بررسی اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای

محمد قربانیان، عبدالمجید لیاقت[۱]* و حمیده نوری

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
ghorbanian110@ut.ac.ir
استاد گروه آبیاری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
aliaghat@ut.ac.ir
استادیار گروه آبیاری پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
hnoory@ut.ac.ir

چکیده

به منظور تدوین برنامه آبیاری مناسب و دقیق، تعیین نیاز آبی گیاهان در شرایط مختلف محیطی ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، اثر تراکم و بافت خاک بر ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق گیاه ذرت بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار بافت خاک شامل لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی و سه تیمار تراکم خاک(تراکم طبیعی خاک‌های مزرعه، تراکم با رها کردن ۲۵ و ۵۰ بار وزنه ۲/۵ کیلوگرمی (بر اساس آزمایش استاندارد پراکتور))، در سه تکرار در مزرعه آزمایشی در بخش جی و قهاب شهرستان اصفهان به اجرا در آمد. به منظور تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش تشت تبخیر و برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی از روش بیلان حجمی آب خاک با استفاده از میکرولایسیمتر زهکش‌دار به قطر ۳۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد با افزایش تراکم خاک تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد کاهش می‌یابد. بیشترین میانگین ۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم رسی سیلتی با تراکم طبیعی (جرم مخصوص ظاهری ۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) برابر با ۸/۷۶ میلی‌متر بر روز و در دهه پنجم رشد بدست آمد و از کمترین میانگین ۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در این دهه ۷۰ درصد بیشتر شد. افزایش تراکم خاک (دومین تراکم) موجب کاهش ۲۳٪، ۲۰/۸٪ و ۱۲/۸ درصدی مجموع تبخیر-تعرق ذرت به ترتیب در خاک لوم ، لوم رسی سیلتی و لوم شنی شد. در هر سه بافت خاک کمترین و بیشترین تاثیر فشردگی خاک بر ضریب گیاهی ذرت به ترتیب در مرحله ابتدایی و میانی رشد حاصل شد. بیشترین و کمترین تاثیر افزایش تراکم خاک بر کاهش ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد به ترتیب ۴۰/۳ درصد در خاک لوم با دومین سطح تراکم و ۲۰/۷ درصد در خاک لوم شنی با دومین سطح تراکم بود.

واژه های کلیدی: رشد ریشه، میکرولایسیمتر، مراحل رشد ذرت، نیاز آبی، نوع خاک

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: کرج، چهار راه دانشکده، گروه آبیاری دانشکده کشاورزی، کد پستی ۷۷۸۷۱-۳۱۵۸۷

* دریافت: دی ۱۳۹۲ و پذیرش: فروردین ۱۳۹۳

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک، بازنگری در استفاده از این منابع را ضروری می‌سازد. سیاست‌گذاری‌ها برای آینده اساساً باید مبتنی بر استفاده کارآتر از منابع آب و خاک باشد. برآورد میزان آب مورد نیاز از اولین و مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه نیاز آبیاری است. برآورد کمتر از میزان واقعی آب مورد نیاز منجر به اعمال تنش در گیاهان، تغییر الگوی کشت پیش‌بینی شده و کاهش سوددهی مزارع می‌شود.بیش برآورد میزان آب مورد نیاز نیز منجر به افزایش هزینه احداث شبکه انتقال آب و گاهاً غیراقتصادی بودن طرح یا پروژه، کاهش راندمان کاربرد آب، افزایش تلفات کود و در نتیجه افزایش تولید زهاب با کیفیت پایین می‌شود (میرزایی، ۱۳۸۵).

سازمان خوار و بار جهانی برای برآورد تبخیر-تعرق گیاهان مختلف ضرایب گیاهی (Kc) را معرفی نموده است. با توجه به این‌که تعیین مستقیم تبخیر-تعرق گیاهان نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد دارد، در برآورد تبخیر-تعرق گیاهان اغلب از این ضرایب استفاده می‌شود.لیکن نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه فائو برای منطقه هند و جنوب آسیا مناسب نیست و اصلاح این ضرایب با توجه به شرایط اقلیمی ضروری است (بن‌لی و همکاران، ۲۰۰٦ و کشیاپ و پاندا، ۲۰۰۱). همچنین، ضریب گیاهی در شرایط مختلف محیطی مانند کم آبیاری، شوری و کشت مخلوط تغییر می‌کند که در نشریه ٥٦ فائو روابطی به منظور اصلاح این ضرایب در شرایط یادشده ارائه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

تان و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی تاثیر زهکشی و نحوه شخم خاک بر محتوای آب خاک در منطقه ریشه، رواناب و تبخیر-تعرق ذرت در اونتاریو جنوبی[2] و بر روی خاک لوم رسی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد مدیریت آبیاری با زهکشی کنترل شده موجب افزایش میزان تبخیر-تعرق ذرت شده است. تیمارهای شخم خاک اثری بر میزان تبخیر-تعرق گیاه ذرت نداشته، ولی موجب افزایش رواناب سطحی در فصل غیر رشد شده است (تان و همکاران، ۲۰۰۱).

اخوان و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی نشان دادند تراکم خاک موجب کاهش عملکرد اندام هوایی (وزن ساقه، برگ و سنبله) و زیرزمینی (وزن و حجم ریشه) گیاه گندم شده، لیکن تفاوت معنی‌داری در وزن ساقه در خاک شنی مشاهده نشده است. تیلور و راتلیف (۱۹٦۹) نشان دادند در شرایطی که مقاومت مکانیکی خاک ۰/۵ مگاپاسکال است، نسبت رشد ریشه گیاهان پنبه و بادام زمینی در خاک کاهش پیدا می‌کند. زینگ‌زانگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزودن کود، وجود مالچ و همچنین شخم عمیق موجب افزایش میزان محصول گندم و ذرت شده است. همچنین، میزان تبخیر- تعرق و راندمان کاربرد آب بر اثر افزودن کود و شخم عمیق افزایش یافته است که بیشترین اثر افزایشی در ضریب گیاهی در مرحله میانی و کمترین میزان افزایش آن در مرحله ابتدایی رشد می‌باشد.

