

## مطالعه تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای

رضا سعیدی<sup>۱</sup>، عباس ستوده‌نیا<sup>۲\*</sup>، هادی رضانی اعتدالی<sup>۳</sup>، عباس کاویانی<sup>۴</sup>، بیژن نظری<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری در رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۴. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۵. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۱/۷)

### چکیده

برای بررسی اثر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک بر مقدار تبخیر و تعرق ذرت، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در مزرعه آموزشی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای شوری آب شامل چهار سطح ( $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$ ) دسی زیمنس بر متر و تیمارهای حاصلخیزی خاک نیز در چهار سطح ( $F_0$ ،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$ ) درصد نیاز به کود ازته، در سه تکرار و در کرت‌هایی به مساحت ۹ مترمربع به اجرا درآمد. در فواصل بین دو آبیاری، با اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق ریشه، تفاوت جذب آب توسط کرت‌های تحت تنش نسبت به کرت بدون تنش، بررسی شد. نتایج نشان داد که با تغییر شوری آب آبیاری از حد ۵/۷ به ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر در حاصلخیزی  $F_0$ ،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$ ، ضریب تنش تبخیر و تعرق ( $K_S$ ) به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۹، ۰/۶۴ و ۰/۶۳ شده است. همچنین با تغییر سطح حاصلخیزی از  $F_0$  به  $F_3$ ، در شوری  $S_0$ ،  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$ ، ضریب  $K_S$  به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۸۸، ۰/۸۳ و ۰/۶۳ شده است. از تیمار  $S_0F_0$  تا  $S_3F_3$  مقدار تبخیر و تعرق، ضریب  $K_S$  و عملکرد محصول، به ترتیب ۳۷، ۳۷ و ۳۸ درصد کاهش یافته است. برای تخمین تبخیر و تعرق از روی تنش‌های شوری و حاصلخیزی، شکل‌های مختلف توابع تولید برازش داده شد. در بین آن‌ها، تابع درجه دوم به دلیل داشتن آماره‌های RMSE و ME حداقل و  $R^2$  و EF نزدیک به عدد یک، به‌عنوان تابع بهینه انتخاب شد. نتایج حاصل نشان داد که تنش‌های شوری و حاصلخیزی، با کاهش ضریب  $K_S$ ، اثر کاهنده‌ای بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه دارد. لذا با تعیین صحیح نیاز آبی گیاه تحت تنش، می‌توان از مصرف بی‌رویه آب جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، حاصلخیزی خاک، ذرت، شوری آب، ضریب تنش ( $K_S$ )

### مقدمه

برای کشت محصولات مختلف کشاورزی، مدیریت و تأمین آب مورد نیاز گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بین، عوامل اقلیمی و روش‌های مدیریتی در امر کشاورزی، بر تبخیر و تعرق گیاه مؤثر بوده و باعث کاهش آن می‌گردد. امروزه، یکی از نواقص مطرح در برنامه‌ریزی‌های آبیاری این است که با غفلت از وجود عوامل تأثیرگذار بر کاهش تبخیر و تعرق گیاه و با هدف دست‌یابی به عملکرد پتانسیل، گیاهان بر اساس تبخیر و تعرق پتانسیل آبیاری می‌شوند. در این شرایط، علیرغم آبیاری بیشتر، خلاء عملکرد محصول برطرف نشده و آب اضافی بدون تأثیرگذاری بر افزایش عملکرد، به‌صورت تبخیر سطحی و نفوذ

عمقی به هدر می‌رود. پس باید با توجه به شرایط خاص محیط و مزرعه (وجود تنش)، اقدام به تعیین تبخیر و تعرق واقعی محصول مورد نظر نموده و بر اساس آن برنامه آبیاری را تنظیم کرد. بنابراین با در نظر گرفتن یک ضریب تنش ( $K_S$ ) برای مقدار واقعی تبخیر و تعرق گیاه، می‌توان بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی را افزایش داده و از هدررفت آن جلوگیری نمود. به منظور بهینه‌سازی سطح شوری آب آبیاری و مطالعه تأثیر آن بر تبخیر و تعرق گیاه بادنجان، تحقیقی با چهار سطح شوری آب آبیاری (۰/۸، ۲/۵، ۵ و ۷ دسی زیمنس بر متر)، در سه تیمار کشت هیدروپونیک (دارای ۱۰۰٪ پرلیت، ۱۰۰٪ کوکوپیت و مخلوط ۵۰٪ پرلیت و کوکوپیت) انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق در کوکوپیت، با پایین‌ترین سطح شوری آب، اتفاق افتاده است (Mahjoor et al., 2016). طی

تحقیقی در کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی، تأثیر نمک اضافه شده به آب آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شوری، محتوای کلروفیل برگ و فعالیت فتوسنتزی را کاهش و مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها را افزایش داده است. در شوری بالای  $5 \left(\frac{ds}{m}\right)$  عملکرد محصول به طور قابل توجهی کاهش یافته است. شوری به دلیل اثر اسمزی، جذب آب توسط ریشه را کم کرده و با افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ، تعرق گیاه را کاهش داده است (Zhang *et al.*, 2016). افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، سبب کاهش تبخیر و تعرق ذرت دانه‌ای به میزان ۲۴/۸ درصد شده است. همچنین میزان کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی به‌ازای هر واحد افزایش شوری آب آبیاری به‌ترتیب حدود ۱۱/۷ و ۱۰/۸ درصد تعیین شده است (Heidarinia *et al.*, 2016). به‌منظور تعدیل ضریب گیاهی بادنجان در شرایط غیر استاندارد (شوری و خشکی)، اقدام به برآورد ضریب تنش  $K_s$  شد. مقادیر واقعی ضریب تنش به‌صورت نسبت تبخیر و تعرق واقعی اندازه‌گیری شده برای هر تیمار، به تبخیر و تعرق تیمار بدون تنش تعیین گردید. نتایج نشان داد که مقادیر واقعی و محاسبه شده ضریب تنش  $K_s$ ، با افزایش شدت تنش‌های آبی و شوری کاهش یافته است (Rafiee *et al.*, 2016). حاصلخیزی پایین خاک‌های کشور و کمبود مواد غذایی به‌عنوان یک تنش محیطی برای گیاهان باعث می‌شود که میزان تبخیر و تعرق گیاهان متفاوت از تبخیر و تعرق محاسباتی بر اساس نشریه فنی شماره ۵۶ فائو باشد. علاوه بر این، ضرایب گیاهی ارائه شده در این نشریه عمدتاً مربوط به خاک‌های آمریکای شمالی و اروپا بوده که این خاک‌ها از نظر مواد آلی غنی می‌باشند (Ghorbanian-Kerdabadi *et al.*, 2016). اثر افزودن کود بر افزایش بهره‌وری ذرت در کشور اتیوپی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق با در نظر گرفتن سه سطح حاصلخیزی برای خاک (خاک فقیر، خاک با شرایط حاصلخیزی نزدیک به شرایط بهینه و خاک بدون تنش حاصلخیزی)، عملکرد و نیاز آبی ذرت اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن کود به خاک، موجب کاهش تبخیر از مقدار ۴۴۶ میلی‌متر در شرایط خاک فقیر، به مقدار ۲۰۴ میلی‌متر در شرایط بدون تنش حاصلخیزی و افزایش تعرق از مقدار ۱۴۶ میلی‌متر به ۳۵۵ میلی‌متر بوده است (Erkossa *et al.*, 2011). طی سه سال زراعی ۲۰۱۰-۲۰۱۲، اثر افزودن مقادیر مختلف کود نیتروژن، بر تبخیر و تعرق دو رقم گندم زمستانه حساس به کم‌آبی (ZM) و مقاوم به کم‌آبی (CH) در منطقه شانگسی چین مطالعه شد. نتایج نشان داد که مجموع تبخیر و تعرق در تیمار ZM با افزودن کود به میزان ۲۷۰ کیلوگرم بر هکتار طی فصل‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۰،

