

تعیین روابط بین عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای، در شرایط تنش شوری و

محدودیت نیتروژن

رضا سعیدی، هادی رضانی اعتدالی^{۱*}، عباس ستوده‌نیا، عباس کاویانی و بیژن نظری

دانشجوی دکتری در رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.^(ه)

saeidi@org.ikiu.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.^(ه)

Hadietedali@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.^(ه)

sotoodehnia@eng.ikiu.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.^(ه)

abbass_kaviani@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.^(ه)

binazari@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای با رقم سینگل کراس ۷۰۴، تحت تنش‌های شوری و محدودیت نیتروژن، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آب شور با هدایت الکتریکی؛ $0/5(S_0)$ ، $2/1(S_1)$ ، $3/5(S_2)$ و $5/7(S_3)$ دسی‌زیمنس بر متر، با انحلال نمک صنعتی در آب شیرین تهیه شد. تیمارهای محدودیت نیتروژن در چهار سطح؛ $100(F_0)$ ، $75(F_1)$ ، $50(F_2)$ و $25(F_3)$ درصد نیاز کود نیتروژن، بر اساس آزمون کودی بود. تیمارها، در سه تکرار و در کرت‌هایی به مساحت ۹ مترمربع به اجرا درآمد. در تیمارهای مختلف تبخیر-تعرق ذرت، بین ۲۲۰ تا ۳۴۹ میلی‌متر و عملکرد ماده خشک، بین ۹/۴ تا ۱۵/۲ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد. شیب تابع عملکرد نسبت به تبخیر-تعرق ذرت، با افزایش شوری در سطوح F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3 ، به ترتیب؛ $0/2$ ، $0/207$ ، $0/218$ و $0/231$ و با کاهش نیتروژن در سطوح S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب؛ $0/175$ ، $0/182$ ، $0/194$ و $0/221$ برآورد شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش‌ها، عملکرد ذرت بیشتر از تبخیر-تعرق، کاهش یافت. ضریب عملکرد K_y با رابطه دورنبوس-کسام محاسبه شد. مقادیر K_y با کاهش نیتروژن در سطوح S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب؛ $1/01$ ، $1/048$ ، $1/119$ و $1/272$ و با افزایش شوری در سطوح F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3 ، به ترتیب؛ $1/15$ ، $1/19$ ، $1/258$ و $1/328$ برآورد شد. به طور متوسط، عدد $1/27$ به عنوان ضریب K_y محاسبه شد. در بیشترین تنش (S_3F_3)، کارایی مصرف آب و نیتروژن به ترتیب؛ 38% و $34/5\%$ نسبت به تیمار شاهد (S_0F_0) کاهش یافت. روابط به دست آمده در پژوهش نشان داد که نیاز آبی و عملکرد ذرت تحت تنش‌های مذکور، کم‌تر از پتانسیل منطقه می‌باشد. در این شرایط، جبران کمبود نیتروژن خاک و کاهش مصرف آب، موجب افزایش عملکرد محصول و استفاده بهینه از منابع آبی می‌گردد.

واژگان کلیدی: رابطه دورنبوس-کسام، ضریب تابع عملکرد، کارایی مصرف آب و ازت

۱- آدرس نویسنده مسئول: قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ه)، گروه مهندسی آب.

*- دریافت: اسفند ۱۳۹۶ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

مقدمه

با توجه به بحران کنونی کمیّت و کیفیت منابع آب در بخش کشاورزی و لزوم تأمین نیاز غذایی بشر، باید مطالعاتی در مورد ارتباط نیاز آبی با عملکرد گیاه، در شرایط تنش‌های محیطی و مدیریتی صورت گیرد. عوامل مختلفی مانند؛ کمیّت و کیفیت آب آبیاری، مقدار حاصلخیزی خاک، خصوصیات اقلیمی (دما، سرعت باد و ...)، تراکم خاک و ... به‌عنوان تنش‌های محیطی غیر زنده، بر مقدار عملکرد محصول در هر منطقه، تأثیر گذارند. در میان عوامل مذکور، کاهش کیفیت (افزایش املاح) آب، بر مقدار جذب آب توسط گیاه از خاک، مؤثر می‌باشد. با افزایش شوری آب، پتانسیل اُسمزی آب در خاک کاهش یافته و گیاه برای به‌دست آوردن آب، باید انرژی بیشتری مصرف کند. وجود یون‌های Na^+ و Cl^- به‌صورت محلول در خاک شور، علاوه بر بروز سمّیت در گیاه، باعث کاهش جذب آب و عناصر غذایی از خاک به گیاه می‌شوند. در این شرایط، از مقدار تعرق گیاه کاسته شده و محتوای آب خاک محفوظ می‌ماند؛ بنابراین، از تبخیر-تعرق گیاه و عملکرد محصول کاسته می‌شود. در ارتباط با این موضوع، تحقیقی با پنج سطح شوری آب شامل؛ ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۵ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر، روی بادمجان انجام شد.

نتایج نشان داد که با افزایش شوری، مصرف آب توسط گیاه کاهش یافت (یونلوکارا و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیق دیگر گزارش شد که هر واحد افزایش شوری آب آبیاری در کشت گیاه آرکا، باعث کاهش ۲/۴۳ درصدی مصرف آب توسط گیاه شد (یونلوکارا و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیق دیگر، تأثیر دو سطح کمبود آب و چهار سطح شوری آب، بر روی گیاه آفتابگردان آزمایش شد. نتایج نشان داد که شوری آب باعث کاهش پتانسیل اُسمزی خاک و کاهش جذب آب و تنش شدید آبی برای گیاه شد. این تنش بر روی افزایش مقاومت روزنه، کاهش رشد برگ و کاهش انرژی گیاه برای فتوسنتز، تأثیرگذار بود. تنش شوری باعث کاهش انرژی اولیه برای تشکیل اندام گیاهی، کاهش رشد محصول و کاهش مصرف آب توسط آفتابگردان بود (شین

و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر تنش شوری، کمبود نیتروژن مورد نیاز می‌تواند فشار مضاعفی را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. نیتروژن عنصر ضروری برای رشد بوده و کمبود آن، عملکرد گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر بوده و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (سپهری و همکاران، ۱۳۸۱). افزایش نیتروژن منجر به تولید مقدار بیشتر ماده خشک و عملکرد دانه، حجیم شدن ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک و افزایش تبخیر-تعرق گیاه می‌شود (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۵). در آزمایشی، تبخیر-تعرق واقعی ذرت تحت چهار تیمار ۰/۸۴، ۱۴۰، ۱۹۶ و ۲۵۲ کیلوگرم بر هکتار مصرف کود نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش مصرف کود، باعث افزایش تبخیر-تعرق و عملکرد ذرت شد (رادنیک و همکاران، ۲۰۱۷).

در تحقیقی گزارش شد که تنش شوری با آسیب زدن به فرایندهای فیزیولوژیکی و مهار رشد گیاه، باعث کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه از خاک شد. به‌طور کلی تنش شوری، تبخیر-تعرق گیاه را کاهش داده و رابطه مناسبی بین مصرف آب و عملکرد گیاه برقرار بود. در مورد نیتروژن نیز یک همبستگی مثبت بین مقدار تبخیر-تعرق و مقدار نیتروژن جذب شده از خاک، وجود داشت (راموس و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیق دیگری روی گیاه ذرت گزارش شد که با افزایش شوری آب، علاوه بر کاهش کارایی مصرف آب، مقدار ازت کمتری توسط گیاه از خاک جذب شده و در نهایت کود ازتی که بیشتر از نیاز گیاه در خاک وجود داشت، به‌صورت یون نترات در خاک تجمع کرده و کارایی مصرف ازت نیز کاهش یافت. دلیل اصلی این بود که در اثر تنش شوری، گیاه قادر به استفاده نیتروژن موجود در خاک نبود، حتی اگر عنصر نیتروژن بیش از نیاز گیاه در خاک وجود داشت (لاکردا و همکاران، ۲۰۱۶). در آزمایشی دیگر، بر اساس مدیریت تناوبی آبیاری ذرت با آب شور و غیر شور، گزارش شد که عملکرد وزن تر ذرت

آبی، در تحقیقی بر روی گوجه فرنگی و در شرایط تنش شوری و خشکی، متوسط ضریب K_y ، ۱/۹۶۹ گزارش شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری روی بادمجان، با افزایش شوری آب به هفت دسی‌زیمنس بر متر، ضریب K_y عدد ۲/۳ گزارش شد (یونلوکارا و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی دیگر بر روی گیاه آرکا، ضریب پاسخ عملکرد (K_y) به پنج سطح شوری آب آبیاری، عدد ۱/۲۶ گزارش شد (یونلوکارا و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیقی روی گیاه بادمجان گزارش شد که با افزایش شوری آب تا هفت دسی‌زیمنس بر متر، ضریب K_y در بستر کشت؛ کوکوپیت، کوکوپیت-پرلیت و پرلیت، به ترتیب؛ ۱/۲۷۸، ۱/۱۸ و ۱/۰۹ شد (مهجور و همکاران، ۲۰۱۶).

