

## تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای

رضا سعیدی<sup>۱</sup>

دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

دریافت: آبان ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

### چکیده

در این پژوهش، اثر تنش شوری بر مقدار اجزاء تبخیر-تعرق ذرت (در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد) و در مقیاس مینی لایسیمتر بررسی شد. تیمارهای شوری از طریق آب دارای هدایت الکتریکی (S<sub>0</sub>) ۰/۵، (S<sub>1</sub>) ۲/۱، (S<sub>2</sub>) ۳/۵ و (S<sub>3</sub>) ۵/۷ دسی زیمنس بر متر اعمال شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در کل دوره رشد، از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> مقادیر تبخیر-تعرق در محدوده (۴۲۰-۳۲۰)، تعرق (۲۸۵-۱۲۴) و تبخیر (۱۹۶-۱۳۵) میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به طوری که در اثر شوری، سهم تعرق گیاه (T/ET<sub>c</sub>) ۲۹٪ کاهش و سهم تبخیر (E/ET<sub>c</sub>) به همان نسبت افزایش یافت. در مراحل مختلف رشد ذرت نیز واکنش‌های مذکور مشاهده شد. از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر به ترتیب در محدوده ۷۲-۷۹، ۱۹-۱۰ و ۶۱-۶۲ میلی‌متر (در مرحله اولیه)، ۲۰۲-۱۵۰، ۱۵۰-۷۱ و ۷۹-۵۱ میلی‌متر (در مرحله توسعه)، ۱۲۴-۸۴، ۱۱۰-۳۹ و ۴۵-۱۴ میلی‌متر (در مرحله میانی) و ۱۴-۱۵، ۶-۴ و ۹-۱۰ میلی‌متر (در مرحله پایانی رشد) اندازه‌گیری شد. بیشترین تا کم‌ترین سهم تعرق گیاه به ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود و در مورد سهم تبخیر، مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. در اثر تنش شوری، مقدار عملکرد زیست‌توده خشک ذرت کاهش یافت و مقدار آن در تیمارهای S<sub>0</sub>، S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> به ترتیب برابر با ۱۲۹۴۲، ۱۲۱۶۸، ۱۰۸۷۲ و ۸۹۲۸ کیلوگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر، ضرایب تنش تبخیر-تعرق (K<sub>s</sub>)، تعرق (K<sub>s-T</sub>) و تبخیر (K<sub>s-E</sub>) به ترتیب در بازه ۰/۷۶-۱، ۰/۴۳-۱ و ۱/۴۵-۱ محاسبه شد. با استفاده از ضرایب مذکور می‌توان در شرایط تنش شوری، مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر را (نسبت به شرایط استاندارد منطقه) برآورد نمود. نیز، با هر دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، مقادیر تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی به ترتیب ۴/۷٪ و ۱۱/۱٪ کاهش و مقدار تبخیر نسبی ۹٪ افزایش داشت. و جزء تعرق نسبت به تبخیر-تعرق، با شیب بیشتری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: جذب آب، حساسیت مرحله رشد به شوری، شوری آب

<sup>۱</sup> - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

## مقدمه

(سعیدی، ۱۴۰۰ a)؛ بنابراین هم از نظر مقدار و نوع تنش وارده بر گیاه و هم از نظر مرحله‌ای از رشد گیاه که تنش اعمال می‌شود، واکنش متفاوتی در خصوص مقدار تبخیر-تعرق گیاه قابل‌انتظار است. در بین تنش‌های محیطی، افزایش شوری آب آبیاری از جمله تنش‌هایی است که باعث کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب آب و تبخیر-تعرق توسط گیاه می‌شود (لاکیردا و همکاران، ۲۰۱۶). در بین گیاهان زراعی آبی نیز گیاه ذرت به لحاظ تأمین نیاز غذایی انسان و دام، مانند گندم، جو و برنج، دارای اهمیت استراتژیک بوده (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷ a) و برای مطالعه در مورد عنوان پژوهش حاضر مناسب است. در این باره در پژوهشی گزارش شد که تنش شوری در آب خاک، جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن توسط گیاه ذرت را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت روزنه‌ها و کاهش تعرق گیاه شده است (فاروق و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی در اهواز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از دو به هفت دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر-تعرق ذرت از ۵۱۵/۲ به ۳۸۷/۵ میلی‌متر شد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۶). در اقلیم نیمه‌خشک منطقه باجگاه (شیراز)، در اثر افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۶ به چهار دسی‌زیمنس بر متر، تعرق ذرت به میزان ۱۲ درصد کاهش یافت (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴). در تحقیقی بر روی ذرت در منطقه قزوین گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ به ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش جذب آب توسط گیاه شد. در نتیجه مقدار مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافت و مقدار تبخیر-تعرق ذرت، از ۳۵۳ به ۲۷۴ میلی‌متر کاهش یافت (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش‌های مذکور، تأثیر تنش شوری بر مجموع تبخیر-تعرق ذرت در کل دوره حیات گیاه بررسی شد؛ اما شناخت رفتار اجزای تبخیر-تعرق گیاه ذرت، به‌منظور کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز توصیه شده است (دهقانی سانچ و

تأمین نیاز آبی واقعی گیاهان و کاستن از تلفات آب کاربردی در بخش کشاورزی، از نکات موردتوجه برنامه‌ریزان آبیاری به شمار می‌رود. نیاز خالص آبی گیاه به‌طور مستقیم به مقادیر پارامترهای تعرق گیاه<sup>۲</sup> (T) و تبخیر از سطح خاک<sup>۳</sup> (E) وابسته است که در نشریه فائو-۵۶، تعرق و تبخیر به ترتیب به‌عنوان اجزای مطلوب و نامطلوب معرفی شده‌اند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در واقعیت، اندازه‌گیری جداگانه پارامترهای فوق‌چندان مرسوم نبوده و مقدار آب خالص موردنیاز گیاه، در قالب پارامتر کلی تبخیر-تعرق گیاه<sup>۴</sup> (ET) در نظر گرفته می‌شود. اغلب تنش‌های محیطی مانند کم‌آبی (سعیدی و ستوده نیا، ۱۴۰۰)، شوری آب و فقر غذایی خاک (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹) باعث کاهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه نسبت به شرایط استاندارد منطقه (محیط بدون تنش) می‌شود. در نشریه فائو-۵۶ گزارش شد که دوره رشد گیاهان زراعی را می‌توان به چهار مرحله متمایز اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی رشد تقسیم کرد. مرحله اولیه رشد از تاریخ کاشت بذر شروع شده و تا زمانی که پوشش گیاهی حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را بپوشاند، ادامه می‌یابد. مرحله توسعه گیاه از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصدی آغاز شده و تا زمان رسیدن به پوشش مؤثر گیاه ادامه دارد. مرحله میانی رشد از ادامه مرحله قبل شروع شده و تا ابتدای رسیدن بیولوژیک محصول ادامه دارد. در این مرحله، ضریب گیاهی تبخیر-تعرق (Kc) به بیشترین مقدار خود می‌رسد. مرحله پایانی رشد از رسیدگی بیولوژیک محصول آغاز شده و تا خشک شدن طبیعی اندام‌های گیاه (پلاسیدگی کامل) و برداشت آن ادامه می‌یابد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در مراحل رشد مذکور، حساسیت متفاوتی از سوی گیاه به تنش‌های محیطی (شوری و خشکی) وجود دارد. این عامل موجب می‌شود که مقدار تبخیر-تعرق گیاه در دوره رشد، با یک شیب ثابت کاهش پیدا نکند و در مرحله حساس رشد (مانند مرحله گل‌دهی)، کاهش بیشتری داشته باشد

4 -Evapotranspiration

2 -Transpiration

3 -Evaporation

به طوری که در پژوهشی بر روی ذرت در منطقه قزوین گزارش شد که به علت مرطوب بودن سطح خاک در روزهای ابتدای پس از آبیاری، بیشترین مقدار تبخیر مؤثر از سطح خاک در روزهای نزدیک به بعد از آبیاری اتفاق می افتد؛ بنابراین سهم تبخیر از سطح خاک (جزء نامطلوب تبخیر-تعرق) در دوره های کوتاه آبیاری (به علت داشتن هم پوشانی بیشتر با زمان انجام تبخیر)، بیشتر از دوره های بلند آبیاری اعلام شده است (سعیدی، b ۱۴۰۰). جمع بندی پژوهش های گذشته نشان می دهد که نوع و میزان تنش محیطی و حساسیت دوره رشد ذرت، می تواند بر واکنش اجزاء تبخیر-تعرق ذرت مؤثر باشد. در اغلب پژوهش های گذشته، مطالعات تنش شوری بر روی مقدار تبخیر-تعرق ذرت در کل دوره رشد گیاه انجام شده است؛ اما هدف از پژوهش حاضر بررسی واکنش اجزاء تبخیر-تعرق (تعرق و تبخیر) ذرت علوفه ای به سطوح متفاوت شوری آب آبیاری، در مراحل مختلف رشد می باشد. به طوری که ضمن در نظر داشتن مشکل تجمع تدریجی املاح در خاک (حاصل از آبیاری با آب لب شور)، بررسی بشود که چه اتفاقی برای مقادیر دو پارامتر تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه ذرت می افتد؛ یعنی این که نسبت به شرایط پتانسیل منطقه (آبیاری با آب غیر شور)، سهم اجزاء تبخیر و تعرق (در پارامتر کلی تبخیر-تعرق) چقدر کاهش و یا افزایش می یابند. در این پژوهش با آشکار شدن حساسیت مجزای دو پارامتر تبخیر و تعرق به اعمال تنش شوری در مراحل رشد ذرت، میزان تلفات تبخیر مشخص شده و شناخت بیشتر برای برنامه ریزی دقیق تر آبیاری بر اساس نیاز آبی واقعی گیاه (در شرایط غیر استاندارد محیطی) فراهم می شود.

