را درپی داشت (Koohestani *et al.*, 2009). با عین حال، در چند دهه گذشته تمرکز زیادی بر راهکارهای مدیریت تلفیقی مثل عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، مالچ‌پاشی و استفاده از پلیمرها صورت گرفته است. (Hati *et al.* 2006) نشان دادند که مدیریت تلفیقی خاک‌ورزی با منابع آلی و غیر آلی می‌تواند از جمله عملیات مدیریتی موثر در افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد محصول به‌واسطه بهبود خصوصیات

[1] Superabsorbent polymer

مختلف فیزیکی خاک باشد. Bandyopadhyay *et al.* (2010) گزارش کردند که تلفیق راه‌کارهای مدیریتی (خاک‌ورزی حفاظتی، مدیریت بقایای سطحی، هیدروژل‌ها و وضعیت دهنده‌های خاک) موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری (۹/۳٪)، مقاومت به نفوذ (۴۲/۶٪)، و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک (۹۵/۸٪)، خاکدانه‌های پایدار (۱۳/۸٪) و محتوای کربن آلی خاک (۴۲/۲٪) شده است.

در هر حال، با توجه به این‌که در سال‌های اخیر اکثریت بقایای گندم به‌دلیل ارزش افزوده آنها از مزرعه خارج می‌شوند و سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط عدم وجود بقایا، تاثیر زیادی در بهبود خصوصیات مختلف خاک ندارند و هم‌چنین از آنجایی‌که اطلاعات جامعی درباره اثربخشی کاربرد سوپر جاذب‌ها به‌همراه سایر تکنولوژی‌های حفاظت خاک در شرایط کمبود بقایا بر خواص فیزیکی خاک در مناطق گرم و خشک وجود ندارد، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی مزرعه‌ای تلفیق روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مقادیر مختلف سوبر جاذب بر خصوصیات فیزیکی خاک تحت شرایط مقادیر مختلف بقایای گندم در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم و هم‌چنین بهینه‌سازی میزان مصرف سوپرجاذب تحت روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کارآیی مصرف آب محصول ذرت دانه‌ای در مناطق گرم و خشک جنوب ایران بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب در ۲۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۲۰ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ اجرا شد. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۲۶۵ میلی‌متر است که اغلب در پاییز و زمستان رخ می دهد. در سال‌های آزمایش، بیشینه و کمینهٔ دمای هوا به ترتیب ۴۲/۳ و ۱۳/۶درجه سانتی‌گراد و بیشینه و کمینهٔ رطوبت نسبی۵۵/۶ و ۱۴/۳ درصد بود. مزرعه آزمایشی در بخشی از اراضی ایستگاه انتخاب شد که طی چهار سال گذشته تحت تناوب گندم-ذرت و سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی (کم و بی خاک‌ورزی) بود. این تحقیق با استفاده از آزمایش کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در کرت‌های ثابت اجرا شد. کرت اصلی شامل سه روش خاک‌ورزی: گاوآهن برگردان‌دار+ دومرتبه دیسک+ لولر به‌عنوان خاک‌ورزی مرسوم (Til.1)، چیزل پکر+ دیسک، کم خاک-ورزی (Til.2)، بی خاک‌ورزی (Til.3) و کرت فرعی شامل کاربرد ۸۰ (S1)، ۱۰۰ (S2)، ۱۲۰ (S3)، ۱۴۰ (S4) کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و عدم مصرف سوپرجاذب (S0) به‌عنوان شاهد بود. مشخصات سوپرجاذب مصرفی در جدول ۱ آورده شده است (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ماده سوپرجاذب مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Properties of the super absorbent polymer used in the experiment

سوپرجاذب Superabsorbent	ماده اصلی Composition	نوع Type	اندازه ذرات Particle (mm)	شکل و رنگ Shape and color	چگالی Mass (g cm^{-1}) density
آکواسورب	**اکریل‌آمید و اکرلیت پتاسیم**	**آنیونی**	0.3-1.3	**پودری-سفید**	1.1

متوسط عمق شخم در خاک‌ورزی مرسوم ۲۳ سانتی‌متر و برای تیمار کم‌خاک‌ورزی ۱۵ سانتی‌متر بود. بافت خاک مزرعه بر اساس نتایج آزمون خاک، لوم تعیین شد که به‌طور متوسط دارای ۴۰/۳٪ شن، ۴۱/۷٪ سیلت و۱۷/۹٪ رس بود. متوسط ماده آلی خاک ۰/۶۵ درصد، اسیدیته خاک ۷/۹۱ و هدایت الکتریکی ۰/۶۲ دسی‌سیمنز بر متر در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر خاک تعیین شد. در قطعه زمین آزمایشی، ۴۵ کرت (ابعاد هر کرت ۳۰×۶ متر) در نظر گرفته شد. تناوب گندم- ذرت به‌عنوان تناوب غالب منطقه برای کشت انتخاب گردید. رقم ذرت مورد استفاده در آزمایش، سینگل‌کراس ۷۰۴ و تاریخ کاشت آن ۱۵ تیرماه بود. بقایای گندم بعد از عملیات برداشت با دستگاه بسته‌بند از زمین بیرون برده شد. به‌منظور تعیین مقدار بقایا، در پنج نقطه از هرکرت بقایای ایستاده (کاهبن) و خوابیده (پهن‌شده بر سطح خاک) با استفاده از یک قاب نیم متر مربعی جمع‌آوری شدند. جرم مادهٔ خشک بقایا نیز، با قرار دادن آنها درون آون، به‌مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، تعیین شد (Chen *et al.* 2004). پوشش سطح خاک با بقایا، با استفاده از روش برش عرضی-خطی تعیین شد. در این روش ابتدا صد نقطه به فاصله‌های ده سانتی‌متر بر روی یک طناب بیست متری با نوارچسب نشانه‌گذاری شد. طناب به‌صورت اریب (زاویهٔ ۴۵ درجه) به‌گونه‌ای بر سطح خاک قرار داده شد که از میان ردیف‌های کاشت (عرض کار دستگاه) عبور کند. با شمارش تعداد نشانه‌هایی که مستقیماً روی بقایا قرار گرفته بودند، درصد پوشش سطح تعیین شد (Morrison & Gerik, 1985).

