نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۸۷۷-۸۶۱

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 861-877

مقاله علمی-پژوهشی

مدیریت مصرف آب شور و کود نیتروژن در کشت ذرت

رضا سعیدی[۱]- هادی رمضانی اعتدالی[۲*]- عباس ستوده نیا[۳]- بیژن نظری[٤]- عباس کاویانی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

چکیده

در این پژوهش بهره‌وری مصرف آب و کود نیتروژن در کشت ذرت علوفه‌ای با رقم سینگل کراس ۷۰۴، تحت تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آب شور شامل چهار هدایت الکتریکی (S_0)۰/۵، (S_1)۲/۱، (S_2)۳/۵ و (S_3)۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. تیمارهای کمبود نیتروژن در چهار سطح (N_0)۱۰۰، (N_1)۷۵، (N_2)۵۰ و (N_3)۲۵ درصد مصرف کود نیتروژن بر اساس نیاز کودی بود. تیمارها در سه تکرار و در کرت‌هایی به مساحت ۹ متر مربع به‌اجرا درآمد. در فواصل بین دو آبیاری، مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه و رطوبت خاک اندازه‌گیری شد و با اتمام آب سهل‌الوصول، آبیاری انجام شد. تبخیر- تعرق روزانه گیاه از روی مقدار کاهش رطوبت خاک محاسبه شد. نتایج نشان داد اثر تنش‌ها از تیمار S_0N_0 تا S_3N_3 به‌طور متوسط باعث افزایش دو برابری مقاومت روزنه، کاهش ۳۷ درصدی تبخیر- تعرق و کاهش ۳۹ درصدی عملکرد گیاه شد. بدون اعمال مدیریت، بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای S_0N_0 تا S_3N_3، از ۴/۴ تا ۲/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۶) و ۴/۳۵ تا ۲/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۷) بود. اما با مدیریت مصرف آب و کود نیتروژن، بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت و به حد پتانسیل منطقه نزدیک شد. از سوی دیگر از بیشترین تنش وارده (S_3N_3) تا تیمار شاهد (S_0N_0)، مقدار بهره‌وری مصرف نیتروژن از ۳/۳۴ تا ۵/۱۱ کیلوگرم بر کیلوگرم (سال ۱۳۹۶) و از ۳/۰۶ تا ۵ کیلوگرم بر کیلوگرم (سال ۱۳۹۷) بود. نتایج نشان داد در شرایط تنش شوری، می‌توان با محاسبه حجم آب آبیاری بر اساس تبخیر- تعرق گیاه و جبران کمبود نیتروژن خاک (مدیریت زراعی)، بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد. در این شرایط با مصرف کامل کود نیتروژن، بهره‌وری زراعی مصرف نیتروژن نیز افزایش یافت. یعنی با افزایش شوری، تغذیه کامل خاک با عنصر نیتروژن، راه‌کار مدیریتی برای افزایش عملکرد محصول، افزایش بهره‌وری مصرف آب و کود بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، تنش شوری، عملکرد، کمبود نیتروژن

مقدمه

امروزه تأمین نیازهای غذایی انسان و دام، مستلزم بهره‌برداری مناسب از منابع آبی است. با توجه به کمبود منابع آب شیرین در بخش کشاورزی، نمی‌توان از منابع آب نامتعارف صرف‌نظر نمود. بنابراین در کشت گیاهان آبی، ارائه راه‌کارهای علمی برای استفاده بهینه از آب‌های نامتعارف (مانند آب شور) اهمیت می‌یابد. افزایش شوری آب خاک به‌دلیل کاهش پتانسیل آب، جذب آب توسط گیاه را کاهش می‌دهد. در میان تنش‌های محیطی موجود در هر منطقه، کاهش کیفیت آب آبیاری از عوامل مؤثر بر کاهش تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه به شمار رفت (۱۰). در تحقیقی گزارش شد تنش شوری باعث کاهش رشد برگ، کاهش انرژی گیاه برای فتوسنتز و تشکیل اندام گیاهی، کاهش رشد محصول و کاهش مصرف آب توسط گیاه شد (۱۸). تنش شوری، جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن را در گیاه ذرت کاهش داد و باعث افزایش مقاومت روزنه‌ها و کاهش تعرق گیاه شد (۷). وجود یون‌های سدیم و کلسیم در خاک شور علاوه بر بروز سَمیّت و کاهش جذب آب، مانع جذب عناصر غذایی از خاک به گیاه بود. از سوی دیگر کاهش حاصلخیزی خاک مانند کمبود نیتروژن، از جمله تنش‌های محیطی بود که به‌دلیل فقدان انرژی لازم برای جذب آب، تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه را کاهش داد. در تحقیقی در کشور اتیوپی تأثیر افزودن کود نیتروژن بر افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشت ذرت بررسی شد. با در نظر گرفتن سه سطح حاصلخیزی (فقیر، حاصلخیزی نزدیک به شرایط بهینه و بدون تنش حاصلخیزی) برای خاک، عملکرد و تبخیر- تعرق ذرت

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به‌ترتیب دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشیاران و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی (ره)
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.82917

اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد افزودن نیتروژن به خاک، موجب افزایش تعرق از مقدار ۱۴۶ میلی‌متر در شرایط خاک فقیر به ۳۵۵ میلی‌متر در شرایط بدون تنش حاصلخیزی بود (۶). در تحقیق دیگر در کشور چین، اثر مصرف کود نیتروژن بر تبخیر- تعرق دو رقم گندم ZM و CH مطالعه شد. نتایج نشان داد مجموع تبخیر- تعرق در رقم ZM با افزودن نیتروژن به‌مقدار ۲۷۰ کیلوگرم بر هکتار طی فصل‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۰، ۲۰۱۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۱-۲۰۱۲ به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۵/۸ و ۲۲/۱ درصد افزایش داشت. این مقادیر برای تیمار CH به‌ترتیب ۲۸، ۱۴/۱ و ۲۳/۱ درصد گزارش شد (۱۹). در تحقیقی تأثیر چهار سطح شوری آب و چهار سطح مصرف کود نیتروژن بر روی ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب علاوه بر کاهش بهره‌وری مصرف آب، مقدار نیتروژن کمتری توسط گیاه از خاک جذب شد. در نهایت کود نیتروژنی که بیشتر از نیاز گیاه در خاک وجود داشت، به‌صورت یون نیترات در خاک تجمع یافت (۱۰). تحقیق دیگر با سه سطح آبیاری (I_1)۱۰۰، (I_2)۷۵ و (I_3)۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، سه تیمار شوری آب (S_1)۰/۶، (S_2)۲ و (S_3)۴ دسی‌زیمنس بر متر و سه تیمار مصرف کود نیتروژن (N_1)۰، (N_2)۱۵۰ و (N_3)۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار، بر روی ذرت انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش هدایت الکتریکی آب از S_1 به S_3، ۱۲ درصد از تعرق ذرت کاهش یافت. همچنین با افزایش نیتروژن خاک، مقدار جذب آب از خاک و عملکرد محصول افزایش یافت (۳). در آزمایش دیگر تبخیر- تعرق واقعی ذرت تحت چهار تیمار مصرف ۸۴، ۱۴۰، ۱۹۶ و ۲۵۲ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش مصرف کود نیتروژن باعث افزایش تبخیر- تعرق ذرت شد. (۱۵). در تحقیق دیگر تحت تیمارهای مختلف کود نیتروژن، گزارش شد که عملکرد ماده خشک ذرت به‌طور مستقیم با مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه مرتبط بود. نتایج نشان داد مقدار شوری خاک علاوه بر مقدار جذب آب، بر جذب نیتروژن توسط گیاه مؤثر بود (۱۷). به‌طور کلی تحقیقات گذشته نشان داد هر یک از تنش‌های محیطی شوری و حاصلخیزی (کمبود نیتروژن) بر مقدار جذب آب، تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه مؤثر بودند. همچنین تنش شوری اثر کاهشی بر جذب عناصر غذایی داشت. از سوی دیگر در میان محصولاتی که به‌صورت آبی کشت می‌شد، گیاه ذرت به‌لحاظ تأمین نیاز غذایی انسان و دام، مانند گندم، جو و برنج دارای اهمیت استراتژیک بود. با توجه به تحقیقات گذشته هدف از پژوهش حاضر افزایش بهره‌وری مصرف آب و کود نیتروژن در کشت گیاه ذرت، در شرایط تنش شوری بود. این کار با اعمال مدیریت در مصرف آب شور و کود نیتروژن انجام شد. در این پژوهش سعی شد نیاز آبیاری، متناسب با تبخیر- تعرق گیاه تعیین گردد و از مصرف بیش از حد آب شور خودداری شد. بنابراین از هدر رفت منابع آب و شور شدن خاک جلوگیری به‌عمل آمد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه و طرح پژوهشی

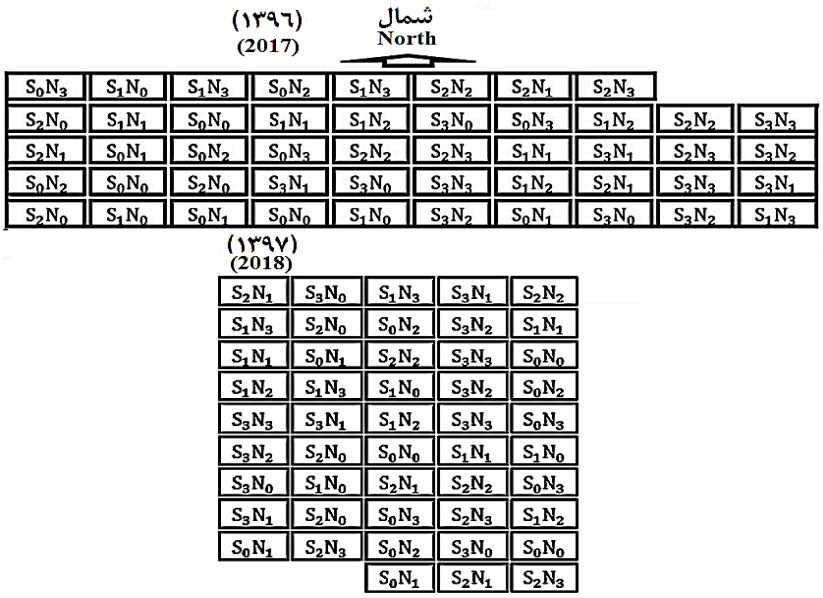
محل اجرای پژوهش، مزرعه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) در موقعیت عرض جغرافیایی "۳۲ '۱۹ °۳۶ شمالی، طول جغرافیایی "۷ '۰ °۵۰ شرقی و ارتفاع ۱۳۸۲ متر از سطح دریا بود. آب آبیاری از آب چاه با هدایت الکتریکی $\frac{dS}{m}$ ۰/۵ و اسیدیته ۷/۲ تأمین شد. پیش از اجرای پژوهش، از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری در ۵ نقطه از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و آنالیز شیمیایی خاک توسط آزمایشگاه معتبر انجام شد. بر اساس نتایج آنالیز خاک که در جدول ۱ ارائه شد، مصرف کودهای نیتروژن (اوره)، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، گوگرد و کود دامی به‌ترتیب به‌مقدار ۳۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار (برای کشت ذرت علوفه‌ای) توسط آزمایشگاه خاک توصیه شد. کود نیتروژن در طول دوره کشت و بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه شد.