تحقیقات فوق نشان می‌دهند که دامنه استفاده از رابطه دورنبوس-کسام، محدود به تنش آبی نبوده و برای سایر تنش‌های مؤثر بر عملکرد و تبخیر-تعرق گیاهان (مانند شوری و ...) قابل کاربرد است. با توجه به این که در میان محصولات آبی، گیاه ذرت به لحاظ تأمین نیاز غذایی انسان و دام، مانند گندم، جو و برنج، دارای اهمیت استراتژیک می‌باشد، برای مطالعات این پژوهش انتخاب گردید. مطالعاتی که تاکنون در مورد روابط عملکرد گیاهان نسبت به تبخیر-تعرق صورت گرفته، بیشتر در ارتباط با تنش آبی بوده و به سایر تنش‌ها پرداخته نشده است؛ بنابراین در این پژوهش، روابط بین عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت، ضریب پاسخ عملکرد (K_y)، کارایی مصرف آب و ازت توسط گیاه، تحت تأثیر متقابل دو تنش شوری و کمبود نیتروژن، تعیین و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، مزرعه‌ای در قزوین و در موقعیت عرض جغرافیایی $32^{\circ} 19' 32''$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ} 0' 17''$ شرقی و ارتفاع ۱۳۸۲ متر از سطح دریا انتخاب شد. آب آبیاری از آب چاه با هدایت الکتریکی $0.47 \frac{ds}{m}$ و اسیدیتته ۷/۲ تأمین شد. قبل از اجرای

در تیمارهای آب غیر شور (0.4 دسی‌زیمنس بر متر) و آب شور (5.7 دسی‌زیمنس بر متر) به ترتیب؛ $5.6/2$ و $2.9/5$ تن بر هکتار بود. کارایی مصرف آب بر اساس وزن خشک محصول، در تیمارهای آب غیر شور و شور به ترتیب؛ $3/5$ و $2/4$ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (حسن‌لی و همکاران، ۱۳۹۵). طی تحقیقی گزارش شد که تنش شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ، تبخیر-تعرق، سطح برگ و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد. با افزایش شوری، کارایی مصرف آب در محصولات نسبتاً حساس به شوری مانند ذرت، کاهش یافت. به طوری که عملکرد محصول شدیدتر از تبخیر-تعرق کاسته شد (کاترجی و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به تحقیقات گذشته مشخص شد که در میان تنش‌های مختلف زراعی، تنش شوری با کاهش پتانسیل آسمزی آب و کمبود نیتروژن با کاهش انرژی گیاه، بر مقدار جذب آب توسط گیاه، عملکرد و تبخیر-تعرق گیاه مؤثر است؛ بنابراین، علاوه بر کاهش عملکرد محصول نسبت به شرایط استاندارد منطقه، مقدار تبخیر-تعرق گیاه نیز، کم‌تر از پتانسیل منطقه بوده و نیاز به تجدیدنظر در محاسبات نیاز آبیاری می‌باشد.

برای بررسی تأثیر تنش‌ها بر عملکرد محصول و مقدار آب مصرفی گیاه، می‌توان از توابع پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق گیاه ($CWPF$)، بهره‌برداری نمود (محمودزاده ورزی، ۲۰۱۶). از سوی دیگر برای تنش‌های مذکور، می‌توان پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق را نسبت به شرایط پتانسیل منطقه، بررسی نمود. بدین منظور، اولین بار یک ضریب (K_y) در رابطه موسوم به دورنبوس-کسام (۱۹۸۶) برای تنش آبی ارائه شد. در شرایط وجود تنش، افزایش ضریب K_y از عدد یک، نشان‌دهنده کاهش عملکرد نسبت به تبخیر-تعرق، در برابر شرایط پتانسیل منطقه بود. بر اساس پایه علمی رابطه مذکور، برای هر تنشی که باعث کاهش تبخیر-تعرق و عملکرد گیاه نسبت به شرایط پتانسیل منطقه بشود، امکان ارائه یک ضریب K_y وجود دارد. برای تأیید قابل استفاده بودن رابطه فوق در تنش‌های غیر

گوگرد و کود دامی به ترتیب به مقدار ۳۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار، برای کشت ذرت علوفه‌ای، توسط آزمایشگاه خاک توصیه شده و غیر از اوره (ازت)، بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه شد.

طرح از اعماق ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری در پنج نقطه از خاک مزرعه نمونه برداری شده و آنالیز شیمیایی خاک توسط آزمایشگاه معتبر جهاد کشاورزی انجام شد. بر اساس نتایج آنالیز خاک که در جدول (۱) ارائه شده است، مصرف کودهای اوره (ازت)، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم،

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک، قبل از کشت

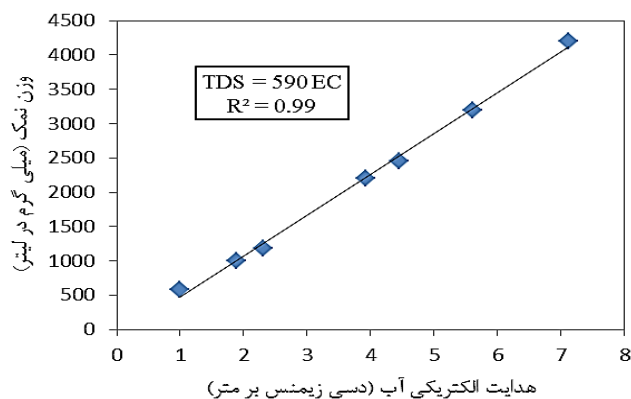
| نوع تجزیه | نتایج تجزیه خاک در عمق | |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------|
| | ۰-۳۰ سانتیمتری | ۳۰-۶۰ سانتیمتری |
| درصد اشباع SP | ۲۹ | ۴۲ |
| هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m) | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ |
| واکنش گل اشباع pH | ۷/۴ | ۷/۴۶ |
| درصد مواد خنثی شونده T.N.V | ۱۱/۵ | ۱۶ |
| درصد ازت کل | ۰/۰۶ | ۰/۱ |
| فسفر قابل جذب (p.p.m) | ۴ | ۱ |
| پتاسیم قابل جذب (p.p.m) | ۲۸۸ | ۶۰ |
| بافت خاک | SL | SL |
| درصد رس | ۱۰ | ۸ |
| درصد سیلت | ۳۳ | ۲۴/۵ |
| درصد شن | ۵۷ | ۶۷/۵ |
| چگالی ظاهری خاک ($\frac{gr}{cm^3}$) | ۱/۳۳ | ۱/۴۱ |
| درصد رطوبت وزنی در حد FC | ۲۳ | ۲۲ |
| درصد رطوبت وزنی در حد PWP | ۱۴ | ۱۳/۵ |

۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد از کود ازت مورد نیاز ذرت، بر اساس توصیه کودی بوده است. مقادیر متفاوت کود ازت یکبار در زمان ۶-۷ برگی گیاه (توصیه آزمایشگاه خاک) و بار دیگر، قبل از ظهور گل‌های نر به صورت سرک و به طور یکنواخت در کرت‌ها پخش شد. از سوی دیگر، پس از کاشت بذر و استقرار گیاه (پنج برگی شدن گیاه)، تیمار شوری توسط آبیاری گیاه با آب شور و در چهار سطح اعمال شد. حداکثر هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) که منجر به کاهش عملکرد ذرت علوفه‌ای نشود، ۱/۲ دسی زیمنس بر متر بوده و با افزایش شوری آب به ۲/۱، ۳/۵ و ۵/۷ دسی زیمنس بر متر، پتانسیل عملکرد ذرت به ترتیب ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصد گزارش شده است (علیزاده، ۱۳۸۶). پس تیمارهای شوری با علامت S_0 (شوری نرمال)، S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب شامل؛ آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۰/۵، ۲/۱، ۳/۵ و ۵/۷ دسی زیمنس بر متر انتخاب شد. با بررسی چند نمونه از آب‌های شور منطقه، مشخص شد که اکثر عناصر محلول در این

در این تحقیق، در میان عوامل متنوع محدودکننده عملکرد و تبخیر-تعرق گیاه، مطالعه دو تیمار شوری آب و کمبود ازت خاک انتخاب شد. هرکدام از تیمارها در چهار سطح و سه تکرار، به صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. گیاه مورد مطالعه، ذرت علوفه‌ای با رقم سینگل کراس ۷۰۴ بوده و روش کاشت آن، به صورت جوی و پشته در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳ متر و با فاصله ۱/۵ متر از هم انتخاب شد. در تحقیقات گذشته، تراکم بذر ذرت علوفه‌ای بین ۷۵۰۰۰ تا ۹۵۰۰۰ در هکتار گزارش شد (نصرالهی، ۱۳۹۳؛ حیدرقلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۲). در این تحقیق، به منظور تراکم ۸۰۰۰۰ بذر در هکتار، فاصله پشته‌ها ۷۵ سانتیمتر و فاصله بین بذور، ۱۶/۶۷ سانتیمتر بر روی پشته بود. در تاریخ ۹۶/۴/۶ بذرها کاشته شده و تاریخ جوانه زنی اولیه آن‌ها ۹۶/۴/۱۱ بود. در این پژوهش، تیمارهای ازت با نشان F_0 (شاهد کود)، F_1 ، F_2 و F_3 به ترتیب؛ مصرف ۱۰۰،

یک لیتر آب آبیاری به شوری مورد نظر، مطابق شکل (۱) در آزمایشگاه تعیین شد. سپس براساس حجم آبیاری، در تانک‌های بزرگ، نمک به آب اضافه شده و پس از کنترل هدایت الکتریکی (EC)، مورد استفاده قرار گرفت. در مجموع و با عنایت به شکل (۲)، تعداد ۱۶ تیمار تنش شوری و کمبود ازت، در سه تکرار به اجرا درآمد.