بعد از انجام عملیات خاک‌ورزی مطابق با تیمارهای مذکور، اعمال تیمار-های سوپرجاذب در زمان عملیات کاشت ذرت و به‌وسیله یک‌دستگاه ردیف‌کار مجهز به کودکار در روش مرسوم و کم خاک‌ورزی، و در روش بی خاک‌ورزی توسط یک‌دستگاه کارنده کشت مستقیم (بذرکار-کودکار) انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت و بین بوته‌ها روی ردیف، به‌ترتیب ۷۵ و ۱۵ سانتی‌متر بود. مواد سوپرجاذب رطوبت توسط کارنده‌ها در زیر بذر به‌صورت نواری و در محدوده عمق ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک قرار گرفت (Li, *et al.* 2014 & Zhao, *et al.* 2019) آبیاری کرت‌ها با استفاده از روش قطره‌ای نواری انجام شد و حجم آب آبیاری مورد نیاز توسط کنتور حجمی بر سطح کرت‌ها اعمال شد.

در هر یک از تیمارها، خصوصیات فیزیکی خاک (جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل، شاخص مخروط) طبق روش‌های استاندارد و سه هفته بعد از خاک‌آب در طی دو سال آزمایش اندازه‌گیری شد

برای تعیین جرم مخصوص ظاهری از روش نمونه برداری با استوانه فلزی استفاده شد (Black & Harteg, 1986). بدین منظور، نمونه‌های دست نخورده[1] از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به فواصل ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر با استفاده از استوانه نمونه گیری به قطر ۷ و ارتفاع ۵ سانتی متر در پنج نقطه از هر کرت گرفته شد. از تقسیم جرم نمونه های خشک شده در آون به حجم استوانه نمونه گیری، جرم مخصوص ظاهری محاسبه شد (Black & Harteg, 1986). تخلخل کل از همان نمونه های خاک و با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید (Danielson & Sutherland, 1986)

$$F = ۱۰۰ - (\frac{Pb}{Ps} \times ۱۰۰) \quad (۱)$$

که در آن F تخلخل کل بر حسب درصد و P_b و Ps به‌ترتیب جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی نمونه‌های خاک می‌باشد. شاخص مخروط خاک توسط دستگاه فروسنج مخروطی(Penetrologger ART-NR) اندازه‌گیری شد. مخروط مورد استفاده دستگاه، طبق استاندارد ASAE دارای زاویه ۳۰ درجه بود. تغییرات شاخص مخروط یا مقاومت به نفوذ خاک متاثر از تیمارهای مختلف، در ده نقطه از هر کرت و در محدوده عمق‌های ۱۰-۰،۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر در محتوای رطوبت ۱۸/۶ درصد تعیین شد. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک تعیین و بر مبنای ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره و ۵۰ کیلوگرم فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل هم‌زمان با کاشت و به‌صورت سرک داده شد. سایر عملیات داشت در تمام تیمارها به‌طور یکسان انجام گرفت. عملکرد دانه ذرت بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد و با حذف دو متر از ابتدا و انتهای هر کرت و برداشت آن توسط کمباین مجهز به هد برداشت ذرت تعیین شد. بهره‌وری آب آبیاری (IWUE) نیز از نسبت عملکرد محصول به ازاء حجم آب مصرف‌شده آبیاری در هر یک از تیمارها محاسبه شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار آماری Mstatc مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن مقایسه شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وضعیت بقایا و پوشش سطح خاک

وضعیت بقایای گندم و پوشش سطح خاک متاثر از تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از سامانه بی خاک‌ورزی (Til.3) و خاک‌ورزی مرسوم (Til.1)، به‌ترتیب موجب باقی‌ماندن بیشترین و کمترین میزان بقایا در واحد سطح شده‌اند. نتایج تحلیل داده‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که استفاده از گاوآهن چیزل‌پکر به همراه دیسک (Til.2) در عملیات تهیه بستر، موجب کاهش میانگین وزنی بقایا و پوشش سطح خاک به میزان ۸۲/۶ و ۵۸/۸ درصد به‌ترتیب نسبت به Til.3 شده است (جدول۲). این موضوع می‌تواند به افزایش شدت خاک‌ورزی و به‌هم خوردگی بیشتر خاک نسبت داده شود که موجب اختلاط بیشتر خاک با بقایای گیاهی شده و در نتیجه کاهش بقایای گیاهی در سطح خاک را به‌دنبال داشته است. یافته‌ها هم‌چنین آشکار ساخت که استفاده از روش‌های Til.2 و Til.3 در مدیریت بقایای گندم، سطح قابل توجهی از خاک را نسبت به روش Til.1 پوشش دادند، علاوه‌بر این سامانه بی‌خاک‌ورزی (Til.3) در مقایسه با روش Til.2، موجب یکنواختی بیشتری در توزیع بقایا و پوشش آن بر سطح خاک نیز شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین وضعیت بقایای محصول گندم و پوشش سطح خاک در تیمارهای مختلف در دو سال آزمایش

Table 2. Mean comparison wheat residue condition and soil surface cover in different treatments in a 2-year study