۲۰۱۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۱-۲۰۱۲، به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۵/۸ و ۲۲/۱ درصد افزایش داشته است. این مقادیر برای تیمار CH به ترتیب برابر با ۲۸، ۱۴/۱ و ۲۳/۱ درصد گزارش گردید (Zhong and Shangguan, 2014). بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴، تحقیقی بر روی ذرت تحت تیمارهای مختلف کود نیتروژن و تیمارهای آبیاری در دانشگاه نبراسکا-لینکلن، انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش آبیاری و کود نیتروژن، تبخیر و تعرق واقعی گیاه افزایش یافته است (Daran, 2015). در تحقیقی اثر حاصلخیزی و بافت خاک، بر ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش حاصلخیزی خاک، تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی ذرت افزایش یافته است. ضریب گیاهی ذرت در مرحله میانی رشد، بیشتر از مراحل دیگر، تحت تأثیر تیمارهای متفاوت حاصلخیزی خاک قرار گرفته است (Ghorbanian-Kerdabadi *et al.*, 2016). در صورت وجود تنش‌های محیطی، تخمین تبخیر و تعرق واقعی ذرت (در مقادیر بیشتر از ۳ میلی‌متر بر روز) با ضریب  $K_s$  خطی، عملکرد بهتری نسبت به حالت لگاریتمی داشته است. با توجه به این تحقیق این طور دریافت می‌شود که با افزایش تنش‌ها، تبخیر و تعرق واقعی گیاه به صورت خطی کاهش یافته است (Bastos Lyra *et al.*, 2016). هدف از این مقاله، بررسی تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای در قزوین می‌باشد. با توجه به بحران کمبود آب در بخش کشاورزی و وجود محدودیت‌های محیطی در کیفیت منابع آب و خاک، باید تبخیر و تعرق گیاهان در این شرایط، مورد بررسی و بازنگری قرار گیرد. در این طرح از میان محدودیت‌های موجود در محیط مزرعه، تأثیر دو عامل حاصلخیزی خاک و شوری آب آبیاری بر تبخیر و تعرق ذرت، ضریب تنش  $K_s$  و عملکرد بیومس، مورد مطالعه قرار گرفته است. تنش‌های مذکور، به صورت کاهش ازت مورد نیاز گیاه در خاک و افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری، به گیاه اعمال می‌گردد. پیش‌بینی می‌شود که با اعمال تنش، علاوه بر کاهش عملکرد محصول، تبخیر و تعرق ذرت و ضریب تنش  $K_s$  نیز کاهش یابد. بنابراین با مشخص شدن تأثیر عوامل تنش‌زا بر مقدار آب جذب شده توسط گیاه از خاک، می‌توان برآورد دقیق‌تری از آب مورد نیاز گیاه انجام داد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، در موقعیت عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 19' 32''$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ} 07' 17''$  شرقی و ارتفاع ۱۳۸۲ متر

مرتبط با آنالیز خاک برای کشت ذرت علوفه‌ای، انواع کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، گوگرد و کود دامی به‌ترتیب به مقدار ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و کود اوره به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در حین کشت، به خاک اضافه شد.

از سطح دریا انتخاب شده است. منابع آبی موجود در این مزرعه، آب چاه با هدایت الکتریکی  $\frac{ds}{m}$  ۰/۴۷ و pH خنثی بوده است. قبل از اجرای طرح، با نمونه‌برداری از خاک مزرعه در ۵ نقطه و از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری، آنالیز شیمیایی خاک به شرح جدول (۱) مشخص شده است. بر اساس توصیه کودی

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی خاک، قبل از کشت

نتایج تجزیه خاک در عمق		نوع تجزیه
۶۰-۳۰ سانتی‌متری	۳۰-۰ سانتی‌متری	
۴۲	۲۹	درصد اشباع Sp
۰/۳۳	۰/۳۳	هدایت الکتریکی خاک EC (ds/m)
۷/۴۶	۷/۴	واکنش گل اشباع PH
۱۶	۱۱/۵	درصد مواد خنثی شونده T.N.V
۰/۰۹	۰/۰۶	کربن آلی O.C./
۰/۱	۰/۰۶	درصد ازت کل N total
۱	۴	فسفر قابل جذب P(p.p.m)
۶۰	۲۸۸	پتاسیم قابل جذب K(p.p.m)
SL	SL	بافت Texture
۸	۱۰	درصد رس C
۲۴/۵	۳۳	درصد سیلت SI
۶۷/۵	۵۷	درصد شن S
۲۲	۲۳	درصد رطوبت وزنی در حد FC
۱۳/۵	۱۴	درصد رطوبت وزنی در حد PWP

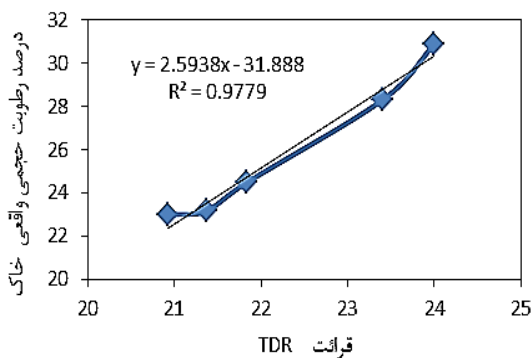
۷۵۰۰۰ تا ۹۵۰۰۰ در هکتار انتخاب شده است. به عنوان مثال؛ تراکم ۸۰۰۰۰ بوته (Nasrollahi, 2014) و تراکم ۸۷-۷۰ هزار بوته در هکتار (Heydar Golinejad et al., 2003)، بهترین گزینه برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ بوده است. بنابراین در این تحقیق، تراکم بذر ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار، فاصله پشته‌ها ۷۵ سانتیمتر و فاصله بین بذور، ۱۶/۶۷ سانتیمتر در طول پشته انتخاب شده است. بر اساس توصیه کودی حاصل از آنالیز خاک، به هر کرت ۱۳/۵ کیلوگرم کود دامی (۱۵ تن در هکتار)، ۱۸۰ گرم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) از هر نوع کود سوپرفسفات‌تریپل، سولفات پتاسیم و گوگرد، قبل از کاشت بذور داده شد. در تاریخ ۹۶/۴/۶ بذره‌های ذرت با تراکم مذکور، کاشته شده و تاریخ جوانه‌زنی اولیه آن‌ها ۹۶/۴/۱۱ بود. اگر توصیه کودی منطبق با آنالیز شیمیایی خاک به کار گرفته شود، خاک مزرعه حاصلخیز محسوب می‌گردد. در این طرح، تنش حاصلخیزی در قالب مصرف کود اوره (ازته) و در چهار سطح بوده است. به این صورت که پس از آنالیز خاک و بر اساس توصیه کودی، تیمار اول ( $F_0$ ) مصرف ۱۰۰ درصد، تیمار دوم ( $F_1$ ) مصرف ۷۵ درصد، تیمار

فقر غذایی خاک و شوری بیش از حد استاندارد آب آبیاری، از عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد محصولات کشاورزی به‌شمار می‌روند. به‌علت ارتباط مستقیم عملکرد محصول با تبخیر و تعرق آن، انتظار می‌رود که در صورت وجود محدودیت‌های فوق، از تبخیر و تعرق گیاه کاسته شود. تیمارها شامل اعمال تنش حاصلخیزی (Fertility Stress) و تنش شوری (Salinity Stress) به گیاه ذرت علوفه‌ای تعریف شده است. این تیمارها به همراه یک کرت شاهد (Control)، به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، به اجرا در آمده است.