آب‌ها، کلر و سدیم بوده‌است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ بنابراین آب شور مورد نیاز، از انحلال نمک صنعتی در آب آبیاری تهیه شد. ویژگی شیمیایی نمک صنعتی از لحاظ درجه خلوص NaCl، منیزیم، کلسیم، سولفات و پتاسیم به ترتیب؛ ۹۲، ۱/۸۹، ۳/۸۴، ۱/۷۳ و ۰/۵۴ درصد تعیین شد. برای تهیه آب شور، ابتدا مقدار نمک مورد نیاز برای رسیدن



شکل ۱- نمودار کالیبراسیون هدایت الکتریکی آب با نمک

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| S ₀ F ₃ | S ₁ F ₀ | S ₁ F ₃ | S ₀ F ₂ | S ₁ F ₃ | S ₂ F ₂ | S ₂ F ₁ | S ₂ F ₃ | | |
| S ₂ F ₀ | S ₁ F ₁ | S ₀ F ₀ | S ₁ F ₁ | S ₁ F ₂ | S ₃ F ₀ | S ₀ F ₃ | S ₁ F ₂ | S ₂ F ₂ | S ₃ F ₃ |
| S ₂ F ₁ | S ₀ F ₁ | S ₀ F ₂ | S ₀ F ₃ | S ₂ F ₂ | S ₂ F ₃ | S ₁ F ₁ | S ₃ F ₁ | S ₂ F ₃ | S ₃ F ₂ |
| S ₀ F ₂ | S ₀ F ₀ | S ₂ F ₀ | S ₃ F ₁ | S ₃ F ₀ | S ₃ F ₃ | S ₁ F ₂ | S ₂ F ₁ | S ₃ F ₃ | S ₃ F ₁ |
| S ₂ F ₀ | S ₁ F ₀ | S ₀ F ₁ | S ₀ F ₀ | S ₁ F ₀ | S ₃ F ₂ | S ₀ F ₁ | S ₃ F ₀ | S ₃ F ₂ | S ₁ F ₃ |

شکل ۲- نحوه اعمال تیمارها در طرح آزمایشی

رسیدن به حد تخلیه مجاز رطوبت، با اندازه‌گیری مقدار مقاومت روزنه برگ‌های ذرت به‌وسیله دستگاه پرومتر AP4 تعیین شد. موقع اندازه‌گیری مقاومت روزنه، صبح‌ها قبل از طلوع خورشید بود. در این زمان از تأثیر گرمای خورشید بر دمای سطح برگ و افزایش ناگهانی مقاومت روزنه جلوگیری می‌شد. برای این کار از هر کرت به طور تصادفی سه گیاه و از هر گیاه سه برگ جوان برای اندازه‌گیری مقاومت روزنه انتخاب شد. در روزهای بعد از آبیاری، با کاهش آب خاک، مقدار مقاومت روزنه گیاه نسبت به روزهای اولیه پس از آبیاری، افزایش یافته و روزنه‌ها بسته شد. با توجه به تنوع تیمارها، زمان واکنش روزنه‌ها به تنش متفاوت بوده و بعد از مشاهده واکنش، آبیاری کرت‌ها انجام شد. حجم آب ورودی کرت، منطبق

تعیین زمان آبیاری در نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو، گزارش شد که هرگاه سرعت جریان آب خاک به سمت ریشه گیاه برای تأمین آب مورد نیاز تعرق کافی نباشد، آن نقطه رطوبتی خاک، حد آب سهل الوصول توسط گیاه است. در این محدوده رطوبتی، با کاهش پتانسیل جذب آب و محدود شدن دسترسی گیاه به آب خاک، تعرق کاهش یافته، مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافته و روزنه‌ها به‌طور جزئی بسته می‌شوند. واکنش گیاه به کاهش دسترسی به آب سهل الوصول خاک، معمولاً با دو برابر شدن مقدار مقاومت روزنه‌ای گیاه همراه بوده‌است (طارق و بیرهازن، ۱۹۷۱؛ کافی و همکاران، ۱۳۸۶). در پژوهش حاضر، با توجه به وجود تنش‌های محیطی (شوری و نیتروژن)، زمان

در کرت شاهد (اعشاری)؛ ρ_b : چگالی ظاهری خاک

$$D_{rz} \left(\frac{gr}{cm^3} \right); \text{ عمق ریشه گیاه (mm)}$$

$$(ET_{c-adj})_i = (\theta'_{i-1} - \theta'_i) \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \quad (2)$$

$(ET_{c-adj})_i$ تبخیر-تعرق روزانه گیاه در کرت تحت تنش (mm)؛ $(\theta'_{i-1} - \theta'_i)$: درصد اختلاف رطوبت وزنی روزانه خاک در کرت تحت تنش (اعشاری) اندازه‌گیری عملکرد محصول.

برای برداشت نهایی محصول، یک قاب چوبی $1 \times 1/5$ متر تهیه شده و به صورت تصادفی به داخل کرت‌ها پرت شد. با توجه به هدف برداشت علوفه‌ای ذرت، بوته‌های داخل قاب، از کف زمین بریده شد. بعد از وزن کردن بوته‌های تازه

چیده شده، آن‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه آون، کاملاً خشک کرده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری طرح

در این طرح، مقادیر روزانه تبخیر-تعرق ذرت و عملکرد نهایی ماده خشک در همه کرت‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با داده‌های موجود و از طریق روابط (۳)، (۴) و (۵) به ترتیب؛ کارایی مصرف آب، کارایی مصرف ازت و ضریب عملکرد K_y (دورنیوس و کسّام، ۱۹۸۶) محاسبه شد. سپس با نرم‌افزار SPSS، موارد محاسبه شده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

$$WUE = \frac{Y}{V} \quad (3)$$

WUE = کارایی مصرف آب $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$ ، Y = عملکرد ماده خشک ذرت (Kg)، V = حجم آب آبیاری در دوره کشت (m^3)

$$ANUE = \frac{Y}{N_s} \quad (4)$$

$ANUE$ = کارایی زراعی مصرف ازت $\left(\frac{Kg}{Kg} \right)$ ، N_s = مجموع کود ازت مصرف شده و ازت موجود در خاک $\left(\frac{Kg}{ha} \right)$

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_{max}} \right) \quad (5)$$

با درصد کمبود رطوبت خاک از حد RAW تا FC، در واحد عمق ریشه گیاه و سطح کرت، در برنامه اکسل محاسبه شده و توسط کنتور آب کنترل شد. آب از منبع مورد نظر توسط شیلنگ به کرت‌ها انتقال داده شده و آبیاری به صورت سطحی، با بازده صد در صد انجام شد. به دلیل کم بودن شوری اولیه عصاره اشباع خاک (جدول ۱) و لزوم مشاهده تأثیر تنش شوری بر عملکرد محصول، آبسویی لحاظ نشد. با توجه به اختلاف ناچیز رطوبت خاک و فاصله‌دار بودن کرت‌ها، امکان تبادل رطوبت بین آن‌ها وجود نداشته است. ولی 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.

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق ذرت

پس از اعمال تیمارها و در روزهای بین دو آبیاری، رطوبت خاک تمام کرت‌ها در عمق توسعه ریشه‌ها، با دستگاه TDR۱ مدل TRIME-FM اندازه‌گیری شد. قبل از شروع داده‌برداری رطوبت، دستگاه در اعماق مختلف و در رطوبت‌های متفاوت خاک مزرعه، واسنجی شده و رابطه‌ای بین رطوبت واقعی و عدد قرائت شده توسط TDR، با ضریب همبستگی $0/978$ تعیین شد. با توجه به این‌که آبیاری با آب شور و شور شدن خاک، امکان تأثیرگذاری بر ثبت داده‌ها را داشته‌است، این مسئله در طول دوره کشت گیاه کنترل شده و اختلالی در کار مشاهده نشد. پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک کرت‌ها، با توجه به روابط ۱ و ۲، تبخیر-تعرق گیاهان شاهد و تحت تنش اندازه‌گیری شد.

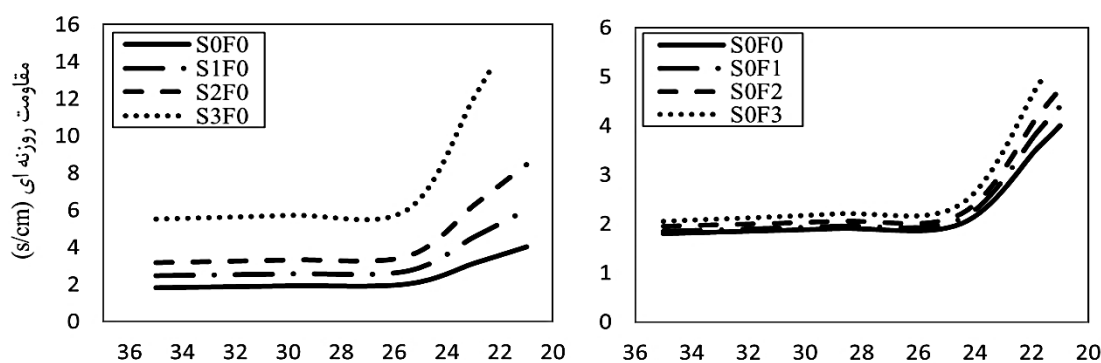
$$(ET_c)_i = (\theta_{i-1} - \theta_i) \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \quad (1)$$

$(ET_c)_i$: تبخیر-تعرق روزانه گیاه در کرت شاهد (mm)؛ $(\theta_{i-1} - \theta_i)$: درصد اختلاف رطوبت وزنی روزانه خاک

کاهش تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه، امکان ارائه ضریب K_y وجود دارد.