تیمارها Treatments	بقایای ایستاده Standing residue (kg ha^{-1})	بقایای خوابیده Flat residue (kg ha^{-1})	مقدار کل Total (kg ha^{-1})	پوشش سطح Surface cover (%)
Til.1	۰	78.8c	78.8c	2.5c
Til.2	197.2b	665.6b	862.8b	26.2b
Til.3	1867.7a	3106.4a	4974.1a	63.6a

* در هرستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵ درصد). Til.1: گاوآهن برگردان‌دار+دیسک، Til.2: چیزل‌پکر+دیسک، Til.3: بی خاک‌ورزی

[1] Intact sample

۳-۲- جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و شاخص مخروط خاک

نتایج تجزیه واریانس برخی از خصوصیات فیزیکی خاک متاثر از سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح مختلف سوپر جاذب رطوبت در جدول۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که اثر روش خاک‌ورزی و مقادیر سوپر جاذب بر روی جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و شاخص مخروطی خاک معنی‌دار بوده است، ولی برهم‌کنش روش خاک‌ورزی در مقادیر سوپر جاذب و هم‌چنین اثر سال در هر یک از فاکتورهای اصلی و فرعی معنی‌دار نبوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر متاثر از سامانه‌های خاک‌ورزی به‌صورت Til.3>Til.2>Til.1 است (جدول ۴). همان‌طور که از نتایج پیداست استفاده از سامانه بی خاک‌ورزی (Til.3) و کم خاک‌ورزی (Til.2) موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک به‌ترتیب به میزان ۱۹/۳ و ۹/۲ درصد در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک شده است (جدول ۴).

قسمتی از افزایش جرم مخصوص احتمالا می‌تواند به تراکم بیشتر لایه سطحی خاک و عدم به‌هم خوردگی کامل عرض خاک شخم‌خورده نسبت داده شود. به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری گاوآهن برگردان‌دار در سامانه خاک‌ورزی مرسوم با برگرداندن خاک لایه عمقی به سطح خاک، منجر به افزایش خلل و فرج درشت در لایه سطحی خاک شده و از این طریق موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است، در صورتی‌که در سامانه بی خاک‌ورزی به‌هم‌خوردگی خاک، فقط در محل عمق قرارگیری بذر و در ناحیه‌ای باریک و کم‌عرض به‌وسیله شیار باز-کن ایجاد شده و اعماق پایین‌تر را شامل نمی‌شود.

در سامانه کم خاک‌ورزی نیز افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به مرسوم احتمالا می‌تواند به عدم به‌هم خوردگی کامل عرض خاک شخم‌خورده در بین عوامل خاک‌ورز متاثر از ساختار آنها نسبت داده شود. این نتایج با یافته‌های Rabi et al. (2011) مطابقت دارد که گزارش‌هایی مشابه از کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک فقط در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر در سامانه خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سامانه کم و بی‌خاک‌ورزی ارائه کرده‌اند. مقایسه میانگین‌ها هم‌چنین نشان داد که در اعماق پایین‌تر خاک (۳۰-۱۰ سانتی‌متر)، بیشترین و کمترین میزان جرم مخصوص ظاهری به‌ترتیب مربوط به روش خاک‌ورزی مرسوم و بی خاک‌ورزی بود که با گزارش‌های (Celik & Altıkat, 2010) و (Zhang *et al.* 2016) هم‌خوانی دارد.

نتایج آشکار ساخت که با افزایش شدت خاک‌ورزی میزان تخلخل خاک در لایه سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) افزایش داشته است. دیده می‌شود که سامانه خاک‌ورزی مرسوم (Til.1) باعث بیشترین میزان تخلخل خاک (۵۵/۱٪) و بی خاک‌ورزی (Til.3) موجب کمترین میزان تخلخل خاک (۴۶/۳٪) در لایه صفر تا ۱۰ سانتی‌متر شده است (جدول ۴). از آنجایی‌که تخلخل خاک با جرم مخصوص ظاهری رابطه عکس دارد بنابراین با افزایش جرم مخصوص ظاهری در سامانه‌های Til.2 و Til.3، تخلخل خاک نیز کاهش یافته است. در این خصوص نتایج مشابهی در تحقیقات موسوی بوگر و همکاران (۲۰۱۲) دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر، بیشترین میزان شاخص مخروط برای تیمارTil.3 (۱/۱۸ مگا پاسکال) و کمترین مقدار مربوط به تیمار Til.1 (۰/۷۸ مگا پاسکال) بوده است (جدول ۴). بر اساس یافته‌ها، کاربرد گاوآهن چیزل‌پکر به‌همراه دیسک (Til.2)، موجب افزایش شاخص مخروط به‌مقدار ۷/۷ درصد نسبت به شرایطی گردید که عملیات خاک-ورزی به‌وسیله گاو آهن برگردان‌دار و دو بار دیسک (Til.1) انجام گرفته بود. کاهش شاخص مخروط خاک در سامانه Til.1 و افزایش آن در دیگر سامانه‌های خاک‌ورزی (Til.2 و Til.3) احتمالا

جدول ۳- تجزیه واریانس جرم خصوص ظاهری، تخلخل و شاخص مخروط خاک متاثر از خاک‌ورزی و سوپرجاذب طی دو سال آزمایش

Table 3. Analysis of variance for bulk density, porosity and cone index affected by tillage and super absorbent in a 2-year study

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (M.S)				
		جرم مخصوص ظاهری	تخلخل خاک	شاخص مخروط در عمق		Cone index in depth
Variation resourses	Df	Bulk density	Porosity	0-10	10-20	20-30
سال Year	1	0.004 ns	0.681 ns	0.017 ns	0.032 ns	0.006 ns
تکرار/ سال Y×R	4	0.007 ns	5.777 ns	0.003 ns	0.005 ns	0.009 ns
خاک‌ورزی Tillage	2	0.064*	93.597*	0.461**	0.336*	0.949*
سال × خاک‌ورزی Y×T	2	0.008 ns	0.004 ns	0.006 ns	0.008 ns	0.005 ns
خطای اصلی Error	8	0.005	8.462	0.011	0.015	0.031
سوپر جاذب SAP	4	0.252*	405.956*	1.019**	0.004 ns	0.006 ns
سال × سوپر جاذب Y×SAP	4	0.001 ns	0.026 ns	0.004 ns	0.0007 ns	0.0007 ns