کمبود مقدار نیتروژن خاک (تنش حاصلخیزی) و شوری بیش از حد تحمل آب آبیاری (تنش شوری)، از عوامل مؤثر بر کاهش تبخیر- تعرق و عملکرد گیاهان بود. در این پژوهش دو تیمار شوری آب و کمبود نیتروژن خاک در چهار سطح و سه تکرار به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اعمال شد. گیاه مورد مطالعه ذرت با رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. بذرها در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳ متر که داخل آن‌ها جوی و پشته با فاصله ۷۵ سانتی‌متر از هم قرار داشت، کاشته شد. فاصله‌ی کرت‌ها از هم ۱/۵ متر بود. در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در اوایل تیر ماه، بذرها با تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار کاشته شد (۱۵). تیمارهای حاصلخیزی شامل تغذیه خاک با (N_0)۱۰۰، (N_1)۷۵، (N_2)۵۰ و (N_3)۲۵ درصد مقدار کود نیتروژن مورد نیاز (بر اساس توصیه کودی) در کشت ذرت بود. تیمارهای شوری پس از پنج برگی شدن گیاه با آبیاری گیاه در چهار سطح هدایت‌الکتریکی (S_0)۰/۵، (S_1)۲/۱، (S_2)۳/۵ و (S_3)۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شد. تیمارهای شوری با توجه به پتانسیل ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصدی عملکرد ذرت در شوری‌های مذکور (برای آب آبیاری) انتخاب شد (۵). آب شور مورد نیاز برای آبیاری، با اضافه‌کردن نمک صنعتی به آب شیرین چاه تهیه شد. در نمک صنعتی، مقدار عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و پتاسیم برابر با ۹۲، ۳/۸۴، ۱/۸۹، ۱/۷۳ و ۰/۵۴ درصد بود. کیفیت آب شور مصنوعی تولید شده، تفاوتی با آب‌های شور طبیعی منطقه نداشت. به‌طوری‌که طی تحقیقی در ۵۰ نقطه از منطقه قزوین گزارش شد که عناصر موجود در آب‌های شور این استان به‌ترتیب سدیم، سولفات، کلسیم، منیزیم و پتاسیم بود (۱۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک، قبل از کشت

Table 1- Results of chemical analysis of soil before cultivation

نوع تجزیه Analysis type	عمق خاک Depth of soil	
	۳۰-۰ سانتی‌متر 0-30 Centimeters	۶۰-۳۰ سانتی‌متر 30-60 Centimeters
هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity of soil (dS/m)	0.33	0.33
اسیدیته گل اشباع Saturated soil acidity	7.4	7.46
درصد نیتروژن کل Total nitrogen percentage	0.06	0.1
فسفر قابل جذب (پی پی ام) Absorbable phosphorus (p.p.m)	4	1
پتاسیم قابل جذب (پی پی ام) Absorbable potassium (p.p.m)	288	60
بافت خاک Soil texture	SL	SL
درصد رس Clay percentage	10	8
درصد سیلت Silt percentage	33	24.5
درصد شن Sand percentage	57	67.5
چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Soil bulk density $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$	1.33	1.41
درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی Moisture content at field capacity	23	22
درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی Moisture content at wilting point	14	13.5



شکل ۱- شبکه تیمارها در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Figure 1- Network of treatments in 2017 and 2018

مقدار آب شور مورد نیاز در مخازن بزرگ تهیه شد و پس از کنترل هدایت الکتریکی (EC) مورد استفاده قرار گرفت. در مجموع تعداد ۱۶ تیمار تنش شوری و کمبود نیتروژن در سه تکرار به اجرا درآمد (شکل ۱). با توجه به تیمارهای شوری و کود نیتروژن، امکان باقی ماندن شوری و نیتروژن در پایان فصل کشت در خاک کشت سال اول وجود داشت. بنابراین در سال دوم، زمین کناری در محل کشت سال اول برای کشت سال دوم انتخاب شد. ابعاد کرت‌ها، فاصله بین آن‌ها و نحوه اعمال تیمارها مشابه سال اول بود.