نتایج و بحث

در شکل (۳)، وضعیت مقادیر مقاومت روزنه‌ای و رطوبت خاک در شرایط شوری قابل (S_0) تحمل و حاصلخیزی کامل (F_0) مشاهده می‌شود. با توجه به شکل (۳)، با کاهش رطوبت خاک و مقدار تعرق گیاه و افزایش دو برابری مقاومت روزنه‌های برگ‌ها نسبت به روز قبل، عملیات آبیاری انجام شد. به دلیل تأثیر تنش شوری و کمبود نیتروژن بر مقدار جذب آب توسط گیاه، زمان واکنش مقاومت روزنه‌ای در تیمارها متفاوت بوده و دوره‌های متغیر آبیاری برای آن‌ها اعمال شد؛ بنابراین، بر اساس کمبود رطوبت خاک کرت‌ها تا حد FC، حجم آب آبیاری در کرت‌ها تعیین شد (جدول ۲).



رطوبت حجمی خاک (٪)

شکل ۳- تأثیر افزایش تنش شوری و کاهش نیتروژن، بر مقاومت روزنه‌ای

(شکل ۵). در تیمار شاهد، افزایش تقریباً دو برابری شوری نسبت به شوری اولیه خاک ($\frac{ds}{m}$ ۰/۳۳) مشاهده شد. به طور میانگین در اعماق مختلف، شوری خاک در تیمارهای S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب ۲۰، ۲۷ و ۴۰ درصد، نسبت به شوری آب آبیاری افزایش داشت. کیفیت پایین آب در شرایط شوری آب خاک، از دلایل سهل‌الوصول نبودن آن برای گیاه به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، حفظ محتوای رطوبت خاک در برخی تیمارها (شکل ۴)، به دلیل شوری آب خاک بوده‌است.

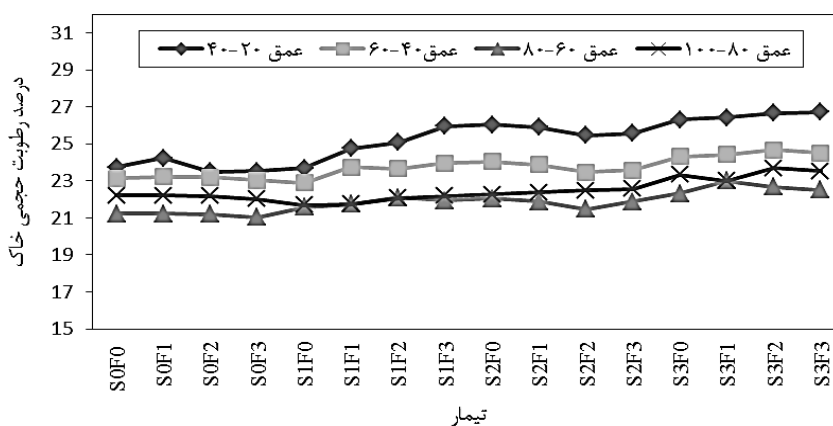
K_y : ضریب پاسخ عملکرد ذرت به تبخیر- تعرق؛ Y_a : عملکرد ماده خشک ذرت در کرت تحت تنش (Kg)؛ Y_{max} : حداکثر عملکرد ماده خشک ذرت در کرت شاهد ET_a (Kg): تبخیر- تعرق ذرت در کرت تحت تنش ET_{max} (mm): حداکثر تبخیر- تعرق ذرت در کرت شاهد (mm)

در این پژوهش در نظر است که ضریب K_y برای شرایط تنش شوری و کمبود نیتروژن برآورد گردد. در ابتدا هدف از ارائه رابطه دورنبوس- کسام این بود که اگر به واسطه تنش آبی وارده بر گیاه، تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه نسبت به شرایط استاندارد (پتانسیل منطقه) کاهش یابد، می‌توان یک ضریب K_y برای تنش وارده در نظر گرفت؛ اما پایه علمی رابطه فوق نشان می‌دهد که نمی‌توان این رابطه را فقط برای تنش آبی محدود نمود. بلکه با توجه به تحقیقات اشاره شده در مقدمه، برای سایر تنش‌های مؤثر بر

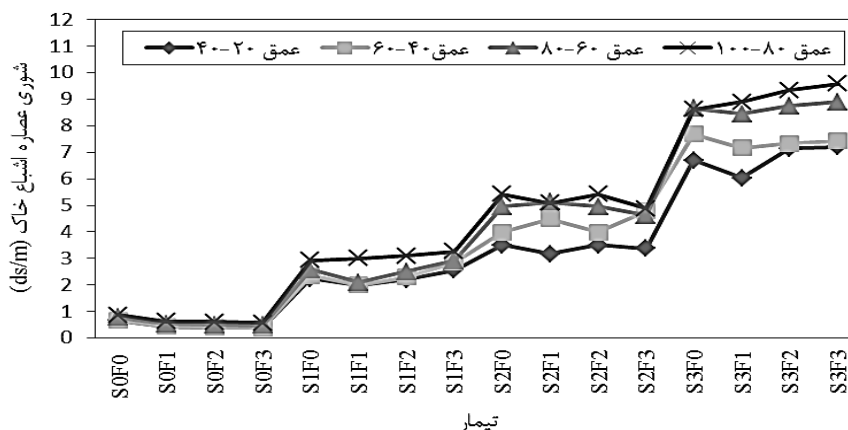
در یک دور آبیاری و ۴۸ ساعت پس از آبیاری، اقدام به اندازه‌گیری رطوبت، از سطح تا عمق یک متری خاک گردید (شکل ۴). با افزایش شوری محلول آب خاک، پتانسیل آسمزی آب برای جذب توسط گیاه کاهش یافته و گیاه، آب کمتری از خاک جذب کرد. از سوی دیگر، کاهش عناصر غذایی مانند ازت در خاک نیز به دلیل عدم تأمین انرژی مورد نیاز گیاه، بر جذب آب مؤثر بود؛ بنابراین با افزایش تنش‌ها، تبخیر- تعرق ذرت، کاهش یافته و محتوای آب خاک محفوظ ماند. در پایان دوره کشت، شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف کرت‌ها، اندازه‌گیری شد

جدول ۲- حجم و تعداد دفعات آبیاری در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و نیتروژن

| تیمار | آب مصرفی در کرت (لیتر در هر آبیاری) | دفعات آبیاری | کل آب مصرفی در کرت (لیتر در کل دوره) |
|-------|--|--------------|---|
| S0F0 | ۲۲۷/۵ | ۱۵ | ۳۴۱۲/۵ |
| S0F1 | ۲۲۶/۲ | ۱۵ | ۳۳۹۳ |
| S0F2 | ۲۲۴/۶ | ۱۵ | ۳۳۶۹ |
| S0F3 | ۲۲۳/۲ | ۱۵ | ۳۳۴۸ |
| S1F0 | ۲۲۰/۱ | ۱۵ | ۳۳۰۱/۵ |
| S1F1 | ۲۰۳/۳ | ۱۶ | ۳۲۵۲/۸ |
| S1F2 | ۲۰۰/۵ | ۱۶ | ۳۲۰۸ |
| S1F3 | ۱۹۷/۳ | ۱۶ | ۳۱۵۶/۸ |
| S2F0 | ۱۹۲/۵ | ۱۶ | ۳۰۸۰ |
| S2F1 | ۱۷۹/۸ | ۱۷ | ۳۰۵۶/۶ |
| S2F2 | ۱۷۷ | ۱۷ | ۳۰۰۹ |
| S2F3 | ۱۷۱/۲ | ۱۷ | ۲۹۱۰/۴ |
| S3F0 | ۱۵۰/۸ | ۱۸ | ۲۷۱۴/۴ |
| S3F1 | ۱۴۶/۳ | ۱۸ | ۲۶۳۳/۴ |
| S3F2 | ۱۲۸/۶ | ۱۹ | ۲۴۴۳/۴ |
| S3F3 | ۱۱۶ | ۱۹ | ۲۲۰۴ |