خاک‌ورزی × سوپر جاذب T×SAP	8	0.007 ns	10.292 ns	0.008 ns	0.009 ns	0.003 ns
سال × خاک‌ورزی × سوپر جاذب	8	0.001 ns	0.008 ns	0.003 ns	0.001 ns	0.004 ns
خطای فرعی Error	48	0.004	5.422	0.010	0.054	0.062

**** و * اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، ns: بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۴- مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و شاخص مخروط خاک متاثر از سامانه‌های خاک‌ورزی و مقادیر مختلف سوپرجاذب در دو سال آزمایش

Table 4. Mean comparison of bulk density, porosity and cone index affected by tillage systems and different super absorbent application rates in a 2-year study

تیمارها Treatments	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($g\ cm^{-3}$)			تخلخل Porosity (%)	شاخص مخروط Cone index (MPa)		
	0-10	10-20	20-30		0-10	10-20	20-30
خاک‌ورزی Tillage							
Til.1	1.19 c	1.56a	2.12a	55.1a	0.78b	1.08b	2.7a
Til.2	1.3b	1.41b	1.64b	50.9b	0.84b	1.1b	1.93b
Til.3	1.42a	1.43b	1.51c	46.3c	1.18a	1.41a	1.51c
مقدار سوپرجاذب SAP							
S0	1.57a	1.60a	2.06a	40.9d	1.32a	1.34a	2.01a
S1	1.46b	1.59a	1.97a	44.8c	1.05b	1.29a	1.94a
S2	1.36bc	1.64a	2.08a	48.4b	0.85b	1.23a	1.86a
S3	1.28c	1.61a	2.05a	51.4a	0.69bc	1.26a	1.75a
S4	1.26c	1.66a	1.98a	52.2a	0.67c	1.28a	1.73a

* میانگین‌هائی که در هرستون دارای حروف مشترک می‌باشند، دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (دانکن ۵٪).

می‌تواند به هم‌چنین عمق خاک‌ورزی کمتر، حجم به‌هم‌خوردگی کمتر خاک و فقط ایجاد شکاف‌های سطحی بر روی خاک توسط گاوآهن چیزل و دستگاه بی خاک‌ورز نسبت داده شود. Shirani *et al.* (2002) در آزمایشی نشان داد که شدت نرم‌شدگی خاک در عمق۱۰-۰ سانتی‌متر تحت گاوآهن برگردان‌دار در مقایسه با گاوآهن چیزل بیشتر بوده و مقاومت خاک نیز به‌همین دلیل به‌طور معنی‌داری در عمق مذکور کاهش داشته است. دیگر محققان نیز گزارش‌هایی مشابه از کاهش شاخص مخروط با افزایش عمق نرم‌شدگی خاک متاثر از نوع وسیله خاک‌ورزی و شدت آن ارائه کرده‌اند (Younesi Alamooti & Hedayatipoor, 2019). بر اساس یافته‌ها روند تغییرات شاخص مخروط در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر خاک متاثر از سامانه‌های مختلف خاک ورزی مشابه عمق ۱۰-۰ سانتی متر بود (جدول ۴). در سطح سوم عمق اندازه‌گیری (۳۰-۲۰ سانتی‌متر)، بیشینه مقاومت به نفوذ یا شاخص مخروطی خاک در سامانه-های مرسوم و کم خاک‌ورزی (Til.1 و Til.2) مشاهده شد (به‌ترتیب ۲/۷ و ۱/۹۳ مگاپاسکال)، و سامانه بی خاک‌ورزی با ۴۴/۱ و ۲۰/۵ درصد کاهش نسبت به سامانه‌های Til.1 و Til.2 در رتبه سوم قرار گرفت (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد که گزارش-هایی مشابه از افزایش شاخص مخروط در زیر کفه‌شخم متاثر از نوع وسیله خاک‌ورزی به‌ویژه گاوآهن برگردان‌دار ارائه کرده‌اند (Roozbeh & Pooskani, 2003). در این راستا، بررسی محققان نشان می‌دهد که خاک با مقاومت بیشتر از ۲ یا ۲/۵ مگاپاسکال، می‌تواند مانع رشد و نفوذ ریشه گردد (Krzic *et al.* 2000).

مقایسه میانگین جرم مخصوص ظاهری متاثر از سطوح مختلف مواد سوپرجاذب در جدول ۴ نشان داده شده است. به‌طور کلی کرت‌هایی که مقدار سوپرجاذب بیشتری دریافت کرده بودند، جرم مخصوص ظاهری را به میزان بیشتری در لایه سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متر) کاهش و تخلخل خاک را افزایش دادند. بر اساس نتایج، بیشترین میزان تخلخل و کمترین مقدار جرم مخصوص زمانی مشاهده می‌شود که ماده سوپر جاذب رطوبت به میزان ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار (S4) مصرف شده است هرچند که اختلاف بین میزان سوپر جاذب مصرفی در تیمار S4 نسبت به تیمار

S3 (۲۰ کیلوگرم در هکتار)، موجب تفاوت معنی‌داری از نظر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش تخلخل خاک نشد (جدول ۴). نتایج آزمایش نشان می‌دهد که افزایش ماده سوپرجاذب مصرفی از ۸۰ کیلوگرم در تیمار S1 به ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای S2 و S3، موجب کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری به ترتیب به میزان ۷/۱، ۱۳/۴ و ۱۸/۵ درصد نسبت به تیمار S0 (صفر کیلوگرم در هکتار) شده است (جدول ۴). گزارش (Dahri *et al.* 2019) نیز مشخص می‌کند که با افزایش میزان سوپرجاذب مصرفی، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد. نتایج بررسی حاضر اگرچه به‌طور واضحی نشان می‌دهد که اضافه‌نمودن ماده سوپرجاذب، جرم مخصوص ظاهری را در لایه سطحی بهبود داده است ولی مطابق با نتایج می‌توان اظهار داشت که در لایه‌های پایینی خاک (۳۰-۱۰ سانتی‌متر)، سطوح مختلف سوپر جاذب روند مشخص و معنی‌داری بر میزان جرم مخصوص ظاهری خاک نداشته است (جدول ۴).