شرایط رشد گیاهان در بسیاری از خاک‌های ایران به دلیل شخم نامناسب و تراکم خاک زیرین متفاوت از شرایط استاندارد پتانسیل رشد - شرایطی که در آن بیشترین عملکرد محصول در اقلیمی مشخص تولید شود - (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) است. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که در زمینه تنش‌های شوری و کم آبی و اثرات این تنش‌ها بر تبخیر-تعرق گیاهان مطالعات متعددی انجام شده، لیکن به نظر می رسد پژوهش‌های چندانی در مورد تاثیر تراکم خاک بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی انجام نشده باشد. لذا، هدف از این پژوهش، بررسی اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-

[2] Southern Ontario

تعرق و ضریب گیاهی ذرت، آزمایش به صورت کشت لایسیمتری در مزرعه آزمایشی در بخش جی و قهاب شهرستان اصفهان در تابستان ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. این محل با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤٤ دقیقه و ۱۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ٤۲ ثانیه شمالی دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با سه تیمار بافت و سه تیمار تراکم خاک (شامل تراکم طبیعی خاک مزرعه، تراکم با رها کردن ۲۵ و ۵۰ بار وزنه ۲/۵ کیلوگرمی (بر اساس آزمایش استاندارد پراکتور (حیدریان، ۱۳۹۰)، در سه تکرار و مجموعاً در ۲۷ میکرولایسیمتر انجام شد. در این پژوهش از میکرولایسیمتر زهکش‌دار به ارتفاع ۸۰ و قطر ۳۲ سانتی‌متر که در آن‌ها لوله ۱٦ میلی‌متری سوراخ‌دار با پوشش مصنوعی (پارچه‌ای) و پوشش شنی به عنوان زهکش تعبیه شده بود، استفاده شد. خاک استفاده شده شامل سه نوع خاک سنگین، متوسط و سبک است. خاک سنگین با بافت لوم رسی سیلتی و با ۱۸درصد شن، ٤٤درصد سیلت و ۳۸ درصد رس از محل مزرعه تهیه شد. خاک سبک با بافت لوم شنی با ٦۳ درصد شن، ۱۹ درصد سیلت و ۱۸ درصد رس از مزرعه کشاورزی در منطقه روشن دشت در فاصله شش کیلومتری از مزرعه پژوهشی تهیه شد.

بافت متوسط از ترکیب و اختلاط مساوی دو بافت سبک و سنگین تهیه شد که دارای ٤۵ درصد شن، ۲۹ درصد سیلت و ۲٦ درصد رس می‌باشد. آب آبیاری از چاه آب در نزدیکی مزرعه تهیه شد. رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم برای خاک لوم رسی سیلتی ۳۳/۷، ۱۵/۵، خاک لوم ۲۹، ۱۲/۵ و خاک لوم شنی ۲۳/۵، ۱۱ درصد حجمی می‌باشد. نتایج تجزیه شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه و آب آبیاری در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت	شوری ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته	سدیم ($meq\ l^{-1}$)	کلسیم ($meq\ l^{-1}$)	منیزیم ($meq\ l^{-1}$)	نیترات ($meq\ l^{-1}$)	آهک (٪)	کربن آلی (٪)	فسفر قابل جذب ($mg\ l^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ l^{-1}$)
لوم رسی سیلتی	۱/۱٤	۷/۸	۳/۱	۳/۶	۲/۸	۲۰۷	۳۰/۰	۰/۸۶	۱۳/۴	۱۴۲
لوم شنی	۱/۶۲	۷/۷۲	۶/۱۹	۶/۳۵	۳/۹	۳۱۲	۲۵/۸	۰/۳۱	۲/۴	۱۷۳
لوم	۱/۴۲	۷/۷۵	۴/۹۵	۵/۲۵	۳/۴۵	۲۷۱	۲۷/۵	۰/۵۳	۶/۸	۱۶۱

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری

شوری ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته	سدیم	کلسیم	منیزیم	سولفات	کلر	بی کربنات	کربنات
			($meq\ l^{-1}$)					
۱/۲	۷/۴	۳/۳	۴/۲	۳/۱	۱/۹	۵/۱	۳/۱	۰

برای اعمال سطوح تراکم خاک در میکرولایسیمترها، ابتدا جرم مخصوص ظاهری خاک دست نخورده با اندازه‌گیری حجم و وزن خشک خاک تعیین شد. جرم مخصوص ظاهری بدست آمده به عنوان شاهد تراکم برای خاک طبیعی مزرعه در نظر گرفته شد و دو سطح دیگر تراکم خاک‌ها بر اساس آزمایش‌های استاندارد پراکتور (۲۵ و ۵۰ ضربه بر روی خاک) اعمال شد (حیدریان، ۱۳۹۰). جدول (۳) وزن مخصوص ظاهری تیمارهای مختلف خاک شامل تراکم طبیعی، اولین و دومین تراکم خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۳- وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب) در سطوح متفاوت تراکم خاک

بافت خاک	تراکم طبیعی	اولین تراکم خاک	دومین تراکم خاک
لوم	۱/۳۸	۱/۶۳	۱/۷۸
لوم رسی سیلتی	۱/۲۷	۱/۵۳	۱/۷۳
لوم شنی	۱/۵	۱/۷۲	۱/۸۴

در مزارع کشاورزی، اغلب ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک شخم خورده و دارای تراکم طبیعی است. بنابراین، در همه تیمارهای تراکم خاک، ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک درون میکرولایسیمتر با تراکم طبیعی از خاک پر شد. با مشخص بودن حجم میکرولایسیمتر و جرم مخصوص ظاهری خاک در سطوح مختلف تراکم خاک (تراکم طبیعی، اولین و دومین تراکم خاک) وزن خاک لازم که باید در هر میکرولایسیمتر ریخته شود، محاسبه و تراکم خاک در دو لایه ۲۵ سانتی‌متری با رها کردن وزنه ۲/۵ کیلوگرمی از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر اعمال شد (حیدریان، ۱۳۹۰).