شکل ۴- تغییرات رطوبت در نیمرخ خاک، تحت تأثیر تیمارها

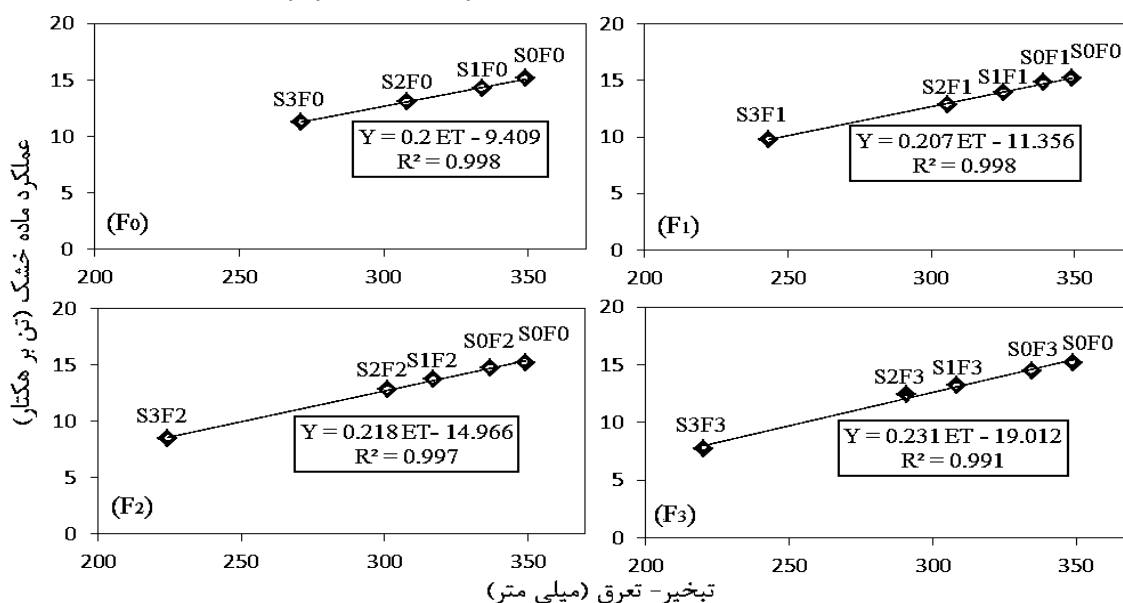


شکل ۵- شوری عصاره اشباع در نیمرخ خاک، تحت تأثیر تیمارها

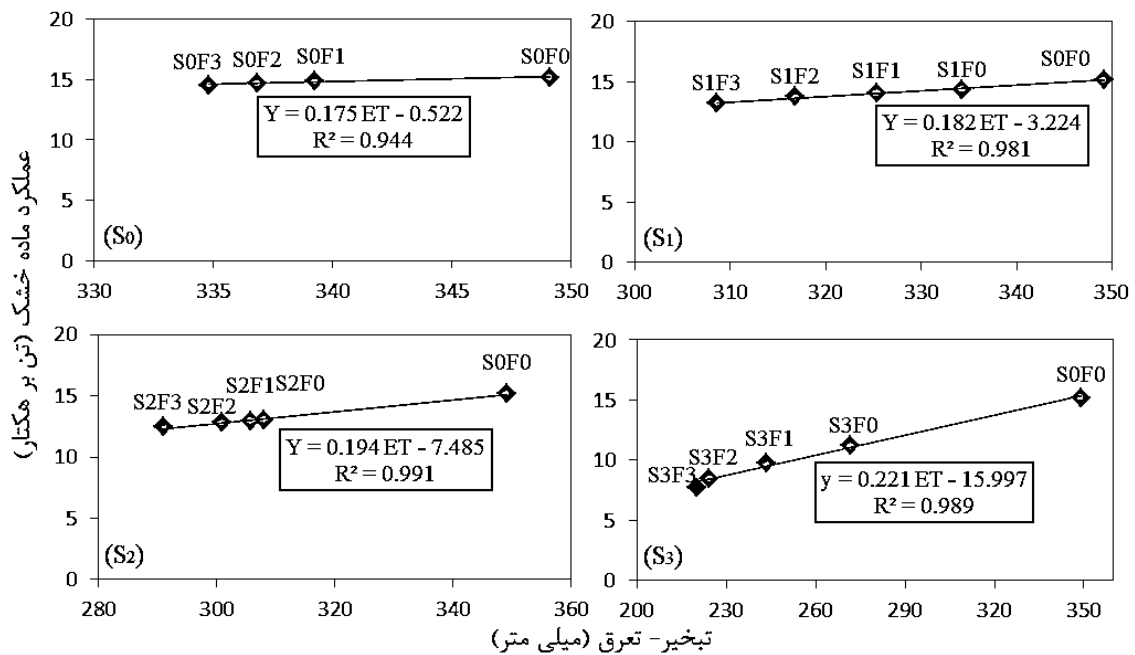
روابط عملکرد با تبخیر- تعرق ذرت

به ترتیب: ۰/۱۷۵، ۰/۱۸۲، ۰/۱۹۴ و ۰/۲۲۱ بود. به طور کلی، تابع $Y \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = 0.17 ET(\text{mm}) + 0.33$ در شرایط تنش‌های موجود در این پژوهش، بین عملکرد و تبخیر- تعرق ذرت برازش داده شد. در تحقیق مشابه بر روی رژیم‌های آبیاری شامل؛ آبیاری کامل، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۳۰ میلی‌متر، تابع عملکرد دانه- تبخیر- تعرق ذرت به صورت $Y \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}^2} \right) = 1/41 ET(\text{mm}) + 211/19$ گزارش شد (گریوز و وانگ، ۲۰۱۷). در تحقیق دیگر این تابع برای پیاز به صورت $Y \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = -0.4956 ET(\text{mm}) + 0.052$ ارائه شد (ایگبادان و همکاران، ۲۰۱۲). در پژوهش حاضر، مشاهده شد که با افزایش تنش‌های زراعی، شیب تابع CWPf افزایش یافته و این افزایش شیب، در تنش شوری بیشتر بود. افزایش شیب توابع به این دلیل بود که با افزایش شوری و کاهش نیتروژن، عملکرد ذرت به مقدار بیشتری نسبت به تبخیر- تعرق، کاهش یافت. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش‌های مذکور و همگام با کاهش عملکرد محصول، تبخیر- تعرق گیاه نیز کاهش یافته و نیازی به آبیاری گیاه به مقدار پتانسیل منطقه نیست. دستاورد کاربردی پژوهش این است که در شرایط شوری آب آبیاری، علاوه بر کاهش حجم آب مصرفی، می‌توان با افزایش ازت خاک (نه آبیاری بیشتر)، مقداری از خلأ عملکرد محصول را برطرف نمود.

در این تحقیق، مجموع تبخیر- تعرق ذرت در کل دوره رشد و وزن ماده خشک آن پس از برداشت در تاریخ ۹۷/۸/۲۰ برای تمام تیمارهای شوری و کمبود نیتروژن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نسبت به مقدار تنش وارده، توان گیاه برای جذب آب و انجام تعرق کاهش یافته و با افزایش تنش‌ها، از مقدار تبخیر- تعرق گیاه و در نهایت از عملکرد ماده خشک کاسته شد. در شکل (۶) و (۷)، تأثیر تیمارها بر روابط عملکرد- تبخیر- تعرق ذرت (CWPf)، نسبت به شرایط استاندارد محیط (S_0F_0) مشاهده می‌شود. این توابع به صورت خطی، برای بررسی رابطه مقدار مصرف آب و یا تبخیر- تعرق گیاه در طول فصل زراعی، با عملکرد محصول به کار می‌روند. با توجه به شکل (۶)، با افزایش شوری آب از S_0 به S_3 ، شیب تابع CWPf در سطوح F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3 به ترتیب؛ ۰/۲، ۰/۲۰۷، ۰/۲۱۸ و ۰/۲۳۱ شد. در نشریه فائو-۵۶، به ازای افزایش یک دسی‌زیمنس بر متر شوری از آستانه تحمل ذرت علوفه‌ای، مقدار ۷/۴ درصد کاهش عملکرد پتانسیل گزارش شده است. در این پژوهش با افزایش یک دسی‌زیمنس بر متر شوری در تیمار شاهد کود نیتروژن، مقدار ۶/۵ درصد از عملکرد پتانسیل منطقه کاسته شد. با توجه به شکل (۷)، شیب تابع مذکور با کاهش نیتروژن از F_0 به F_3 در سطوح شوری S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3



شکل ۶- رابطه عملکرد با تبخیر- تعرق ذرت، بر اساس افزایش شوری در سطح کودی F_3 و F_2 ، F_1 ، F_0



شکل ۷- رابطه عملکرد با تبخیر-تعرق ذرت، بر اساس کاهش نیتروژن در سطح شوری S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3

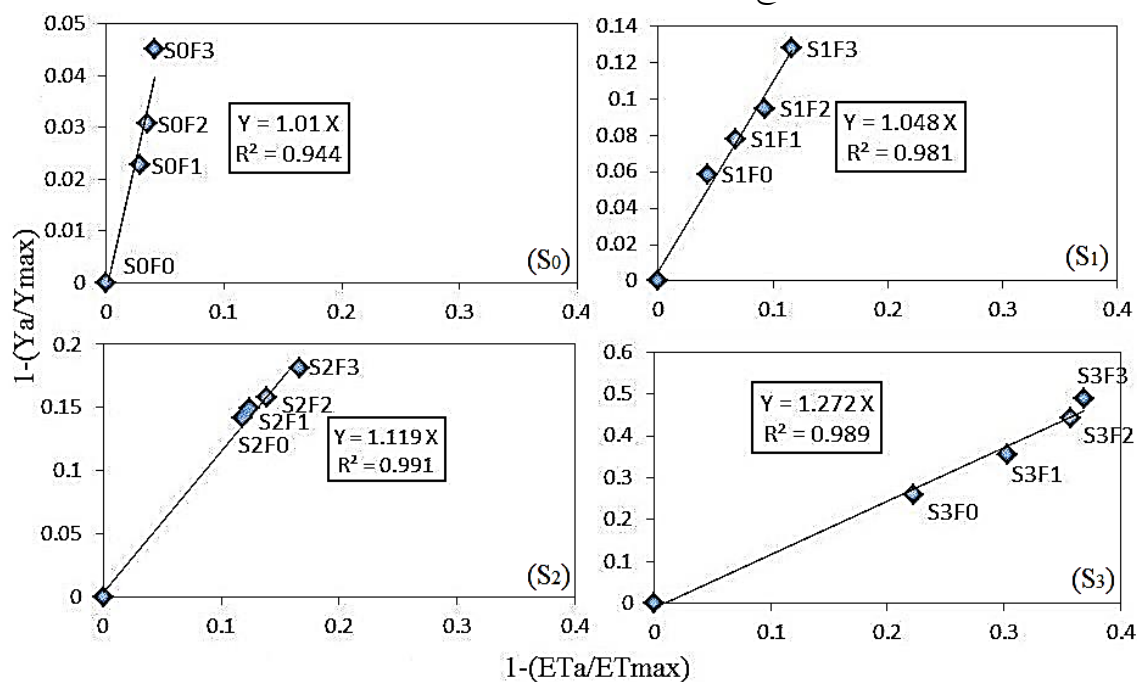
خشکی بود. در اثر مجموع تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن، عدد $1/27$ برای ضریب K_y برآورد شد (شکل ۱۰). در تحقیق مشابهی، پاسخ عملکرد ماده خشک ذرت به سطوح مختلف آب، شوری و نیتروژن، بررسی شد. نتایج نشان داد در سطوح آبیاری کامل و شوری $0/6$ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش نیتروژن از 300 به 150 کیلوگرم بر هکتار (کاهش 50 درصدی)، باعث افزایش ضریب K_y از $0/59$ به $0/62$ شد. همچنین کاهش 50 درصدی مصرف کود نیتروژن در تیمار شوری آب به مقدار 4 دسی‌زیمنس بر متر، ضریب K_y را تا عدد $1/1$ افزایش داد. (عزیزیان و سپاسخواه، 2014). در پژوهش کنونی نیز در تیمار S_2 (شوری $3/5$ دسی‌زیمنس بر متر) با کاهش 75 درصدی مصرف کود نیتروژن، ضریب K_y عدد $1/119$ برآورد شد. در تحقیقات دیگر نیز گزارش شد که با افزایش تنش شوری آب، روند کاهش عملکرد محصول نسبت به تبخیر-تعرق، شیب بیشتری داشته و تأثیر تنش شوری بر افزایش مقدار ضریب K_y ، بیش از تنش خشکی بوده است (محمدی و همکاران، 1389 ؛ مهجور و همکاران، 2016 ؛ یونلوکارا و همکاران، 2010 ؛ یونلوکارا و همکاران، 2008). ضرایب K_y در این پژوهش با ضرایب بدست آمده در مطالعات مربوط