بررسی‌ها هم‌چنین آشکار ساخت که روند تغییرات شاخص مخروطی خاک متاثر از افزایش مقدار مصرف ماده سوپرجاذب در لایه سطحی خاک به‌صورت S.4>S.3>S.2>S.1>S.0 بود (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، عدم کاربرد سوپرجاذب (S0) موجب افزایش معنی‌دار مقاومت فروروی یا شاخص مخروط خاک در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک نسبت به سایر تیمارهای مصرف سوپرجاذب شده است (جدول ۴). مشاهده می‌شود که کاربرد تیمارهای ۱۰۰ تا ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، منجر به کاهش ۳۵/۶، ۴۷/۷ و ۴۹/۲ درصدی شاخص مخروط در مقایسه با تیمار شاهد (بدون سوپرجاذب) گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در تیمارS3 نسبت به S1، علاوه‌بر این‌که شاخص مخروط ۳۴/۳ درصد کاهش دارد، از نظر آماری تفاوتی نیز بین شاخص مخروط مشاهده نمی‌شود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که به‌کارگیری سوپرجاذب اگرچه شاخص مخروط را در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر کاهش داده است، اما به‌رغم افزایش مقدار مصرفی در تیمارهای مختلف، تفاوت معنی‌داری در میزان شاخص مخروط خاک در عمق ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک ایجاد نکرده است (جدول ۴).

۳-۳- عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب ذرت

آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اعمال روش‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد محصول ذرت و کارآیی مصرف آب آبیاری (IWUE) دارد. هم‌چنین بین سطوح مختلف ماده سوپر جاذب از نظر صفات مذکور اختلاف معنی‌داری دیده شد. اثر متقابل روش‌های خاک‌ورزی با ماده سوپرجاذب روی صفات عملکرد محصول ذرت و کارآیی مصرف آب آبیاری نیز معنی‌دار بود (جدول ۵). براساس نتایج، بیشترین میزان عملکرد دانه ذرت و کارآیی مصرف آب در سامانه بی خاک‌ورزی (Til.3) و کمترین مقدار در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (Til.1) مشاهده شد. بررسی‌ها هم‌چنین آشکار ساخت که استفاده از سامانه کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (Til.1)، موجب تفاوت معنی‌داری از نظر میزان عملکرد دانه نشد (جدول ۶). کاهش عملکرد دانه در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (Til.1) احتمالا می‌تواند به تاثیر تغییر خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه افزایش شاخص مخروطی در لایه‌های پایینی (جدول ۴) بر تراکم و توسعه ریشه و هم‌چنین نفوذ و حرکت آب در خاک نسبت داده شود. بررسی‌های (Vogeler *et al.* 2009) ، (Williams *et al.* 2006) (Boquet *et al.* 2004)، (Roozbeh & Pooskani, 2003) و (Salih *et al.* 1998) مشخص می‌کند که افزایش تعداد عملیات خاکورزی در سامانه‌های مرسوم و به‌کارگیری دائم آن در عملیات زراعی محصولات مختلف، باعث ایجاد سخت کفه در خاک، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و در نتیجه کاهش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی می‌گردد (Salih *et al.*, 1998). در همین راستا، بررسی‌های (Ritchie *et al.* 2007) و (Wright *et al.* 2007) نیز نشان می‌دهد توسعه یک سیستم ریشه‌ای سالم و وسیع در اوایل فصل رشد، باعث جذب حداکثری عناصر غذایی و درنتیجه رشد بهینه و عملکرد بیشتر گیاه می‌شود. نتایج هم‌چنین آشکار ساخت که بیشترین میزان عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری زمانی مشاهده می‌شود که ماده سوپر جاذب رطوبت به میزان ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار (S4) مصرف شده است، هرچند که از نظر آماری نیز بین تیمارهای S3 و S4 با ۲۰ کیلوگرم اختلاف در میزان سوپر جاذب مصرفی، تفاوتی مشاهده نمی‌شود (جدول ۶). در هر حال بر اساس نتایج، افزایش معنی‌داری عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در صورت به‌کارگیری ماده سوپرجاذب در مقادیر مصرفی بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است.

