

## ارزیابی تبخیر- تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آنها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

حسین دهقانی سانجی\*<sup>۱</sup> - الهه کنعانی<sup>۲</sup> - سمیرا اخوان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸

### چکیده

جداسازی تبخیر- تعرق به منظور شناخت و تعیین دقیق سهم هر یک از اجزای تبخیر- تعرق دارای اهمیت زیادی است و اساس بسیاری از طرح‌های مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور مقایسه تبخیر- تعرق ذرت و اجزای آن تحت دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مزرعه الگوی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی واقع در کرج اجرا شد. نتایج نشان داد که مقدار ETC ذرت در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۳۷۷/۰۹ و ۳۷۱/۹۲ میلی‌متر بدست آمد که از این مقدار سهم اجزای تعرق گیاهی و تبخیر از سطح خاک در سیستم قطره‌ای سطحی به ترتیب ۲۰۰/۸۱ و ۱۷۶/۰۲ و در سیستم قطره‌ای زیرسطحی ۲۱۳/۰۴ و ۱۵۸/۸۱ میلی‌متر بدست آمد. هم‌چنین مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی به ترتیب برابر ۶۵/۸۳، ۳۴/۹۸ و ۵۸/۸۳ میلی‌متر برای سیستم قطره‌ای زیرسطحی و ۷۳/۰۲، ۶۵/۷۳ و ۳۷/۳۲ میلی‌متر برای سیستم قطره‌ای سطحی حاصل شد. کل مقدار تعرق گیاهی در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی به ترتیب برابر ۱۲/۷۸، ۸۱/۳۱ و ۱۱۸/۹۵ میلی‌متر برای سیستم قطره‌ای زیرسطحی و برای سیستم قطره‌ای سطحی ۵/۸۸، ۷۶/۸۲ و ۱۱۸/۲۱ میلی‌متر بوده است. نتایج نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی دارای تلفات تبخیر از سطح خاک کمتر و هم‌چنین دارای میزان تعرق گیاهی بیشتری در طول فصل رشد ذرت می‌باشد که این می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه ذرت نقش مهمی را ایفا کند. در این پژوهش روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ذرت به ترتیب با عملکرد خشک و تر ۲۶/۵۳ و ۷۶/۶۴ تن بر هکتار عملکرد بهتری را نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر خاک، تعرق گیاهی، جداسازی، ذرت، میکرو لایسیمتر

### مقدمه

جداسازی تبخیر- تعرق به اجزا مطلوب و نامطلوب بیان می‌شود که در آن تعرق معمولاً جزء مطلوب و تبخیر جزء نامطلوب در نظر گرفته می‌شود (۲). در نواحی خشک و نیمه‌خشک بخش قابل توجهی از بارندگی بر اثر تبخیر تلف می‌شود، حتی هنگامی که سطح خاک دارای پوشش گیاهی است، بسته به روش و استراتژی آبیاری، مرحله رشد و نوع گیاهان، حدود ۱۰ تا ۶۰ درصد میزان کل تبخیر- تعرق را تبخیر از سطح خاک تشکیل می‌دهد (۱۴).

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک و نیز تلاش برای بالا بردن بهره‌وری مصرف آب، لزوم شناخت تبخیر- تعرق و اجزای آن را بیش از پیش با اهمیت می‌کند. مطالعات نشان داده است تبخیر از سطح خاک در دوره‌ی رشد بیشتر گیاهان زراعی حدود ۳۰ درصد از تبخیر- تعرق کل را شامل می‌شود (۸). روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری و تعیین دقیق تبخیر- تعرق و اجزای آن وجود دارد که شامل لایسیمترهای وزنی، روش بیلان انرژی نسبت

در بخش کشاورزی برآورد صحیح تبخیر- تعرق به منظور تعیین شیوه‌های مدیریت آب، طراحی سیستم‌های آبیاری، تعیین رژیم آبیاری و محاسبه عملکرد محصول بسیار اساسی است (۷). جداسازی تبخیر- تعرق ( $ET^1$ ) به تبخیر از خاک ( $E^2$ ) و تعرق از طریق روزنه گیاهان ( $T^3$ ) یکی از بحث‌های مهم در تعیین نیاز آبی گیاه است، زیرا

۱- دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران  
\* - نویسنده مسئول: (Email: h.dehghansanj@areeo.ac.ir)  
۲ و ۳- کارشناس ارشد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

DOI: 10.22067/jsw.v31i6.64019

1- Evapotranspiration  
2- Evaporation  
3- Transpiration

سنج شیره گیاهی (SF) اندازه‌گیری کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر- تعرق کل گیاه ۴۲ تا ۶۳ درصد و نسبت تعرق به تبخیر- تعرق کل ۲۵ تا ۵۸ درصد را شامل شد. در سال ۲۰۱۲ در منطقه نیمه‌خشک دشت بزرگ تگزاس تحقیقی به منظور جداسازی تبخیر- تعرق گیاه کتان که تحت سیستم قطره‌ای زیرسطحی آبیاری می‌شد انجام شد. در تحقیق آنها تعرق گیاهی به روش جریان سنج شیره گیاهی (SF) و تبخیر خاک از تفاضل مقدار تبخیر- تعرق و جز تعرق گیاهی اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تعرق گیاهی کتان حدود ۸۲ تا ۹۰ درصد از مقدار تبخیر- تعرق گیاه را به خود اختصاص داد (۵). جداسازی تبخیر- تعرق نیز در تاکستان‌های انگور انجام شد، از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق فریرا و همکاران (۱۰) اشاره کرد که میزان تبخیر خاک به روش میکرولاسیمتری و میزان تعرق گیاهی به روش جریان سنج شیره گیاهی (SF) را در تاکستانی که با سیستم قطره‌ای آبیاری می‌شد اندازه‌گیری کردند. بر طبق نتایج این تحقیق حدود ۱۳ درصد به جز تبخیر خاک و ۸۷ درصد از میزان کل تبخیر- تعرق به تعرق گیاهی اختصاص یافت. مطالعه‌ای توسط پابلیت و همکاران (۲۱) به منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق درختان انگور و هر کدام از اجزای آن تحت سیستم قطره‌ای انجام شد که در آن تحقیق تبخیر- تعرق به روش ادی کوریانس (EC<sup>۴</sup>)، تعرق با استفاده از جریان سنج‌های شیره گیاهی و تبخیر توسط میکرولاسیمتر اندازه‌گیری شد. بر طبق نتایج این تحقیق سهم تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی به ترتیب ۳۱ و ۶۹ درصد از تبخیر- تعرق کل گیاهی را شامل شد و سازگاری خیلی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق به روش ادی کوریانس داشتند که تا حدی حاکی از قابل اعتماد بودن روش‌های بکار رفته می‌باشد. بنابراین باتوجه به اینکه لزوم شناخت و تعیین دقیق سهم هر یک از اجزای تبخیر- تعرق دارای اهمیت زیادی است و می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی مختلف بالأخص در مورد سیستم‌های نوین آبیاری که با هزینه‌ای بالا اجرا می‌شوند در کم‌کردن هرچه بیشتر تلفات تبخیر، بهبود آب مصرفی و همینطور افزایش عملکرد گیاه گام برداشت.