به منظور تطبیق بیشتر شرایط کشت با شرایط مزرعه گودالی به عمق ۲۵ سانتی متر و طول و عرض ۳۰۰ و ۲٤۰ سانتی‌متر حفر شد و میکرولایسیمترها در سه ردیف (سه تکرار) به فاصله ۷۵ سانتی‌متر، کنار هم قرار داده شد. پس از تهیه تیمارها، تعداد چهار بذر ذرت رقم N.S.540 (رقم میان رس) در عمق ۵-۳ سانتی‌متری خاک در ۱۵ مرداد ماه کشت شد. به منظور کاهش اثر حاشیه‌ای بر تبخیر-تعرق، اطراف محل طرح به مساحت ۵۰۰ متر مربع، ذرت مشابه شرایط آزمایش کشت شد. پس از رسیدن بوته‌های ذرت به شش برگی، تعداد بوته در هر میکرولایسیمتر به یک بوته در هر میکرولایسیمترکاهش داده شد.

بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش‌های انجام شده در منطقه اصفهان، روش تشت تبخیر با ضریب کانکا بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌باشد (هاشمی گرمدره‌ای و همکاران،۱۳۸٤ و امیری و همکاران، ۱۳۸۷). لذا، در این پژوهش، از این روش برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه شرق اصفهان (نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه) استفاده شد. ضریب کانکا ماهانه بدست آمده در پژوهش امیری و همکاران (۱۳۸۷) به دلیل نزدیکی به زمان پژوهش حاضر که اثر تغییر اقلیم در آن ناچیز است، استفاده شد. این ضرایب در شرایط مزرعه‌ای برای ماه‌های مرداد، شهریور، مهر و آبان به ترتیب برابر ۰/٦۹۵، ۰/۷۲۷، ۰/۷۳۳ و ۰/۸۰٤ است. به دلیل عدم امکان کشت چمن به عنوان گیاه مرجع در اراضی اطراف مزرعه آزمایشی (به دلیل مالکیت خصوصی اراضی) با هدف ایجاد شرایط استاندارد اندازه‌گیری تبخیر - تعرق و کنترل اثر حاشیه‌ای (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، از اندازه‌گیری تبخیر-تعرق مرجع به صورت مستقیم صرف‌نظر شد.

تبخیر-تعرق گیاه ذرت به صورت مستقیم و به روش بیلان حجمی آب خاک با استفاده از میکرولایسیمتر زهکش‌دار اندازه‌گیری شد. با استفاده از رابطه (۱) که بیلان آب در خاک را نشان می‌دهد، میزان تبخیر-تعرق ذرت بین دو آبیاری متوالی در طول فصل زراعی تعیین شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ET_c = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (1)$$

که در آن:

I مقدار آب آبیاری، P میزان بارندگی، RO میزان رواناب، DP مقدار آب خروجی از زهکش، CR مقدار صعود موئینه از سطح ایستابی بالا، ΔSF تغییرات آب زیرزمینی و ΔSW تغییرات رطوبت یا آب خاک همگی بر حسب میلی‌متر و در فاصله زمانی دو آبیاری

است. با توجه به کشت ذرت در میکرولایسیمتر زهکش‌دار و عدم وجود سطح ایستابی، میزان RO، CR و ΔSF صفر لحاظ شد.

مقدار آب آبیاری و آب خروجی از زهکش‌ها با استفاده استوانه مدرج اندازه‌گیری شد و حجم آب بارندگی از داده‌های ایستگاه هواشناسی استخراج شد. نحوه انجام آبیاری به این صورت بود که ابتدا (آبیاری اول) خاک درون میکرولایسیمترها از آب اشباع شد. پس از خارج شدن آب ثقلی از خاک (۱۲ تا ٤٨ ساعت بسته به بافت خاک) رطوبت خاک برابر رطوبت ظرفیت زراعی (FC) می‌شود.

با تبخیر آب از سطح خاک و مصرف آب به‌وسیله گیاه از میزان رطوبت خاک تا آبیاری بعدی کاسته می‌شود. با آبیاری مجدد و پس از گذشت ۱۲ تا ٤٨ ساعت، رطوبت خاک مجددا به میزان رطوبت در ظرفیت زراعی می‌رسد. بنابراین، تغییرات رطوبت خاک بین دو آبیاری (FC-FC) صفر می‌باشد و میزان تبخیر-تعرق برابر اختلاف مقدار آب ورودی و خروجی خواهد بود. آبیاری تیمارها در ۲۰ روز اول رشد که ریشه گیاه سطحی است یک روز در میان و در بقیه دوره رشد هر چهار روز یک‌بار انجام شد.