مقایسه میانگین اثرات متقابل خاک‌ورزی و ماده سوپر جاذب بر روی صفات بهره‌وری محصول نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه ذرت و کارآیی مصرف آب آبیاری از ترکیب روش‌بی خاک‌ورزی و مقادیر ۱۲۰ و ۱۴۰ کیلوگرم سوپرجاذب (Til.3 × S3 و Til.3 × S4)، بدون داشتن اختلاف معنی‌داری به دست می‌آید (جدول ۷)، بر اساس نتایج با تغییر روش تهیه بستر از مرسوم به بی خاک‌ورزی و افزایش میزان سوپرجاذب مصرفی از S0 به S3 و S4، مقدار عملکرد ذرت دانه‌ای و کارایی مصرف آب آبیاری در اثرات متقابل Til.3× S3 و Til.3× S4 در مقایسه با شاهد (Til.1 ×S0)، به‌طور متوسط ۲۱/۵ و ۲۹/۵ درصد به‌ترتیب افزایش نشان می‌دهد (جدول ۷) . این روند در مقایسهٔ اثر متقابل روش کم‌خاک‌ورزی Til.2 ×S3 و Til.2 ×S4 بر عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری نیز مشاهده می‌شود. به‌نظر می‌رسد که بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و شرایط بستر کاشت از نظر جمعیت و تنوع باکتریایی خاک در روش‌های

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه ذرت و کارایی مصرف آب آبیاری متاثر از سامانه‌های خاک‌ورزی و سوپرجاذب در طی دو سال آزمایش

Table 5. Analysis of variance for corn yield and irrigation water use efficiency affected by tillage systems and super absorbent in a 2-year study

منابع تغییر Variation resources	درجه آزادی Df	میانگین مربعات (M.S) عملکرد محصول Yield	کارایی مصرف اب آبیاری IWUE
سال Year	1	2035.368ns	0.001ns
تکرار/ سال Y×R	4	584471.94ns	0.016ns
خاک‌ورزی Tillage	2	1482665.44*	0.024*
سال × خاک‌ورزی Y×T	2	250.952ns	0.004ns
خطای اصلی Error	8	7940.244	0.028
سوپر جاذب Super Absorbent Polymer	4	1958019.449*	0.031*
سال × سوپر جاذب Y×SAP	4	2231.538ns	0.001ns
خاک‌ورزی × سوپر جاذب T×SAP	8	436981.906*	0.056*
سال × خاک‌ورزی × سوپر جاذب Y×T×SAP	8	1400.248ns	0.001ns
خطای فرعی Error	48	106157.863	0.002

**** و * اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، ns: بدون اختلاف معنی‌دار**

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد محصول و کارایی مصرف آب آبیاری متاثر از سامانه‌های خاک‌ورزی و مقادیر سوپرجاذب در دو سال آزمایش

Table 6. Mean comparison of crop yield and irrigation water use efficiency affected by tillage systems and super absorbent rates in a 2-year study

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Grain yield (kg) (ha^{-1})	کارایی مصرف آب IWUE ($kg\ m^{-3}$)
خاک‌ورزی Tillage		
Til.1	7937.5b	0.99b
Til.2	8217.4b	1.03a
Til.3	8636.3a	1.08a
مقدار سوپرجاذب SAP		
S0	7870.4c	0.97bc
S1	8075.1bc	1.02b
S2	8133.4b	1.01b
S3	8575.6a	1.09a
S4	8664.3a	1.09a

میانگین‌هائی که در هرستون دارای حروف مشترک می‌باشند، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند

خاک‌ورزی حفاظتی (جدول ۴)، توانسته است میزان عملکرد دانه را به‌صورت غیرمستقیم بهبود بخشد (Zhang, *et al.* 2018) بررسی‌های سایر محققین نیز مشخص می‌کند که به‌کارگیری ماده سوپرجاذب با غلظت زیاد در خاک موجب کاهش آبشویی نیترات، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی فسفر و پتاسیم خاک می‌شود (Cao *et al.* 2017). این موارد به‌همراه افزایش جمعیت باکتریایی و تنوع آن در خاک متاثر از تغییر شرایط محتوای رطوبت خاک در مقایسه با روش مرسوم، احتمالا می‌تواند بر بهبود عملکرد محصول و متعاقبا کارآیی مصرف آب تاثیر گذارد (Wang *et al.* 2019). نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد در شرایطی که بخش عمده‌ای از بقایا در نتیجه به‌کارگیری روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر سطح خاک نگه‌داشته شده‌اند (جدول ۲)، اثر متقابل آنها با سطوح پایین سوپر جاذب مصرفی (Til.2 ×S1 و Til.3 ×S1)، نیز موجب افزایش بیشتری در میزان عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب آبیاری در مقایسه با اثر متقابل روش مرسوم (Til.1 ×S0) شده است (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب آبیاری متاثر از اثر متقابل خاک‌ورزی و مقادیر سوپرجاذب در دو سال آزمایش

Table 7. Mean comparison of crop yield and irrigation water use efficiency affected by interaction of tillage and super absorbent rates in a 2-year study

روش‌های خاک‌ورزی Tillage systems	مقدار سوپرجاذب SAP rate (Kg ha^{-1})	عملکرد محصول Yield (Kg ha^{-1})	کارآیی مصرف آب آبیاری IWUE (Kg m^{-3})
Til.1	S0	7447.4de	0.88d
	S1	7895.3cd	1.02cd
	S2	7756.7cd	0.95cd
	S3	8297.4bc	1.08bc
	S4	8290.7bc	1.04bc
Til.2	S0	7891.8d	0.99d
	S1	8012.4cd	1.01cd
	S2	8165.4cd	1.03cd
	S3	8493.6bc	1.07bc
	S4	8523.8bc	1.07bc
Til.3	S0	8271.8bc	1.04bc
	S1	8317.7bc	1.05bc
	S2	8478.2bc	1.06bc
	S3	8935.8a	1.13a
	S4	9178.4a	1.15a

* میانگین‌هائی که در هرستون دارای حروف مشترک می‌باشند، دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند (دانکن ۵٪).