#### مواد و روش ها

##### معرفی کلیات پژوهش

پژوهش حاضر در دانشگاه بین المللی امام خمینی<sup>(د)</sup> و در موقعیت جغرافیایی با عرض شمالی ۲۳° ۱۹' ۳۶" و طول شرقی ۵۰° ۰۰' ۳۸" واقع در شهر قزوین انجام شد. گیاه مورد مطالعه، ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴

همکاران، ۱۳۹۶). از این رو گزارش شد که با مدیریت مناسب آبیاری، امکان کاهش مقدار تبخیر از سطح خاک و افزایش مقدار تعرق گیاه وجود خواهد داشت. با این کار علاوه بر کاهش مقدار مصرف آب، مقدار عملکرد محصول نیز افزایش خواهد یافت (میرزایی الموتی و رضائی اعتدالی، ۱۳۹۶). در پژوهشی بر روی ذرت در کشور چین، اجزاء تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه، با استفاده از روش میکرو لایسیمتری در سیستم آبیاری جویچه ای برآورد شد. نتایج نشان داد در کل دوره رشد، ۳۰ تا ۴۰ درصد از مقدار کل تبخیر-تعرق گیاه ذرت به جزء تبخیر از سطح خاک و مابقی به جزء تعرق گیاه اختصاص یافت (فریرا و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر در فلات چین گزارش شد که با تفکیک پارامتر تبخیر-تعرق ذرت به دو جزء تبخیر از خاک و تعرق گیاه، این امکان وجود دارد که تحلیل بهتری از بهره وری آب داشته و با این کار، مدیریت مصرف آب را می توان بهینه سازی نمود. در این پژوهش نسبت تعرق به تبخیر-تعرق (T/ET) ذرت در کل دوره ی رشد مقدار ۵۳ درصد و در دوره ی گل دهی تا بلوغ گیاه مقدار ۶۳/۳ درصد بود و در دوره ی پایانی رشد از مقدار T/ET کاسته شد. علاوه بر آن اعلام شد که نسبت سهم تعرق به تبخیر-تعرق ذرت، در شرایط کشت دیم کم تر بوده است. به عبارت دیگر کمبود آب خاک به عنوان یک تنش محیطی، باعث کاهش سهم جزء تعرق گیاه شده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). از سوی دیگر در تحقیقی بر روی ذرت در غرب اروگوئه، بیان شد در زمانی که سطح خاک پوششی نداشت و گیاه تحت تأثیر تنش آبی بود، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق ذرت (E/ET) حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد افزایش یافت (گیمنز و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو مدیریت پوشش خاک نیز بر سهم اجزاء تبخیر-تعرق مؤثر خواهد بود. از سوی دیگر اعلام شد که هنگام خشک شدن سطح خاک در روزهای غیر بارانی و پس از آبیاری، سهم تبخیر از سطح خاک روند کاهشی دارد؛ بنابراین مقدار آب در سطح خاک به عنوان یک عامل محدود کننده برای تبخیر تبدیل شده، ولی تأثیری در مقدار تعرق گیاه ندارد (شیائو و همکاران، ۲۰۱۶).

قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. اثر تیمارهای مذکور بر مقدار تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک بررسی شد. تیمارهای شوری به ترتیب با توجه به پتانسیل ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصدی عملکرد محصول ذرت در شوری‌های مذکور (برای آب آبیاری) انتخاب شد (دورنبوس و پریوت، ۱۹۷۷). با توجه به تاریخ کاشت و برداشت در پژوهش حاضر، دوره رشد ذرت ۱۴۰ روز بود و از این رو تیمارهای مرحله رشد (چهار دوره رشد) به ترتیب برابر با ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۰ روز، بر اساس گزارش نشریه فائو-۵۶ در نظر گرفته شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). برای اطمینان بیشتر، در حین دوره رشد نیز همواره بازه زمانی مراحل رشد (بر اساس تعریف آن در نشریه فائو-۵۶) کنترل شد. در این شرایط، نتایج نشان داد که بین بازه‌های زمانی اشاره شده در نشریه فائو-۵۶ و پژوهش حاضر، تفاوتی وجود نداشت. البته در پژوهشی مشابه بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در منطقه قزوین نیز، دوره رشد گیاه از زمان کاشت تا برداشت علوفه‌ای محصول، ۱۴۰ روز در نظر گرفته شد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷ a). به‌طورکلی شرح تیمارهای پژوهش در جدول (۲) ارائه شد. برای تهیه تیمارهای آب‌شور، از زهاب شور تجمع یافته در زهکش حائل شوره‌زار مرکزی دشت قزوین واقع در منطقه آبیگ استفاده شد. به این صورت که آب موردنیاز برای آبیاری تیمارهای  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  از طریق اختلاط زهاب شور و آب باکیفیت چاه ( $S_0$ ) تهیه شد. خصوصیات شیمیایی تیمارهای آب‌شور و غیر شور مورد استفاده در پژوهش حاضر، در جدول (۳) آورده شد. لازم به‌ذکر است که برای جلوگیری از تأثیر زیان‌بار شوری آب بر جوانه‌زنی بذور و رشد اولیه گیاهان، تنش شوری پس از پنج‌برگی شدن گیاهان اعمال شد. این روش اعمال تنش شوری بر گیاه ذرت، در پژوهش‌های گذشته نیز مشاهده شد (حسن‌لی و همکاران، ۱۳۹۴؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۹).

بود که باهدف اندازه‌گیری جداگانه اجزای تبخیر-تعرق آن، از مینی‌لایسیمترهای استوانه‌ای شکل (شکل ۱) با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر به‌عنوان بستر کشت آن استفاده شد (دهقانی سانچ و همکاران، ۱۳۹۶). خاک فراهم‌شده برای پُر کردن مینی‌لایسیمترها، مخلوطی از خاک مزرعه، ماسه‌بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شد. برای جلوگیری از آب ماندگی احتمالی در خاک و کنترل مقدار آب داده شده به خاک در فرآیند آبیاری، در کف مینی‌لایسیمترها از لوله‌های سوراخ‌دار و بستر شن (به‌عنوان زهکش) برای هدایت زهاب به بیرون، استفاده شد. با اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک آماده کشت در شرایط طبیعی مزرعه، مقدار چگالی ۱/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب برای خاک داخل مینی‌لایسیمتر مناسب بود. از این رو با توجه به حجم هر مینی‌لایسیمتر، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به تراکم مذکور، در آن‌ها ریخته شد و از طریق آب دادن به آن‌ها، از هرگونه نشست احتمالی خاک در دوره رشد گیاه جلوگیری شد. بذرها در تاریخ ۱۴ خردادماه کاشته شد و برداشت علوفه‌ای محصول ذرت در تاریخ ۳۰ مهرماه انجام شد.

در داخل هر مینی‌لایسیمتر تعداد سه بذر به‌صورت دستی و با فواصل یکسان از هم کاشته شد (سعیدی، b ۱۴۰۰ و دهقانی سانچ و همکاران، ۱۳۹۶). دوره رشد گیاه مصادف با روزهای خشک سال بود و آمار بارندگی ثبت‌شده وجود نداشت؛ بنابراین نیاز آبی گیاه صرفاً از طریق آبیاری تأمین شد. آبیاری مینی‌لایسیمترها به‌صورت سطحی و با استفاده از آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدپته ۷/۱ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری آب آبیاری با هدایت الکتریکی  $(S_0)$  ۰/۵،  $(S_1)$  ۲/۱،  $(S_2)$  ۳/۵ و  $(S_3)$  ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر و چهار مرحله رشد<sup>۵</sup> اولیه  $(P_0)$ ،<sup>۶</sup> توسعه  $(P_1)$ ،<sup>۷</sup> میانی  $(P_2)$  و<sup>۸</sup> پایانی  $(P_3)$  ذرت در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که تعداد ۱۶ تیمار در سه تکرار، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در

جدول ۱- مشخصات خاک مینی لایسیمتر

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	$dS.m^{-1}$	۰/۴۶
اسیدیته (pH)	-	۷/۴
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۴
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۰/۶
چگالی ظاهری	$g.cm^{-3}$	۱/۳۶

جدول ۲- تشریح تیمارهای سطوح شوری آب و مراحل رشد گیاه ذرت

تیمار/مرحله رشد	شرح تیمار و مرحله رشد
سطح S <sub>0</sub>	شوری آب آبیاری به میزان $(dS.m^{-1})$ ۰/۵ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت ۱۰۰٪ است)
سطح S <sub>1</sub>	شوری آب آبیاری به میزان $(dS.m^{-1})$ ۲/۱ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۹۰٪ است)
سطح S <sub>2</sub>	شوری آب آبیاری به میزان $(dS.m^{-1})$ ۳/۵ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۷۵٪ است)
سطح S <sub>3</sub>	شوری آب آبیاری به میزان $(dS.m^{-1})$ ۵/۷ (در این سطح شوری آب، پتانسیل عملکرد ذرت حدود ۵۰٪ است)
مرحله اولیه	فاصله زمانی از تاریخ کاشت بذر تا زمانی که اندام گیاهی ۱۰٪ از سطح زمین را پوشانده باشد (به مدت ۲۵ روز)
مرحله توسعه	از ادامه مرحله قبل شروع شده و تا پوشش کامل مؤثر سطح زمین توسط گیاه ادامه می‌یابد (به مدت ۴۰ روز)
مرحله میانی	از زمان گل‌دهی گیاه آغاز شده و تا لحظه رسیدگی بیولوژیک گیاه ادامه دارد (به مدت ۴۵ روز)
مرحله پایانی	زمان بین رسیدگی بیولوژیک محصول و تا خشک شدن طبیعی اندام‌های گیاه را شامل می‌شود (به مدت ۳۰ روز)

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی منابع آبی مورد استفاده در پژوهش

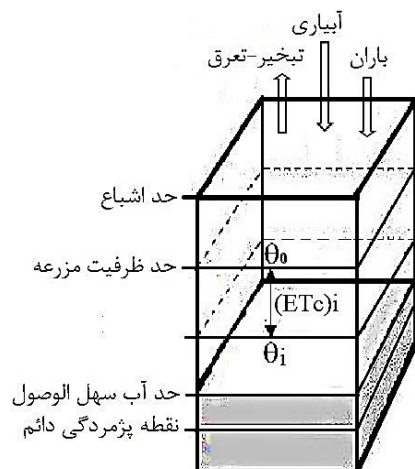
تیمار شوری	هدایت الکتریکی ( $dS.m^{-1}$ )	سدیم ( $meq.L^{-1}$ )	منیزیم ( $meq.L^{-1}$ )	کلسیم ( $meq.L^{-1}$ )	پتاسیم ( $meq.L^{-1}$ )	سولفات ( $meq.L^{-1}$ )	بی‌کربنات ( $meq.L^{-1}$ )	کربنات ( $meq.L^{-1}$ )	کلر ( $meq.L^{-1}$ )
سطح S <sub>0</sub>	۰/۵	۲/۳۶	۰/۸۸	۱/۳۵	۰/۲	۱/۴۲	۱/۱۲	۰/۴۱	۱/۷۴
سطح S <sub>1</sub>	۲/۱	۱۲/۷۶	۲/۹۵	۴/۷۵	۰/۱۴	۶/۴۴	۴/۸۱	۰/۶۹	۸/۴۳
سطح S <sub>2</sub>	۳/۵	۱۸/۴	۶/۴۳	۹/۱۲	۰/۲۹	۱۰/۵۶	۸/۳۴	۱/۳۶	۱۳/۷۲
سطح S <sub>3</sub>	۵/۷	۳۲/۸	۹/۲۴	۱۳/۹	۰/۳۴	۱۸/۴۳	۱۳/۰۵	۱/۵	۲۲/۶۳