هدف از تحقیق حاضر جداسازی تبخیر- تعرق با استفاده از روش میکرولاسیمتری و مقایسه آنها در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و ارتباط بین شاخص سطح برگ با هر کدام از اجزاء تبخیر- تعرق می‌باشد که این می‌تواند در افزایش بهره‌وری آب آبیاری گیاه و عملکرد گیاه ذرت تحت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نقش مهمی را ایفا کند.

بوون (BREB<sup>۱</sup>)، جریان سنج‌های شیره گیاهی (SF<sup>۲</sup>)، پالس حرارت خاک (SHP<sup>۳</sup>) و میکرولاسیمترها است. دستیابی به سهم جداگانه اجزای تبخیر- تعرق به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. تحقیقات زیادی در نقاط مختلف جهان به منظور جداسازی تبخیر- تعرق گیاهی با استفاده از روش‌های گوناگون روی گیاهان مختلفی صورت گرفته است (۶، ۱۵ و ۱۳). از جمله پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان از روش‌های اندازه‌گیری تبخیر با استفاده از میکرولاسیمترها در طول فصل رشد اشاره کرد، که در این تحقیقات هر دو جزء بطور مستقل اندازه‌گیری نشدند، بلکه از تفاضل مقدار تبخیر- تعرق و جزء تبخیر از سطح خاک سهم جزء تعرق را محاسبه کردند (۳). در تحقیقی توسط لیو و همکاران (۱۸) در شمال کشور چین میزان تبخیر از سطح خاک به روش میکرولاسیمتری روی گیاه گندم و ذرت در سیستم آبیاری شیاری اندازه‌گیری شد و نتایج آن تحقیق نشان داد که تبخیر از سطح خاک ۳۰ درصد از مقدار کل تبخیر- تعرق این دو گیاه را به خود اختصاص داد. چن و همکاران (۶) در مطالعه‌ای روی دو گیاه گندم و ذرت با روش آبیاری شیاری در شمال چین میزان تبخیر از سطح خاک به روش میکرولاسیمتری و میزان تعرق گیاهی را از تفاضل مقدار تبخیر- تعرق و جز تبخیر محاسبه و گزارش کردند که از کل مقدار تبخیر- تعرق ۱۰ تا ۶۰ درصد آن را سهم تبخیر از سطح خاک تشکیل می‌دهد و سهم کمتری از آن را تعرق گیاهی تشکیل می‌دهد. در تحقیقی، فلومینین و همکاران (۱۱) جداسازی تبخیر- تعرق در کشور برزیل بر روی قهوه که تحت سیستم بارانی آبیاری می‌شد انجام دادند، این محققان گزارش کردند که جزء تبخیر از سطح خاک ۰/۱۸ تا ۰/۶۱ درصد از مقدار تبخیر- تعرق گیاهی را به خود اختصاص داد. در سال ۲۰۱۳ در چین نیز سهم جزء تبخیر خاک و تعرق گیاهی ذرت با استفاده از روش میکرولاسیمتری که تحت سیستم شیاری آبیاری می‌شد مشخص شد. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که ۳۰ تا ۴۵ درصد از مقدار کل تبخیر- تعرق گیاه ذرت را تبخیر از سطح خاک شامل می‌شود، هم چنین این محققان گزارش کردند که نتایج تحقیقات آنها تقریب خوبی از حاصل جمع E و T را در مقایسه با ET نشان می‌دهد (۱۰).

تحقیقات زیادی نیز وجود دارد که در آنها جزء تبخیر خاک و جزء تعرق گیاهی را به طور جداگانه محاسبه کرده‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق انجام شده در کشور ژاپن توسط زگاف و همکاران (۲۳) بر روی گیاه ذرت تحت سیستم آبیاری بارانی اشاره کرد که میزان تبخیر از سطح خاک را به روش نسبت بیلان انرژی میکروبوون (M-BREB) و میزان تعرق گیاهی را به روش جریان

1- Bowen Ratio Energy Balance

2- Sap flow

3- Soil heat pulse

4- Eddy covariance

## مواد و روش‌ها

### مشخصات محل اجرای طرح

تحقیق در تابستان ۱۳۹۳ در مزرعه الگوی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی واقع در کرج با عرض جغرافیایی  $35^{\circ}21'$ ، طول جغرافیایی  $51^{\circ}38'$  و ارتفاع از سطح دریا برابر  $1312/5$  متر انجام شد. طی مدت اجرای تحقیق، داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرج به صورت روزانه دریافت شد. برای اجرای پروژه ۸ عدد میکرو لایسیمتر استوانه‌ای حجمی در داخل خاک کار گذاشته شد. هر میکرو لایسیمتر دارای قطر ۴۰ سانتی‌متر و عمق ۷۰ سانتی‌متر بود. پس از کارگذاری میکرو لایسیمترها عملیات ریختن خاک به داخل آن‌ها شروع شد و برای جلوگیری از ورود آب از سطح زمین به لایسیمتر، دیواره‌های لایسیمتر تا ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح

زمین قرار گرفت. شرایط آب و مواد غذایی به طور مطلوب و یکسان برای میکرو لایسیمتر فراهم شد. لایه‌های خاک درون میکرو لایسیمترها، مشابه خاک زمین‌های اطراف بود تا بیانگر شرایط طبیعی مزرعه باشد. برای انجام تحقیق از ۶ عدد میکرو لایسیمتر در سه تکرار استفاده شد و به ترتیب در سه عدد از آن‌ها سیستم قطره‌ای سطحی و سه عدد دیگر سیستم قطره‌ای زیرسطحی اعمال شد. در داخل هر میکرو لایسیمتر ۳ عدد بذر ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ به صورت دستی با فواصل ۱۳ سانتی‌متر از یکدیگر به ترتیب بر روی یک ردیف و با عمق ۵ سانتی‌متر از سطح خاک در تاریخ ۱۳۹۳/۵/۸ کاشته شد. همچنین برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح خاک دو عدد میکرو لایسیمتر فاقد کشت گیاه ذرت در داخل مزرعه کارگزاری شد (شکل ۱).