بر طبق تعریف فائو دوره رشد گیاه به چهار دوره ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد تقسیم می‌شود که ضریب گیاهی در هر دوره رشد از تقسیم مقدار تبخیر- تعرق اندازه گیری شده ذرت بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در همان دوره زمانی بدست می‌آید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

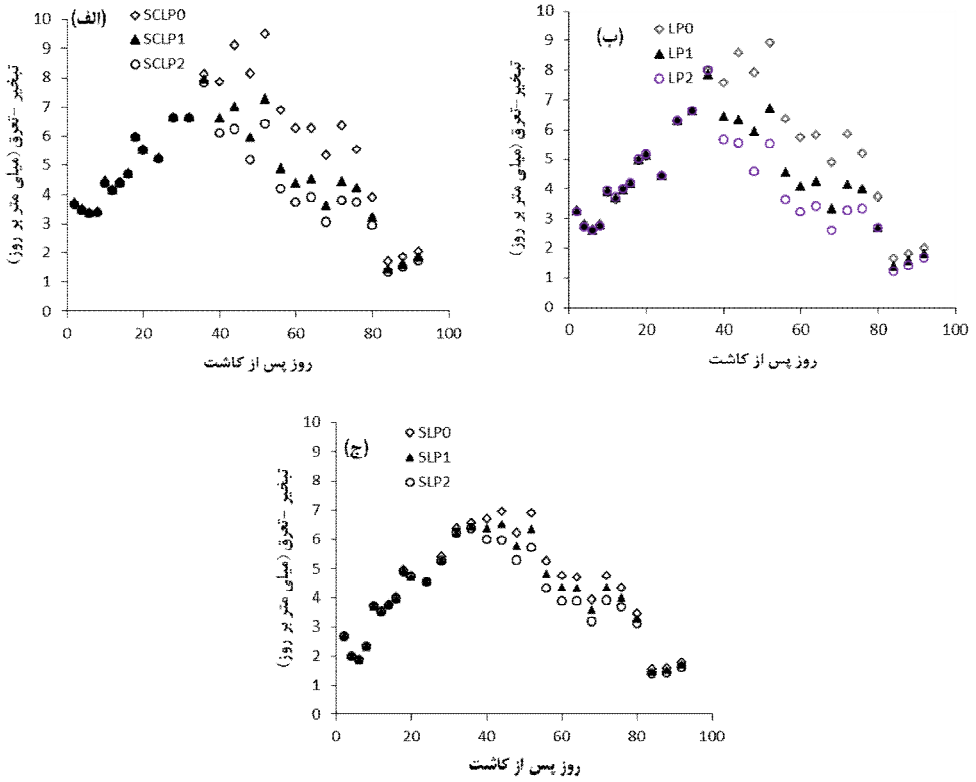
در این پژوهش، با توجه تعریف ارائه شده در نشریه شماره ٥٦ فائو، دوره رشد گیاه ذرت تعیین و سپس ضریب گیاهی برای دوره مورد نظر تعیین شد. بافت‌های خاک لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی با حروف SCL، L و SL و سطوح تراکم طبیعی، اولین و دومین تراکم خاک به ترتیب با حروف P0، P1 و P2 نامگذاری شد. تحلیل و مقایسه اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی با استفاده از نمودار ها و نرم افزار SAS9.2 انجام شد. نهایتا، ۹۲ روز پس از کاشت، در اوایل مرحله خمیری شدن دانه‌ها (زمان رسیدن به مرحله برداشت سیلویی)، برداشت ذرت انجام شد.

نتایج و بحث

اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق روزانه ذرت

در شکل (۱) اثر تراکم خاک بر تبخیر-تعرق روزانه ذرت در خاک‌های لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد با افزایش تراکم خاک، تبخیر-تعرق ذرت در مراحل مختلف رشد در هر سه نوع خاک کاهش می‌یابد شکل (۱- الف، ب و ج). این شکل نشان می‌دهد که اثر تراکم خاک بر تبخیر-تعرق ذرت در مرحله ابتدایی رشد ناچیز است. زیرا در این مرحله ریشه‌ها کوچک بوده و برای تیمارهای مختلف خاک در ۲۰ سانتی‌متر بالایی میکرولایسیمتر، خاک با تراکم طبیعی در نظر گرفته شد و ریشه برخوردی با لایه متراکم‌تر نداشته است.

با افزایش رشد گیاه و برخورد ریشه با لایه متراکم، رشد ریشه محدود شده و لذا رشد گیاه کاهش یافته و تعرق گیاه کمتر می‌شود. در انتهای فصل رشد نسبت به مرحله میانی رشد ذرت از سرعت رشد ریشه کاسته می‌شود و مشاهده می‌شود اثر افزایش تراکم خاک بر رشد ریشه و گیاه و به دنبال آن بر کاهش تبخیر-تعرق کاهش یافته است. مقایسه شکل‌های(۱- الف) و (۱- ب) با شکل(۱- ج) نشان می‌دهد که اثر افزایش فشردگی خاک بر کاهش تبخیر-تعرق ذرت در مرحله میانی رشد گیاه در خاک لوم رسی سیلتی و لوم (به علت وجود رس بیشتر و مقاومت بیشتر در مقابل حرکت ریشه در شرایط تراکم خاک زیرین) بیشتر از خاک لوم شنی است.



شکل ۱- اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق ذرت در خاک الف) لوم رسی سیلتی ب) لوم ج) لوم شنی

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تبخیر-تعرق گیاه ذرت در تیمارهای بافت و تراکم خاک در جدول (٤) ارائه شده است. مقادیر تبخیر-تعرق ذرت در دوره‌های ۱۰ روزه و در کل دوره رشد در تیمارهای مختلف تراکم خاک (به جز دهه اول و سوم رشد) در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. مقادیر تبخیر-تعرق ذرت در دوره‌های ۱۰ روزه در تیمارهای مختلف بافت خاک در ۵۰ روز اول به جز دهه چهارم در سطح یک درصد و در دهه چهارم و ۵۲ روز آخر در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری داشتند و در کل دوره رشد تفاوت تیمارهای بافت خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق ذرت در دهه‌های اول و سوم و چهارم و نهم غیر معنی‌دار و لیکن در دهه های دوم و پنجم در سطح یک درصد و بقیه دهه‌های رشد در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تراکم و بافت خاک بر کل تبخیر-تعرق ذرت در سطح پنج درصد معنی-دار شد.