### اندازه‌گیری تبخیر-تعرق

در فاصله‌ی بین دو آبیاری، مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دلتا تی ( $\Delta T$ ) مدل HH2، در مرکز هر مینی لایسیمتر اندازه‌گیری شد. قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به این صورت که در یک نمودار، داده‌های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اِشِبِل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد. در این شرایط از طریق پایش روزانه

رطوبت خاک و محاسبه بیلان آب (شکل ۱) در فاصله بین دو آبیاری، امکان برآورد مقدار روزانه تبخیر-تعرق گیاه توسط رابطه (۱) فراهم شد. لازم به ذکر است که مقدار رطوبت خاک در عمق مینی لایسیمتر، به صورت جداگانه در ۴ لایه‌ی ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای این کار، سنسور دستگاه (پروپ) به صورت افقی و از بدنه مینی لایسیمتر وارد عمق مورد نظر از خاک شد. از این رو در طی دوره رشد گیاه، مجموع کاهش رطوبت خاک در چهار لایه خاک به عنوان تبخیر-تعرق گیاه در نظر گرفته شد. در خاک مینی لایسیمترها هیچ‌گونه درز و ترکمی وجود نداشت و به دلیل انجام آبیاری تا حد ظرفیت

رطوبت خاک (منطقه ریشه) در روزهای پس از آبیاری، صرفاً متأثر از فرایند تبخیر-تعرق گیاهان بوده است.



مزرعه (FC<sup>۹</sup>)، زهاب خروجی از مینی لایسیمترها نیز وجود نداشت؛ بنابراین اطمینان حاصل شد که رَوَند کاهشی مقدار



شکل ۱- تصویری از مینی لایسیمتر استفاده شده در پژوهش و موازنه آب در واحد حجم خاک (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

ورقه‌های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. از سوی دیگر برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به خاک، مالچ پلاستیکی بافاصله‌ی ۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. لذا تهویه‌ی مناسب در سطح خاک امکان‌پذیر شد و از تشکیل قطره‌های آب در زیر مالچ و تأثیر آن بر مقدار رطوبت خاک جلوگیری شد (سعیدی، b ۱۴۰۰)؛ بنابراین تغییرات روزانه رطوبت خاک در سری دوم مینی لایسیمترها فقط مربوط به تعرق گیاه بود و اختلاف آن با داده‌های سری اول، نشان‌دهنده مقدار تبخیر روزانه بود. به‌طور کلی تعداد ۹۶ مینی لایسیمتر (برای اجرای ۱۶ تیمار در سه تکرار و دو سری مینی لایسیمتر) در نظر گرفته شد. از این‌رو داده‌های پژوهش حاضر شامل مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در دوره حیات گیاه ذرت بود که تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آن‌ها توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

#### تعیین ضرایب تنش

در نشریه فائو-۵۶ گزارش شد که طبق رابطه (۲)، از تقسیم مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط غیراستاندارد (تنش‌زا) محیطی (ET<sub>c-adj</sub>) بر مقدار تبخیر-تعرق گیاه در

$$(ET_c)_i = \frac{(\theta_{i-1} - \theta_i)}{100} \times \rho b \times D \quad (1)$$

مقدار تبخیر-تعرق روزانه گیاه (سانتی‌متر)،  $\theta$ : مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد)،  $i$ : شمارنده روزهای بین دو آبیاری،  $(\theta_{i-1} - \theta_i)$ : اختلاف رطوبت روزانه خاک (درصد)،  $\rho b$  چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $D$ : عمق مینی لایسیمتر (سانتی‌متر). با توجه به توضیحات قبلی، منظور از عمق مینی لایسیمتر، چهار لایه‌ی خاک ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متری بود که مقدار رطوبت خاک به‌طور جداگانه در آن‌ها اندازه‌گیری شد و بر اساس مجموع مقادیر کاهش رطوبت خاک در لایه‌های مذکور، مقدار تبخیر-تعرق گیاه محاسبه شد.

#### جداسازی اجزاء تبخیر-تعرق

برای جداسازی مقادیر اجزاء تبخیر و تعرق ذرت، همه تیمارها در دو سری مینی لایسیمتر (دارای شرایط کاملاً یکسان) اجرا شد. در سری اول، سطح خاک مینی لایسیمتر بدون پوشش و در حالت طبیعی قرار داشت. از این‌رو تغییرات روزانه رطوبت خاک در بین دو آبیاری، نشان‌دهنده مجموع مقادیر تبخیر و تعرق گیاهان بود. اما در سری دوم و پس از جوانه‌زنی بذور، برای حذف اثر تبخیر و برآورد جزء تعرق گیاه، از مالچ پلاستیکی بارنگ روشن و به شکل

رطوبت بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP<sup>۱۱</sup>) در تیمارها، عملیات آبیاری انجام شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (به ترتیب تحت فشارهای مکشی یک سوم و ۱۵ اتمسفر) و خشک کردن خاک در گرمخانه، محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد. برای اندازه گیری مقدار پارامتر RAW نیز از رابطه (۵) استفاده شد. هدف از انجام آبیاری، جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه بود. از این رو با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک  $(\theta_{FC} - \theta_i)$ ، چگالی، عمق و مساحت سطح خاک در مینی لایسیمتر، حجم آب آبیاری بر اساس رابطه (۶) تعیین شد. در این شرایط آب اضافی برای تبدیل به زهاب و خروج از انتهای مینی لایسیمترها وجود نداشت و راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد بود. با توجه به تفاوت مقدار شوری آب آبیاری در تیمارها و کاهش جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش شوری، میزان جذب آب در همه مینی لایسیمترها یکسان نبود. از این رو مجموع نیاز آبی گیاهان (در کل دوره رشد) در تیمارهای S<sub>0</sub>، S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> به ترتیب ۴۲۰، ۳۹۸، ۳۶۲ و ۳۲۰ میلی متر و مجموع حجم آب آبیاری در واحد مینی لایسیمتر به ترتیب ۵۰، ۵۲/۷، ۴۵/۵ و ۴۰/۲ لیتر برآورد شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_i}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \quad (5)$$

در رابطه ۵، RAW: معرف آب سهل الوصول خاک است. طبق تعریف نشریه فائو-۵۶، RAW کسری از کل آب قابل استفاده خاک<sup>۱۲</sup> (TAW) است که در آن تنش آبی برای گیاه ایجاد نمی شود. در توضیحات قبلی ذکر شد که حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک<sup>۱۳</sup> (MAD) برابر با ۴۰ درصد رطوبت بین دو حد FC و PWP در نظر گرفته شد. از این رو  $\theta_i$  مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد) پس از انجام تخلیه مجاز رطوبت خاک (MAD) و در زمان انجام آبیاری است. طبق جدول (۱) مقدار رطوبت خاک در دو حد FC و PWP به ترتیب برابر با ۲۴ درصد و ۱۰/۶ درصد بود و مقدار  $\theta_i$  برابر با ۱۸/۶ درصد محاسبه شد.

شرایط استاندارد (بدون تنش) محیطی (ET<sub>c</sub>)، ضریبی به نام K<sub>s</sub> به دست می آید که عددی کوچک تر از یک است. ضریب تنش تبخیر-تعرق (K<sub>s</sub>) بیانگر شدت اثر تنش شوری، بر مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط پتانسیل (استاندارد) منطقه می باشد. در پژوهش حاضر علاوه بر ضریب K<sub>s</sub>، ضرایب تنش شوری مربوط به اجزای تبخیر و تعرق نیز با استفاده از روابط (۳) الی (۴) برآورد شد. به طوری که ضریب تنش تعرق (K<sub>s-T</sub>) و ضریب تنش تبخیر (K<sub>s-E</sub>)، به ترتیب نشان دهنده میزان تعرق و تبخیر در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط پتانسیل منطقه (تیمار S<sub>0</sub>) بوده است. البته روابط (۲) الی (۴) به ترتیب نشان دهنده تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی در شرایط وجود تنش نیز می باشد:

$$K_S = \frac{ET_{c-adj}}{ET_c} \quad (2) \quad (\text{سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱})$$

$$K_{S-T} = \frac{T-adj}{T} \quad (3) \quad (\text{سعیدی، ۱۴۰۰b})$$

$$K_{S-E} = \frac{E-adj}{E} \quad (4) \quad (\text{سعیدی، ۱۴۰۰b})$$

در روابط فوق، K<sub>s</sub>، K<sub>s-T</sub> و K<sub>s-E</sub> به ترتیب معرف ضرایب تنش شوری برای تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، ET<sub>c-adj</sub>، T-adj و E-adj به ترتیب نشان دهنده مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی متر) در شرایط اعمال تنش شوری و ET<sub>c</sub>، T و E به ترتیب بیانگر مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی متر) در شرایط بدون تنش شوری (تیمار S<sub>0</sub>) می باشد.