ب  
b



الف  
a

شکل ۱- نمایی از طرح راه‌اندازی شده پژوهش (شامل گیاه و میکرو لایسیمتر) در سیستم‌های آبیاری الف- قطره‌ای سطحی و ب- قطره‌ای زیرسطحی

Figure 1- The layout of experimental setup (including plants and the micro lysimeter) in a- surface drip (DI) and b- subsurface drip (SDI), irrigation systems

در هکتار) در مرحله ۸ و ۹ برگی به صورت کود مایع به زمین داده شد. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک داخل میکرو لایسیمترها در جدول ۱ ارائه شده است.

کود فسفات آمونیوم به مقدار (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) به انضمام نیمی از کود اوره مورد نیاز (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مرحله ۳ و ۴ برگی مورد استفاده قرار گرفت و نصف دیگر کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک  
Table 1- Physicochemical properties of the soil

عمق خاک Soil depth (cm)	جرم مخصوص ظاهری خاک BD (g cm <sup>-3</sup> )	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی FC (%)	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم WP (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m <sup>-1</sup> )	بافت خاک Soil texture
0-20	1.42	22.5	9.8	7.8	1.41	لومی Loam
20-40	1.42	22.4	9.6	7.9	1.21	لومی Loam
40-60	1.42	22.1	9.5	8.14	2.46	لومی Loam

در اینجا:  $E_{Tc}$  = تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت در فاصله اندازه گیری آب خاک در لایسیمتر (mm).  $I$  = مقدار آب آبیاری (mm).  $R$  = ارتفاع بارندگی (mm).  $D$  = مقدار آب زهکشی (mm).  $\Delta S$  = تغییرات رطوبت خاک در لایسیمتر (mm) که از معادله ۵ محاسبه می‌شود:

$$\Delta S = S_t - S_{t-1} \quad (5)$$

که در آن  $S_t$  و  $S_{t-1}$  تغییرات رطوبت خاک در زمان‌های  $t$  و  $t-1$  می‌باشد.

مقدار آب زهکش یا آب اضافی از منطقه ریشه در میکرو لایسیمترهایی که در آن‌ها سیستم قطره‌ای اعمال شده بود به صورت حجم سنجی از طریق استوانه مدرج اندازه‌گیری شد.

### محاسبه تبخیر از سطح خاک (E)

در این پژوهش تبخیر از سطح خاک با استفاده از میکرو لایسیمتر اندازه‌گیری شد. میکرو لایسیمترهای استفاده شده دارای قطر داخلی ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر بودند. هنگامی که این میکرو لایسیمترها در درون خاک قرار گرفتند، لبه آنها حدود یک سانتی‌متر از سطح خاک بالاتر بود و نیز خاک درون میکرو لایسیمترها نیز حدود ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر زیر لبه قرار گرفت. میکرو لایسیمترها با خاک مشابه داخل میکرو لایسیمترهای حاوی کشت ذرت پر شدند و از تفاضل مقدار آب ورودی و زهکشی شده در بازه آبیاری متناسب با آبیاری لایسیمترهای ذرت ارتفاع تبخیر در آن بازه زمانی بدست آمد. در نهایت از تفاضل مقدار تبخیر- تعرق واقعی و مقدار تبخیر از سطح خاک تعرق گیاهی محاسبه گردید.

همچنین در طول دوره رشد گیاه ذرت عملیات اندازه‌گیری سطح، طول، عرض و ضخامت برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LASER Area Meter) مدل (CI - 202) ساخت کشور آمریکا هر ده روز یک‌بار اندازه‌گیری شد.

تعدادی از متغیرهای هواشناسی در ماه‌های متناسب با تقویم زراعی ذرت از جمله میانگین دمای حداکثر و حداقل روزانه هوا، میانگین رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد در منطقه در طول دوره مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به پارامترهای هواشناسی نشان داده شد که دمای هوا از ماه مرداد تا مهر کاهش پیدا کرد و گرم‌ترین و سردترین مقدار دما به ترتیب در ماه مرداد و مهر اتفاق افتاد. مقدار رطوبت نسبی از ماه مرداد تا مهر افزایش پیدا کرد و به میانگین مقدار در حدود ۵۰٪ در ماه مهر رسید، هم‌چنین سرعت باد از ماه مرداد تا شهریور کاهش و از ماه شهریور تا مهر افزایش پیدا کرد.

آبیاری میکرو لایسیمترها به این صورت بود که برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از لوله‌های ۱۶ میلی‌متری مجهز به قطره‌چکان از نوع Netafim با دبی ۴ لیتر بر ساعت و از نوع کنترل کننده فشار در داخل لوله با فاصله ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد و قطره‌چکان‌های Netafim با استفاده از میکروتیوب متصل شده به لترال‌های آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک در زیر ردیف کشت کار گذاشته شدند و آب آبیاری از طریق میکروتیوب به عمق مورد نظر منتقل می‌شد. عملیات آبیاری پس از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها از روی محاسبات انجام شد و براساس دور آبیاری دو روز در هفته در اختیار گیاه قرار گرفت. عمق آب آبیاری مورد نیاز بر اساس فرمول پنمن-مانتیت فائو (۲) و با استفاده از اطلاعات هواشناسی ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرج محاسبه گردید. لازم به ذکر است که یک عدد کنتور حجمی نیز در مسیر جریان آب در لوله نصب شد که حجم آب ورودی به سیستم قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را کنترل می‌کرد. به منظور برآورد مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیت فائو (۲) از فرمول زیر استفاده شد:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 (T + 273) U_2 (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

در اینجا:  $ET_0$ : تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm day}^{-1}$ ),  $R_n$ : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{Mj m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ),  $T$ : متوسط دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $U_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار ( $\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$ : ضریب رطوبتی ( $\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $G$ : شار گرمایی به داخل خاک ( $\text{Mj m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ),  $e_s - e_a$ : کاهش فشار بخار اشباع (KPa) می‌باشد.