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس تبخیر-تعرق ده روزه ذرت در تیمارهای مختلف تراکم و بافت خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات در دهه									مجموع تبخیر-تعرق
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	
بافت خاک	۲	۲/۹۸**	۱/۴۴**	۱/۷۷*	۱/۹۲*	۱/۶۱**	۰/۷۶*	۰/۴۷*	۰/۲۸*	۰/۰۱۷*	۷۳۹۹*
تراکم خاک	۲	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۷	۰/۹۷**	۱۴/۸**	۱۲/۳**	۹/۳**	۴/۳**	۰/۱۸۹**	۱۹۳۹۹**
تراکم * بافت خاک	۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۷۴**	۰/۴۷*	۰/۳۸*	۰/۲۱*	۰/۰۰۶	۸۰۴*
خطا	۱۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۰۳	۲۵۹

**و * نشان دهنده تفاوت تیمارها به ترتیب در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

مقایسه میانگین ۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در تیمارهای مختلف تراکم و بافت خاک در جدول (۵) ارائه شده است. مقایسه اثر بافت خاک بر تبخیر-تعرق ذرت در مرحله ابتدایی رشد نشان می‌دهد که در دهه اول و دوم

رشد گیاه، بیشترین تبخیر-تعرق روزانه ذرت (۳/٦۷ و ٤/۹۵ میلی‌متر بر روز) در خاک لوم رسی سیلتی با تراکم طبیعی و کمترین مقدار (۲/۵۰ و ٤/۱٦ میلی‌متر بر روز) در خاک لوم شنی با تراکم طبیعی می‌باشد جدول (۵). قابلیت نگهداری آب خاک در خاک‌های با بافت سنگین بیشتر از خاک‌هایی با بافت سبک است و در نتیجه تبخیر که جزء اصلی تبخیر-تعرق در مرحله ابتدایی رشد است، در خاک‌های سنگین بیشتر از خاک‌هایی با بافت سبک است.

مقایسه اثر بافت خاک از دهه سوم تا پایان فصل رشد نشان می‌دهد که میزان تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم رسی سیلتی بیشتر از خاک لوم و در خاک لوم بیشتر از خاک لوم شنی است که علت آن تبخیر بیشتر از خاک‌های با بافت سنگین و همچنین وجود مواد آلی بیشتر جدول(۱) در این خاک‌ها می باشد. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد تراکم خاک به دلیل وجود تراکم طبیعی در ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک و عدم برخورد ریشه با لایه متراکم خاک در مرحله ابتدایی رشد گیاه اثر چندانی بر تبخیر-تعرق ذرت نداشته است. با افزایش رشد گیاه و در نتیجه افزایش رشد ریشه، افزایش تراکم در خاکها از P0 به P1 و P2 منجر به کاهش تبخیر-تعرق ذرت می‌شود. با افزایش تراکم خاک رشد ریشه محدود شده و موجب کاهش رشد اندام هوایی و کاهش تبخیر-تعرق ذرت می‌شود.

بیشترین میانگین ۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم رسی سیلتی با تراکم طبیعی برابر با ۸/۷٦ میلی‌متر بر روز و در دهه پنجم رشد است و از کمترین میانگین ۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در این دهه ۷۰ درصد بیشتر شد. کمترین میانگین۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در این دهه (۵/۱٦ میلی‌متر در روز) در تیمار LP2 می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین۱۰ روزه تبخیر-تعرق ذرت در تیمارهای مختلف تراکم و بافت خاک

منابع تغییرات	میانگین تبخیر-تعرق ده روزه (میلی‌متر بر روز) در دهه									مجموع تبخیر-تعرق
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	
SCLP0	۳/۶۴b	۴/۹۴a	۶/۰۴a	۷/۶۸a	۸/۷۶a	۷/۱۳a	۵/۹۰a	۵/۰۲a	۱/۸۳a	۵۱۳/۱۳a
SCLP1	۳/۶۷a	۴/۹۵a	۶/۰۶a	۷/۱۳b	۶/۶۲bc	۵/۱۳c	۴/۱۲c	۳/۸۴cd	۱/۶۰bc	۴۳۴/۳۲b
SCLP2	۳/۶۴b	۴/۹۴a	۶/۰۴a	۶/۸۹cd	۵/۸۶de	۴/۴۵de	۳/۵۴de	۳/۴۳de	۱/۵۱cde	۴۰۶/۱۱cd
LP0	۳/۰۶c	۴/۳۴d	۵/۵۹b	۷/۵۳a	۸/۳۶a	۶/۶۰a	۵/۴۴a	۴/۷۲ab	۱/۷۸a	۴۷۷/۷۰a
LP1	۳/۰۵c	۴/۷c	۵/۶۰b	۷/۰۳bc	۶/۲۴cd	۴/۷۸cd	۳/۸۴cd	۳/۴۸de	۱/۵۷cd	۴۰۲/۶۳cd
LP2	۳/۰۵c	۴/۴۲b	۵/۶۴b	۶/۸۱de	۵/۱۶e	۳/۸۵e	۳/۰۶de	۳/۰۷e	۱/۴۳e	۳۶۷/۷۶e
SLP0	۲/۵۰d	۴/۱۸e	۵/۱۶c	۶/۶۲e	۷/۰۷b	۵/۸۴b	۴/۸۰b	۴/۲۷bc	۱/۶۷b	۴۲۴/۳۸bc
SLP1	۲/۵۰d	۴/۱۷e	۵/۱۶c	۶/۳۴f	۶/۱۷cd	۴/۹۲cd	۴/۰۱cd	۳/۷۷d	۱/۵۵cd	۳۸۹/۰۳de
SLP2	۲/۵۰d	۴/۱۶e	۵/۱۶c	۶/۱۹f	۵/۶۵de	۴/۴۲de	۳/۶۰cde	۳/۵۰e	۱/۴۸de	۳۶۹/۷۰e

در هر ستون تیمارهای دارای حروف مشترک بر اساس آزمون Lsd تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند

مقایسه مجموع تبخیر-تعرق ذرت در تیمارهای مختلف بافت خاک در شرایط تراکم طبیعی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم رسی سیلتی (۵۱۳/۱۳ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن در خاک لوم شنی (٤۲٤/۳ میلی‌متر) است جدول (۵). علت این امر می‌تواند تبخیر بیشتر آب از سطح خاک لوم رسی و حاصلخیزی بیشتر خاک لوم رسی سیلتی نسبت به خاک لوم شنی (با توجه به جدول (۱) در این پژوهش باشد.