### اجرای طرح

رقم ذرت مورد مطالعه در این طرح، سینگل کراس ۷۰۴ بوده و روش کاشت آن، به‌صورت جوی و پشته در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳ متر و با فاصله ۱/۵ متر از هم انتخاب شده است. در تحقیقات گذشته، ابعاد کرت‌ها ۳×۵ متر (Heydar Golinejad et al., 2003) و ۳×۳ متر (Hasanli et al., 2015) گزارش شده است. همچنین در تحقیقات دیگر، تراکم ذرت علوفه‌ای بین

کرت، مطابق با درصد کمبود رطوبت خاک کرت شاهد از حد MAD تا FC، در واحد عمق ریشه گیاه و سطح کرت، در برنامه اکسل محاسبه شده و مقدار آن توسط کنتور آب، کنترل شده است. با توجه به اختلاف ناچیز رطوبت خاک و فاصله دار بودن کرت‌ها، امکان تبادل رطوبت بین آن‌ها وجود نداشته است. در عین حال برای افزایش اطمینان، در روزهای اولیه کشت و همزمان با آبیاری کرت‌ها، فواصل بین آن‌ها (پیاده‌رو) آبیاری سنگین شده و بلافاصله روی پیاده‌روها پلاستیک کشیده شد. این کار مانع تابش نور خورشید به خاک پیاده‌روها، مکش آب و جابجایی رطوبت بین کرت‌ها بوده است. پس از اعمال تیمارها و در روزهای بین دو آبیاری، رطوبت خاک کرت‌ها در عمق توسعه ریشه‌ها، توسط دستگاه بازتاب زمانی امواج یا (Time TDR Domain Reflectometry) اندازه‌گیری شد. این دستگاه از نوع تراپم (Trime) بوده و قبل از شروع داده‌برداری رطوبت، مطابق با شکل (۲)، در خاک مزرعه کالیبره شده است. برای افزایش دقت در داده‌برداری، با چرخاندن حسگر دستگاه در سه جهت (با زاویه ۱۲۰ درجه)، اعداد را یادداشت نموده و عدد نهایی رطوبت، متوسط آن اعداد بوده است. با عنایت به این‌که آبیاری با آب شور و شور شدن خاک، امکان تأثیرگذاری بر ثبت داده‌ها را داشته است، این مسئله در طول دوره کشت گیاه کنترل شده و اختلالی در کار مشاهده نشده است.



شکل ۲. منحنی کالیبراسیون دستگاه TDR

پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک کرت‌ها، با توجه به شکل‌های (۳) و (۴) و روابط (۱ و ۲)، تبخیر و تعرق گیاهان شاهد و تحت تنش برآورد شد. در صورتی که تبخیر و تعرق گیاه تحت تنش  $(ET_c - adj)$  کمتر از تبخیر و تعرق گیاه شاهد  $(ET_c)$  بوده باشد، با تقسیم  $ET_c - adj$  بر  $ET_c$ ، ضریب تنش  $K_s$  محاسبه می‌شود. مقدار ضریب  $K_s$  در کرت‌های تحت کنترل (شاهد)، برابر با عدد یک و با اعمال تنش، این عدد کوچکتر از یک برآورد شده است.

سوم  $(F_2)$  مصرف ۵۰ درصد و تیمار چهارم  $(F_3)$  مصرف ۲۵ درصد از کود اوره مورد نیاز بوده است. مقادیر متفاوت کود اوره یک‌بار در زمان ۶-۷ برگی گیاه (توصیه آزمایشگاه خاک) و بار دیگر، قبل از ظهور گل‌های نر به کرت‌ها داده شد. از سوی دیگر، پس از کاشت بذر و استقرار گیاه (پنج‌برگی شدن گیاه)، تنش شوری توسط آبیاری گیاه با آب شور و در چهار سطح اعمال شده است. حداکثر هدایت الکتریکی مجاز آب آبیاری  $(EC_{iw})$  که منجر به کاهش محصول نشود، برای ذرت علوفه‌ای  $(\frac{ds}{m})$   $1/2$  گزارش شده است (Alizade, 2007). بنابراین بر اساس پتانسیل عملکرد محصول در چهار سطح ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصد، تیمارهای ذرت علوفه‌ای شامل  $S_0$ ؛ آب آبیاری با هدایت الکتریکی کمتر از آستانه تحمل گیاه  $(\frac{ds}{m})$   $(0/5)$ ؛  $S_1$ ؛ آب آبیاری با هدایت الکتریکی  $(\frac{ds}{m})$   $2/1$ ؛  $S_2$ ؛ آب آبیاری با هدایت الکتریکی  $(\frac{ds}{m})$   $3/5$ ؛  $S_3$ ؛ آب آبیاری با هدایت الکتریکی  $(\frac{ds}{m})$   $5/7$  تعریف شده است (Alizade, 2007). برای تهیه آب شور مورد نیاز برای آبیاری، با توجه به تحقیقات گذشته (Hasanli et al, 2015)، از نمک صنعتی استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا در حجم یک لیتر آب، مقدار نمک لازم برای رسیدن به EC مدنظر محاسبه شد. سپس بر اساس کالیبراسیون انجام شده، حجم آب شور مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها، در تانک‌های بزرگ تهیه شد. برای اطمینان بیشتر، همواره EC آب ورودی به کرت‌ها توسط دستگاه EC متر کنترل شده است. در مجموع و با عنایت به شکل (۱)، تعداد ۱۶ تیمار مورد بررسی قرار گرفته و در سه تکرار به اجرا در آمده است.

$S_0F_3$	$S_1F_0$	$S_1F_3$	$S_0F_2$	$S_1F_3$	$S_2F_2$	$S_2F_1$	$S_2F_3$		
$S_2F_0$	$S_1F_1$	$S_0F_0$	$S_1F_1$	$S_1F_2$	$S_3F_0$	$S_0F_3$	$S_1F_2$	$S_2F_2$	$S_3F_3$
$S_2F_1$	$S_0F_1$	$S_0F_2$	$S_0F_3$	$S_2F_2$	$S_2F_3$	$S_1F_1$	$S_3F_1$	$S_2F_3$	$S_3F_2$
$S_0F_2$	$S_0F_0$	$S_2F_0$	$S_3F_1$	$S_3F_0$	$S_3F_3$	$S_1F_2$	$S_2F_1$	$S_3F_3$	$S_3F_1$
$S_2F_0$	$S_1F_0$	$S_0F_1$	$S_0F_0$	$S_1F_0$	$S_3F_2$	$S_0F_1$	$S_3F_0$	$S_3F_2$	$S_1F_3$

شکل ۱. شبکه اعمال تیمارها

### تعیین زمان آبیاری و اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه

تعیین زمان آبیاری، منوط به رسیدن رطوبت خاک کرت شاهد به حد MAD (حداکثر تخلیه رطوبت مجاز خاک) بوده است. حد MAD به‌طور متوسط برای گیاه ذرت  $0/65$  گزارش شده است (Alizade, 2007). اما حد MAD ذرت علوفه‌ای در مراحل رشد متفاوت بوده و در مرحله رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، ظهور گل‌های نر و شیرگی شدن دانه‌ها به ترتیب برابر با ۶۰، ۷۶، ۵۳ و ۵۷ درصد گزارش شده است (Saeidi et al., 2013). بنابراین برای جلوگیری از ورود تنش خشکی، آبیاری پس از تخلیه رطوبت مجاز کرت شاهد انجام شده است. حجم آب ورودی