### تعیین زمان و حجم آب آبیاری

به منظور این که هیچ گونه تنش آبی بر گیاهان اعمال نشود، زمان انجام آبیاری به گونه ای انتخاب شد که حتی در مراحل حساس رشد، آب به صورت سهل الوصول در دسترس گیاه باشد. در این باره در پژوهشی در منطقه قزوین، حد آب سهل الوصول خاک (RAW<sup>۱۲</sup>) در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت بین ۴۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (سعیدی، ۱۴۰۰a). از این رو پس از اتمام ۴۰ درصد از

12- Total available water

13- Maximum allowable depletion

10 - Readily available water

11- Permanent wilting point

همچنین  $\theta_{FC}$ : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد) و  $\theta_{PWP}$ : رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \times \rho b \times Z \quad (6)$$

$V$ : حجم آب آبیاری (مترمکعب)،  $\theta_{FC}$ : رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد)،  $\theta_i$ : رطوبت وزنی خاک در زمان اتمام آب سهل‌الوصول خاک و قبل از انجام آبیاری (درصد)،  $\rho b$ : چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $Z$ : عمق توسعه ریشه (متر) و  $A$ : مساحت سطح خاک (مترمربع). لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر به منظور تشخیص عمق توسعه ریشه گیاه ( $Z$ )، مینی‌لایسیمترهای جداگانه‌ای برای مراحل مختلف رشد گیاه در نظر گرفته شد و با خارج کردن ریشه گیاه از خاک، عمق آن اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری عملکرد محصول**

به منظور اندازه‌گیری وزن زیست‌توده خشک ذرت، بوته‌ها در هر مینی‌لایسیمتر از سطح خاک بریده شد و برای خشک شدن به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل گرم‌خانه قرار داده شد و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل خشک شد. سپس وزن کل زیست‌توده خشک گیاهی در واحد بوته، توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و به‌عنوان عملکرد محصول ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

**نتایج و بحث**

**تبخیر-تعرق و اجزاء آن در دوره رشد**

مقادیر روزانه تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک در دوره رشد ذرت، برای تیمارهای شوری آب در شکل (۲) نشان داده شد. مقادیر مذکور به ترتیب در بازه‌ی ۰/۳-۵/۷، ۰/۱-۵/۳ و ۰/۲-۳/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار  $S_0$ )، ۰/۲-۵/۴، ۰/۱-۴/۷ و ۰/۲-۳/۳ میلی‌متر بر روز (در تیمار  $S_1$ )، ۰/۲-۴/۶، ۰/۱-۳/۶ و ۰/۲-۳/۴ میلی‌متر بر روز (در تیمار  $S_2$ ) و ۰/۲-۴/۵، ۰/۱-۲/۵ و

۳/۵-۰/۲ میلی‌متر بر روز (در تیمار  $S_3$ ) قرار داشت. شکل (۲) نشان داد که مقادیر تبخیر-تعرق ذرت و اجزاء آن در دوره رشد متفاوت بود و افزایش شوری آب آبیاری (تنش شوری) نیز تأثیر متفاوتی بر روند تغییرات اجزاء تبخیر-تعرق داشت. در مرحله اولیه رشد که از کاشت بذر تا پوشیدگی ۱۰ درصدی زمین توسط گیاه را شامل می‌شود، سهم بیشتری از آب آبیاری صرف تبخیر از سطح خاک شد. با رشد گیاه و سایه‌اندازی کامل آن بر روی سطح خاک، به‌سرعت از سهم تبخیر کاسته شده و بخش اعظم تبخیر-تعرق در مراحل توسعه و میانی رشد، به تعرق گیاه اختصاص یافت؛ اما در مرحله پایانی رشد که گیاه به بلوغ کامل رسیده بود و به سمت پلاسیدگی و خشک شدن برگ‌ها (کاهش هدایت روزنه‌ای) پیش می‌رفت، مقدار تعرق و به دنبال آن تبخیر-تعرق به شدت کاهش یافت. به‌طور مشابه پژوهشی در استان جیانگ‌سو کشور چین برای شبیه‌سازی مقدار تبخیر از خاک و تعرق ذرت علوفه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار تبخیر برابر با ۳/۹۱ میلی‌متر بر روز در مرحله اولیه رشد و کم‌ترین مقدار آن برابر با ۰/۱ میلی‌متر بر روز بود که در مرحله پایانی رشد اتفاق افتاد (گو و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش مذکور با نتایج شکل (۲) در پژوهش حاضر مطابقت داشت. در مراحل رشد ذرت، تأثیر تنش شوری بر مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس شکل (۳)، مقدار تبخیر-تعرق در مراحل رشد  $P_0, P_1, P_2$  و  $P_3$  به ترتیب برابر با ۷۹/۲، ۲۰۱/۸، ۱۲۳/۸ و ۱۵/۲ میلی‌متر (در تیمار  $S_0$ )، ۷۸/۲، ۱۹۳، ۱۱۱/۸ و ۱۵ میلی‌متر (در تیمار  $S_1$ )، ۷۶، ۱۷۳/۷، ۹۷/۵ و ۱۴/۸ میلی‌متر (در تیمار  $S_2$ ) و ۷۲/۴، ۱۴۹/۵، ۸۳/۶ و ۱۴/۵ میلی‌متر (در تیمار  $S_3$ ) اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر مقدار تعرق در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۱۸/۶، ۱۵۰/۳، ۱۱۰/۲ و ۶ میلی‌متر (در تیمار  $S_0$ )، ۱۳۸/۷، ۹۶/۱ و ۵/۵ میلی‌متر (در تیمار  $S_1$ )، ۱۴/۵، ۱۱۱/۳، ۷۲/۶ و ۵ میلی‌متر (در تیمار  $S_2$ ) و ۱۰/۳، ۷۰/۹، ۳۸/۶ و ۴/۵ میلی‌متر (در تیمار  $S_3$ ) برآورد شد. همچنین مقدار تبخیر از

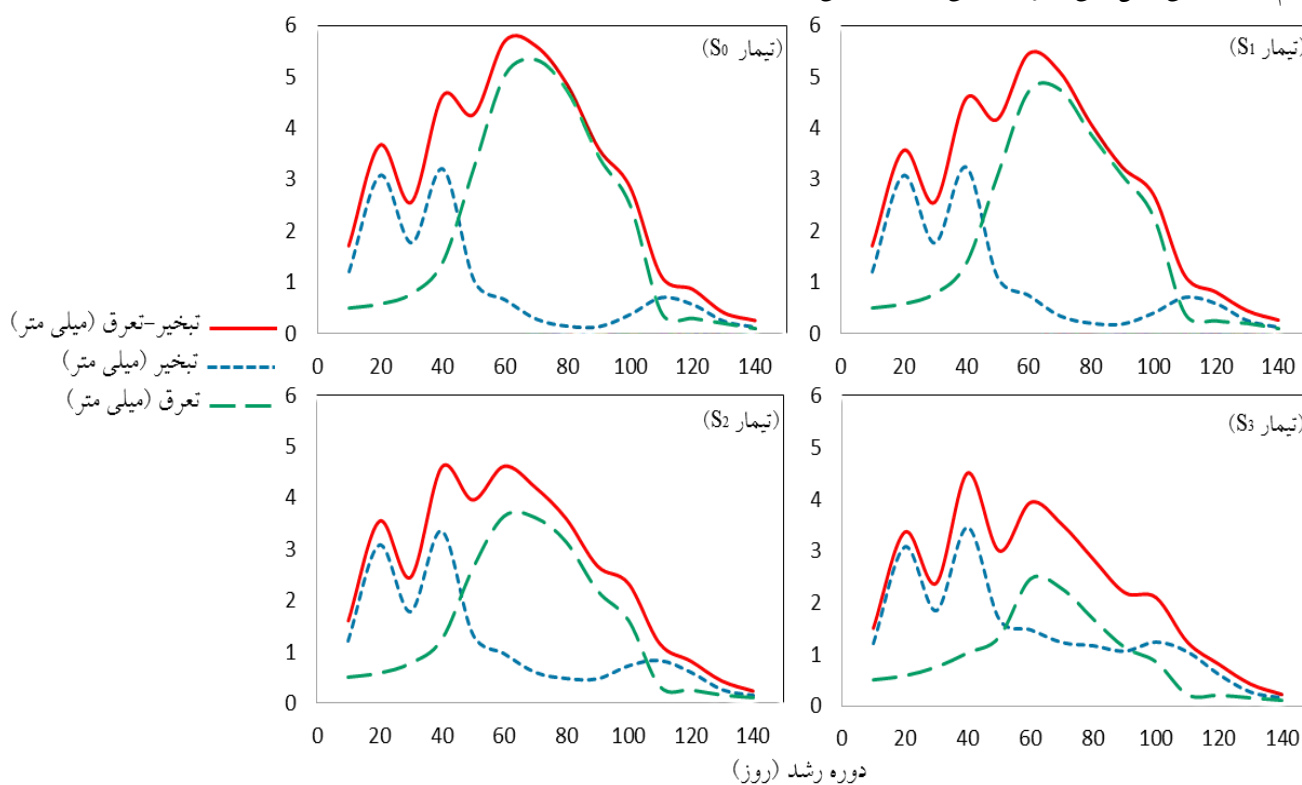


به طوری که از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> تبخیر از سطح خاک به مقدار ۱/۵ میلی متر (مرحله اولیه)، ۲۷/۱ میلی متر (مرحله توسعه)، ۳۱/۴ میلی متر (مرحله میانی) و ۰/۸ میلی متر (مرحله پایانی) افزایش یافت. به نظر می رسد در فضای رقابتی بین اجزاء تبخیر و تعرق گیاه برای اختصاص آب به خود، کاهش مقدار تعرق گیاه (در اثر تنش شوری)، باعث شده است که سهم بیشتری در پارامتر تبخیر-تعرق به جزء تبخیر اختصاص یابد. به بیان دیگر در شرایطی که تنش شوری مانع از جذب آب توسط گیاه بوده است، آب باقی مانده در خاک (سهم تعرق) صرف تبخیر شده است. در پژوهشی مشابه مقدار تبخیر-تعرق ذرت در شرایط اعمال تنش های خشکی و شوری، در مراحل مختلف رشد اندازه گیری شد. مقدار تبخیر-تعرق از تیمار I<sub>0</sub>S<sub>0</sub> (بدون تنش) تا I<sub>3</sub>S<sub>3</sub> (آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه و شوری آب برابر با ۵/۷ دسی زیمنس بر متر)، در بازه ۷۸/۷ تا ۵۰ میلی متر (در مرحله اولیه رشد)، ۲۰/۱ تا ۱۲۶ میلی متر (در مرحله توسعه)، ۱۲۷/۵ تا ۷۰/۴ میلی متر (در مرحله میانی رشد) و ۱۴ تا ۹/۳ میلی متر (در مرحله پایانی رشد) قرار داشت. به طوری که مقدار تبخیر-تعرق در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، به ترتیب ۲۸/۷، ۷۵/۲، ۵۷/۱ و ۴/۷ میلی متر کاهش یافت. کاهش مقدار و پتانسیل آب موجود در خاک، از علل کاهش جذب آب و مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت تنش های شوری و خشکی گزارش شد (سعیدی، ۱۴۰۰ a). در پژوهش مذکور، روند کاهش مقدار تبخیر-تعرق در اثر اعمال تنش های محیطی در مراحل رشد ذرت، با پژوهش کنونی مشابهت داشت. نتایج دیگر در شکل (۳) نشان داد که در مرحله اولیه رشد، به دلیل غالب بودن مقدار جزء تبخیر و سهم اندک جزء تعرق، کاهش مقدار تعرق در شرایط تنش شوری، اثر چندانی بر مقدار تبخیر (در تیمارهای شوری) نداشت. به طوری که مقدار تبخیر در تیمارهای شوری از هم پوشانی بیشتری در مرحله اولیه رشد برخوردار بودند. نتایج مشابه برای مرحله پایانی رشد نیز وجود داشت؛ زیرا در این مرحله، جذب طبیعی آب توسط گیاه کاهش یافته و گیاه به سوی توقف تعرق و