مقایسه اثر تراکم خاک بر مجموع تبخیر-تعرق ذرت نشان می‌دهد که تراکم خاک موجب کاهش معنی‌دار کل تبخیر-تعرق ذرت می‌شود. مقایسه اثر تراکم اول (P1) بر مجموع تبخیر-تعرق در سه خاک نشان می‌دهد که تراکم اول خاک در خاک‌های لوم و لوم رسی سیلتی اثر یکسانی داشته و اثر تراکم در این دو نوع خاک بیشتر از خاک لوم شنی است.

بیشترین اثر تراکم خاک (تراکم دوم، P2) بر کاهش تبخیر-تعرق در خاک لوم (۲۳ درصد) و کمترین مقدار آن در خاک لوم شنی (۱۲ درصد) می‌باشد جدول(۵). علت این امر مقاومت بیشتر در مقابل حرکت ریشه در خاک لوم بر اثر تراکم خاک نسبت به خاک لوم

شنی و در نتیجه محدودیت بیشتر رشد ریشه در خاک لوم نسبت به خاک لوم شنی می باشد.

مقایسه اثر تراکم خاک بر مجموع تبخیر-تعرق در خاک‌های لوم و لوم رسی سیلتی نشان می‌دهد که اثر تراکم خاک بر کاهش تبخیر-تعرق در خاک لوم بیشتر از خاک لوم رسی سیلتی است جدول(۵).

علیرغم وجود رس بیشتر در خاک لوم رسی سیلتی و به دنبال آن مقاومت بیشتر این خاک در مقابل حرکت ریشه نسبت به خاک لوم، وجود مواد آلی بیشتر در خاک لوم رسی سیلتی و به دنبال آن افزایش رشد گیاه و افزایش تبخیر-تعرق نسبت به خاک لوم و هچنین شرایط تهویه‌ای مناسب‌تر و رشد بیشتر ریشه در خاک لوم در شرایط تراکم طبیعی نسبت به خاک لوم رسی سیلتی در شرایط تراکم طبیعی موجب شده است که با اعمال تراکم، محدودیت اثر تراکم در خاک لوم بیشتر از خاک لوم رسی سیلتی می‌باشد. مقایسه اثر متقابل تراکم و بافت خاک نشان می‌دهد که بیشترین میزان کل تبخیر-تعرق ذرت در تیمار SCLP0 (۵۱۳/۱۳ میلی‌متر) از کمترین مقدار آن در تیمار LP2 (۳٦۷/۷٦ میلی‌متر) ، ۳۹ درصد بیشتر می‌باشد.

اثر تراکم و بافت خاک بر ضریب گیاهی ذرت

شکل (۲) اثر تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت در خاک‌های مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار ضریب گیاهی ذرت در تیمارهای SCLP0 ، LP0 و SLP0 به ترتیب ۱/٤۲، ۱/۳۲ و ۱/۱٦ در روز ٦٤ ام از زمان کاشت و کمترین مقدار ضریب گیاهی ذرت در تیمارهای SCLP2، LP2 و SLP2 به ترتیب برابر ۰/۳۷، ۰/۲۸ و ۰/۲ در روز ششم فصل رشد حاصل شد. نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که در هر سه نوع خاک، افزایش تراکم خاک اثر چندانی بر ضریب گیاهی ذرت در مرحله ابتدایی رشد نداشته،ولی با افزایش رشد گیاه و برخورد ریشه با لایه‌های متراکم پایینی پروفیل خاک، متراکم رشد گیاه محدود و در نتیجه تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاهش می‌یابد که این کاهش در خاک‌های لوم و لوم رسی سیلتی بیشتر از خاک لوم شنی می‌باشد.

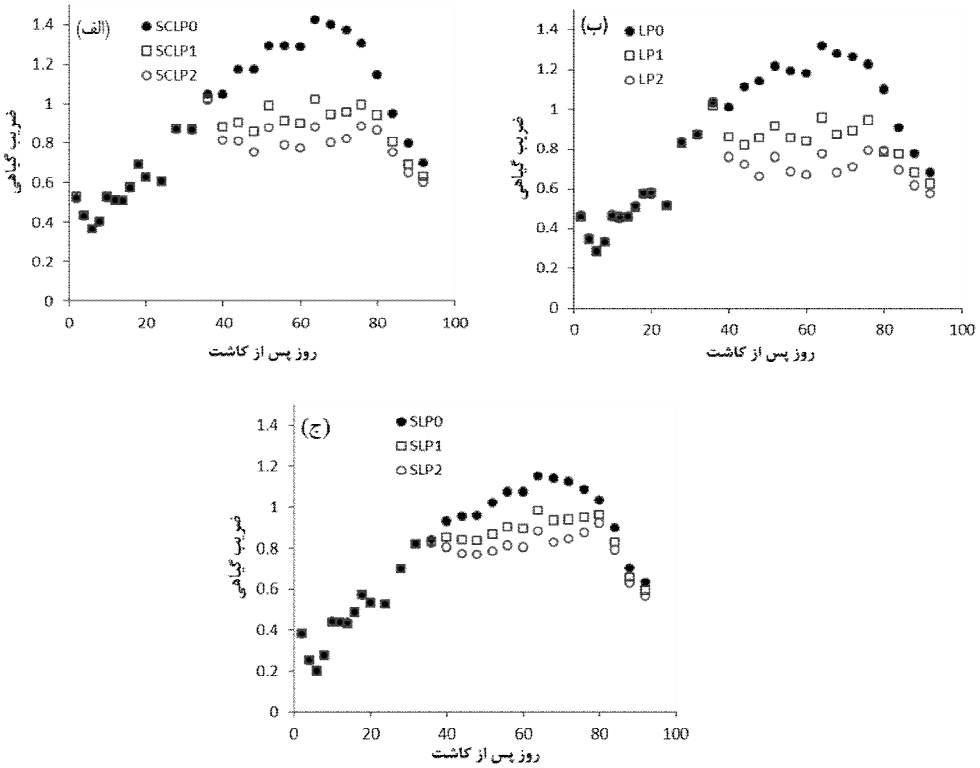
در انتهای فصل رشد، اثر تراکم خاک بر ضریب گیاهی در هر سه نوع خاک کمتر از مرحله میانی رشد گیاه شده که علت آن کاهش سرعت رشد ریشه در مرحله انتهایی رشد و در نتیجه اثر کمتر تراکم خاک بر رشد ریشه و بدنبال آن اثر کمتر بر رشد گیاه، تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به ضریب گیاهی ذرت در تیمارهای بافت و تراکم خاک در جدول (٦) ارائه شده است. تراکم خاک در هر سه نوع خاک در مراحل توسعه، میانی و نهایی رشد گیاه اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر ضریب گیاهی ذرت داشته، لیکن تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت در مرحله ابتدایی رشد اثر معنی‌داری نداشت جدول(٦). نتایج جدول یادشده همچنین نشان می‌دهد که نوع خاک اثر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد دارد. اثر متقابل تراکم و بافت خاک بر ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی و پایانی رشد گیاه (درسطح پنج و یک درصد) معنی‌دار شده است