مدل‌سازی تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از توابع تولید با به کارگیری داده‌های برداشت شده از طرح، مقدار تبخیر و تعرق ذرت در شرایط وجود مقادیر متفاوتی از تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک، به صورت رابطه (۳) قابل پیش‌بینی است. در این رابطه، صرفاً تأثیر تنش‌های مذکور در نظر گرفته شده و سایر عوامل مؤثر ثابت نگه داشته شده است.

$$ET = f(F, EC_w, b_0) \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه (۳)،  $ET$ : تبخیر و تعرق ذرت در طول دوره کشت (mm)،  $F$ : درصد حاصلخیزی خاک بر اساس کود ازت داده شده (اعشاری)،  $EC_w$ : هدایت الکتریکی آب آبیاری ( $\frac{ds}{m}$ ) و  $b_0$ : بردار ثابت سایر عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق است. پس از تعیین توابع قابل برازش بین داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق، در نرم‌افزار SPSS، ضرایب توابع تولید با شکل‌های خطی، توانی، درجه دوم و نمایی، به ترتیب مطابق با روابط (۴ الی ۷) برآورد گردید. برای تعیین معنی‌داری توابع، از آماره  $F$  استفاده شد. آماره  $F$  نشان‌دهنده معنی‌دار بودن کلی تابع می‌باشد. در تحقیقات گذشته، از توابع زیر برای مدل‌سازی عملکرد گوجه‌فرنگی، در شرایط توأمان تنش‌های شوری و خشکی استفاده شده است (Mohammadi *et al.*, 2010).

$$ET = b_0 + b_1 F + b_2 EC_w \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$ET = b_0 F^{b_1} EC_w^{b_2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$(\text{رابطه ۶})$$

$$ET = b_0 + b_1 F + b_2 F^2 + b_3 EC_w + b_4 EC_w^2 + b_5 F \cdot EC_w$$

$$ET = b_0 F^{b_1} EC_w^{b_2} e^{(b_3 F + b_4 EC_w)} \quad (\text{رابطه ۷})$$

با داشتن داده‌های مشاهده‌ای (Observational) و پیش‌بینی شده (Predicted) تبخیر و تعرق و استفاده از آماره‌های مربوطه شامل؛ حداکثر خطا (ME)، میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، کارایی مدل‌سازی (EF) و ضریب باقیمانده مدل (CRM)، اعتبار توابع ارزیابی شده و تابع بهینه تعیین می‌گردد. معادلات مربوط به آماره‌های فوق، در روابط (۸ تا ۱۲) آورده شده است.

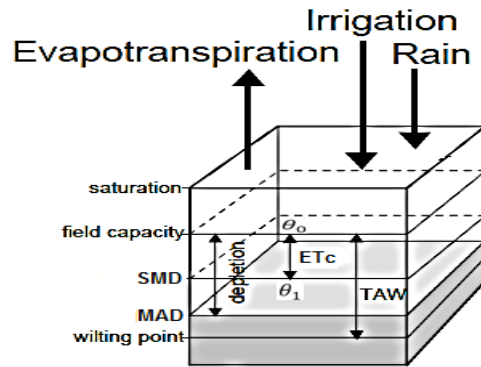
$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{O} \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$



شکل ۳. تبخیر و تعرق گیاه در شرایط استاندارد ( $ET_c$ ) در کرت شاهد

(رابطه ۱)

$$ET_c = (\theta_0 - \theta_1) \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \quad , \quad (ET_c)_i = (\theta_{i-1} - \theta_i) \cdot \rho_b \cdot D_{rz}$$

$\theta_0$ : درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرع‌ای

$\theta_1$ : درصد رطوبت وزنی خاک در کرت شاهد، در روزهای

پس از آبیاری

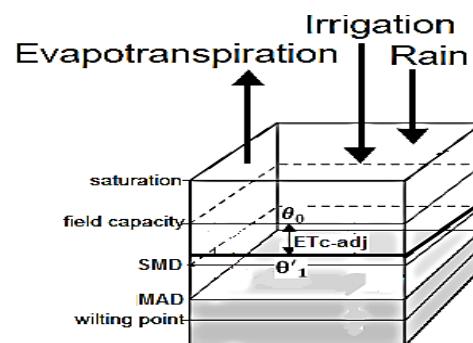
$\rho_b$ : چگالی ظاهری خاک ( $\frac{gr}{cm^3}$ )،

$D_{rz}$ : عمق ریشه گیاه (cm)

$(ET_c)_i$ : تبخیر و تعرق روزانه گیاه در کرت کنترل (شاهد)

$(\theta_{i-1} - \theta_i)$ : اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت کنترل

(شاهد)



شکل ۴. تبخیر و تعرق گیاه در شرایط غیراستاندارد ( $ET_{c-adj}$ ) در کرت‌های

تحت تنش شوری و حاصلخیزی

(رابطه ۲)

$$ET_{c-adj} = (\theta_0 - \theta'_1) \cdot \rho_b \cdot D_{rz}$$

$$(ET_{c-adj})_i = (\theta'_{i-1} - \theta'_i) \cdot \rho_b \cdot D_{rz}$$

$\theta'_1$ : درصد رطوبت وزنی خاک در کرت تحت تنش، در

روزهای پس از آبیاری ( $\theta'_1 > \theta_1$ )

$(ET_{c-adj})_i$ : تبخیر و تعرق روزانه گیاه در کرت تحت تنش

$(\theta'_{i-1} - \theta'_i)$ : اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت تحت تنش

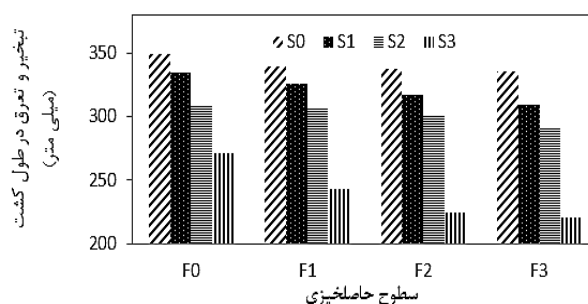
### تحلیل آماری طرح

در این طرح، مقادیر عددی حاصل از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه، ضرایب  $K_s$  و عملکرد وزنی بیومس، با کمک نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شده است.

## نتایج و بحث

### تبخیر و تعرق

این تحقیق نشان داد که تغییرات شوری آب آبیاری و حاصلخیزی خاک (بر اساس مقدار کود ازته)، تأثیر متقابلی بر مقدار تبخیر و تعرق ذرت در سطح یک درصد داشته است (جدول ۲). مقدار تبخیر و تعرق ذرت، با افزایش شوری آب و کاهش حاصلخیزی خاک، از تیمار  $S_0F_0$  تا  $S_3F_3$  ۳۷ درصد کاهش یافته و از ۳۴۹ میلی‌متر به ۲۲۰ میلی‌متر رسیده است (شکل ۵). با افزایش غلظت املاح موجود در خاک به دلیل آبیاری با آب شور، پتانسیل جذب آب توسط گیاه کاهش یافته و به دنبال آن، تعرق گیاه کاهش یافته است. با افزایش شوری آب از  $S_0$  تا  $S_3$ ، در سطوح حاصلخیزی  $F_0$ ،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$ ، به ترتیب؛ ۲۲، ۲۸، ۳۳ و ۳۴ درصد از مقدار تبخیر و تعرق کاسته شده است. همچنین با کاهش حاصلخیزی خاک از  $F_0$  تا  $F_3$  در سطوح شوری  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$ ، به ترتیب؛ ۴، ۷، ۱۲ و ۱۹ درصد از مقدار تبخیر و تعرق کم شده است. در تأیید نتیجه فوق، افزایش شوری آب از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر و تعرق ذرت از ۵۱۵/۲ به ۳۸۷/۵ میلی‌متر در اهواز بوده است. همچنین مدیریت استفاده از بقایای گیاهی به عنوان خاکپوش، موجب کاهش ۹ درصدی تبخیر و تعرق ذرت شده است (Heidarinia et al., 2016).