سطح خاک در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۶۰/۶، ۵۱/۵، ۱۳/۶ و ۹/۲ میلی متر (در تیمار S<sub>0</sub>)، ۶۱/۲، ۵۴/۳، ۱۵/۷ و ۹/۵ میلی متر (در تیمار S<sub>1</sub>)، ۶۱/۵، ۶۲/۴، ۲۴/۹ و ۹/۸ میلی متر (در تیمار S<sub>2</sub>) و ۶۲/۱، ۷۸/۶، ۴۵ و ۱۰ میلی متر (در تیمار S<sub>3</sub>) اندازه گیری شد. نتایج نشان داد در تیمار بدون تنش شوری (S<sub>0</sub>)، بیشترین تا کمترین مقدار تجمعی تبخیر-تعرق و تعرق گیاه به ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود؛ اما برای جزء تبخیر، بیشترین تا کمترین مقدار مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. علت نتایج مذکور تبعیت پارامتر تبخیر-تعرق از شکل منحنی ضریب گیاهی K<sub>c</sub>، پوشش کم سطح زمین توسط اندام های گیاهی در ابتدای دوره رشد و کاهش تعرق گیاه پس از رسیدگی بیولوژیک در پایان دوره رشد بوده است. در پژوهشی اجزاء تبخیر-تعرق ذرت در سیستم های آبیاری قطره ای سطحی و زیرسطحی در منطقه کرج ارزیابی شد. در نتیجه گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره های اولیه، توسعه و میانی رشد به ترتیب برابر با ۶۵، ۵۸/۸۳ و ۳۴/۹۸ میلی متر (در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی) و ۷۳/۰۲، ۶۵/۷۳ و ۳۷/۳۲ میلی متر (در سیستم آبیاری قطره ای سطحی) بود (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش مذکور (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶)، روند تغییرات مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره رشد ذرت، با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. از سوی دیگر با اعمال تنش شوری، واکنش متفاوتی از اجزاء تبخیر-تعرق گیاه مشاهده شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری، رفتار جزء تعرق گیاه هم سو با پارامتر تبخیر-تعرق و هر دو به صورت کاهشی بود. از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> مقدار تعرق و تبخیر-تعرق گیاه به ترتیب ۸/۳ و ۶/۸ میلی متر (مرحله اولیه)، ۷۹/۴ و ۵۲/۳ میلی متر (مرحله توسعه)، ۷۱/۶ و ۴۰/۲ میلی متر (مرحله میانی)، ۱/۵ و ۰/۷ میلی متر (مرحله پایانی) کاهش یافت. دلیل آن، کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش جذب آب و تعرق گیاه در شرایط مذکور بود؛ اما واکنش جزء تبخیر در زمان کاهش تعرق (تحت اثر تنش شوری)، به صورت افزایشی بود.

بود، هم‌پوشانی بین مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در تیمارهای شوری وجود نداشت. این نشان می‌دهد که اثر غالب تنش شوری بر تعرق گیاه ذرت، در مراحل رشد توسعه و میانی بوده است. به‌طورکلی نتایج این بخش از پژوهش نشان داد که تنش شوری بر کاهش مقدار تعرق گیاه (جزء مطلوب)، انتقال سهم تعرق به جزء تبخیر و افزایش مقدار تلفات تبخیر (جزء نامطلوب)، مؤثر بوده است.

خشک شدن پیش می‌رفت و از این‌رو تفاوت چشم‌گیر (در مقدار تعرق) بین تیمارهای شوری وجود نداشت. به دلایل ذکرشده و پوشیدگی سطح زمین توسط اندام‌های گیاهی، تفاوت چندانی نیز بین مقادیر تبخیر (در مرحله پایانی رشد) در تیمارهای شوری وجود نداشت. از این‌رو مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در مرحله پایانی رشد، از هم‌پوشانی بیشتری در تیمارهای شوری برخوردار بودند (شکل ۳)؛ اما در بقیه مراحل رشد (توسعه و میانی) که زمان توسعه اندام‌های گیاهی، گل‌دهی، گرده‌افشانی و بلال دهی ذرت

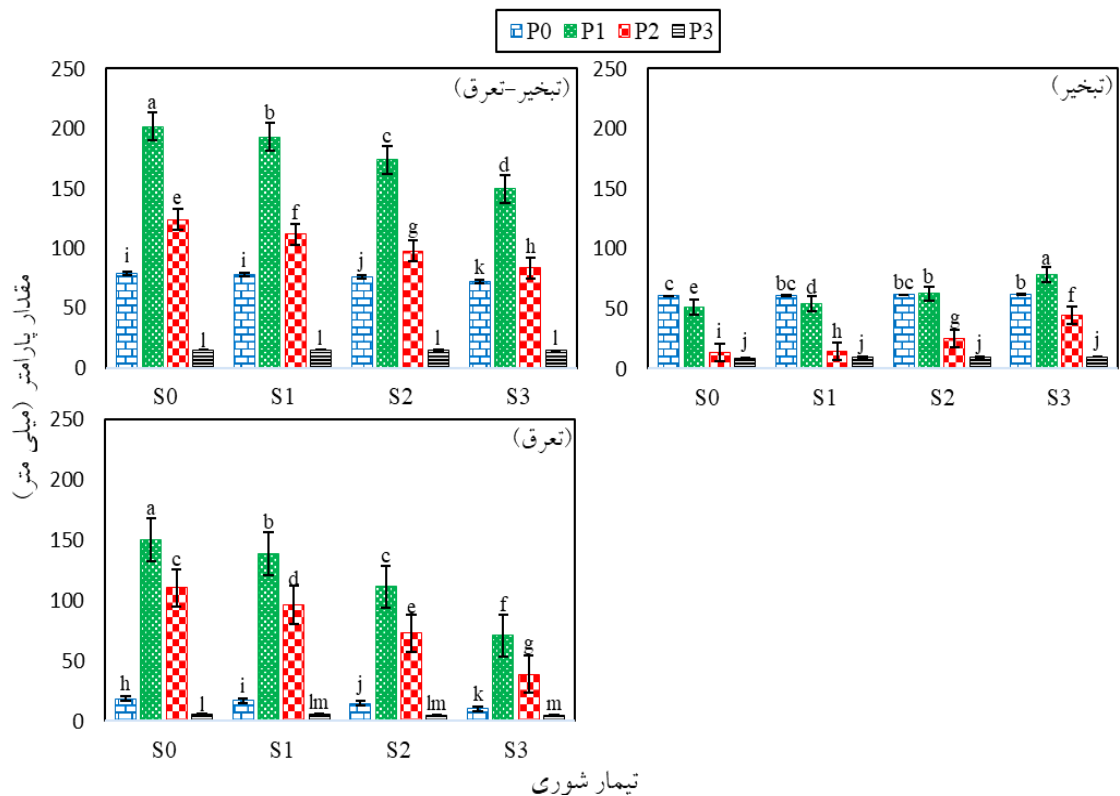


شکل ۲- مقادیر تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت در سطوح تنش شوری

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات موردبررسی در طرح

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
تعرق	تبخیر	تبخیر-تعرق		
۶/۹۴ <sup>NS</sup>	۶/۹۴ <sup>NS</sup>	۳/۵۶ <sup>NS</sup>	۲	تکرار
۳۷۵۸ <sup>**</sup>	۵۷۰/۴ <sup>**</sup>	۱۴۲۵ <sup>**</sup>	۳	تنش شوری
۳۴۴۰۹ <sup>**</sup>	۸۳۶۳ <sup>**</sup>	۵۵۹۳۹ <sup>**</sup>	۳	مرحله رشد
۹۸۴ <sup>**</sup>	۱۶۷/۲ <sup>**</sup>	۳۷۲ <sup>**</sup>	۹	تنش شوری × مرحله رشد
۰/۶	۰/۶	۰/۸۳	۳۰	خطا

NS و \*\*: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۳- مقایسه اثر متقابل تنش شوری و مرحله رشد بر مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر تیمار شوری

۲۴/۱، ۲۰ و ۱۲ درصد (مرحله میانی) و ۱/۴، ۱/۴، ۱/۴ و ۱/۴ درصد (مرحله پایانی) محاسبه شد. به همین صورت سهم تبخیر به ترتیب برابر با ۱۴/۷، ۱۶/۴، ۱۸/۲ و ۲۴/۵ درصد (مرحله اولیه)، ۱۲/۳، ۱۳/۷، ۱۶/۲ و ۲۱/۴ درصد (مرحله توسعه)، ۳/۱، ۳/۹، ۶/۸ و ۱۲ درصد (مرحله میانی) و ۲/۱، ۲/۴، ۲/۷ و ۳/۴ درصد (مرحله پایانی) برآورد شد. از این رو با اعمال تنش شوری تا سطح S<sub>3</sub> سهم تعرق در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۱/۲، ۱۳/۷، ۱۴/۲ و نزدیک به صفر درصد کاهش داشت. سهم تبخیر نیز برای مراحل مذکور به ترتیب با ۹/۸، ۹/۱، ۸/۹ و ۱/۳ درصد افزایش همراه بود؛ اما تفکیک اثر مقدار شوری آب آبیاری در مراحل رشد (در شکل ۴) نشان داد که به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، مقدار تبخیر به ترتیب ۱/۹، ۱/۸، ۱/۷ و ۰/۳ درصد افزایش داشت. همچنین مقدار تعرق در مراحل رشد مذکور به ترتیب ۰/۲۶، ۲/۶، ۲/۸ و ۰/۰۴ درصد کاهش یافت. البته از طریق روابط ارائه شده در شکل (۴) می توان بر اساس نسبت تعرق به