. **جدول ۶- تجزیه واریانس ضریب گیاهی ذرت در تیمارهای بافت و تراکم خاک در مراحل رشد**

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		Kc initial	Kc development	mid Kc	Kc late
بافت خاک	۲	۰/۰۲۹**	۰/۰۲۲**	۰/۰۲**	۰/۰۱۹**
تراکم خاک	۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۳۹**	۰/۳۷**	۰/۰۵۲**
تراکم* بافت خاک	۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۸*	۰/۰۰۳۶**
خطا	۱۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۶

**و * نشان دهنده تفاوت تیمارها به ترتیب در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.



شکل ۲-اثر تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت الف) خاک لوم رسی سیلتی ب) خاک لوم ج) خاک لوم شنی

مقایسه میانگین ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد در تیمارهای مختلف تراکم و بافت خاک در جدول (۷) ارائه شده است. بیشترین و کمترین ضریب گیاهی ذرت در مرحله ابتدایی رشد به ترتیب در تیمار SCLP0 (۰/۵۲۵) و تیمار SLP2 (۰/٤۱۱) حاصل شد جدول (۷).در ابتدای رشد گیاه تبخیر از خاک بیشترین سهم در تبخیر-تعرق را دارد. در خاک لوم رسی سیلتی حجم خلل و فرج و قابلیت نگهداری آب خاک بیشتر از خاک لوم شنی است و لذا تبخیر از خاک و در نتیجه تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی در خاک لوم رسی سیلتی بیشتر از خاک لوم و در خاک لوم بیشتر از خاک لوم شنی است. نتایج جدول (۷) همچنین نشان می‌دهد که تراکم خاک در مرحله ابتدایی رشد که ریشه و اندام هوایی گیاه کوچک است اثر معنی‌داری بر ضریب گیاهی ذرت نداشت. افزایش تراکم خاک از SCLP0 (تیمار شاهد) به SCLP1 و SCLP2 به ترتیب منجر به کاهش ۹/۹ و ۱٤/٦ درصدی ضریب گیاهی ذرت در مرحله توسعه گیاه شده است. افزایش تراکم خاک از تیمار LP0 (تیمار شاهد) به LP1 و LP2 در مرحله توسعه گیاه ذرت نتایج مشابهی داشت. در خاک لوم شنی افزایش تراکم خاک از تیمار SLP0 به SLP1 و SLP2 به ترتیب موجب کاهش ۵/۳ و ۹/۸ درصدی ضریب گیاهی مرحله توسعه گیاه ذرت شده است. نتایج جدول یادشده نشان می‌دهد که ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد بیشتر از مراحل دیگر تحت تاثیر تیمارهای متفاوت تراکم خاک قرار گرفته است. بیشترین و کمترین تاثیر تراکم خاک بر کاهش ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد به ترتیب در تیمارهای LP2 (٤۰/۳ درصد) و SLP1 (۱۳/۳ درصد) بود. تاثیر تراکم خاک بر کاهش ضریب گیاهی مرحله پایانی رشد ذرت در خاک‌های لوم و لوم رسی سیلتی مشابه و بیشتر از خاک لوم شنی بود. به طور کلی، بیشترین تاثیر تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت در تیمار LP2 (٤۰/۳ درصد) و کمترین مقدار هم صفر در مرحله ابتدایی و در تیمار SLP2 و SCLP2 حاصل شد.