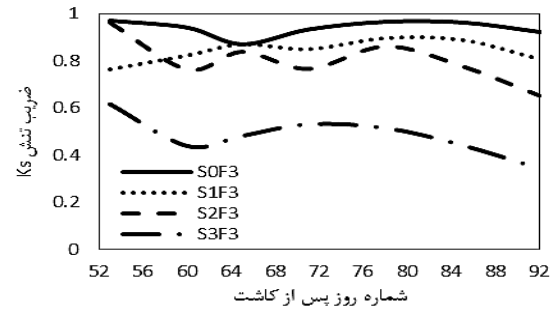
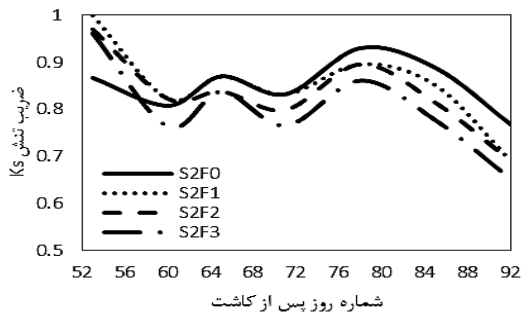
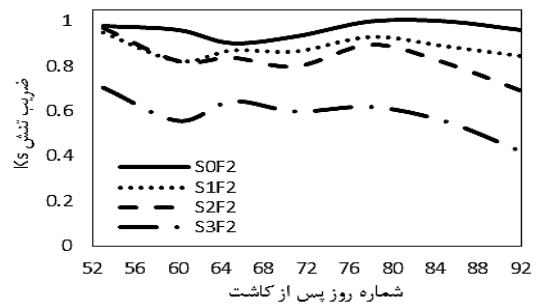
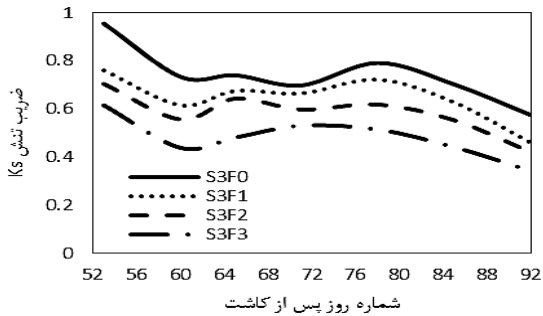
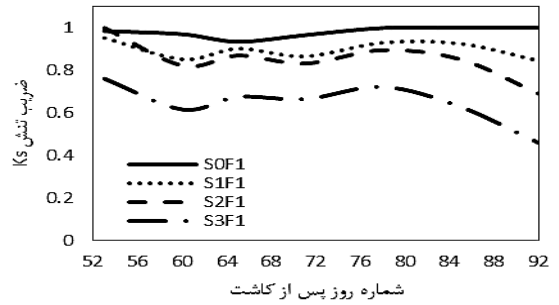
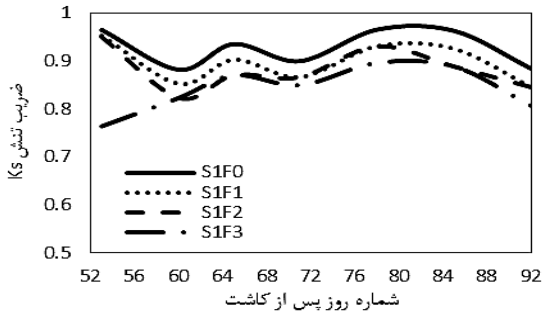
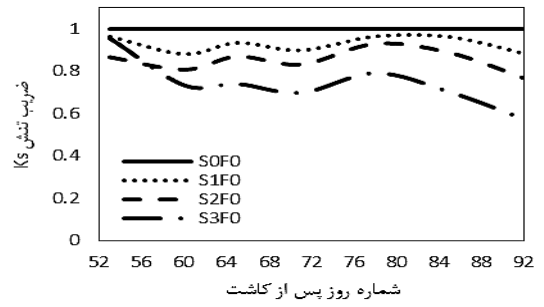
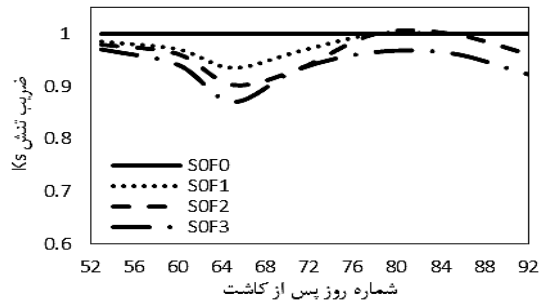


شکل ۵. تأثیر سطوح حاصلخیزی بر تبخیر و تعرق ذرت، در شوریه‌های مختلف آب

### بررسی ضریب تنش تبخیر و تعرق ذرت ( $K_S$ )

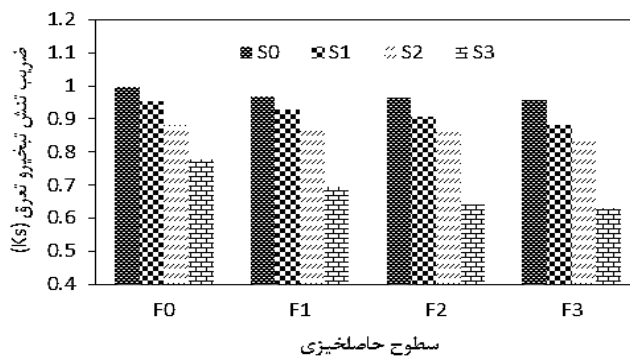
در تحقیق حاضر پس از اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک در طول دوره کشت ذرت، اقدام به محاسبه ضریب تنش تبخیر و تعرق ذرت ( $K_S$ ) شد. مقادیر  $K_S$  با توجه به مرحله رشد، اندازه و نوع تنش وارده به گیاه، متفاوت بوده است. در سطوح ثابت حاصلخیزی  $F_0$ ،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$ ، با تغییر شوری آب آبیاری از حد  $S_0$  به  $S_3$  (شکل ۶)، ضریب  $K_S$  روزانه به ترتیب؛ از ۱ تا ۰/۶۵ تا ۰/۴۵، ۰/۹۷ تا ۰/۴۲ و ۰/۹۶ تا ۰/۳۴ متغیر بوده و متوسط  $K_S$  در دوره کشت، ۰/۷۷، ۰/۶۹، ۰/۶۴ و ۰/۶۳ بوده است (شکل