#### سهم اجزاء تبخیر و تعرق

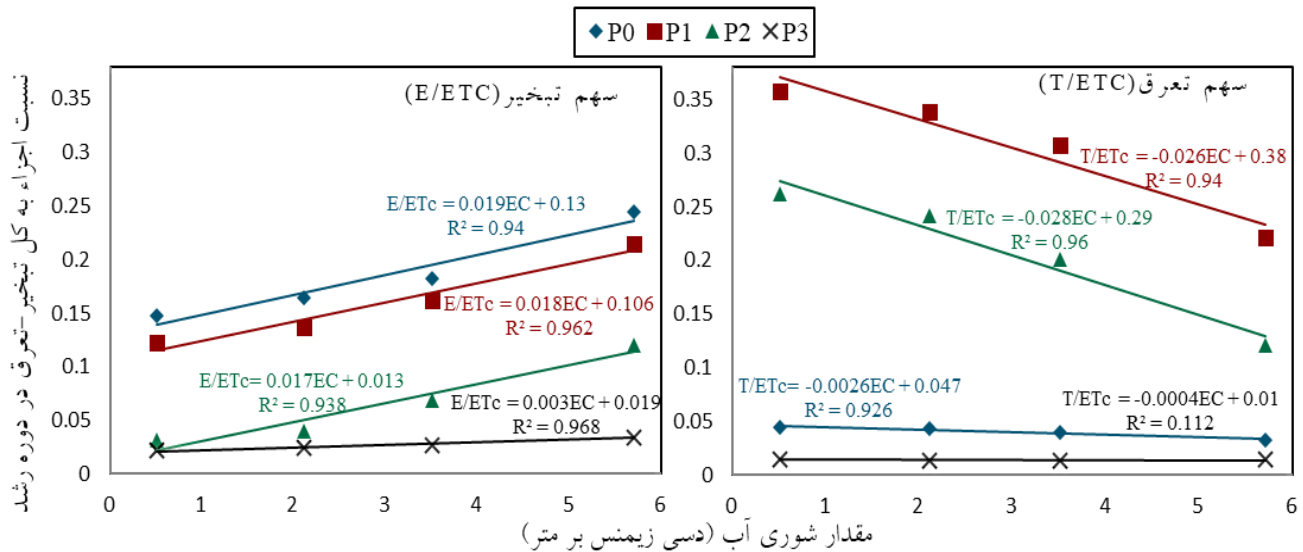
در تیمارهای S<sub>0</sub>، S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> مجموع مقدار تبخیر-تعرق در کل دوره رشد ذرت به ترتیب برابر با ۳۹۸، ۳۶۲ و ۳۲۰ میلی متر اندازه گیری شد. به طوری که از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> حدود ۲۴ درصد کاهش تبخیر-تعرق در اثر اعمال تنش شوری وجود داشت. در پژوهشی مشابه در قالب کشت مزرعه ای ذرت نیز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ به ۵/۷ دسی زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر-تعرق گیاه به میزان ۲۲ درصد شد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷ b). در شکل (۴) برای هر تیمار شوری (S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub>)، سهم اجزاء تبخیر و تعرق گیاه نسبت به کل تبخیر-تعرق گیاه در دوره رشد برآورد شد. بررسی کلی شکل (۴) نشان داد که با افزایش مقدار شوری آب آبیاری، سهم تعرق گیاه کاهش و سهم تبخیر از سطح خاک افزایش یافته است. بر این اساس در تیمارهای S<sub>0</sub>، S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> مقدار سهم تعرق (در مجموع تبخیر-تعرق دوره رشد) به ترتیب برابر با ۴/۴، ۴/۲، ۴ و ۳/۲ درصد (مرحله اولیه)، ۳۵/۸، ۳۳/۹، ۳۰/۷ و ۲۲/۱ درصد (مرحله توسعه)، ۲۶/۲،

تبرقی (K<sub>s</sub>-T) در شرایط تنش شوری استفاده کرد. به این ترتیب ضمن مصرف آب مطابق نیاز واقعی تبرقی گیاه، از تلفات آب آبیاری و شور شدن خاک جلوگیری به عمل می‌آید. به طور مشابه در منطقه باجگاه شیراز پژوهشی بر روی ذرت تحت سطوح شوری آب شامل (S<sub>1</sub>) ۰/۶، (S<sub>2</sub>) ۲ و (S<sub>3</sub>) ۴ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. مقادیر تبخیر-تبرقی، تبرقی و تبخیر در کل دوره رشد ذرت به ترتیب برابر با ۷۶۱، ۵۷۸ و ۱۸۳ میلی‌متر (تیمار S<sub>1</sub>)، ۷۶۰، ۵۴۷ و ۲۱۳ میلی‌متر (تیمار S<sub>2</sub>) و ۷۵۴، ۵۱۰ و ۲۴۴ میلی‌متر (تیمار S<sub>3</sub>) گزارش شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub> سهم تبرقی گیاه به ترتیب ۷۶، ۷۲ و ۶۸ درصد و سهم تبخیر از سطح خاک به ترتیب ۲۴، ۲۸ و ۳۲ درصد برآورد شد (عزیزیان و سپاسخواه، ۲۰۱۴). نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در شرایط تنش شوری، از سهم تبرقی گیاه کاسته شده و بر سهم تبخیر از سطح خاک افزوده می‌شود و تأییدی بر نتایج پژوهش کنونی بود. البته در شرایط تنش شوری به واسطه کاهش پتانسیل آب خاک، نوعی خشکی فیزیولوژیک و شرایطی مشابه تنش آبی در محیط ریشه گیاه ایجاد می‌شود (مانز و تِستِر، ۲۰۰۸). از این رو در پژوهشی در منطقه قزوین، اثر چهار سطح آبیاری شامل (I<sub>0</sub>) ۱۰۰، (I<sub>1</sub>) ۸۰، (I<sub>2</sub>) ۶۰ و (I<sub>3</sub>) ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بر روی اجزاء تبخیر-تبرقی ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد سهم تبرقی و تبخیر در پارامتر تبخیر-تبرقی ذرت، به ترتیب برابر با ۶۳ و ۳۷ درصد (در تیمار I<sub>0</sub>)، ۶۰/۵ و ۳۹/۵ درصد (در تیمار I<sub>1</sub>)، ۵۴ و ۴۶ درصد (در تیمار I<sub>2</sub>) و ۴۱ و ۵۹ درصد (در تیمار I<sub>3</sub>) بوده است (سعیدی، ۱۴۰۰). در پژوهشی در دشت‌های آمریکا، اثر شش سطح آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، بر روی ذرت انجام شد. مقادیر تبخیر از سطح خاک، تبرقی و تبخیر-تبرقی ذرت در سال ۲۰۱۱، به ترتیب ۷۹، ۵۳۱ و ۶۱۰ میلی‌متر (در سطح آبیاری کامل) و ۹۴، ۲۵۴ و ۳۴۸ میلی‌متر (در سطح آبیاری ۴۰ درصد) برآورد شد. نتایج نشان داد اثر تنش آبی باعث کاهش سهم تبرقی گیاه از ۸۷ به ۷۳ درصد و افزایش سهم تبخیر از ۱۳ به ۲۷ درصد شده بود (تروت و دیجانگ،

تبخیر-تبرقی (T/ET) و مقدار شوری آب آبیاری، میزان نیاز آبی واقعی گیاه ذرت را در شرایط تنش شوری آب محاسبه کرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش تنش شوری (از طریق آب آبیاری) ضمن کاهش مقدار تبخیر-تبرقی، مقدار تبرقی گیاه با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و مابه‌التفاوت سهم تبرقی (نسبت به شرایط پتانسیل) به سهم تبخیر افزوده می‌شود. به طوری که در کل دوره رشد ذرت، سهم تبرقی (در پارامتر تبخیر-تبرقی) در تیمار S<sub>0</sub> به مقدار ۶۸٪ بوده است و در تیمار S<sub>3</sub> به مقدار ۳۹٪ رسیده است. در عوض، سهم تبخیر (در پارامتر تبخیر-تبرقی) در تیمار S<sub>0</sub> به مقدار ۳۲٪ بوده است و در تیمار S<sub>3</sub> به مقدار ۶۱٪ رسیده است. این‌ها نشان می‌دهد که از تیمار S<sub>0</sub> تا S<sub>3</sub> کل سهم تبرقی ۲۹ درصد کاهش و کل سهم تبخیر ۲۹ درصد افزایش یافته است. به طوری که در کل دوره رشد، به ازای هر یک دسی‌زیمنس بر متر افزایش شوری آب، سهم تبرقی با شیب ۵/۷ درصد، کاهش و سهم تبخیر با شیب ۵/۷ درصد، افزایش یافته است. با توجه به نزدیک بودن مقادیر کاهش تبرقی و افزایش تبخیر به هم می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش شوری هر سهمی از تبرقی گیاه که کاهش یافته است، تقریباً به میزان همان سهم به تبخیر از سطح خاک افزوده شده است. این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که در شرایط تنش شوری، افزایش سهم تلفات تبخیر نسبت به شرایط پتانسیل منطقه وجود خواهد داشت که این دستاورد مهمی است. از سوی دیگر اگر نسبت تبرقی به تبخیر-تبرقی ذرت (T/ET) را بتوان به عنوان راندمان مصرف آب توسط گیاه در نظر گرفت، نتایج این بخش از پژوهش نشان‌دهنده کاهش راندمان مصرف آب توسط گیاه و افزایش راندمان تبخیر در شرایط تنش شوری است. در این شرایط (تنش شوری) توصیه می‌شود ضمن تلاش برای حذف یا کاهش اثر تبخیر (از طریق کاربرد انواع خاک‌پوش)، نیاز آبی گیاه نه بر اساس مقدار تبخیر-تبرقی بلکه با توجه به مقدار واقعی تبرقی گیاه محاسبه شود. برای این منظور می‌توان به جای کاربرد ضریب تنش تبخیر-تبرقی (K<sub>s</sub>) در برآورد تبخیر-تبرقی واقعی ذرت، از ضریب تنش

کاهش تعرق گیاه و افزایش تبخیر از سطح خاک شده است و از این رو با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

نتایج دو پژوهش مذکور نشان داد که افزایش تنش آبی به عنوان یک تنش محیطی (مانند تنش شوری) باعث



شکل ۴- سهم اجزاء تبخیر و تعرق نسبت به افزایش مقدار شوری آب در مراحل رشد ذرت

بزرگتر از یک شده است. البته شیب کاهش تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی در شرایط تنش شوری باهم برابر نبوده و به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، به ترتیب مقدار ۴/۷ و ۱۱/۱ درصد کاهش داشته‌اند (شکل ۵). به‌طور مشابه در پژوهشی گزارش شد که به ازای هر یک دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، مقدار ۴/۵ درصد از تبخیر-تعرق نسبی ذرت در منطقه قزوین کاسته شده است (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر به نتایج پژوهش‌های گذشته نزدیک بود. در پژوهش مشابه دیگر بر روی ذرت، از سطح آبیاری  $I_0$  (آبیاری کامل) تا  $I_3$  (آبیاری در حد ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه)، ضرایب تنش‌های تبخیر-تعرق، تعرق، تبخیر و تبخیر به ترتیب در بازه‌ی ۱-۰/۷۱، ۱-۰/۴۷ و ۱-۱/۱۳ قرار داشت (سعیدی، ۱۴۰۰ b). از سوی دیگر شکل (۶) نشان داد که جزء تعرق نسبی گیاه در شرایط تنش شوری، در همه مراحل رشد به یک نسبت کاهش نمی‌یابد. فقط در مرحله پایانی رشد ( $P_3$ ) نرخ کاهش تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی باهم برابر بوده است. دلیل نتایج مذکور این بود که به علت کم بودن میزان تعرق گیاه در زمان رسیدگی و آغاز پلاسیدگی آن، دیگر تنش شوری تأثیر قابل توجهی بر کاهش سهم تعرق (نسبت