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مقادیر مختلف سوپرجاذب در مقایسه با عدم کاربرد آن، تاثیر به‌سزایی در بهبود خصوصیات فیزیکی لایه سطحی خاک دارد. کاربرد پلیمر سوپرجاذب به‌تنهایی سبب بهبود عملکرد دانه ذرت و بهره‌وری آب شد، اما ترکیب آن با سامانه‌های خاک-ورزی حفاظتی اثر بیشتری بر عملکرد و صفات مورد بررسی داشت. بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به میانگین عملکرد محصول و بهره‌وری آب آبیاری، به‌کارگیری ۱۲۰ کیلوگرم در کتار ماده سوپرجاذب در ترکیب با روش بی خاک‌ورزی برای نواحی جنوب استان فارس و مناطقی با اقلیم مشابه مناسب تشخیص داده شد

۵- سپاسگزاری

بدینوسیله از انجمن شرکت‌های مهندسی آب استان فارس به‌خاطر تامین بخشی از هزینه‌های این پژوهش قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- منابع

productivity of soybean. Soil and Tillage Research, 110: 115–125.

Barros, AF., Pimentel, LD., Araujo, EF., Macedo, LR., Martinez, HE., Batista, VA., and Paixão, MQ. (2017). Super absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, 38 (4): 1703-1714.

Bescansa, P., Imaz, MJ., Virto, I., and Hoogmoed, WB. (2006). Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. Soil and Tillage Research. 87: 19-27.

Alvarez, R., and Steinbach, HS. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research, 104: 1–15.

Baker, JM., Ochsner, TE., Venterea, RT., and Griffis, TJ. (2007). Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? Agriculture Ecosystem and Environment, 118: 1-5.

Bandyopadhyay, K., Misra, AK., Ghosh, P., and Hati, KM. (2010). Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and

Black, GR., and Harteg, KH. (19860. Bulk density. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, ASA Book, Series No.9. Agronomy. Publisher Madison, WI, USA. Pp,363-375.

Boquet, D.J., Hutchinson, R.L., and Breitenbeck, G.A. (2004). Long-term tillage, cover crop, and nitrogen rate effects on cotton: yield and fiber properties. Agronomy Journal, 96: 1436-1442.

Busscher, WJ., Bjorneberg, DL., and Sojka, RE. (2009). Field application of PAM as anamendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils. Soil and Tillage Research, 104: 215–220.

Cao, Y., Wang, B., Guo, H., Xiao, H., and Wei, T. (2017). The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the loess plateau. Ecological Engineering, 102: 270–279.

Chen, Y., Monero, F., Lobb, D., Tessier, S., and Cavers, C. (2004). Effects of six tillage methods on residue incorporation and crop performance under a heavy clay soil condition. Transactions of the ASAE., 47 (4): 1003–1010.

Chen, Y., Liu, S., Li. H., Li, XF., Song, CY., Cruse, RM., and Zhang, XY. (2011). Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. Soil and Tillage Research, 115-116: 56-61.

Cheng-yan, Z., Zhen-wen, YU., Yu, S., Shi-ming, C., Dong, W., Yong-li, Z., and Jun-ye, Z. (2014). Effects of tillage practices on water consumption, water use efficiency and grain yield in wheat field. Journal of Integrative Agriculture, 13 (11): 2378-2388.

Celik, A., and Altıkat, S. (2010). Effects of various strip widths and tractor forward speeds in strip tillage on soil physical properties and yield of silage corn. Tarim Bilimleri Dergisi, 16(3), pp.169-179.

Dahri, SH., Mangrio, MA., Shaikh, IA., Dahri, SA., and Steenbergen, FV. (2019). Effect of Different Forms of Super Absorbent Polymers on Soil Physical & Chemical Properties in Orchard field. World of Academics Journal Engineering Science, 6 (2): 12-20.

Danielson, R.E., and Sutherland, PL. (1986). Porosity. Methods of soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, ASA Book, Series No.9. Agronomy. Publisher Madison, WI, USA. Pp:443-461.

Dashtbozorg, A., Sayad, G., and Kazeminezhad, I. (2012). Study of the effect of superabsorbent polymer types on soil-water retention capacity. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 35(4): 33-38. (in Persian)

Dong, W., Liu, E Yan, C., Zhang, H., and Zhang, Y. (2017). Changes in the composition and diversity of topsoil bacterial, archaeal and fungal communities after 22 years conventional and no-tillage managements in Northern China. Archive Agronomy and Soil Science, 63 (10):1369–1381.

Dorraji, SS., Golchin, A., and Ahmadi, SH. (2010). The effect of different levels of super absorbent polymer and soil salinity on water holding capacity with three textures of sandy, loamy and clay. Journal of water and soil, 24 (2): 306-316.

Hati, KM., Mandal, KG., Misra, AK., Ghosh, PK., and Bandyopadhyay, KK. (2006). Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water use efficiency of soybean in Vertisols of central India. Bioresource Technology, 97: 2182–2188.

Jahan, M., Kamayestani, N., and Ranjbar, F. (2013). Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Agroecology, 5 (3): 272-281. (in Persian)

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., and Flessa, H. (2005). Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. Geoderma, 128: 63–79.

khodadadi Dehkordi, D., Kashkuli, HA., and Naderi, A. (2013). Evaluation of average of moisture and matric potential in root zone by water uptake model in superabsorbent presence situations. Advances in Environmental Biology, 7 (11): 3246-3251.

Koohestani, S., Asgari, N., and Maghsudi, K. (2009). Study the effect of super absorbent hydrogel on corn (*Zea mayz* L.) yield under drought stress. Journal of Iran Water Research, 5: 71-78. (in Persian)

Krzic, M., Fortin, MC., and. Bomke, AA. (2000). Short-term responses of soil physical properties to corn tillage planting systems in a humid maritime climate. Soil and Tillage Research, 54: 171-178.

Lejcus, K., S´pitalniak, M., and Da¸browska, J. (2018). Swelling Behaviour of Superabsorbent Polymers for Soil Amendment under Different Loads. Polymers, 10 (271): 1-13.