۸). با افزایش شوری، در سطوح مذکور ( $F_0$  تا  $F_3$ ) به ترتیب؛ ۲۳، ۳۱، ۳۶ و ۳۷ درصد، کاهش ضریب  $K_S$  اتفاق افتاده است. همچنین، با افزایش تنش شوری و به خصوص از تیمار  $S_2$  به بعد، به دلیل کاهش پتانسیل آب در خاک، تعرق گیاه و ضریب  $K_S$  کاهش محسوس‌تری داشته است. در مقادیر ثابت شوری  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  با تغییر حاصلخیزی از  $F_0$  به  $F_3$  (شکل ۷)، ضریب  $K_S$  روزانه به ترتیب؛ از ۱ تا ۰/۸۷، ۰/۹۶ تا ۰/۷۶، ۰/۹۷ تا ۰/۶۵، ۰/۹۵ تا ۰/۳۴ متغیر بوده و متوسط آن در دوره کشت، ۰/۸۸، ۰/۸۳، ۰/۶۳ و ۰/۶۳ شده است (شکل ۸). در این شرایط به ترتیب؛ ۴، ۱۲، ۱۷ و ۳۷ درصد از مقدار  $K_S$  کاسته شده است. تا سطح شوری  $S_1$ ، کاهش حاصلخیزی تأثیر چندانی بر  $K_S$  نداشته است. اما با افزایش شوری آب، اثر آن بیشتر شده است. در تحقیقات مشابه و در شرایط تنش همزمان شوری ( $S$ ) و خشکی ( $I$ ) = درصد تخلیه رطوبتی، میزان جذب آب توسط فلفل در تیمارهای  $S_{2.5} - I_{50\%}$ ،  $S_{4.5} - I_{60\%}$  و  $S_{6.5} - I_{70\%}$  به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۵۷ و ۰/۴۴ گزارش شده است (Hoseini et al., 2015). در شکل (۶) و (۷)، افزایش شوری آب نسبت به کاهش حاصلخیزی خاک و همچنین حساسیت گیاه در دوره پایانی رشد (ظهور گل‌های نر و بلال) نسبت به مراحل ابتدایی، تأثیر بیشتری بر کاهش ضریب  $K_S$  داشته است. مشاهده می‌شود که در حاصلخیزی ثابت، افزایش شوری آب، تغییر محسوسی در  $K_S$  داشته، اما در شوری ثابت، مقدار ضرایب  $K_S$  در سطوح مختلف حاصلخیزی، نزدیک به هم است. کاهش ضریب  $K_S$  از عدد یک، نشان‌دهنده کاهش تبخیر و تعرق ذرت و در نهایت کاهش عملکرد محصول، نسبت به شرایط استاندارد محیطی ( $S_0F_0$ ) است. در برخی مناطق که تحت تأثیر تنش‌های محیطی مذکور می‌باشند، با مشاهده خلأ عملکرد محصول، اقدام به آبیاری بیشتر می‌شود. اما با توجه به نتایج حاصل، باید با حاصلخیز کردن خاک، اثر منفی تنش شوری را برطرف نمود. در هر منطقه نیاز خالص آبی گیاه، بر اساس شرایط استاندارد تعیین می‌شود. اما با استفاده از ضرایب  $K_S$  در شکل‌های (۶) و (۷)، تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبیاری ذرت علوفه‌ای تحت تنش‌های مذکور در منطقه قزوین، قابل محاسبه است. نتیجه این بخش از پژوهش، لزوم بازبینی کلی در محاسبات مربوط به برآورد نیاز آبی واقعی گیاه را در صورت وجود تنش‌های محیطی آشکار می‌کند. در این شرایط، تبخیر و تعرق گیاه نسبت به شرایط استاندارد کمتر بوده و گیاه آب کمتری از خاک دریافت می‌کند. اگر توجهی به نتایج به‌دست آمده نشود، بیش از نیاز تبخیر و تعرق گیاه به زمین آب داده می‌شود که باعث هدررفت آب و شور شدن خاک می‌گردد.



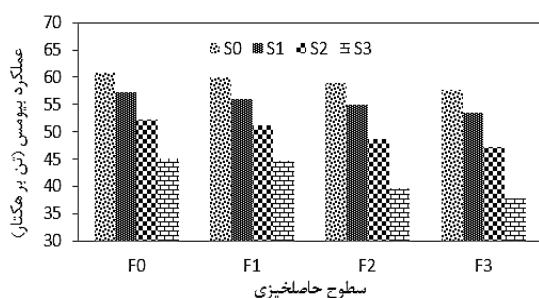
شکل ۷. بررسی تغییرات ضریب تنش  $K_s$  با تغییرات حاصلخیزی در شوری ثابت

شکل ۶. بررسی تغییرات ضریب تنش  $K_s$  با تغییرات شوری در حاصلخیزی ثابت



شکل ۸. تأثیر سطوح حاصلخیزی بر ضریب  $K_s$ ، در شوریه‌های مختلف آب

در شکل (۹) یک دسته منحنی هم مقدار  $K_s$  وجود دارد که به طور متوسط برای کل دوره رشد ذرت و تحت تنش های مذکور در منطقه قزوین، ترسیم شده است. هر کدام از این منحنی ها، نشان دهنده مکان هندسی ترکیباتی از مقدار شوری آب آبیاری و ازت مصرفی است که باعث ایجاد ضریب  $K_s$  یکسانی می شود. با توجه به شکل (۹)، در شوری زیاد، تأثیر افزایش حاصلخیزی بر مقدار  $K_s$  بیشتر است. به طور مثال؛ در شوری ۵/۵ دسی زیمنس بر متر، افزایش مصرف ازت از ۴۰ به ۸۰ درصد، باعث افزایش ۱۰ درصد ضریب  $K_s$  شده است که در شوری های کمتر مشاهده نمی شود. همچنین از شوری ۳ دسی زیمنس بر متر به بعد، تقریباً با هر ۰/۵ دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، ۴ درصد از مقدار  $K_s$  کم شده است. در تحقیقات گذشته نیز گزارش شد که با افزایش شوری آب از ۰/۶ به ۴ دسی زیمنس بر متر، تعرق ذرت ۱۲ درصد کاهش یافت. که با افزایش مصرف ازت تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، تبخیر و تعرق و عملکرد ذرت افزایش یافت (Azizian and Sepaskhah, 2014). بنابراین با دانستن مقدار تنش محیطی، می توان از روی شکل (۹) ضریب  $K_s$  را برداشت نموده و از ضرب آن در مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، تبخیر و تعرق واقعی گیاه را برآورد کرد. همچنین برای ایجاد حداکثر تبخیر و تعرق ممکن در تنش شوری موجود، اقدام به برآورد مقدار ازت مورد نیاز خاک نمود.



شکل ۱۰. تأثیر سطوح حاصلخیزی بر عملکرد بیومس ذرت، در شوری های مختلف آب

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

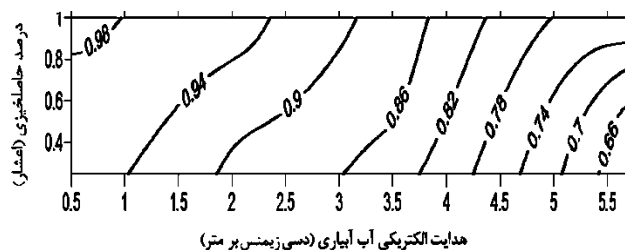
میانگین مربعات	تابع تغییرات	درجه آزادی	تبخیر و تعرق	ضریب $K_s$	عملکرد بیومس
۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	تکرار	۲	۰/۹۲۵ <sup>ns</sup>	<sup>ns</sup> ۳×۱۰ <sup>-۶</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>
** ۶۹۵/۸	شوری	۳	** ۲۲۶۷۵	** ۰/۵۵۸	** ۶۹۵/۸
** ۵۷/۵	حاصلخیزی خاک	۳	** ۱۶۵۲	** ۰/۰۴۱	** ۵۷/۵
** ۳/۴	شوری × حاصلخیزی خاک	۹	** ۲۱۳	** ۰/۰۱۶	** ۳/۴
۰/۰۱۱	خطا	۳۰	۰/۲۹۵	۱/۲ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۰/۰۱۱

ns و \*\*: به ترتیب غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد

### تعیین توابع تولید

پس از تعیین توابع، از آن ها به عنوان مدل های رگرسیونی استفاده شده و با برآزش مدل ها بین داده های شوری آب و حاصلخیزی خاک، قابلیت آن ها برای تعیین مقدار تبخیر و تعرق ارزیابی شد. محدودیت این قبیل مدل ها، وابستگی آن ها به شرایط خاص مکانی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه می باشد. اما