عمق ناخالص آب آبیاری از معادله ۲ محاسبه گردید (۱۶):

$$D_g = \frac{ET_0 \times K_c}{e} \quad (2)$$

در اینجا:  $D_g$ : عمق ناخالص آب آبیاری (mm),  $ET_0$ : تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm day}^{-1}$ ),  $K_c$ : ضریب گیاهی،  $e$ : راندمان کاربرد آب آبیاری

که در این طرح با توجه به کوتاه بودن طول لترال‌ها و یکنواختی توزیع آب راندمان ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است و در نهایت حجم آب مورد نیاز هر کدام از میکرو لایسیمترها از معادله ۳ محاسبه گردید:

$$V = D_g \times A \quad (3)$$

### تبخیر- تعرق واقعی ذرت ( $E_{Tc}$ )

تبخیر- تعرق واقعی گیاه ذرت با استفاده از بیلان آب خاک و از طریق معادله ۴ محاسبه شد:

$$E_{Tc} = P + I - D - R - \Delta S \quad (4)$$

جدول ۲- پارامترهای هواشناسی منطقه مورد آزمایش  
Table 2- Climatic parameters of the experimental region

ماه Month	حدأقل دما T <sub>min</sub> (°C)	حدأكثر دما T <sub>max</sub> (°C)	میانگین دما T <sub>avg</sub> (°C)	میانگین رطوبت نسبی RH <sub>avg</sub> (%)	میانگین سرعت باد U <sub>2avg</sub> (m s <sup>-1</sup> )
مرداد August	20.4	36.5	28.4	32	5.04
شهریور September	18.2	33.5	25.8	38	4.16
مهر November	11.5	24.7	17.8	49	4.82

## نتایج و بحث

### تبخیر- تعرق واقعی گیاه ذرت و اجزای آن

مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج دیگر محققان نشان می‌دهد که تفاوت در مقدار ETc در مناطق مختلف به دلیل تفاوت در زمان کاشت و شرایط آب و هوایی مختلف و نوع روش‌های آبیاری می‌تواند متفاوت باشد. مطابق جدول بیشترین تبخیر- تعرق صورت گرفته برای هر کدام از روش‌های آبیاری در مرحله میانی از فصل رشد به ترتیب با مقادیر برابر ۱۵۵/۵۳ و ۱۵۳/۹۴ برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی رخ داده است.

تبخیر- تعرق واقعی ذرت در طول کل فصل رشد برای سیستم های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر ۳۷۷/۰۹ و ۳۷۱/۹۲ میلی‌متر بود (جدول ۳). براساس این نتایج بیشترین مقدار تبخیر- تعرق در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی مشاهده شد. تحقیقات نشان می‌دهد که دامنه‌ی ETc ذرت از مقدار ۲۰۰ تا ۶۶۳ میلی‌متر برای شرایط آب و هوایی مختلف متغیر است (۱۹، ۲۰ و ۲۴).

جدول ۳- عمق آب آبیاری و تبخیر- تعرق واقعی گیاه در دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (ETcDI) و زیرسطحی (ETcSDI)  
Table 3- Irrigation depth and actual evapotranspiration under surface (ETcDI) and subsurface drip (ETcSDI) irrigation system

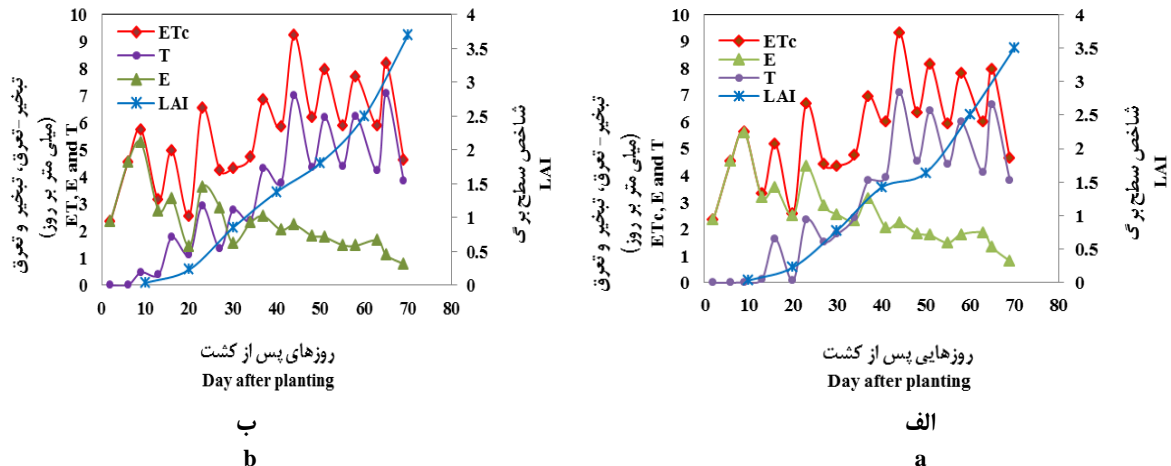
مراحل پس از کشت Stages after planting	تبخیر-تعرق قطره‌ای سطحی ETc-SDI (mm)	تبخیر-تعرق قطره‌ای زیرسطحی ETc-SDI (mm)	عمق آب آبیاری Irrigation depth (mm)
اولیه Initial	79	77.83	79.71
توسعه Development	142.56	140.15	143.41
میانی Middle	155.53	153.94	156.72
مجموع Sum	377.09	371.92	379.86

از آن شدت تبخیر- تعرق روند افزایشی داشته است. به‌طوری‌که، حدوداً ۴۸ روز پس از کشت، حداکثر تبخیر و تعرق در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۹/۳۳ میلی‌متر بر روز و ۹/۲۴ میلی‌متر بر روز گزارش شد. دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که با وارد شدن گیاه به مرحله توسعه و میانی از فصل رشد آن شاخص سطح برگ افزایش پیدا می‌کند که افزایش شاخص سطح برگ نیز به نوبه خود باعث افزایش تبخیر-تعرق گیاهی خواهد شد. در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل اینکه سطح خاک مرطوب کمتری با سطح آزاد هوا در تماس است، میزان تبخیر از

روند تغییرات تبخیر- تعرق واقعی ذرت، تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی و شاخص سطح برگ برای روزهای مختلف رشد تحت دو روش آبیاری اعمال شده در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهد مقدار تبخیر- تعرق و تعرق گیاهی ذرت تحت دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) و قطره‌ای زیرسطحی (SDI) از مرحله اولیه تا مرحله میانی از فصل رشد ذرت روند افزایشی داشت. به عبارت دیگر با توجه به شکل ۲ ابتدای مرحله اولیه که پوشش گیاهی کم است، این مقدار کوچک می‌باشد، تا ۲۰ روز بعد از اولین آبیاری و شروع رشد گیاه بین ۴ تا ۵ میلی‌متر در روز بوده و پس

میلی‌متر بر روز بود، و پس از آن مجدداً با روند کاهشی آن در ۶۹ روز پس از کشت برای دو سیستم قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب به ۴/۶۵ و ۴/۱۲ میلی‌متر بر روز رسید.