تعیین زمان و حجم آب آبیاری

زمان آبیاری گیاهان در این پژوهش، هم‌زمان با اتمام آب سهل‌الوصول تعیین شد. بر اساس گزارش ارائه شده در فائو ۵۶، در این نقطه رطوبتی که برای ذرت معادل ۵۵ درصد رطوبت بین حدود FC و PWP می‌باشد، سرعت جریان آب خاک به‌سمت ریشه گیاه برای تأمین آب مورد نیاز تعرق کافی نمی‌باشد. به‌طوری که با محدود شدن دسترسی گیاه به آب خاک، مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافته و برای کاهش تلفات آب، روزنه‌ها بسته می‌شوند (۲). باتوجه به این‌که تیمارهای تنش در این پژوهش باعث کاهش جذب آب توسط گیاه می‌شد، حد آب سهل‌الوصول عددی متغیر بود. بنابراین بر اساس واکنش مقاومت روزنه‌ای گیاه و افزایش آن نسبت به گیاه شاهد (شرایط استاندارد)، حد آب سهل‌الوصول ذرت تعیین شد. در این پژوهش مقاومت روزنه‌ای در روزهای اولیه پس از آبیاری افزایش کمی داشت. اما با نزدیک شدن به زمان آبیاری، افزایش ناگهانی و تا حدود دو برابری در گیاهان تحت تنش نسبت به گیاهان شاهد وجود داشت. اندازه‌گیری مقدار مقاومت روزنه برگ‌های ذرت به‌وسیله دستگاه پرومتر AP4 انجام شد. برای جلوگیری از تأثیرگرمای خورشید بر دمای سطح برگ، اندازه‌گیری‌ها صبح‌ها قبل از طلوع خورشید انجام شد. برای این کار از هر کرت به طور تصادفی سه گیاه و از هر گیاه سه برگ جوان برای اندازه‌گیری مقاومت روزنه انتخاب شد. با توجه به تنوع تیمارها، زمان واکنش روزنه‌ها به نوع و مقدار تنش متفاوت بود. بنابراین پس از افزایش مقاومت و انسداد روزنه‌ها که بیانگر اتمام آب سهل‌الوصول بود، آبیاری کرت‌ها انجام شد. حجم آب آبیاری برای هر کرت، بر اساس مقدار کمبود رطوبت خاک تا حد FC، عمق ریشه گیاه و مساحت کرت تعیین شد (رابطه ۱). عمق ریشه گیاه در چهار مرحله رشد استقرار (۶ برگی)، توسعه (۱۲ برگی)، گل‌دهی و شیری شدن دانه اندازه‌گیری شد. عمق ریشه گیاه در مراحل رشد مذکور به‌ترتیب؛ ۱۰، ۴۵، ۵۵ و ۶۰ سانتی‌متر بود. مقدار حجم آب ورودی به هر کرت با کنتور حجمی کنترل شد. برای انتقال آب از مخازن به کرت‌های مذکور از لوله استفاده شد. سیستم آبیاری در این طرح، سیستم سطحی با بازده صد در صد بود. برای افزایش اطمینان در روزهای اولیه کشت و همزمان با آبیاری کرت‌ها، فواصل بین آن‌ها (پیاده‌رو) آبیاری سطحی شد و روی آن‌ها پلاستیک کشیده شد. این کار مانع تابش نور خورشید به خاک پیاده‌روها، مکش و جابجایی رطوبت بین کرت‌ها بود.

$$\forall = \frac{(\theta_{FC}-\theta_0)}{100}.\rho b.D_{rz}.A \qquad (۱)$$

$\forall$: حجم آب آبیاری (lit)، θ_{FC}: درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ_0: درصد رطوبت وزنی خاک در زمان افزایش مقاومت و انسداد روزنه‌ها، ρb چگالی ظاهری خاک $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$، D_{rz}: عمق ریشه گیاه(mm) و A: مساحت کرت (m^2) بود.

اندازه‌گیری تبخیر- تعرق

در عمق توسعه ریشه‌ها، رطوبت خاک کرت‌ها به‌صورت روزانه با دستگاه TDR[1] مدل TRIME-FM اندازه‌گیری شد. قبل از شروع داده‌برداری رطوبت، دستگاه TDR در خاک مزرعه کالیبره شد (شکل ۲). احتمال داشت آبیاری با آب شور و شور شدن خاک، بر ثبت داده‌ها تأثیر داشته باشد. به‌این منظور عملکرد دستگاه در طول دوره کشت گیاه کنترل شد و اما اختلالی در کار مشاهده نشد. از سوی دیگر چون پس از اتمام آب سهل‌الوصول آبیاری انجام شد، هیچ‌گونه تنش خشکی اعمال نشد. بنابراین به‌دلیل وجود رطوبت و تراکم زیاد در لایه‌های زیرین خاک و نبود جریان‌های ترجیحی، نفوذ آب به لایه‌های زیرین خاک وجود نداشت. در این شرایط با اندازه‌گیری روزانه رطوبت خاک و بستن بیلان حجمی آب در عمق توسعه ریشه، مقدار تبخیر- تعرق روزانه گیاه با روابط (۲) و (۳) برآورد شد.

$$(ET_c)_i = (\theta_{i-1}-\theta_i).\rho b.D_{rz} \qquad (۲)$$

$(ET_c)_i$: تبخیر- تعرق روزانه گیاه درکرت شاهد(mm)، θ_i: درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای پس از آبیاری در کرت شاهد، $(\theta_{i-1}-\theta_i)$: درصد اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت شاهد، ρb: چگالی ظاهری خاک $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$، D_{rz}: عمق ریشه گیاه (mm)

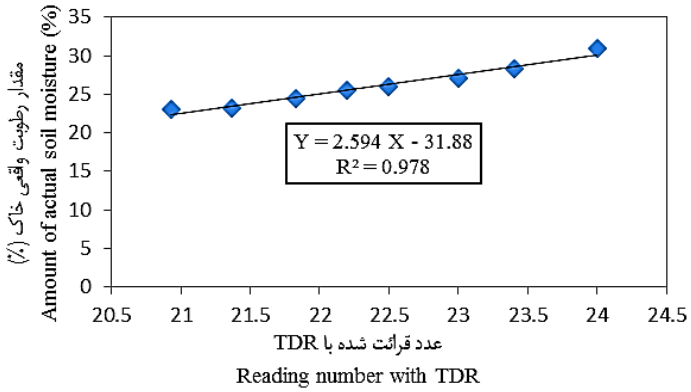
$$\left(ET_{c-adj}\right)_i = (\theta'_{i-1}-\theta'_i).\rho b.D_{rz} \qquad (۳)$$

$\left(ET_{c-adj}\right)_i$: تبخیر- تعرق روزانه گیاه در کرت تحت تنش(mm)، θ'_i: درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای پس از آبیاری در کرت تحت تنش، $(\theta'_{i-1}-\theta'_i)$: درصد اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت تحت تنش

اندازه‌گیری عملکرد محصول

برداشت نهایی محصول ذرت، در هر دو سال زراعی در آبان ماه انجام شد. با توجه به هدف برداشت علوفه‌ای ذرت، بوته‌های ذرت از کف زمین بریده شد.