در شکل (۹) یک دسته منحنی هم مقدار  $K_s$  وجود دارد که به طور متوسط برای کل دوره رشد ذرت و تحت تنش های مذکور در منطقه قزوین، ترسیم شده است. هر کدام از این منحنی ها، نشان دهنده مکان هندسی ترکیباتی از مقدار شوری آب آبیاری و ازت مصرفی است که باعث ایجاد ضریب  $K_s$  یکسانی می شود. با توجه به شکل (۹)، در شوری زیاد، تأثیر افزایش حاصلخیزی بر مقدار  $K_s$  بیشتر است. به طور مثال؛ در شوری ۵/۵ دسی زیمنس بر متر، افزایش مصرف ازت از ۴۰ به ۸۰ درصد، باعث افزایش ۱۰ درصد ضریب  $K_s$  شده است که در شوری های کمتر مشاهده نمی شود. همچنین از شوری ۳ دسی زیمنس بر متر به بعد، تقریباً با هر ۰/۵ دسی زیمنس بر متر افزایش شوری آب، ۴ درصد از مقدار  $K_s$  کم شده است. در تحقیقات گذشته نیز گزارش شد که با افزایش شوری آب از ۰/۶ به ۴ دسی زیمنس بر متر، تعرق ذرت ۱۲ درصد کاهش یافت. که با افزایش مصرف ازت تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، تبخیر و تعرق و عملکرد ذرت افزایش یافت (Azizian and Sepaskhah, 2014). بنابراین با دانستن مقدار تنش محیطی، می توان از روی شکل (۹) ضریب  $K_s$  را برداشت نموده و از ضرب آن در مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، تبخیر و تعرق واقعی گیاه را برآورد کرد. همچنین برای ایجاد حداکثر تبخیر و تعرق ممکن در تنش شوری موجود، اقدام به برآورد مقدار ازت مورد نیاز خاک نمود.



شکل ۹. منحنی های هم مقدار ضریب تنش تبخیر و تعرق ( $K_s$ ) ذرت، نسبت به تنش های شوری و حاصلخیزی

### عملکرد بیومس

بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده ها در آزمون دانکن (جدول ۲)، تأثیر شوری آب و حاصلخیزی خاک (کود ازته) بر عملکرد بیومس ذرت معنی دار بوده است. با عنایت به شکل (۱۰) افزایش شوری و کاهش حاصلخیزی، منجر به کاهش عملکرد بیومس شده است. به طوری که از بیشترین تا کمترین سطح کیفیت دو پارامتر مذکور، عملکرد محصول از ۶۰/۷۶ به ۳۷/۷۶ تن بر هکتار کاهش یافته است (کاهش ۳۸ درصدی). افزایش غلظت املاح آب (کاهش پتانسیل جذب آب و کاهش تعرق گیاه) و کمبود مواد غذایی در خاک، از دلایل کاهش عملکرد محصول به شمار می روند. پس از مقایسه میانگین اثر



جدول ۵. پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید

نوع تابع	ME (%)	RMSE	R <sup>2</sup>	EF	CRM
خطی	*۱۸/۹۱ <sup>(۳)</sup>	۳/۴۸۶ <sup>(۳)</sup>	۰/۹۲۹ <sup>(۳)</sup>	۰/۹۲۹ <sup>(۳)</sup>	-۲/۰۷۹×۱۰ <sup>-۷(۱)</sup>
توانی	۴۳/۱۵ <sup>(۴)</sup>	۷/۳۸۲ <sup>(۴)</sup>	۰/۶۵ <sup>(۴)</sup>	۰/۶۸۴ <sup>(۴)</sup>	-۳/۵۲۳×۱۰ <sup>-۴(۳)</sup>
درجه دوم	۱۲/۵۹ <sup>(۱)</sup>	۱/۹۲۶ <sup>(۱)</sup>	۰/۹۷۸ <sup>(۱)</sup>	۰/۹۷۸ <sup>(۱)</sup>	۱/۴۷۶×۱۰ <sup>-۵(۲)</sup>
نمایی	۲۱/۳۵۸ <sup>(۳)</sup>	۴/۱۲۹ <sup>(۳)</sup>	۰/۸۷۱ <sup>(۳)</sup>	۰/۹۰۱ <sup>(۳)</sup>	۰/۰۰۱۸۷ <sup>(۴)</sup>

\*: اعداد داخل پرانتز نشان دهنده اولویت انتخاب مدل، بر اساس شاخص‌های آماری است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به بحران کمبود آب در بخش کشاورزی، باید از مصرف بیش از اندازه آن جلوگیری کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شوری آب و کاهش مصرف ازت (به‌عنوان تنش‌های محیطی)، باعث کاهش سه مؤلفه تبخیر و تعرق، ضریب  $K_s$  و عملکرد محصول شده است. از شرایط استاندارد منطقه تا ماکزیمم تنش وارده به گیاه ( $S_0F_0$  تا  $S_3F_3$ )، تبخیر و تعرق واقعی ذرت ۳۷ درصد کاهش یافته و از ۳۴۹ میلی‌متر به ۲۲۰ میلی‌متر رسید. برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی ذرت از روی تنش‌های مذکور، شکل‌های مختلف توابع تولید بین آن‌ها برآزش داده شد. نتایج نشان داد که تابع درجه دوم با کمترین اختلاف و قاطعیت و کارایی بالا و با ضریب تبیین ۰/۹۷۸، تابع برتر برای تعیین تبخیر و تعرق ذرت انتخاب شده است. پس شناسایی مقدار تبخیر و تعرق واقعی ذرت از روی مقدار شوری آب و کود ازت، برای تعیین مقدار مورد نیاز آب آبیاری، از دستاوردهای کاربردی این پژوهش به‌شمار می‌رود. سپس، ضریب تنش تبخیر و تعرق ( $K_s$ ) در طول دوره رشد ذرت، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده تأثیر نوع تنش و دوره رشد ذرت، بر مقدار ضریب  $K_s$  بوده است. با توجه به منحنی‌های هم‌مقدار  $K_s$ ، از شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر به بعد، تأثیر حاصلخیزی بر مقدار  $K_s$  بیشتر بود. بنابراین با استفاده از منحنی‌های هم‌مقدار  $K_s$ ، می‌توان برای رسیدن به تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه ( $K_s=1$ )، اقدام‌های مدیریتی انجام داده و یا تبخیر و تعرق واقعی محصول را در شرایط موجود، برآورد نمود. با این دستاورد، مقدار آب مصرفی در کشاورزی، متناسب با تبخیر و تعرق گیاه تنظیم شده و از مصرف بی‌مورد آن جلوگیری به‌عمل می‌آید. از سوی دیگر، همگام با کاهش تبخیر و تعرق از تیمار  $S_0F_0$  تا  $S_3F_3$ ، عملکرد بیومس ذرت علوفه‌ای نیز از ۶۰/۷۶ به ۳۷/۷۶ تن بر هکتار کاهش یافت (کاهش ۳۸ درصدی). پس نتیجه دیگر این است که مقدار عملکرد محصول با مقدار تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد، ارتباط مستقیمی داشته و هر دو نسبت به تنش‌های محیطی تأثیرپذیری دارند. تحت این شرایط، هرگاه خلأ عملکرد نسبت به عملکرد پتانسیل منطقه مشاهده شود، می‌توان نتیجه گرفت که یک خلأ تبخیر و تعرق نسبت به شرایط استاندارد منطقه وجود داشته است.