سطح خاک نیز در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای سطحی کمتر می‌باشد، سپس به تدریج روند کاهشی تبخیر-تعرق مشاهده می‌شود. در مرحله میانی رشد، حداکثر شدت تبخیر-تعرق گیاه برای هر کدام از سیستم‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۸/۱۹ و ۸/۱۷



شکل ۲- تغییرات تبخیر-تعرق واقعی، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک در سیستم آبیاری: الف- قطره‌ای سطحی و ب- قطره‌ای زیرسطحی  
Figure 2- Variation of actual evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in irrigation systems: a - surface drip (DI) and b- subsurface drip (SDI)

اندازه‌گیری شده در طی فصل رشد ذرت در شکل ۲ نشان داد که در دوره رشد اولیه ذرت، شدت تبخیر از سطح خاک به علت سطح کم پوشش گیاهی در این مرحله بالا بوده و پس از آن به مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به علت توسعه پوشش گیاهی کاهش یافته است. در ابتدای رشد گیاه که پوشش کامل نبوده و سطح خاک در تماس بیشتری با هوا بوده میزان تبخیر از سطح خاک بالا می‌باشد، اما به تدریج با افزایش پوشش گیاهی این نسبت کاهش یافته است، بطوری که با کامل شدن پوشش گیاه در مهر ماه کمترین مقدار را داشته است. بیشترین مقدار تبخیر از سطح خاک برای هر کدام از روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر ۵/۶۰ و ۵/۲۷ میلی‌متر بر روز، حدود ۹ روز پس از کشت در مرحله اولیه از دوره رشد ذرت رخ داده است.

مجموع مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت، تعرق گیاهی، تبخیر از سطح خاک، نسبت تعرق گیاهی به تبخیر-تعرق واقعی و نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر-تعرق واقعی برای مراحل اولیه، توسعه و میانی از فصل رشد ذرت دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد کل مقدار تعرق گیاهی در هر کدام از دوره‌های اولیه، توسعه و میانی از فصل رشد در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب برابر ۵/۸۸، ۷۶/۸۲ و ۱۱۸/۲۱ میلی‌متر بر روز و در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب برابر با ۱۲/۷۸، ۸۱/۳۱ و ۱۱۸/۹۵ میلی‌متر بر روز بود که بطور کلی در هر کدام از سیستم‌های

روند تغییرات تعرق گیاهی ذرت در دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شکل ۲ نشان داد که از ابتدای مرحله اولیه تا مرحله میانی کشت ذرت به تدریج در حال افزایش بوده و روند صعودی را طی کرده است که این افزایش تعرق گیاهی ذرت را می‌توان این گونه بیان کرد که با سپری شدن هر روز از فصل رشد ذرت بر شاخ و برگ ذرت افزوده شده و شاخص سطح برگ و پوشش گیاهی بر روی زمین به اوج رشد خود می‌رسد که با افزایش پوشش گیاهی تعرق بیشتری از گیاه ذرت صورت گرفته و ماکزیمم مقدار آن در مرحله میانی از فصل رشد رخ می‌دهد. حداکثر مقدار تعرق گیاهی ذرت به ترتیب برابر ۷/۰۷ و ۷/۰۹ میلی‌متر بر روز برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی است که حدوداً ۴۸ روز پس از کشت اتفاق افتاده است. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات ETc ذرت عمدتاً با تغییرات T کنترل شده بود زیرا تبخیر از سطح خاک یک نسبت خیلی کمی از تبخیر-تعرق را در مراحل توسعه و میانی به خود اختصاص داده بود و در طول فصل رشد ذرت با افزایش شاخص سطح برگ مقدار تبخیر کاهش یافته است، همچنین در مراحل اولیه و توسعه رشد گیاه مقدار تبخیر-تعرق و تبخیر در روش آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر از قطره‌ای زیرسطحی است، اما در مرحله میانی که شاخص سطح برگ در دو سیستم آبیاری به حد ماکزیمم خود می‌رسد دیگر اختلاف چندانی در بین اجزای تبخیر-تعرق دو روش آبیاری قابل مشاهده نیست.

همچنین تغییرات شدت تبخیر از سطح خاک در دوره زمانی

قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۲۰۰/۹۱ و ۲۱۳/۰۴ میلی‌متر شد. از کل مقدار تبخیر- تعرق گیاه ذرت به تعرق گیاهی اختصاص داده

جدول ۴- نسبت تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی ذرت به تبخیر- تعرق واقعی در سیستم‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی  
Table 4- Ratio of soil evaporation and corn transpiration to evapotranspiration in surface drip (DI) and subsurface drip (SDI) irrigation systems

سیستم آبیاری Irrigation system	مراحل فصل رشد Growth season stages	مجموع تبخیر- تعرق	مجموع تبخیر	مجموع تعرق	مجموع نسبت تبخیر- تعرق	مجموع نسبت تبخیر- تعرق
		$\sum ET_c$ (mm)	$\sum E$ (mm)	$\sum T$ (mm)	به تبخیر- تعرق $\sum T/ET_c$ (%)	به تبخیر- تعرق $\sum E/ET_c$ (%)
قطره‌ای سطحی Surface drip (DI)	اولیه Innitial	77.91	73.02	5.88	7.54	93.72
	توسعه Advance	142.57	65.73	76.82	53.88	46.10
	میانی Middle	155.53	37.32	118.21	76	23.99
قطره‌ای زیرسطحی Subsurface drip (SDI)	اولیه Innitial	77.84	65	12.78	16.42	83.50
	توسعه Advance	140.16	58.83	81.31	58.01	41.97
	میانی Middle	153.94	34.98	118.95	77.27	22.72

از فصل رشد و تعرق گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد اختصاص داشت. بررسی مقادیر تبخیر- تعرق، تبخیر از سطح خاک و همین‌طور تعرق در دو سیستم آبیاری در مراحل اولیه رشد نشان می‌دهد، تبخیر- تعرق کل و تبخیر از سطح خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی کمتر از سیستم سطحی است، بنابراین مقدار تعرق در سیستم زیرسطحی بیشتر از سیستم سطحی خواهد بود که با نتایج تحقیقات اسفندیاری و همکاران (۸) همخوانی دارد.

همچنین در طول انجام تحقیق مقدار عملکرد خشک ( $Y_{dry}$ ) و عملکرد تر ( $Y_{wet}$ ) گیاه و نیز برخی از پارامترهای گیاهی از جمله شاخص سطح برگ (LAI)، ارتفاع بوته (H) و نیز قطر بوته گیاه (D) نیز تا مرحله برداشت گیاه اندازه‌گیری شد (جدول ۵).