ضریب پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق (K_y)

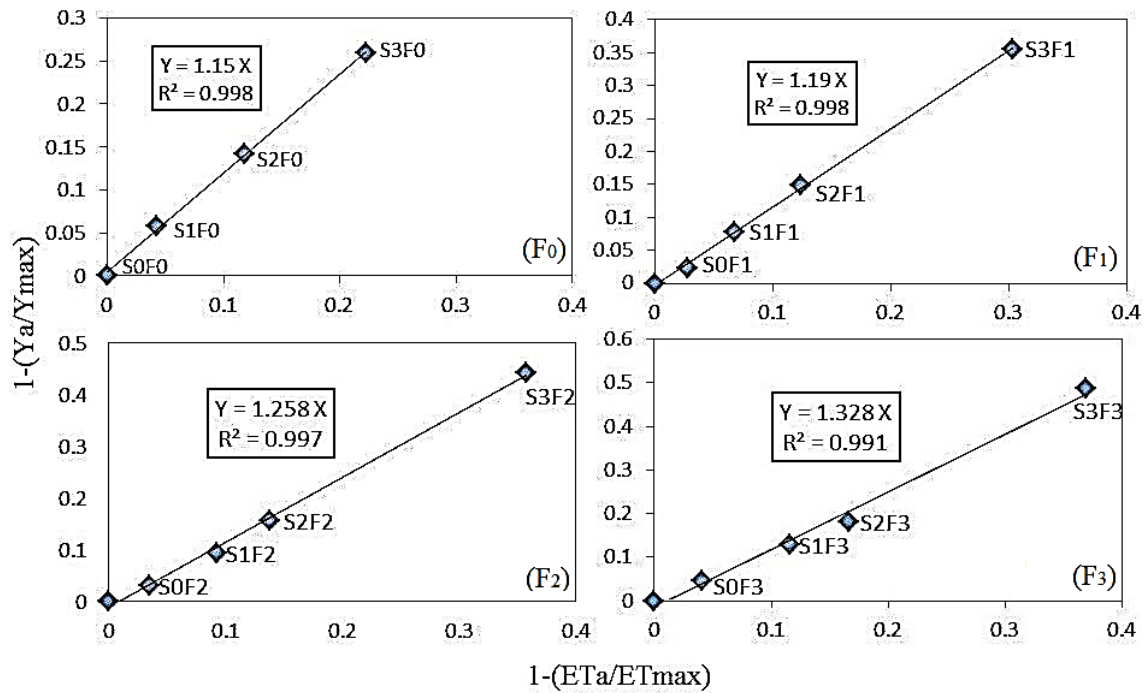
باتوجه به جدول (۳)، اثر متقابل تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن بر مؤلفه‌های تشکیل دهنده ضریب K_y معنی‌دار شد. در تیمارهای مختلف، اگر کسر $\frac{ET_a}{ET_{max}}$ از $\frac{Y_a}{Y_{max}}$ بزرگ‌تر باشد، ضریب K_y بزرگ‌تر از یک می‌شود. در این شرایط به دلیل وجود تنش، عملکرد ذرت نسبت به تبخیر-تعرق، کاهش بیش‌تری دارد. باتوجه به شکل (۸)، در سطح شوری S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 با تغییر مقدار نیتروژن از F_0 به F_3 ، ضریب K_y به ترتیب: $1/01$ ، $1/048$ ، $1/119$ و $1/272$ شد. همچنین باتوجه به شکل (۹)، با تغییر مقدار شوری از S_0 به S_3 ، در سطوح F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3 ، ضریب K_y به ترتیب: $1/15$ ، $1/19$ ، $1/258$ و $1/328$ شد. در شرایط S_1F_0 نسبت به S_0F_1 ، ضریب K_y بزرگ‌تری مشاهده شد، یعنی تأثیر شوری بر کاهش عملکرد بیشتر از تأثیر مقدار نیتروژن بود. در نشریه شماره 33 آبیاری و زهکشی فائو، برای شرایط تنش آبی، مقدار متوسط K_y در کل دوره رشد ذرت، $1/25$ گزارش شد؛ اما مقدار K_y در پژوهش فعلی، در شرایط کاهش نیتروژن در سطح شوری S_3 و افزایش شوری در سطح F_2 و F_3 ، بیش‌تر از $1/25$ شد؛ یعنی اثر تنش‌های وارده در سطوح اشاره شده، بیشتر از اثر تنش

افزایش مقدار ضریب K_y از عدد یک، نشان‌دهنده کاهش عملکرد ذرت نسبت به تبخیر-تعرق در اثر تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن بود؛ بنابراین به‌عنوان دستاورد کاربردی پژوهش، نگاه برنامه‌ریزان آبیاری در بخش کشاورزی، باید به شرایط محیطی، اقلیمی و مدیریت زراعی معطوف گردد. نیاز آبی هر گیاه با توجه به شرایط خاص منطقه تعیین شده و تأثیر تنش‌ها، برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی در هر منطقه، لحاظ گردد. به این ترتیب، با استفاده از ضریب K_y و میزان تنش‌های مزرعه‌ای، می‌توان تبخیر-تعرق واقعی گیاه را نسبت به شرایط پتانسیل منطقه برآورد نموده و در برنامه‌ریزی‌های آبیاری آینده، از آن بهره‌برداری نمود.

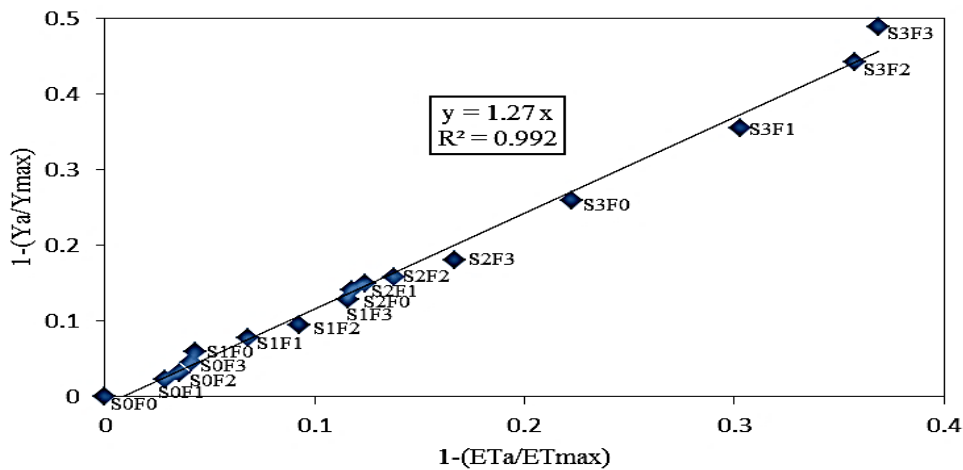
به تنش آبی نیز مقایسه شد. برای این منظور، در تحقیقی گزارش شد که با کاهش آب آبیاری تا ۴۰ درصد آبیاری کامل، ضریب K_y ذرت، ۱/۳۶ برآورد شد (تروت و دی‌جانگ، ۲۰۱۷). در تحقیق دیگر، اثر تنش آبی بر رشد، مصرف آب و عملکرد ذرت علوفه‌ای، در اقلیم نیمه‌خشک مراکش مطالعه شد. ضریب پاسخ عملکرد ماده خشک (K_y) به پنج تیمار آبیاری شامل؛ ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد تبخیر-تعرق ذرت، عدد ۱/۱۲ گزارش شد (بوزاما و همکاران، ۲۰۱۲). در یک اقلیم مرطوب در ترکیه، ضریب K_y ذرت تحت رژیم کم‌آبیاری در مراحل مختلف فصل رشد، گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها به ترتیب؛ ۰/۹، ۱/۱۲ و ۰/۸۷ گزارش شد (کوسکو و دمیر، ۲۰۱۳). نتایج نشان داد که