#### ضرایب تنش شوری

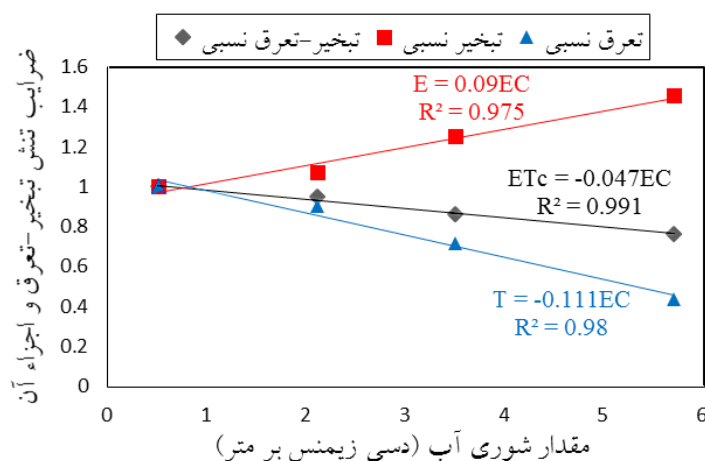
در این بخش از پژوهش، ضرایب تنش شوری مؤثر بر تبخیر-تعرق ( $K_s$ )، تعرق ( $K_{s-T}$ ) و تبخیر ( $K_{s-E}$ ) در کل دوره رشد ذرت محاسبه و در جدول (۵) ارائه شد. از تیمار  $S_0$  تا  $S_3$ ، مقادیر ضرایب فوق به ترتیب در بازه ۱-۰/۷۶، ۱-۰/۴۳ و ۱-۱/۴۵ قرار داشت. در پژوهشی گزارش شد که با کاهش کیفیت آب آبیاری از طریق افزایش شوری از ۰/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر، مقدار ضریب تنش تبخیر-تعرق ذرت از عدد یک به ۰/۶۹ کاهش یافت (لاکردا و همکاران، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، ضرایب مذکور به ترتیب برابر با تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی بوده که برای شرایط تنش شوری، نشان‌دهنده مقدار پارامتر مدنظر نسبت به شرایط استاندارد منطقه است. به بیان دیگر با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان برای مقادیر مختلف شوری آب آبیاری، مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر را نسبت به شرایط استاندارد منطقه برآورد نمود. بر اساس داده‌های جدول (۵) مقدار ضرایب تنش در تیمار تحت کنترل ( $S_0$ ) برابر با عدد یک است؛ اما با افزایش تنش شوری، مقدار ضریب تنش برای پارامترهای تبخیر-تعرق و تعرق کوچک‌تر از یک و برای جزء تبخیر،

داشته است. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت نیز گزارش شد که اعمال تنش‌های شوری و خشکی در مراحل میانی و پایانی رشد ذرت، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر کاهش تبخیر-تعرق گیاه داشت. علت این بود که در مرحله میانی رشد به دلیل آغاز تشکیل بلال، حساسیت تعرق گیاه ذرت بیشتر بود و در مرحله پایانی رشد نیز به دلیل رسیدگی محصول و تکمیل دوره رشد، حساسیت تعرق گیاه ذرت کمتر بود (سعیدی، ۱۴۰۰ a). نتیجه کلی در این بخش از پژوهش این بود که با در نظر گرفتن سهم تعرق گیاه در شرایط استاندارد (T/ET) و اعمال ضریب تنش تعرق (K<sub>S-T</sub>) در آن، امکان برآورد دقیق‌تر نیاز آبی گیاه در شرایط غیراستاندارد محیطی (مانند وجود تنش شوری) فراهم می‌شود.

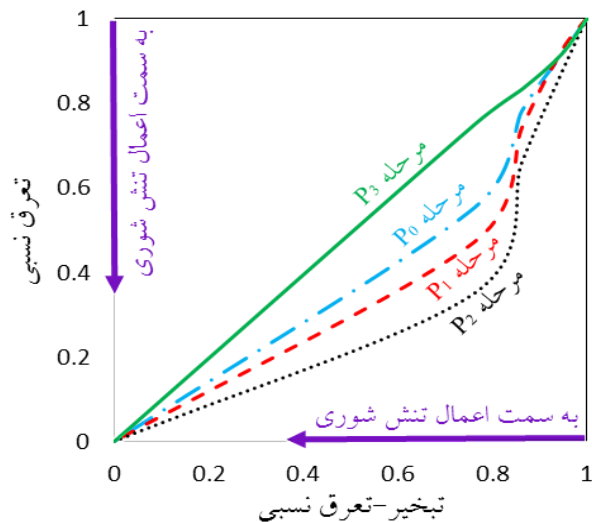
به تبخیر-تعرق) در مرحله پایانی رشد نداشته است؛ اما به ترتیب در مراحل رشد میانی (P<sub>2</sub>)، توسعه (P<sub>1</sub>) و اولیه (P<sub>0</sub>)، تعرق نسبی در برابر تبخیر-تعرق نسبی، کاهش بیشتری از خود نشان داده است. دلیل آن، حساسیت متفاوت تعرق گیاه به تنش شوری در مراحل مختلف رشد می‌تواند باشد؛ یعنی در هر مرحله‌ای از رشد که حساسیت تعرق گیاه به تنش شوری بیشتر بوده است، تعرق نسبی گیاه مقدار کم‌تری نسبت به تبخیر-تعرق نسبی داشته است. از این روست که در شکل (۶)، نمودارهای دو مرحله رشد P<sub>1</sub> و P<sub>2</sub>، پایین‌تر از نمودار مرحله P<sub>0</sub> مشاهده می‌شود. به طوری که در مرحله میانی رشد (که بیشترین کاهش تعرق نسبی در شکل (۶) مشاهده شد)، به علت وجود مراحل حساس رشد مانند گلدهی، گرده‌افشانی و بلال دهی ذرت، تنش شوری بیشترین اثر خود را در کاهش تعرق نسبی گیاه

جدول ۵- ضرایب تنش تبخیر (K<sub>S-E</sub>)، تعرق (K<sub>S-T</sub>) و تبخیر-تعرق (K<sub>S</sub>) گیاه در شرایط تنش شوری

تیمار S <sub>3</sub>	تیمار S <sub>2</sub>	تیمار S <sub>1</sub>	تیمار S <sub>0</sub>	
۰/۷۶	۰/۸۶	۰/۹۵	۱	ضریب K <sub>S</sub>
۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۹	۱	ضریب K <sub>S-T</sub>
۱/۴۵	۱/۱۷	۱/۰۷	۱	ضریب K <sub>S-E</sub>



شکل ۵- تغییرات ضرایب تنش نسبت به افزایش مقدار شوری آب آبیاری



شکل ۶- اثر حساسیت مرحله رشد بر تعرق نسبی ذرت (نسبت به تنش شوری)

وجود عناصری مانند سدیم و کلر در آب شور، اثری سمی بر روی گیاه داشت و همین دلایل موجب کاهش تولید اندام‌های گیاهی و عملکرد محصول ذرت شد. در پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شد که تنش شوری باعث کاهش رشد برگ و کاهش انرژی لازم برای فتوسنتز گیاه شد. در نتیجه از تشکیل اندام گیاهی، رشد محصول و مصرف آب توسط گیاه کاسته شد (شین و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی در منطقه اهواز نیز گزارش شد که افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۷ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد دانه ذرت از ۶/۳ به ۲/۶ تن بر هکتار شد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۶). به این ترتیب نتایج پژوهش‌های گذشته نیز تأیید کرد که تنش شوری آب باعث کاهش عملکرد محصول ذرت شده است.

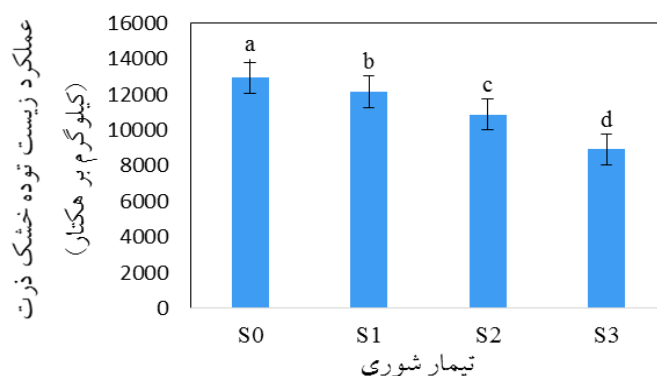
### عملکرد ماده خشک گیاهی

در پایان فصل کشت، عملکرد زیست توده خشک گیاه ذرت در همه تیمارها اندازه‌گیری شد و در جدول (۶)، اثر تنش شوری آب بر روی عملکرد بررسی شد. بر اساس نتایج جدول (۳)، تأثیر تنش شوری آب آبیاری بر مقدار عملکرد زیست توده خشک ذرت، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقدار عملکرد خشک در تیمارهای  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  به ترتیب برابر با ۱۲۹۴۲، ۱۲۱۶۸، ۱۰۸۷۲ و ۸۹۲۸ کیلوگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. شکل (۷) نیز نشان داد که میانگین عملکرد در تیمارهای مختلف دارای هم‌پوشانی نبوده و در چهار سطح مختلف قرار داشته است. کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط اعمال تنش شوری باعث کاهش جذب آب و تعرق توسط گیاه شد. همچنین

جدول ۶- تجزیه واریانس صفت عملکرد خشک ذرت

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار	۲	$۱۷/۵ \times ۱۰^{-۲}$ ns
تنش شوری	۳	$۹۲۳۸ \times ۱۰^{-۲}$ **
خطا	۶	$۷/۵ \times ۱۰^{-۲}$
ضریب تغییرات (%)		۱۵/۶

ns و \*\*: به این ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۷- عملکرد زیست توده خشک ذرت در تیمارهای مختلف