همچنین نتایج جدول ۴ نشان داد که در مرحله اولیه‌ی رشد، در هر کدام از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۹۳ و ۸۳ درصد تبخیر- تعرق کل صرف تبخیر از سطح خاک شده است، که مینیمم مقدار کل سهم تبخیر به تبخیر- تعرق کل به ترتیب برابر ۳۷ و ۳۴ میلی‌متر در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مرحله میانی اتفاق افتاد. در نهایت از کل مقدار تبخیر- تعرق گیاهی به ترتیب ۱۷۶/۰۲ و ۱۵۸/۸۱ میلی‌متر در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به تبخیر از سطح خاک اختصاص یافت. از نتایج جدول ۵ نیز مشاهده می‌شود که بیشترین سهم تبخیر- تعرق کل گیاه ذرت در هر کدام از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به تبخیر از سطح خاک در مرحله اولیه

جدول ۵- عملکرد بیولوژیکی (خشک و تر) و پارامترهای گیاهی ذرت در سیستم قطره‌ای سطحی و زیرسطحی  
Table 5- Dry and wet biological yield and plant characteristics of corn in surface drip (DI) and subsurface drip (SDI) irrigations

سیستم‌های آبیاری Irrigation Systems	عملکرد Yield		پارامترهای گیاهی Plant characteristics		
	عملکرد خشک $Y_{dry}$ (ton ha <sup>-1</sup> )	عملکرد تر $Y_{wet}$ (ton ha <sup>-1</sup> )	LAI شاخص سطح برگ	ارتفاع H (cm)	قطر D (cm)
	قطره‌ای سطحی Surface drip (DI)	23.19	58.54	3.42	169.24
قطره‌ای زیرسطحی Subsurface drip (SDI)	26.53	76.64	3.70	179.33	2.90

بود. باتوجه به شکل مشاهده می شود که زمانی که LAI کوچکتر از مقدار ۳ بود نسبت T/ETc افزایش چشمگیری داشت و پس از آن با یک نسبت خیلی کمی در زمانی که LAI بزرگتر از ۳ است روند افزایشی داشته است. در این پژوهش T/ETc به عنوان تابعی از LAI با یک تابع پلی نومیال به صورت زیر ارائه شد:

$$Y = 9.324 X^2 + 53.32 X + 7.617 \quad (۶)$$

$$R^2 = 0.951 \quad \text{قطره‌ای سطحی}$$

$$Y = 9.899 X^2 + 54.49 X + 13.42 \quad (۷)$$

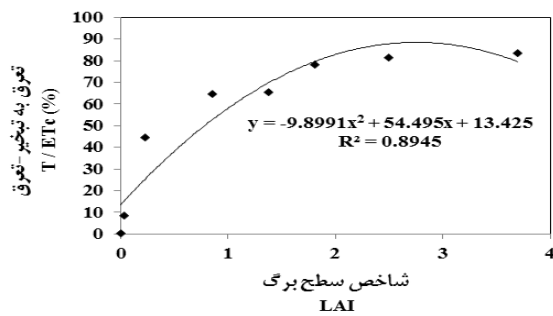
$$R^2 = 0.894 \quad \text{قطره‌ای زیرسطحی}$$

معادلات ۶ و ۷ با ضرایب تعیین ( $R^2$ ) بالا نشان می دهند که تعرق به عنوان تابعی از پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ مطرح است. تعدادی از مطالعات نشان دادند که اغلب هنگامی که LAI بیشتر از ۳ بود تغییرات تعرق با افزایش LAI روند افزایشی کندتری را دنبال می کند که با نتایج تحقیقات ریتچی و برنت (۲۲)، برن و همکاران (۳) و کریستنسن (۱۷) مطابقت دارد.

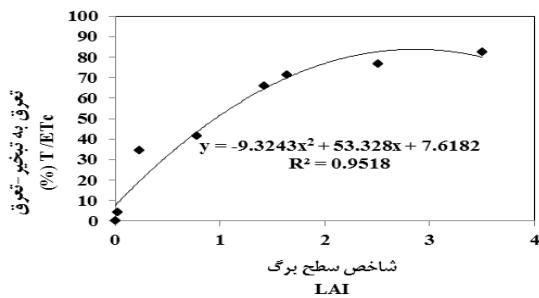
نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دارای مقادیر عملکرد بیولوژیک بالاتر و همچنین مقادیر بالاتری در پارامترهای گیاهی نسبت به سیستم قطره‌ای سطحی بود. دلیل این امر را می توان آن دانست که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل کاهش تبخیر، کنترل بهتر علف‌های هرز و رساندن مستقیم آب به منطقه توسعه ریشه نقش بسزایی در افزایش عملکرد ذرت دارد.

### ارتباط بین تعرق و تبخیر به تبخیر- تعرق (T/ETc) و شاخص سطح برگ (LAI)

در شکل ۳ و ۴ به ترتیب روند تغییرات تعرق به تبخیر- تعرق (T/ETc) و روند تغییرات تبخیر به تبخیر- تعرق (E/ETc) و شاخص سطح برگ (LAI) برای گیاه ذرت در دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی ارائه شده است. شکل ۳ نشان می دهد که نسبت بین T/ETc با پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ ارتباط خیلی نزدیکی دارد. مقادیر T/ETc از صفر تا حدود ۹۰ درصد متغیر



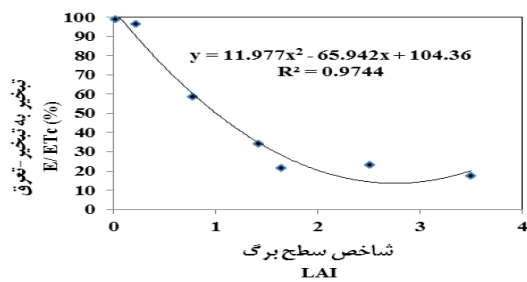
ب  
b



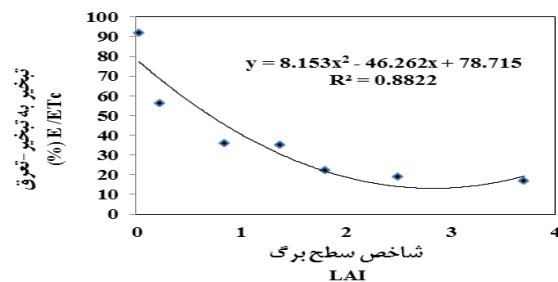
الف  
a

شکل ۳- ارتباط بین نسبت تعرق گیاهی به تبخیر- تعرق و شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری الف- قطره‌ای سطحی و ب- قطره‌ای زیرسطحی

Figure 3- Relationship between ratio of transpiration to evapotranspiration and leaf area index in a: surface drip (DI) and b: subsurface drip (SDI) irrigation system



ب  
b



الف  
a

شکل ۴- ارتباط بین نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر- تعرق و شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری الف- قطره‌ای سطحی و ب- قطره‌ای زیرسطحی

Figure 4- Relationship between ratio of evaporation to evapotranspiration and leaf area index in a: surface drip (DI) and b: subsurface drip (SDI) irrigation systems