نسبت به سایر روش‌های تئوری و تجربی که بر پایه فرضیات متعددی هستند، ترجیح داده می‌شوند. بنابراین با استفاده از توابع تعیین شده، ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق ذرت تخمین زده شد. سپس مقادیر تخمینی و واقعی تبخیر و تعرق از طریق روابط (۸ الی ۱۲) و مطابق جدول (۵) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای اولویت‌بندی توابع، هر تابعی که آماره RMSE و ME آن حداقل بوده و یا آماره‌های  $R^2$  و EF آن نزدیک به یک باشد، به عنوان تابع بهینه انتخاب می‌شود. در این طرح، تابع درجه دوم با حداقل مقدار RMSE و ME و داشتن  $R^2$  و EF نزدیک به عدد یک، با کمترین اختلاف و قاطعیت و کارایی بالا، تابع برتر برای تعیین تبخیر و تعرق ذرت در شرایط وجود تنش شوری و حاصلخیزی در قزوین انتخاب شده است. بعد از تابع درجه دوم، فرم خطی برای این کار مناسب می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری آب و حاصلخیزی خاک بر تبخیر و تعرق، ضریب تنش ( $K_s$ ) و عملکرد بیومس

تیمار	تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر)	ضریب $K_s$ (بی بعد)	عملکرد بیومس (تن بر هکتار)
S0F0	۳۴۹a	۱a	۶۰/۷a
S0F1	۳۳۹b	۰/۹۷b	۶۰a
S0F2	۳۳۶c	۰/۹۶c	۵۸/۸b
S0F3	۳۳۴d	۰/۹۵d	۵۷/۷c
S1F0	۳۳۴d	۰/۹۵d	۵۷/۲c
S1F1	۳۲۵e	۰/۹۳e	۵۶d
S1F2	۳۱۶f	۰/۹۰f	۵۵e
S1F3	۳۰۸g	۰/۸۸g	۵۳/۴f
S2F0	۳۰۸g	۰/۸۸g	۵۲/۱g
S2F1	۳۰۵h	۰/۸۷h	۵۱h
S2F2	۳۰۰i	۰/۸۶i	۴۸/۷i
S2F3	۲۹۰j	۰/۸۳j	۴۷/۱j
S3F0	۲۷۱k	۰/۷۷k	۴۵k
S3F1	۲۴۳l	۰/۶۹l	۴۴/۷k
S3F2	۲۲۴m	۰/۶۴m	۳۹/۷l
S3F3	۲۲۰n	۰/۶۳n	۳۷/۷m

جدول ۴. ضرایب شکل‌های مختلف توابع تولید حاصلخیزی- شوری- تبخیر و تعرق

ضرایب	خطی	توانی	درجه دوم	نمایی
b <sub>0</sub>	۳۳۴/۹۳	۳۳۶/۲۶	۳۲۶/۶۸	۳۱۱/۹۷
b <sub>1</sub>	۳۵/۹۲	۰/۰۶	۰	-۰/۰۴
b <sub>2</sub>	-۱۹/۲۳	-۰/۱۰۸	۱۶/۳۳	۰
b <sub>3</sub>	-	-	۰	۰/۱۸
b <sub>4</sub>	-	-	-۳/۵۳	-۰/۰۶۳
b <sub>5</sub>	-	-	۵/۳۷	-
آماره F	**۸۵/۸۴	**۸۰/۴۵۵	**۴۵۶۶/۲۸	**۱۳۱۱/۲۲

\*\* بیانگر معنی‌دار بودن کلی تابع، در سطح احتمال یک درصد است.

## REFERENCES

- Alizade, A. (2007). *design of surface irrigation systems* (2th ed.). Mashhad. (In Farsi)
- Azizian, A. and Sepaskhah, A.R. (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.
- Bastos Lyra, G., Leonaldo de Souza, J., Cabral da Silva, E., Bastos Lyra, G., Teodoro, I., Ferreira-Junior, R. A. and Cantalice de Souza, R. (2016). Soil water stress co-efficient for estimating actual evapotranspiration of maize in northeastern Brazil. Royal Meteorological Society. *Journal of Meteorological Applications*, 23(1), 26-34.
- Daran, R. R. (2015). Maize evapotranspiration, canopy and stomatal resistances, crop water productivity, and economic analysis for various nitrogen fertilizer rates under full irrigation, limited irrigation, and rainfed settings. Ph.D. dissertation, University of Nebraska.
- Erkossa, T., Awulachew, S.B. and Aster, D. (2011). Soil fertility effect on water productivity of maize in the upper blue Nile basin, Ethiopia. *Journal of Agricultural Sciences*, 2(3), 238-247.
- Ghorbanian-kerdabadi, M., Noory, H. and Liaghat, A. M. (2016). Investigating the Effect of Soil Texture and Fertility on Evapotranspiration and Crop Coefficient of Maize Forage. *Journal of Water and Soil*, 30(2), 459-471. (In Farsi)
- Hasanli, M., Afrasyab, P. and Ebrahimian, H. (2015). Evaluation of Aqua crop and SALTMED models in estimating of corn yield and soil salinity. *Journal of Soil and Water Research*, 46(3), 487-498. (In Farsi)
- Heidarinia, M., Naseri, A. A., Boroomand-nasab, S. and Albaji, M. (2016). The Effect of Irrigation With Saline Water On Evapotranspiration and Water Use Efficiency of Maize Under Different Crop Management. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1.1), 99-110. (In Farsi)
- Heydar-golinejad, M., Gadimzade, M. and Fayyaz, A. (2003). Effect of Plant Density on Quality of Forage of Cultivars of Hybrid Corn, Based on Agronomic Characteristics. *Journal of Agricultural Science*, 34(2), 418-425. (In Farsi)
- Hoseini, Y., Babazade, H. and Khakpoor, B. (2015). Evaluation of water absorption reduction functions of pepper plant under stress conditions of drought and salinity. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4), 509-523. (In Farsi)
- Mahjoor, F., Ghaemi, A. A. and Golabi, M. H. (2016). Interaction effects of water salinity and hydroponic growth medium on eggplant yield, water-use efficiency, and evapotranspiration. *Journal of International Soil and Water Conservation Research*, 4(2016), 99-107.
- Mohammadi, M., Liaghat, A. M. and Molavi, H. (2010). Optimization of Water Use and Determination of Tomato Sensitivity Coefficients under Combined Salinity and Drought Stress in Karaj. *Journal of Water and Soil*, 24(3), 583-592. (In Farsi)
- Nasrollahi, A. (2014). Investigating the effect of different managements of drip irrigation with saline water on yield of corn in root zone. Ph.D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi)
- Rafiee, M. R., Moazed, H., Gaemi, A. A. and Boroomand-nasab, S. (2016). Evaluation of FAO-56 Method in Estimating of Evapotranspiration and Vegetable Coeffitions of Soybean in Greenhouse and Farm Conditions. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 39(2), 60-77. (In Farsi)
- Saeidi, R., Liaghat, A. M., Sohrabi, T. and Sotoodenia, A. (2013). *Estimation of Maximum Allowable Water Depletion for sandy loam soil, during forage Corn Growth Stages in Qazvin*. Master Student. Dissertation, University of Tehran. (In Farsi)
- Zhang, P., Senge, M. and Dai, Y. (2016). Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Journal of Agricultural Science*, 4(2016), 46- 55.
- Zhong, Y. and Shangguan, Zh. (2014). Water Consumption Characteristics and Water Use Efficiency of Winter Wheat under Long-Term Nitrogen Fertilization Regimes in Northwest China. *Journal of Scientific Reports*, 9(6), 38-47.