1- Time Domain Reflectometer



شکل ۲- نمودار کالیبراسیون دستگاه TDR

Figure 2- Calibration curve of TDR set

برای وزن کردن زیست‌توده خشک، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه کاملاً خشک شده و سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری و معادلات کاربردی

در این پژوهش مقادیر روزانه مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها، رطوبت خاک، تبخیر- تعرق گیاه و عملکرد نهایی محصول در همه کرت‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با داده‌های موجود و از طریق روابط (۴) و (۵) به‌ترتیب بهره‌وری مصرف آب و کود نیتروژن محاسبه شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

$$WUE^{1} = \frac{Y}{\forall} \qquad (۴)$$

WUE : بهره‌وری مصرف آب $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$، Y : عملکرد ماده خشک ذرت (Kg)، ∀: حجم آب مصرفی توسط گیاه در دوره کشت (m^3)

$$NUE^{2} = \frac{Y}{N_S} \qquad (۵)$$

NUE: بهره‌وری زراعی مصرف نیتروژن $\left(\frac{Kg}{Kg}\right)$، N_S: مجموع کود نیتروژن مصرف شده و نیتروژن موجود در خاک $\left(\frac{Kg}{ha}\right)$

کود نیتروژن مصرف شده شامل نیتروژن موجود در کود حیوانی قبل از کشت و کود اوره در حین کشت بود. در اواسط دوره رشد ذرت (حدود ۴۵ روز بعد از کاشت) و در موقع گل‌دهی و رشد بلال، ذرت نیاز فراوانی به کود نیتروژن دارد. بنابراین کود نیتروژن در زمان‌های مذکور به خاک اضافه شد. نیتروژن موجود در خاک از طریق رابطه (۶) محاسبه شد.

$$N_1 = \frac{N_T}{100}.\rho b.D_{rz}.A \qquad (۶)$$

N_1: وزن نیتروژن موجود در خاک قبل از کشت (Kg)، N_T: درصد کل نیتروژن موجود در عمق خاک، ρb: چگالی ظاهری خاک $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$، D_{rz}: عمق خاک (cm) و A: مساحت کرت (cm^2) بود.

نتایج و بحث

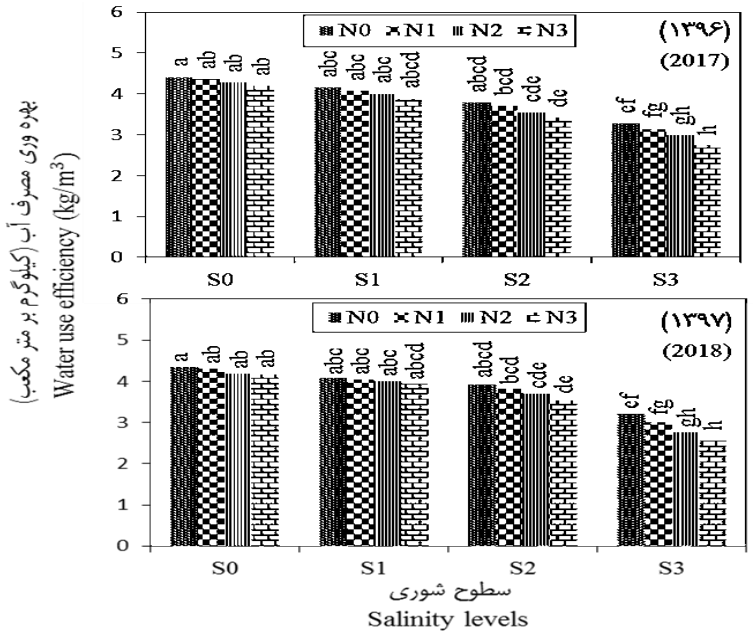
بهره‌وری مصرف آب

در این پژوهش مجموع تبخیر- تعرق ذرت در کل دوره رشد و عملکرد ماده خشک، برای تمام تیمارهای شوری و کمبود نیتروژن اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر- تعرق ذرت از تیمار S_0N_0 تا S_3N_3 بین ۲۲۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر (سال ۱۳۹۶) و ۲۱۸ تا ۳۵۳ میلی‌متر (سال ۱۳۹۷) اندازه‌گیری شد. با کاهش پتانسیل جذب آب به‌علت اعمال تنش شوری و از سوی دیگر با کاهش عنصر غذایی نیتروژن در خاک، انرژی گیاه برای جذب آب کاهش یافت و به دنبال آن از تعرق ذرت کاسته شد. در تحقیق مشابه گزارش شد افزایش شوری آب از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش تبخیر- تعرق ذرت از ۵۱۵/۲ به ۳۸۷/۵ میلی‌متر در شهر اهواز بود (۸). همچنین در تحقیق دیگر اعلام شد که افزایش عنصر نیتروژن در خاک باعث افزایش تبخیر- تعرق ذرت در برزیل شد (۱۰). به‌طور کلی انجام آبیاری بیشتر از سوی کشاورزان، همواره راه‌کاری برای افزایش جذب آب و تبخیر- تعرق گیاه به‌شمار می‌رفت. یعنی بدون درنظر گرفتن کاهش تعرق گیاه در شرایط تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن، آبیاری گیاه به‌طور کامل (در حد پتانسیل منطقه) و حتی بیشتر انجام می‌شد. این کار باعث آبیاری بیش از نیاز گیاه و کاهش بهره‌وری مصرف آب بود. اما نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط تنش شوری، تکمیل عنصر نیتروژن خاک به‌جای آبیاری بیشتر، باعث افزایش تبخیر- تعرق گیاه شد. زیرا در شرایط تنش شوری، آبیاری بیش از نیاز تبخیر- تعرق گیاه، بدون این‌که به مصرف گیاه برسد فقط باعث شور شدن خاک می‌گردید. از سوی دیگر کاهش تبخیر- تعرق گیاه به‌دلیل اعمال تنش‌های مذکور، درنهایت منجر به کاهش عملکرد محصول شد. مقدار عملکرد ماده خشک ذرت در محدوده‌ی تیمارهای S_0N_0 تا