اجزاء تعرق گیاهی و تبخیر از سطح خاک در طول دوره رشد به ترتیب ۲۰۰/۸۱ و ۱۷۶/۰۲ برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی قطره‌ای سطحی و ۲۱۳/۰۴ و ۱۵۸/۸۱ برای سیستم قطره‌ای زیرسطحی بدست آمد. بطور کلی در هر کدام از سیستم‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۲۰۰/۹۱ و ۲۱۳/۰۴ میلی‌متر از کل مقدار تبخیر- تعرق کل گیاه ذرت به تعرق گیاهی اختصاص داده شد. همچنین در مرحله اولیه‌ی رشد، در هر کدام از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب تقریباً حدود ۹۳ و ۸۳ درصد تبخیر- تعرق کل صرف تبخیر از سطح خاک شده است، که مینیمم مقدار کل سهم تبخیر به تبخیر- تعرق کل به ترتیب برابر ۳۷ و ۳۴ میلی‌متر در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مرحله میانی اتفاق افتاد. در نهایت از کل مقدار تبخیر- تعرق کل گیاهی به ترتیب ۱۷۶/۰۲ و ۱۵۸/۸۱ میلی‌متر در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به تبخیر از سطح خاک اختصاص یافت. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق مشخص شد که بیشترین مقدار تبخیر از سطح خاک در هر دو سیستم آبیاری به ترتیب در مرحله اولیه رشد صورت گرفت. بیشترین مقدار تعرق گیاهی نیز برای هر کدام از سیستم‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مرحله میانی از فصل رشد زمانی که شاخص سطح برگ گیاه به مقدار ماکزیمم خود رسیده بود رخ داد. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با سیستم قطره‌ای سطحی دارای مقدار تبخیر از سطح خاک کمتر و تعرق گیاهی بیشتری بوده است. همچنین ارزیابی عملکرد گیاه و اجزای آن نیز نشان داد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل کاهش تبخیر، کنترل بهتر علف‌های هرز و رساندن مستقیم آب به منطقه توسعه ریشه نقش بسزایی در افزایش عملکرد داشت.

بعلاوه E/ETc نیز به عنوان تابعی از LAI با یک تابع پلی‌نومیال به صورت زیر ارائه شد:

$$Y = 11.97 X^2 + 65.94 X + 104.3 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.974 \quad \text{قطره‌ای سطحی}$$

$$Y = 8.153 X^2 + 6.26 X + 78.71 \quad (9)$$

$$R^2 = 0.882 \quad \text{قطره‌ای زیرسطحی}$$

معادلات ۸ و ۹ با ضرایب تعیین ( $R^2$ ) بالا نشانگر این است که تبخیر از سطح خاک به عنوان تابعی از پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ بود. با توجه به نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود که اغلب هنگامی که LAI کمتر از مقدار ۳ بود تغییرات تبخیر با افزایش LAI روند کاهشی سریعی را دنبال می‌کند و پس از آن با یک نسبت خیلی کمی در زمانی که LAI بزرگتر از ۳ است روند کاهشی را همچنان طی کرده است. همانطور که نمودار نشان می‌دهد نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر- تعرق گیاه در برابر تغییرات شاخص سطح برگ نسبت عکس دارند یعنی افزایش LAI باعث کاهش E/ETc می‌شود. نتایج ارائه شده و روابط پیشنهادی می‌تواند به بر آورد بهتر آب مورد نیاز محصول و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری در طول کل فصل رشد محصول کمک کند ولی باید در مکان‌های دیگر تحت خاک و شرایط آب و هوایی متفاوت مورد آزمایش قرار گیرد.

## نتیجه گیری

نتایج تحقیقات در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار کل ETc برای ذرت در منطقه مورد مطالعه برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۳۷۷/۰۹ و ۳۷۱/۹۲ میلی‌متر بدست آمد. ماکزیمم ETc و T برای هر دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در زمان ۴۸ روز پس از کشت در مرحله میانی از فصل رشد گیاه ذرت رخ داد. از کل مقدار تبخیر- تعرق سهم هر کدام از

## منابع

- 1- Agam N., Evett S.R., Tolk J.A., Kustas W.P., Colaizzi P.D., Alfieri J.G., Mckee L.G., Copeland K.S., Howell T.A., and Chavez J.L. 2012. Evaporative loss from irrigated inter rows in a highly advective semi-arid agricultural area. *Advance in Water Resources*, 50: 20–30.
- 2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration – Guide-lines for Computing Crop Water Requirements*. FAO, Rome.
- 3- Brun L. J., Kanemasu E. T., and Powers W. L. 1972. Evapotranspiration from soybean and sorghum fields. *Agronomy Journal*, 64(2): 145-148.
- 4- Bufon V.B., Lascano R.J., Bednarz C., Booker J.D. and Gitz D.C. 2012. Soil water content on drip irrigated cotton: comparison of measured and simulated values obtained with the Hydrus 2-D model. *Irrigation Science*, 30: 259–273.
- 5- Campbell G.S., Calissendorff C., and Williams J.H. 1991. Probe for measuring soil specific heat using a heat-pulse method. *Soil Science Society America Journal*. 55: 291–293.
- 6- Chen S., Zhang X., Sun H., Ren T., and Wang Y. 2010. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. *Agricultural water management*, 97: 1126–1132.