جدول ۷-مقایسه میانگین ضریب گیاهی ذرت درتیمارهای مختلف تراکم و بافت خاک

تراکم خاک	میانگین ضریب گیاهی (درصد تغییرات نسبت به تیمار شاهد)			
	مرحله ابتدایی	مرحله توسعه	مرحله میانی	مرحله نهایی
SCLP0	۰/۵۲۳ a	۱/۰۰۲a	۱/۲۹۹a	۰/۸۱۵a
SCLP1	۰/۵۲۵(-۰/۴)a	۰/۹۰۳(۹/۹)b	۰/۹۵۸(۲۶/۳)bc	۰/۷۰۸(۱۳/۱)b
SCLP2	۰/۵۲۳(۰)a	۰/۸۵۶(۱۴/۶)cd	۰/۸۲۸(۳۶/۳)de	۰/۶۲۶(۲۳/۲)de
LP0	۰/۴۵۱c	۰/۹۷۰a	۱/۲۱۲a	۰/۷۸۹a
LP1	۰/۴۵۱(۰)c	۰/۸۸۱(۹/۲)bc	۰/۸۷۸(۲۷/۶)cd	۰/۶۹۳(۱۲/۲)bc
LP2	۰/۴۵۵(-۰/۹)b	۰/۸۰۷(۱۶/۸)e	۰/۷۲۴(۴۰/۳)e	۰/۵۹۶(۲۴/۵)e
SLP0	۰/۴۱۱d	۰/۸۶۶bcd	۱/۰۶۶b	۰/۶۶۶cd
SLP1	۰/۴۱۱(۰)d	۰/۸۲۰(۵/۳)de	۰/۹۲۴(۱۳/۳)cd	۰/۶۲۳(۶/۵)e
SLP2	۰/۴۱۱(۰)d	۰/۷۸۱(۹/۸)e	۰/۸۴۵(۲۰/۷)cde	۰/۵۹۵(۱۰/۷)e

در هر ستون تیمارهای دارای حروف مشترک بر اساس آزمون Lsd تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

نتیجه‌گیری

بررسی اثر تراکم و بافت خاک بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت نشان داد که تراکم خاک موجب کاهش تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ذرت در مراحل توسعه، میانی و پایانی رشد شد. به دلیل کوچک بودن ریشه گیاه و وجود تراکم طبیعی در ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک تمام تیمارها، تراکم خاک اثر معنی‌داری بر ضریب گیاهی ذرت در مرحله ابتدایی رشد نداشته است. بیشترین تاثیر تراکم خاک بر کاهش ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد (۴۰/۳ درصد) و کمترین تاثیر آن در مرحله ابتدایی رشد بدست آمد. تاثیر تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت در خاکهای لوم و لوم رسی سیلتی به دلیل مقاومت بیشتر خاک در مقابل حرکت ریشه بر اثر تراکم خاک، بیشتر از خاک لوم شنی شده است. کمترین اثر تراکم خاک بر ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد در خاک لوم شنی (بافت سبک) به میزان ۲۰/۷ درصد مشاهده شد. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد کشت بدون خاک‌ورزی زیر خاک‌پوش گیاهی موجب کاهش تبخیر-تعرق ذرت شده (خالدیان و روئل، ۱۳۹۱) و شخم عمیق موجب افزایش میزان تبخیر-تعرق گیاه ذرت و گندم می‌شود که بیشترین اثر افزایشی در مرحله میانی و کمترین میزان افزایش آن در مرحله ابتدایی رشد است (زینگ زانگ و همکاران، ۲۰۱۱). با این حال، پژوهش دیگری نشان می‌دهد که نحوه شخم، اثری بر روی تبخیر-تعرق گیاه ذرت نداشته است (تان و همکاران، ۲۰۰۱).

فهرست منابع

۱. اخوان س. شعبانپور م. و اصفهانی م. ۱۳۹۱. اثر تراکم و بافت خاک بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی گندم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی ایران). ۲۶(۳): ۷۳۵-۷۲۷.

۲. امیری م. ۱۳۸۷. تعیین ضریب گیاهی خیار، گوجه و فلفل در گلخانه. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد. ۱٤٦ صفحه.

۳. حیدریان ه. ۱۳۹۰. روش‌های استاندارد آزمون‌های آزمایشگاه مکانیک خاک جلد اول و دوم. انتشارات آوند اندیشه. شیراز. ۳۱۲ صفحه.

٤. خالدیان م. و روئل پ. ۱۳۹۱. بررسی سیستم کشت بدون خاک ورزی زیر خاکپوش گیاهی بر میزان تبخیر و تعرق. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٦(۲):۳۷۲-۳۸۰.

۵. رحیم زادگان ر. ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۲ (۱و۲): ۱-۱۰.

٦. میرزایی م. ۱۳۸۵. تعیین تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی در شرایط واقعی برای ذرت و چغندر قند در دشت

قزوین و مقایسه آن با روش FAO. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد. ١٦٣ صفحه.

۷. هاشمی گرم دره ا. مصطفی زاده ب. و حیدرپور م. ١٣٨٤. بررسی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان، ایران. (سال تحقیق ١٣٨٣-١٣٨٤، دانشگاه صنعتی اصفهان).

8. Allen, R.G. Pereira L.S. Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO. Rome, Italy. 326 pp.
9. Benli, B. Kodal S. Ilbeyim A., Ustun, H. 2006. Determination of evapotranspiration & basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. Agricultural Water Management, 81: 358–370.
10. Kashyap, P.S. and Panda R.K. 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop coefficients for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management, 50: 9-25.
11. Katerji, N. Mastrorilli M. and Lahmar F. 2011. Fao-56 methodology for the stress coefficient evaluation under saline environment condition. Validation on potato & board bean crops. Agriculture Water Management, 98(4): 588-596.
12. Suleiman, A.A. Tojo S.C. and Hoogenboom G. 2007. Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate. Agricultural Water Management, 91(1–3): 33–42
13. Shoazhong, K. Huanjie C. and Jianhua Z. 2000. Estimation of maize evapotranspiration under water deficit s in semiarid arid.Agriculture Water Management, 43(1): 1-14.
14. Tan, C.S. Drury C.F. Gaynor J.D. Welacky T.W and Reynolds W.D. 2001. Effect of tillage & water table control on evapotranspiration, surface runoff, till drainage & soil water content under maize on a clayloam soil. Agriculture Water Management, 54(1): 173-188.
15. Taylor, H.M. and Ratliff L.F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Sci., 108(2): 113-119.
16. Zhang, X. Chen S. Sun H. Shao L. and Whang Y. 2011. Change of evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in north china plain over three decades. Agriculture Water Management, 98(6): 1097-1104.