1- Water Use Efficiency
2- Nitrogen Use Efficiency

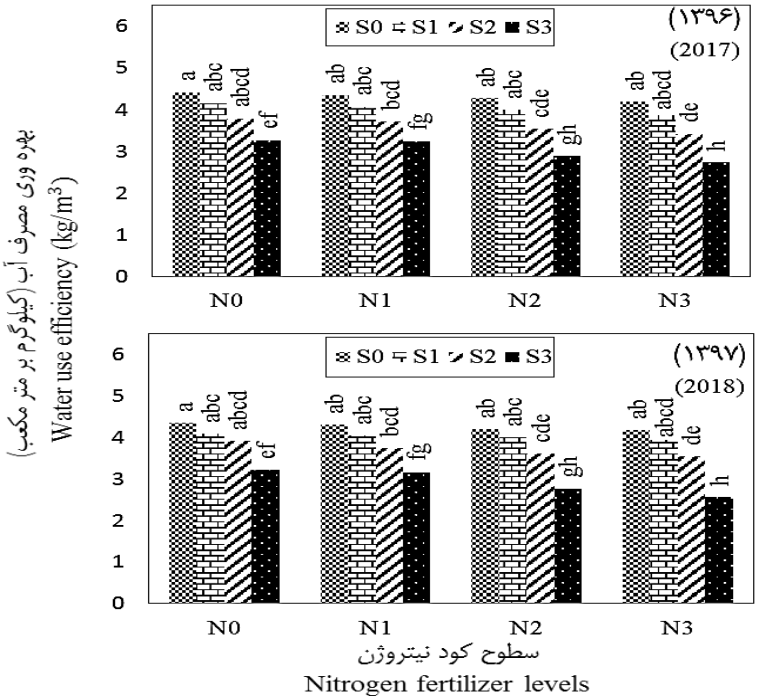
S_3N_3 بین ۹۰۳۴ تا ۱۵۲۸۰ کیلوگرم (سال ۱۳۹۶) و ۹۲۶۶ تا ۱۵۳۶۶ کیلوگرم (سال ۱۳۹۷) برآورد شد. کاهش پتانسیل اسمزی آب، کاهش جذب آب و تعرق گیاه و کمبود عنصر غذایی نیتروژن در خاک، از دلایل کاهش عملکرد ماده خشک ذرت بود. در تحقیقی مشابه اثر مصرف دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصدی نیاز کودی نیتروژن بر روی عملکرد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد تیمارهای مصرف نیتروژن در مراحل مختلف رشد، تأثیر معنی‌داری بر مقدار ماده خشک روی سطح زمین و عملکرد دانه ذرت در سطح یک‌درصد داشت (۱۶). در تحقیق دیگر گزارش شد تنش شوری منجر به تغییرات گسترده بیوشیمیایی و پاسخ‌های فیزیولوژیک در گیاهان شد و باعث کاهش فعالیت‌های گیاهی، نظیر فتوسنتز و رشد و نمو گیاهان گردید (۱۳). در تحقیقی گزارش شد که افزایش شوری آب از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد دانه ذرت از ۶/۳ به ۲/۶ تن بر هکتار و استفاده از بقایای گیاهی به‌عنوان خاکپوش، موجب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد دانه شد (۸). نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده روند کاهشی تبخیر- تعرق و عملکرد محصول ذرت، تحت تأثیر تنش‌های شوری و کمبود نیتروژن بود. اگرچه ارتباط مستقیمی بین کاهش تبخیر- تعرق و کاهش عملکرد گیاه وجود داشت اما با افزایش شدت تنش‌ها، عملکرد محصول کاهش بیشتری نسبت به تبخیر- تعرق گیاه نشان داد.