- 7- Eberbach P.L., Humphreys E., and Kukal S.S. 2011. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. *Agricultural Water Management*, 98(12): 1847-185.
- 8- Esfandyari S. 2013. Evaluation of fertigation effect under drip irrigation systems (surface and subsurface) on root development, yield and corn evapotranspiration. Ph.D Dissertation of Irrigation and Drainage Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract)
- 9- Fan Z., Chai Q., Huang G., Yu A., Huang P., Yang C., Tao Z., and Liu H. 2013. Yield and water consumption characteristics of wheat/maize intercropping with reduced tillage in an oasis region. *European Journal of Agronomy*, 45: 52-58.
- 10- Ferreira M.I., Silvestre J., Conceição N., and Malheiro A.C. 2012. Crop and stress coefficients in rainfed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. *Irrigation Science*, 30: 433-447.
- 11- Flumignan D.L., de Faria R.T., and Prete C.E.C. 2011. Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production. *Agricultural Water Management*, 98: 791-800.
- 12- Ham J.M., Heilman J.L. and Lascano R.J. 1990. Determination of soil water evaporation and transpiration from energy balance and stem flow measurements. *Agricultural Forest Meteorology*, 52: 287-301.
- 13- Heitman J.L., Xiao X., Horton R. and Sauer T.J., 2008. Sensible heat measurements indicating depth and magnitude of subsurface soil water evaporation. *Water Resource Research*, 44: 1-7.
- 14- Hillel D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, London, UK/San Diego, CA.
- 15- Kang S., Gu B., Du T. and Zhang, J. 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. *Agricultural Water Management*. 59: 239-254.
- 16- Kosari H. 2009. Evaluation of Soil surface energy balance to estimation of evapotranspiration and its components in surface and sub-surface drip irrigation systems. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Tehran. (in Persian).
- 17- Kristensen K. J. 1974. Actual evapotranspiration in relation to leaf area. *Hydrology Research*, 5(3): 173-182.
- 18- Liu C., Zhang X., and Zhang Y. 2002. Determination of daily evaporation and evapo-transpiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agricultural Forest Meteorology*, 111: 109-120.
- 19- Liu H., Wang X., Zhang X., Zhang L., Li Y., and Huang G. 2017. Evaluation on the responses of maize (*Zea mays* L.) growth, yield and water use efficiency to drip irrigation water under mulch condition in the Hetao irrigation District of China. *Agricultural Water Management*, 179: 144-157.
- 20- Payero J. O., Tarkalson D. D., Irmak S., Davison D., and Petersen J. L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 95(8): 895-908.
- 21- Poblete-Echeverría C., Ortega-Farías S., Zúñiga M., and Fuentes S. 2012. Evaluation of compensated heat-pulse velocity method to determine vine transpiration using combined measurements of eddy covariance system and microlysimeters. *Agricultural Forest Meteorology*, 109: 11-19.
- 22- Ritchie J. T., and Burnett E. 1971. Dryland evaporative flux in a subhumid climate: II. Plant influences. *Agronomy Journal*, 63(1): 56-62.
- 23- Zeggaf A.T., Takeuchi S., Dehghanisanij H., Anyoji H., and Yano T. 2008. A Bowen ratio technique for partitioning energy fluxes between maize transpiration and soil surface evaporation. *Agronomy Journal*, 100: 988-996.
- 24- Zhang H., Xiong Y., Huang G., Xu X., and Huang Q. 2017. Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, 179: 205-214.

## Evaluation of Corn Evapotranspiration and its Components and Relationship between Leaf Area Index and Components in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems

H. Dehghanisani<sup>1\*</sup> – E. Kanani<sup>2</sup> – S. Akhavan<sup>3</sup>

Received: 08-05-2017

Accepted: 09-12-2017

**Introduction:** Partitioning of evapotranspiration (ET) into evaporation from the soil (E) and transpiration through the stomata of plants (T) is important in order to assess biomass production and the allocation of increasingly scarce water resources. Generally, T is the desired component with the water being used to enhance plant productivity; whereas, E is considered a source of water loss or inefficiency, and is the basis of the management and organization of water resources. The present investigation was carried out with the objectives evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationship between leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems.

**Materials and Methods:** The pilot farm were located in the water and soil department of the ministry of agriculture in Karaj, Iran (latitude of 51°38' N and longitude of 35°21' W, 1312.5 m above sea level). For implementation project was placed 8 volume micro-lysimeters in the soil, which were filled with soil excavated from the study site. The soil inside of micro-lysimeter and the soil of the surrounding study had the same physical-chemical characteristics. The corn was irrigated with surface drip (DI) and subsurface drip irrigation (SDI) system, that was installed just prior to planting in 2014 in a field that was planted to sprinkler-irrigated corn. Daily crop actual evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) of each micro-lysimeter was calculated by applying the water balance method and soil evaporation was measured with micro-lysimeters. Finally, plant transpiration was calculated from difference between the actual evapotranspiration value and amount of evaporation from the soil surface. Leaf area index (LAI), was measured, and it was measured with the electronic leaf area-meter, CI – 202 seven times during the growing season. This method provides an indication of the plant growth.

**Results and Discussion:** The obtained results indicated that actual corn evapotranspiration was 377 and 371.92 mm for surface drip and subsurface drip irrigation systems, respectively. The value of corn evapotranspiration under surface drip and subsurface drip irrigation increased from initial, to middle season stages. The maximum daily values of ET<sub>c</sub> occurred on 48 days after planting in middle season stages. The total value of transpiration plant was 5.88, 76.82 and 118.21 mm d<sup>-1</sup> for surface drip irrigation system and 12.78, 81.31 and 118.95 mm d<sup>-1</sup> for subsurface drip irrigation system in the initial, advance, and middle season stages, respectively. Sum evaporation from the soil surface and crop transpiration was 200.81 and 176.02 mm for surface drip irrigation system and 213.04 and 158.81 mm for subsurface drip irrigation system. So, amount of evaporation from the soil surface was 73.02, 65.73 and 37.32 mm for surface drip irrigation system and 65, 58.83 and 34.98 mm for subsurface drip irrigation system in the initial, advance, and middle season stages, respectively. In surface drip and subsurface drip irrigation was allocated approximately 93 and 83 percent of evapotranspiration to evaporation from the soil surface respectively. The minimum daily values of E/ET<sub>c</sub> were 37 and 34 mm for surface drip and subsurface drip irrigation systems respectively, and occurred in middle season stages. Amount of transpiration was 5.88, 76.82 and 118.21 mm for surface drip irrigation system 12.78, 81.31 and 118.95 mm for subsurface drip irrigation for the initial, advance and middle season stages, respectively. The relationship between T/ET<sub>c</sub> and LAI was fitted to a polynomial equation with significant correlation coefficients, R<sup>2</sup> = 0.95 and 0.89 for surface drip and subsurface drip irrigation systems, respectively. T/ET<sub>c</sub> started from 0 at sowing, and reached to its maximum at the middle growth stage or when LAI reached to about 3.0. Also, the relationship between E/ET<sub>c</sub> and LAI was fitted to a polynomial equation with significant correlation coefficients, R<sup>2</sup> = 0.97 and 0.88 for surface drip and subsurface drip irrigation systems respectively, and reached to its minimum at the middle growth stage. Also the results showed that subsurface drip irrigation systems have higher biological yield and higher values for plant parameters in compared to surface drip

1- Associate Researcher, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran

(\*- Corresponding Author Email: h.dehghansani@areeo.ac.ir)

2 and 3- Master Student and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

irrigation system that it shows subsurface drip irrigation system due to evaporation reduction, better weed control and direct transport of water to the developmental zone has a significant role in increasing corn yield.

**Conclusion:** The results of this study indicated that soil evaporation losses in subsurface drip irrigation system had lower than surface drip irrigation system. Also, had higher transpiration in the growth season. This could perform important role on yield of crop. These results should help the precise planning and efficient management of irrigation for these crops in this region.

**Keywords:** Corn, Micro Lysimeter, Partitioning, Soil evaporation, Transpiration