Li, YJ., Wu, JZ., Huang, M., Yao, YQ., Zhang, CJ., Cai, DX., and Jin, K.. (2006). Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics of flag leaf and water use efficiency in winter wheat. Transactions of the CSAE, 22, 44-48. (in Chinese)

Li, X., He, JZ., Hughes, JM., Liu, YR., and Zheng, YM. (2014). Effects of superabsorbent polymers on a soil-wheat (Triticum aestivum L.) system in the field. Applied Soil Ecology, 73: 58- 63.

Licht, MA., and Al- Kaisi, M. (2005). Corn response, nitrogen uptake and water use in strip tillage compared with no tillage and chisel plow. Agronomy Journal, 97: 705-710.

Malekian, A., Valizadeh, E., Dastoori, M., Samadi, S., and Bayat, V. (2012). Soil water retention and maize (Zea mays L.) growth as affected by different amounts of pumice. Australian Journal Crop Science, 6: 450–454.

Minasny, B., and McBratney, AB. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. European Journal of Soil Science, 69 (1): 39-47

Moosavi Boogar, A., Jahansooz, MR., Mehrvar, MR., Hoseinipoor, R., and Madadi, R. (2012). Study the soil physical properties and some wheat cultivars grain yield

under different tillage systems. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8 (2): 11-20. (in Persian)

Morrison, JE., and Gerik, TJ. (1985). Planter depth control: Predictions and projected effects on crop emergence. Transaction ASAE, 28: 1419-1424.

Mulumba, L., and Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. Soil and Tillage Research, 98 (1): 106-111.

Narjary, B., Aggarwal, P., Singh, A., Chakraborty, D., and Singh, R. (2012). Water availability in different soils in relation to hydrogel application. Geoderma, 187-188: 94-101.

Qu, G., and Varennes, A. (2009). Use of hydrophilic insoluble polymers in the restoration of metal-contaminated soils. Applied and Environmental Soil Science, 2009: 1–8.

Rabi, G., Rasaily, RG., Li, H., He, J., Wang, Q., and Caiyun, LU. (2011). Influence of no tillage controlled traffic system on soil physical properties in double cropping area of North China plain. African Journal of Biotecnology, 11 (4): 856-864.

Ritchie, G., Bednarz, C., Jost, P., and Brown, S. (2007). Cotton Growth and Development. University of Georgia Cooperative Extension. http://cotton.tamu.edu/General Production/Georgia Cotton Growth and Development, B1252-1.

Robiul Islam, M., Xue, X., Mao, S., Zhao, X., Eneji, E., and Hu1, Y. (2011). Superabsorbent polymers (SAP) enhance efficient and eco-friendly production of corn (*Zea mays* L.) in drought affected areas of northern China. African Journal of Biotechnology, 10 (24): 4887-4894

Roozbeh, M., and Pooskani, M. (2003). The effects of different tillage methods on wheat yield in rotation with corn. Iranian Journal of Agriculture Science, 34(1): 29-38. (in Persian)

Salih, A.A., Babiker, H.M., and Ali, S.A.M. (1998). Preliminary observations on effects of tillage systems on soil physical properties, cotton root growth and yield in Gezira Sheme, Sudan. Soil and Tillage Research. 46: 187-191.

Sarvas, M., Pavlenda, P., and Takacova, E. (2007). Effect of hydrogel application on survival and growth of pine grain in reclamations. For. Science, 53: 204-209.

Shen, Y., McLaughlin, N., Zhang, X., Xu, M., and Liang, A. (2018). Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China. Scientific Reports, 8(4500): 1- 9.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A. (2002). Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central of Iran. Soil and Tillage Research, 68: 101-108.

Vogeler, I., Rogasik, J., Funder, U., Panten, K., and Schnug, E. (2009). Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. Soil & Tillage Research, 103: 137-143.

Wang, H, Bai, W., Peng, X., Han, W., He, J., Song, J., and LV, G. (2019). Effect of super absorbent polymer sodium polyacrylate on the bacterial community and associated chemistry of loessial soil. Archives Agronomy Soil Science, 66 (1): 1-31.

Williams, J. D., Wuest, S.B., Schillinger, B.F., and Gollany, H.T. (2006). Rotary subsoiling newly planted winter wheat fields to improve infiltration in frozen soil. Soil and Tillage Research, 86:141-151.

Wright, A.L., Hons, F.M., Lemon, R.G., McFarland, M.L., and Nichols, R.L. (2007). Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. Soil and Tillage Research, 96: 19-27.

Xu, S., Zhang, L., McLaughlin, NB., Mi, J., Chen, Q., and Liu, J. (20150. Effect of synthetic and natural water absorbing soil amendment soil physical properties under potato production in a semi-arid region. Soil and Tillage Research, 148: 31-39.

Younesi Alamooti, M., and Hedayatipoor, A. (2019). Effect of conservative tillage on physical properties of soil in irrigated wheat production. Agricultural Engineering International*:* CIGR Journal, 21 (4): 90-95.

Yu, J., Shi, JG., and Ma, X. (2017). Superabsorbent Polymer Properties and Concentration Effects on Water Retention under Drying Conditions. Soil Science Society of America Journal, 81: 889–901.

Zhang, J., Zhao, T., Sun, B., Song, S., Guo, H., Shen, H., and Wu, Y. (2018). Effects of biofertilizers and super absorbent polymers on plant growth and soil fertility in the arid mining area of Inner Mongolia, China. Journal of Mountain Science, 15(9):1920–1935.

Zhang, Z., Qiang, H., McHugh, A.d., He, J., Li, H., Wang, Q., and Lu, Z. (2016). Effect of conservation farming practices on soil organic matter and stratification in a mono-cropping system of Northern China. Soil and Tillage Research, 156, pp.173- 181.

Zhao, W., Cao, T., Dou, P., Sheng, J., and Luo, M. (2019). Effect of various concentrations of superabsorbent polymers on soil particle-size distribution and evaporation with sand mulching. Science Report, 9: 1-10.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)