از اهداف این پژوهش، مدیریت مصرف آب و کود نیتروژن در شرایط تنش شوری بود. این کار با استفاده بهینه از منابع آبی و نهاده‌های کشاورزی امکان‌پذیر بود و افزایش بهره‌وری مصرف آب از نتایج آن به‌شمار می‌رفت. برای تحلیل بهتر موضوع، در ابتدا بهره‌وری مصرف آب در این پژوهش برای تیمارهای مختلف، با فرض انجام آبیاری کامل (حد پتانسیل) در همه تیمارها محاسبه شد (شکل‌های ۳ و ۴). نتایج نشان داد به‌نسبت کاهش عملکرد گیاه تحت تنش، بهره‌وری مصرف آب نیز کاهش یافت. به‌طوری که مقدار آن در تیمارهای مختلف (S_0N_0 تا S_3N_3)، از ۲/۷۴ تا ۴/۴ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۶) و ۲/۵۷ تا ۴/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۷) متغیر بود. در سال ۱۳۹۶ در سطح شوری S_0، S_1، S_2 و S_3 با تغییر مقدار مصرف نیتروژن از سطح N_0 تا N_3، بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب بین ۴/۴-۴/۱۹، ۴/۱۵-۳/۸۷، ۳/۸-۳/۴۲ و ۳/۲۷-۲/۷۴ برآورد شد. مقادیر مذکور در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب بین ۴/۳۵-۴/۱۷، ۴/۱- ۳/۹۴، ۳/۹-۳/۵۴ و ۳/۲۲ -۲/۵۷ محاسبه شد. اما در واقعیت به‌منظور مدیریت مصرف آب، حجم آب آبیاری به اندازه جبران کمبود رطوبت خاک بین حدود آب سهل‌الوصول تا ظرفیت مزرعه تعیین شده بود. به‌طوری‌که به نسبت مقدار تبخیر- تعرق در تیمارهای مختلف، حجم آب متفاوتی برای آبیاری کرت‌ها مصرف شد و عملکرد محصول متفاوت بود. از این رو عملکرد محصول نسبت به حجم آب مصرفی، در تیمارهای مختلف بررسی شد (شکل‌های ۵ و ۶). این‌بار نتایج نشان داد به‌دلیل مدیریت صحیح در انجام آبیاری، بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای تحت تنش افزایش یافت و به تیمار شاهد (استاندارد منطقه) نزدیک شد. به‌طوری که مقدار آن در تیمارهای مختلف، از ۴/۲ تا ۴/۴ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۶) و ۴/۱۵ تا ۴/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۷) برآورد شد. دلیل افزایش بهره‌وری مصرف آب، مدیریت حجم آب مصرفی منطبق بر تبخیر- تعرق واقعی گیاه در تیمارهای تحت تنش و جلوگیری از آبیاری گیاه در حد پتانسیل منطقه بود. در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده شد شیب نمودارها در سطوح متفاوت شوری، مقداری ثابت نداشت. در سطوح دارای شوری بیشتر، شیب نمودار نسبت به سطوح شوری کمتر، افزایش داشت. دلیل نتایج حاصل این بود که تأثیر کمبود نیتروژن، در هر سطح شوری یکسان نبود. یعنی در تنش‌های بالا، علی‌رغم کاربرد بهینه آب، امکان رساندن بهره‌وری مصرف آب به شرایط استاندارد منطقه وجود نداشت. چون با افزایش تنش‌ها، روند کاهش عملکرد محصول بیشتر از روند کاهش تبخیر- تعرق گیاه بود. بر اساس تحقیقات گذشته، عمده‌ترین اثر تنش شوری بر گیاهان جلوگیری از رشد بود و کاهش عملکرد محصول به دلایل کاهش تقسیم سلولی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر به‌ویژه نیتروژن، اثر یون‌های سمی مانند سدیم، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز بود (۱۴). نتیجه کلی این‌که در شرایط وجود تنش‌های محیطی مانند شوری که تأثیر به‌سزایی بر کاهش تبخیر- تعرق گیاهان داشتند، لزوم برآورد حجم آب آبیاری منطبق بر تبخیر- تعرق واقعی گیاه ضروری به‌نظر رسید. در نتایج به‌دست آمده نشان داده شد که در یک سطح شوری مشخص، کمبود نیتروژن خاک باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب شد. یعنی تغذیه کامل خاک با عنصر نیتروژن، راه‌کاری مناسب برای افزایش بهره‌وری مصرف آب شناخته شد. در تحقیقات گذشته نیز گزارش شد که تغییرات بهره‌وری مصرف آب در کشت گیاهانی مانند ذرت، به شرایط آب و هوایی، مدیریت آب آبیاری و عناصر غذایی خاک (مقدار حاصلخیزی) مرتبط بود (۲۰). در تحقیق دیگر گزارش شد با افزایش شوری آب از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، بهره‌وری مصرف آب برای دانه ذرت از مقدار ۱/۲۳ به ۰/۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یافت (۸). طی تحقیقی اعلام شد که تنش شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ، تبخیر- تعرق و عملکرد محصول تأثیرگذار بود. با افزایش شوری، بهره‌وری مصرف آب در محصولات نسبتاً حساس به شوری مانند ذرت کاهش یافت. به‌طوری‌که عملکرد محصول شدیدتر از تبخیر- تعرق گیاه، کاسته شد (۹). در تحقیق بر روی گیاهان دیگر نیز گزارش شد که افزایش شوری آب از ۰/۳۵ به ۸/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش ۱۱ درصدی در بهره‌وری مصرف آب گیاه پنبه شد. همچنین مصرف ۴۸۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن نسبت به مصرف ۲۴۰ کیلوگرم بر هکتار و تیمار بدون استفاده از نیتروژن، به‌ترتیب باعث افزایش ۱۲ و ۳۱ درصد بهره‌وری مصرف آب شد (۱۱).