## نتیجه گیری

نشان داد در شرایطی که تنش شوری مانع از جذب آب توسط گیاه بوده است، آب باقی مانده در خاک (سهم تعرق) صرف تبخیر شده است؛ بنابراین در فضای رقابتی بین اجزای تبخیر و تعرق گیاه (برای اختصاص آب به خود)، کاهش مقدار تعرق گیاه (در اثر تنش شوری)، باعث شد که سهمی بیش از شرایط استاندارد به جزء تبخیر اختصاص یابد. از این رو تنش شوری موجب کاهش راندمان مصرف آب توسط گیاه و افزایش سهم تبخیر از سطح خاک شد. در نتیجه مقدار عملکرد زیست توده خشک ذرت در تیمارهای شوری آب، در سطح معنی دار یک درصد کاهش یافت. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط تنش شوری، تعرق گیاه نسبت به تبخیر-تعرق آن با شیب بیشتری کاهش می یابد. در این شرایط توصیه می شود ضمن تلاش برای حذف یا کاهش اثر تبخیر (از طریق کاربرد انواع خاک پوش)، نیاز آبی گیاه بر اساس مقدار واقعی تعرق گیاه محاسبه شود. به این صورت که با در نظر گرفتن سهم تعرق گیاه در شرایط استاندارد (T/ET) و اعمال ضریب تنش تعرق (K<sub>s-T</sub>) در آن، امکان برآورد دقیق تر نیاز آبی گیاه در شرایط غیر استاندارد محیطی (مانند وجود تنش شوری) فراهم می شود. در نتیجه ضمن مصرف آب مطابق نیاز واقعی تعرق گیاه، از تلفات آب آبیاری و شور شدن خاک جلوگیری به عمل می آید.

در پژوهش حاضر سهم اجزای تبخیر و تعرق گیاه ذرت در مراحل مختلف رشد بررسی شد. بیشترین تا کمترین مقدار تجمعی تبخیر-تعرق و تعرق گیاه به این ترتیب متعلق به مراحل توسعه، میانی، اولیه و پایانی رشد بود و برای جزء تبخیر، مربوط به مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد بود. شکل کلی منحنی ضریب گیاهی K<sub>c</sub> پوشش کم سطح زمین در ابتدای دوره رشد و کاهش تعرق گیاه پس از رسیدگی بیولوژیک، از علل نتایج فوق بوده است؛ اما اعمال تنش شوری از طریق افزایش شوری آب آبیاری نیز تأثیر متفاوتی بر واکنش اجزای تبخیر-تعرق داشت. در شرایط تنش شوری، رفتار جزء تعرق گیاه هم سو با پارامتر تبخیر-تعرق و هر دو به صورت کاهش بود. در حالی که در شرایط اعمال تنش شوری، واکنش جزء تبخیر از سطح خاک (در پارامتر تبخیر-تعرق)، به صورت افزایشی بود. اثر غالب تنش شوری بر تعرق گیاه ذرت، در مراحل رشد توسعه و میانی و اثر غالب تبخیر در مرحله اولیه رشد بوده است. با افزایش شوری آب آبیاری در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد، سهم تعرق (نسبت به کل تبخیر-تعرق) به ترتیب ۱/۲، ۱۳/۷، ۱۴/۲ و نزدیک به صفر درصد کاهش و سهم تبخیر به ترتیب ۹/۸، ۹/۱، ۸/۹ و ۱/۳ درصد (نسبت به کل تبخیر-تعرق) افزایش داشت. نتایج



فهرست منابع

۱. حسن‌لی، م. افراسیاب، پ. و ح. ابراهیمیان. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶(۳): ۴۸۷-۴۹۸.
۲. حیدری‌نیا، م. ناصری، ع. برومندنسب، س. و م. الباجی. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری با آب شور بر تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب ذرت در مدیریت‌های مختلف زراعی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۱/۱): ۹۹-۱۱۰.
۳. دهقانی سانچ، ح. کنعانی، ا. و س. اخوان. ۱۳۹۶. ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله آب و خاک. ۳۱(۶): ۱۵۴۹-۱۵۶۰.
۴. سعیدی، ر. ۱۴۰۰ a. اثر تنش خشکی و شوری در برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای از طریق تبخیر-تعرق دوره‌ای، با استفاده از مدل‌های مختلف. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵(۲): ۱۰۷-۱۲۲.
۵. سعیدی، ر. ۱۴۰۰ b. جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.
۶. سعیدی، ر. و ع. ستوده‌نیا. ۱۴۰۰. واکنش عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۳): ۶۱۱-۶۲۰.
۷. سعیدی، ر. رمضان‌اعتدالی، ه. ستوده‌نیا، ع. نظری، ب. و ع. کاورانی. ۱۳۹۹. مدیریت مصرف آب شور و کود نیتروژن در کشت ذرت. مجله آب و خاک. ۳۴(۴): ۸۶۱-۸۷۷.
۸. سعیدی، ر. رمضان‌اعتدالی، ه. ستوده‌نیا، ع. کاویانی، ع. و ب. نظری. ۱۳۹۷ a. تعیین روابط بین عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای، در شرایط تنش شوری و محدودیت نیتروژن. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۳): ۳۵۱-۳۶۶.
۹. سعیدی، ر. ستوده‌نیا، ع. رمضان‌اعتدالی، ه. کاویانی، ع. و ب. نظری. ۱۳۹۷ b. مطالعه تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۴): ۹۴۵-۹۵۴.
۱۰. میرزایی الموتی، ل. و ه. رمضان‌اعتدالی. ۱۳۹۶. بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر سهم مجزا تبخیر و تعرق با استفاده از مدل AquaCrop. چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر. ۳ الی ۴ آبان ماه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
11. Allen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper No.56, 1-326.
12. Azizian, A. and A. R. Sepaskhah. 2014. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. Journal of plant production. 8(2): 183- 214.
13. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, Food and agriculture organization (FAO) of the United Nations, Irrigation and drainage paper No. 24. Rome, Italy.
14. Farooq, M. Hussain, M. Wakeel, A. and Kadambot, H. M. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. Institute national de la recherché agronomies (INRA). 35: 461-481.
15. Ferreira, M. I. Silvestre, J. Conceic, N. and A. C. Malheiro. 2012. Crop and stress coefficients in rain fed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. Journal of irrigation science. 30: 433-447
16. Gimenez, L. Petillo, M. G. Paredes, P. and L. S. Pereira .2016. Predicting maize transpiration, water use and productivity for developing improved supplemental irrigation

- schedules in western Uruguay to cope with climate variability. *Journal of water*. 8(309): 1-22.
17. Guo, T. Liu, C. Xiang, Y. Zhang, P. and R. Wang. 2021. Simulations of the soil evaporation and crop transpiration beneath a maize crop canopy in a humid area. *Journal of water*. 13(14): 1-13.
  18. Lacerda, C. F. Ferreira, J. F. S. Liu, X. and D. L. Suarez. 2016. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. *Journal of agronomy and crop science*. 202 (2016): 192-202.
  19. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Journal of plant biology*. 59: 651-681.
  20. Saeidi, R. Ramezani Etedali, H. Sotooodenia, A. Kaviani, A. and B. Nazari. 2021. Salinity and fertility stresses modifies  $K_s$  and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). *Journal of irrigation science*. 39: 299- 313.
  21. Trout, T. J. and K. C. Dejonge .2017. Water productivity of maize in the US high plains. *Journal of irrigation science*. 35: 251–266.
  22. Xiao, X. Sauer, T. J. Singer, J. W. Horton, R. Ren, T. and J. L. Heitman. 2016. Partitioning evaporation and transpiration in a maize field using heat-pulse sensors for evaporation measurement. *Journal of American society of agricultural and biological engineers*. 59(2): 591- 599.
  23. Xin, H. Peiling, Y. Shumei, R. Yankai L. Guangyu, J. and L. Lianhao. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *Journal of Agriculture and Biology Engineering*. 9(2): 63-73.
  24. Zhou, S. Liu, W. and W. Lin. 2017. The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. *Journal of water science and technology*. 17(1): 221-228.

## Determination of Salinity Stress Coefficient in Different Growth Stages of Forage Maize

R. Saeidi<sup>1</sup>

PhD. of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

saedi@org.ikiu.ac.ir

Received: November 2021, and Accepted: June 2022

### Abstract

In this research, the effect of salinity stress on the amount of evapotranspiration components of maize were investigated in mini-lysimeters (in the initial, development, mid, and late growth stages). Salinity treatments were applied by water with EC of 0.5(S<sub>0</sub>), 2.1(S<sub>1</sub>), 3.5(S<sub>2</sub>), and 5.7(S<sub>3</sub>) dS.m<sup>-1</sup>. The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design. For the whole growth period and for S<sub>0</sub> to S<sub>3</sub> treatments, the values of evapotranspiration, transpiration, and evaporation were measured in the range of 420-320, 285-124, and 135-196 mm, respectively. The share of crop transpiration (T/ET<sub>c</sub>) decreased by 29% while the share of evaporation (E/ET<sub>c</sub>) increased by the same value. From S<sub>0</sub> to S<sub>3</sub> treatment, the values of evapotranspiration, transpiration and evaporation were measured in the range of 420-320, 1 / 285-3 / 124 and 134-7 / 195.9 mm (in the whole growth period), respectively. From S<sub>0</sub> to S<sub>3</sub> treatments, the values of evapotranspiration, transpiration and evaporation were measured in the range of 79-72, 19-10 and 61-62 mm (initial stage), 202-150, 150-71, and 51-79 mm (development stage), 124-84, 110-39, and 14-45 mm (mid stage), and 15-14, 6-4, and 9-10 mm (the late stage). The shares of crop transpiration decreased in the order of the developmental, mid, initial, and the late stages, while the decreasing order for the shares of evaporation was related to the initial, developmental, mid, and late stages, respectively. The dry biomass yield decreased by salinity stress, and its amount in treatments S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, and S<sub>3</sub> was as 12942, 12168, 10872, and 8928 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively. Stress coefficients of evapotranspiration (K<sub>S</sub>), transpiration (K<sub>S-T</sub>), and evaporation (K<sub>S-E</sub>) were calculated in the range of 1-0.76, 1-0.43, and 1-1.45, respectively. The results showed that for 1 dS.m<sup>-1</sup> increase in water salinity, the amounts of relative evapotranspiration and relative transpiration decreased by 4.7% and 11.1%, respectively, and the amount of relative evaporation increased by 9%. The results showed that the transpiration component decreased with a greater slope, relative to the evapotranspiration.

**Keywords:** Growth stage sensitivity to salinity, Water absorption, Water salinity

<sup>1</sup> - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.