شکل ۸- تغییرات ضریب عملکرد K_y با کاهش نیتروژن در سطح شوری S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3



شکل ۹- تغییرات ضریب عملکرد K_y ، با افزایش شوری در سطح کودی F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3



شکل ۱۰- ضریب عملکرد K_y ، در اثر کل تنش‌های موجود

کارایی مصرف آب

با توجه به کاهش تبخیر-تعرق گیاه و عملکرد محصول در اثر افزایش تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن، کارایی مصرف آب نیز کاهش معنی داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۳). در این تحقیق، کارایی مصرف آب از $2/74$ تا $4/41$ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بوده و حداکثر کاهش آن نسبت به شرایط استاندارد، ۳۸ درصد بود. در سطح شوری S_0 ، S_1 ، S_2 و S_3 ، با تغییر مقدار نیتروژن از F_0 تا F_3 ، کارایی مصرف آب به ترتیب؛ بین

$4/41-4/15$ ، $3/87-4/15$ ، $3/42-3/8$ و $3/27-2/74$ متغیر بود. همچنین با تغییر مقدار شوری از S_0 تا S_3 ، کارایی مصرف آب در سطح F_0 ، F_1 ، F_2 و F_3 به ترتیب؛ بین $3/27-4/41$ ، $3/24-4/35$ ، $2/24-4/27$ و $2/74-4/19$ متغیر بود. در تحقیقات گذشته گزارش شد که با افزایش شوری آب از دو به هفت دسی‌زیمنس بر متر، کارایی مصرف آب برای دانه ذرت، از مقدار $1/23$ به $0/68$ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه آبیاری پنبه با آب شور اعلام شد که افزایش شوری

مصرف ازت با کاهش نیتروژن در شوری S_0, S_1, S_2 و S_3 ، به ترتیب: $1/3, 3, 6/2$ و $13/3$ درصد و با افزایش شوری آب در سطوح F_0, F_1, F_2 و F_3 ، به ترتیب: $25/5, 25/8$ ، تنش شوری بر کارایی زراعی مصرف ازت، نسبت به تنش کمبود ازت است. در تأیید یافته‌های فوق، در آبیاری ذرت با شوری $2/5, 5$ و $7/5$ دسی‌زیمنس بر متر، گزارش شد که کارایی مصرف کود ازت به ترتیب: $7, 15$ و 30 درصد کاهش یافت (لاکردا و همکاران، ۲۰۱۶). در تحقیق دیگر اعلام شد که وجود یون‌هایی مثل Na^+ و Cl^- در محلول خاک شور، باعث اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی مانند ازت، از خاک به گیاه می‌شود (اختری و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین در بررسی اثر متقابل سه تیمار شوری آب؛ $0/35, 4/61$ و $8/04$ دسی‌زیمنس بر متر و چهار تیمار مصرف ازت؛ $0, 240, 360$ و 480 کیلوگرم بر هکتار بر روی عملکرد ماده خشک پنبه، به این نتیجه رسیدند که اثر مثبت کاربرد ازت، در آب آبیاری با شوری $8/04$ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است (مین و همکاران، ۲۰۱۴).

آب از $0/35$ به $8/04$ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش ۱۱ درصدی در کارایی مصرف آب شد. همچنین مصرف 480 کیلوگرم بر هکتار کود ازت، نسبت به مصرف 240 و تیمار بدون استفاده از نیتروژن، به ترتیب باعث افزایش ۱۲ و ۳۱ درصد کارایی مصرف آب بود (مین و همکاران، ۲۰۱۴).

کارایی مصرف ازت

نتایج تجزیه خاک قبل از کشت ذرت نشان داد که درصد ازت کل موجود در لایه $0-30$ و $30-60$ سانتی متری خاک، به ترتیب: $0/06$ و $0/1$ درصد می‌باشد. با توجه به اعماق فوق، درصد ازت و چگالی ظاهری خاک، وزن ازت موجود در یک هکتار خاک مزرعه محاسبه شد (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۴). سپس با جمع کردن مقدار کود مصرفی و ازت موجود در خاک، از طریق رابطه (۴)، کارایی زراعی مصرف ازت محاسبه شد. نتایج نشان داد که کاهش نیتروژن خاک و افزایش شوری آب، باعث کاهش کارایی زراعی مصرف ازت شد. تأثیر متقابل تنش‌های مذکور بر کارایی مصرف ازت معنی‌دار شده (جدول ۳) و میانگین اثر آن‌ها نیز متفاوت بود (جدول ۴). کارایی زراعی

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|----------------|------------|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | کارایی مصرف آب | کارایی مصرف ازت | $1-(ETa/ETmax)$ | $1-(Ya/Ymax)$ |
| تکرار | ۲ | $0/005^{ns}$ | $5/3 \times 10^{-5}^{ns}$ | $6/5 \times 10^{-8}^{ns}$ | $4/5 \times 10^{-6}^{ns}$ |
| شوری | ۳ | $3/664^{**}$ | $5/29$ | $0/186^{**}$ | $0/188^{**}$ |
| نیتروژن | ۳ | $0/303^{**}$ | $0/128$ | $0/014^{**}$ | $0/015^{**}$ |
| شوری × نیتروژن | ۹ | $0/018^{**}$ | $0/023$ | $0/002^{**}$ | $0/001^{**}$ |
| خطا | ۳۰ | $0/005$ | $7/2 \times 10^{-5}$ | $1/88 \times 10^{-8}$ | $5/9 \times 10^{-12}$ |

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

نتیجه‌گیری

و کارایی مصرف آب و ازت کاهش یافت. توابع مذکور، پیش‌تر برای شناسایی مقدار مصرف بهینه آب که منجر به عملکرد ماکزیمم می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ اما در این پژوهش علاوه بر دستیابی به هدف فوق تحت تنش‌های مذکور، تأثیر مثبت مصرف ازت در شرایط تنش شوری، برای رسیدن به تبخیر- تعرق و عملکرد بهینه، مشاهده شد. همچنین افزایش تنش‌های شوری و نیتروژن

باتوجه به افزایش روزافزون جمعیت انسانی و نیاز به تأمین غذای آن‌ها، برنامه‌ریزی دقیق‌تر استفاده از منابع محدود آب، ضروری به نظر می‌رسد. در مسیر دستیابی به این هدف، روابط بین عملکرد و تبخیر- تعرق ذرت تحت شرایط تنش شوری و کمبود نیتروژن، بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش، تابع عملکرد- تبخیر- تعرق ذرت نسبت به شرایط استاندارد محیط، حالت نزولی داشته

جذب آب و عناصر غذایی کاهش یافته و آب و ازت کم‌تری از خاک، توسط گیاه جذب شد. در این شرایط، باید با آگاهی از روابط آب، خاک و گیاه، مقدار مصرف واقعی آب و ازت را برای دستیابی به حداکثر عملکرد ممکن محصول، محاسبه نمود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی با انتخاب تیمارهای مصرف ازت در مقادیر بیش از توصیه کودی، با شناسایی نقطه تغییر شیب منحنی CWP، مقدار بهینه استفاده از کود ازت را در شوری‌های مختلف آب، برآورد نمود.

باعث بیشتر شدن ضریب عملکرد K_y از عدد یک شد و اثر تنش شوری در این باره بیشتر از تنش نیتروژن بود. با تأثیر تنش شوری در سطوح F_0, F_1, F_2, F_3 و ضریب K_y به ترتیب؛ $1/15, 1/19, 1/258, 1/328$ شده و با کاهش نیتروژن در سطح شوری S_0, S_1, S_2, S_3 و ضریب K_y به ترتیب؛ $1/01, 1/048, 1/119, 1/272$ برآورد شد. نتایج کلی و دستاورد این پژوهش نشان داد که غفلت از تنش‌های زراعی، موجب اسراف در مصرف آب و ازت می‌گردد. با افزایش شوری آب، پتانسیل آب خاک و انرژی گیاه برای

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کمبود نیتروژن بر صفات مورد بررسی

| تیمار | کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) | کارایی مصرف ازت (کیلوگرم بر کیلوگرم) | [1-(ETa/ETmax)] (درصد) | [1-(Ya/Ymax)] (درصد) |
|-------|---|---|---------------------------|-------------------------|
| S0F0 | ۴/۴۱a | ۵/۰۹a | ۰a | ۰a |
| S0F1 | ۴/۳۵ab | ۵/۰۹a | ۲/۸ b | ۱/۳ b |
| S0F2 | ۴/۲۷bc | ۵/۰۷b | ۳/۵ c | ۳/۱ c |
| S0F3 | ۴/۱۹cd | ۵/۰۴c | ۳/۸ cd | ۴/۹ d |
| S1F0 | ۴/۱۵de | ۴/۸d | ۳/۹ de | ۵/۸ e |
| S1F1 | ۴/۰۶ef | ۴/۷۶e | ۶/۵ e | ۷/۹ f |
| S1F2 | ۳/۹۹f | ۴/۷۴f | ۹ f | ۹/۵ g |
| S1F3 | ۳/۸۷g | ۴/۶۶g | ۱۱/۳ g | ۱۲/۳ h |
| S2F0 | ۳/۷۹gh | ۴/۳۷h | ۱۱/۴ gh | ۱۴/۳ i |
| S2F1 | ۳/۷h | ۴/۳۴i | ۱۲/۱ i | ۱۶/۳ j |
| S2F2 | ۳/۵۴i | ۴/۲j | ۱۳/۵ j | ۲۰/۱ k |
| S2F3 | ۳/۴۲j | ۴/۱۱k | ۱۶/۳ k | ۲۲/۶ l |
| S3F0 | ۳/۲۷k | ۳/۷۷l | ۲۱/۹ l | ۲۶ m |
| S3F1 | ۳/۲۴k | ۳/۶۸m | ۳۰/۲ lm | ۲۶/۵ n |
| S3F2 | ۲/۸۸l | ۳/۴۲n | ۳۵/۷ n | ۳۴/۶ o |
| S3F3 | ۲/۷۴m | ۳/۳o | ۰/۳۶۷o | ۳۷/۵ p |

فهرست منابع

۱. حسن‌لی، م. پارسی نژاد، م. و ح. ابراهیمیان. ۱۳۹۵. افزایش کارایی مصرف آب در شرایط استفاده از آب شور در آبیاری قطره‌ای. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۳): ۱۹۴-۱۸۷.
۲. حیدرقلی نژاد کناری، م. قدیم زاده، م. و ا. فیاض مقدم. ۱۳۸۲. تأثیر تراکم گیاهی روی کیفیت علوفه ارقام هیبرید ذرت بر اساس خصوصیات زراعی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۴(۲): ۴۲۵-۴۱۸.
۳. حیدری‌نیا، م. ناصری، ع. ع. برومندنسب، س. و م. الباجی. ۱۳۹۴. 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.
۴. سپهری، ع. مدرس ثانوی، ع. م. قره‌یاضی، ب. و ی. یمینی. ۱۳۸۱. تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله علوم زراعی ایران. ۴: ۲۰۱-۱۸۴.
۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۶. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. صفحه ۲۱۵-۲۱۴.

۶. فولادمند، ح. ر. نیازی، ج. ا. کشاورزی شیرازی، ه. و ل. جوکار. ۱۳۸۵. اثر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و ازت بر عملکرد گندم. مجله علوم کشاورزی. ۱۲(۴): ۷۷۹-۷۸۶.
۷. کافی، م. گنجعلی، ع. و ف. عباسی. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات آبسزیک اسید (ABA) بافت برگ و مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به خشکی نخود. مجله علوم دانشگاه تهران. ۳۳(۴): ۱۹-۲۶.
۸. کوچکی، ع. ر. نصیری محلاتی، م. مرادی، ر. و ی. علی‌زاده. ۱۳۹۴. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۱): ۱-۱۳.
۹. محمدی، م. لیاقت، ع. م. و ح. مولوی. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه‌فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج. مجله آب و خاک. ۲۴(۳): ۵۹۲-۵۸۳.
۱۰. محمدی، م. محمدی قلعه‌نی، م. و ک. ابراهیمی. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۴۱-۵۲.
۱۱. نصرالهی، ع. ۱۳۹۳. بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای با آب شور بر عملکرد ذرت و توزیع نمک در منطقه ریشه. پایان‌نامه دکتری در رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز. صفحه ۱۵۵.
12. Akhtari, A., M. Homaei and Y. Hoseini. 2014. Modeling plant response to salinity and soil nitrogen deficiency. *water and soil resources protection*. 3(4): 33-50.
13. 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. *Plant Production*. 8 (2): 183- 214.
14. Bouazzama, B., D. Xanthoulis, A. Bouaziz, P. Ruelle and J. C. Mailhol. 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semiarid climate of Tadla (Morocco). *Agronomie, Société et Environnement*. 16(4): 468-477.
15. Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No: 33*, Rome.
16. Greaves, G. E. and Y. M. Wang. 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 20(4): 353-365.
17. Igbadun, H.E., A.A. Ramalan and E. Oiganji. 2012. Effects of regulated deficit irrigation and mulch on yield, water use and crop water productivity of onion in Samaru, Nigeria. *Agric. Water Manag.* 109: 162-169.
18. Katerji, N., J. W. Hoom, A. Hamdy and M. Mastrorilli. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*. 62 (1): 37-66.
19. Kuscu, H. and A. O. Demir. 2013. Yield and Water Use Efficiency of Maize under Deficit Irrigation Regimes in a Sub-humid Climate. *Philipp agric scientist*. 96 (1): 32-41.
20. Lacerda, C. F., J. F. S. Ferreira, X. Liu and D. L. Suarez. 2016. Evapotranspiration as a Criterion to Estimate Nitrogen Requirement of Maize under Salt Stress. *Agronomy and Crop Science*. 202 (2016): 192-202.
21. Mahmoudzadeh-Varzi, M. 2016. Crop Water Production Functions—A Review of Available Mathematical Method. *Agricultural Science*. 8(4): 76-83.
22. Mahjoor, F., A. A. Ghaemi and M. H. Golabi. 2016. Interaction effects of water salinity and hydroponic growth medium on eggplant yield, water-use efficiency, and evapotranspiration. *International Soil and Water Conservation Research*. 4(2016): 99-107.
23. Min, W., Z. Hou, L. Ma, W. Zhang, S. Ru and J. Ye. 2014. Effects of water salinity and N application rate on water- and N-use efficiency of cotton under drip irrigation. *Arid Land*. 6(4): 454-467.
24. Ramos, T. B., J. Sim-unek, M. C. Gonc-alves, J. C. Martins, A. Prazeres. and L. S. Pereira. 2012. Two dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. *Agric. Water Manage.* 111: 87-104.

25. Rudnick, D. R., S. Irmak, S. K. Djaman and V. Sharma. 2017. Impact of irrigation and nitrogen fertilizer rate on soil water trends and maize evapotranspiration during the vegetative and reproductive periods. *Agricultural Water Management*. 191: 77–84.
26. Tariq, A. and J. F. Bierhuizen. 1971. Stomatal resistance, transpiration, and relative water content as influenced by soil moisture stress. *Acta Bot. Neerl.* 20(3): 318-326.
27. Trout, T. J. and K. C. Dejonge. 2017. Water productivity of maize in the US high plains. *Irrig Sci.* 35:251–266.
28. Unlukara, A., A. Kurunc, G. Duygu-Kesmez and E. Yurtseven. 2008. Growth and evapotranspiration of orka as influenced by salinity of irrigation water. *Irrigation and Drainage Engineering*. 2: 160-166.
29. Unlukara, A., A. Kurunc, G. Duygu-Kesmez, E. Yurtseven and D. Suarez. 2010. Effect of salinity on eggplant (*solanum melongena*) growth and evapotranspiration. *Irrig. and Drain.* 59: 203–214.
30. Xin, H., Y. Peiling, R. Shumei, L. Yankai, J. Guangyu and L. Lianhao. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *Agric and Biol Eng.* 9(2): 63-73.

Determination of the Relationships between Yield and Evapotranspiration of Maize under Salinity Stress and Nitrogen Deficiency Conditions

R. Saeidi, H. Ramezani Etedali¹*, A. Sotoodehnia, A. Kaviani, and
B. Nazari

PhD Candidate of Irrigation and Drainage Engineering, Imam Khomeini International University.

saeidi@org.ikiu.ac.ir

Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University.

Hadietedali@yahoo.com

Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University.

sotoodehnia@eng.ikiu.ac.ir

Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University.

abbaskaviani@gmail.com

Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University.

binazari@ut.ac.ir

Abstract

In this study, yield and evapotranspiration of maize (cv. SC 704) were investigated under salinity stress and nitrogen deficiency. The experiment was carried out in a randomized complete block design. Electrical conductivities of saline water treatments were 0.5(S_0), 2.1(S_1), 3.5(S_2), and 5.7(S_3) dS.m⁻¹. Nitrogen deficiency treatments were 100% (F_0), 75% (F_1), 50% (F_2), and 25% (F_3) of nitrogen fertilizer requirement based on soil testing. The treatments were carried out in three replications and in plots with area of 9 m². In different treatments, evapotranspiration of maize was between 220 to 349 mm and dry matter yield between 9.4 to 15.2 ton.ha⁻¹. With increase in the salinity levels in F_0 , F_1 , F_2 , and F_3 treatments, the slopes of yield function were estimated as 0.2, 0.207, 0.218, and 0.231, respectively. Also, with reduction of nitrogen at salinity levels of S_0 , S_1 , S_2 and S_3 , the slopes were estimated as 0.175, 0.182, 0.194 and 0.221, respectively. The results showed that, with increasing stresses, yield of maize decreased more than evapotranspiration. The coefficient of K_y was calculated using the Doorenbos-Kassam relationship. With reduction of nitrogen at salinity levels of S_0 , S_1 , S_2 and S_3 , values of K_y coefficient were estimated as 1.01, 1.048, 1.119, and 1.272, respectively. Also, with increase in the salinity at nitrogen levels of F_0 , F_1 , F_2 and F_3 , K_y values were estimated as 1.15, 1.19, 1.258, and 1.328, respectively. On the average, K_y was calculated as 1.27. Under the highest stress (S_3F_3), water and nitrogen use efficiency decreased by: 38% and 34.5%, respectively, compared to the control treatment (S_0F_0). The results showed that the water requirement and yield of maize under the mentioned stresses were less than the region's potential. Under these conditions, by supplying soil nitrogen and reducing water use, water resources will be used optimally and yield will increase.

Keywords: Coefficient of yield function, Doorenbos-Kassam relationship, Water and nitrogen use efficiency

1- Corresponding author: Qazvin, Imam Khomeini International University, Water Engineering Department.

* - Received: March 2018 and Accepted: August 2018