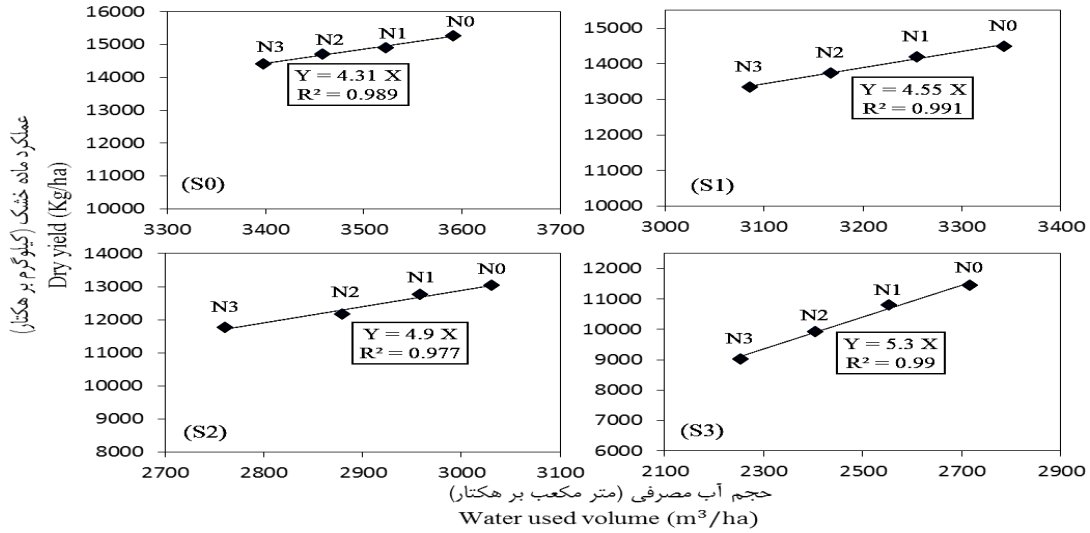
شکل ۳- تأثیر کمبود نیتروژن بر بهره‌وری مصرف آب، در سطوح مختلف شوری

Figure 3- Effect of nitrogen deficiency on water use efficiency, at different levels of salinity



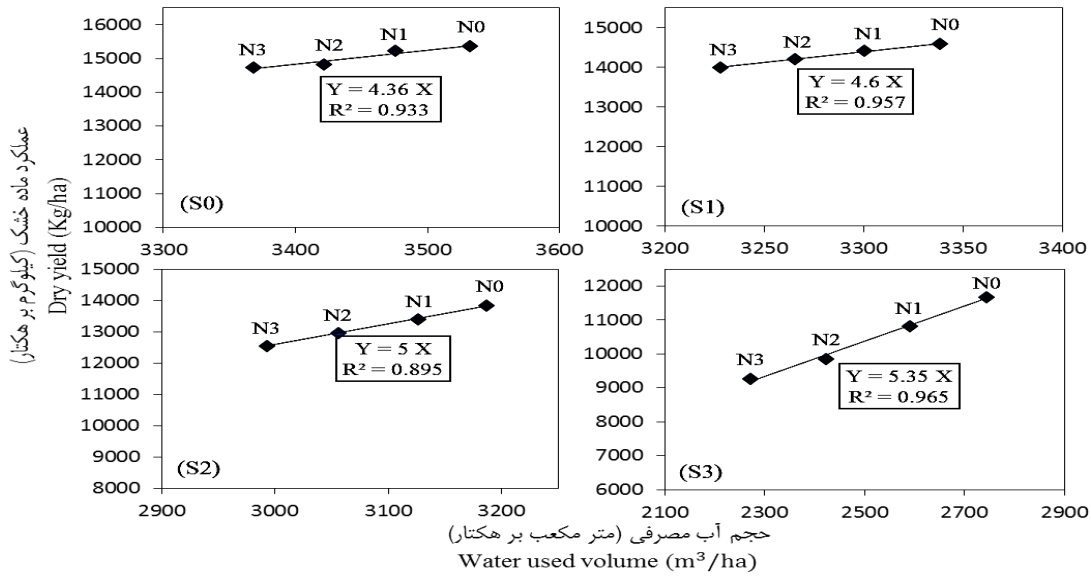
شکل ۴- تأثیر افزایش شوری بر بهره‌وری مصرف آب، در سطوح مختلف کود نیتروژن

Figure 4- Effect of salinity increasing on water use efficiency, at different levels of nitrogen fertilizer



شکل ۵- تأثیر کمبود نیتروژن بر عملکرد ذرت و حجم آب مصرفی، در سطوح مختلف شوری (۱۳۹۶)

Figure 5- Effect of nitrogen deficiency on maize yield and water used volume, in different salinity levels (2017)



شکل ۶- تأثیر کمبود نیتروژن بر عملکرد ذرت و حجم آب مصرفی، در سطوح مختلف شوری (۱۳۹۷)

Figure 6- Effect of nitrogen deficiency on maize yield and water used volume, in different salinity levels (2018)

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، داده‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش حاصل یک تحقیق دو ساله بود. بنابراین برای بررسی میانگین داده‌های دو ساله، احتمال وجود اختلاف بین تیمارها مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان داد بین داده‌های دو ساله‌ی مربوط به حجم آب مصرفی، عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از سوی دیگر، تأثیر تیمارهای شوری و کمبود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر صفات مورد بررسی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین دو ساله‌ی اثر تیمارها بر صفات نشان داد که در برخی تیمارهای نزدیک به‌هم، مقادیر صفات مورد بررسی در یک رده‌ی آماری قرار گرفت (جدول ۳). به‌دلیل دستیابی به اهداف پژوهش در مدیریت حجم آب مصرفی، مقادیر بهره‌وری مصرف آب در سطوح مختلف تنش هم‌پوشانی بیشتری نشان داد. یعنی با برنامه‌ریزی آبیاری منطبق بر تبخیر- تعرق واقعی گیاه در شرایط تنش‌های مذکور، مقدار بهره‌وری مصرف آب طی دو سال زراعی به حد استاندارد منطقه (تیمار S_0N_0) نزدیک شد. اما علی‌رغم مدیریت دقیق حجم آب، امکان رسیدن بهره‌وری مصرف آب به حد استاندارد منطقه در سطوح بالای تنش وجود نداشت. دلیل آن تأثیر مضر شوری بر

کاهش جذب عناصر غذایی (به‌خصوص نیتروژن) توسط گیاه از خاک بود که منجر به کاهش عملکرد محصول شد. شکل ۷ نشان داد کمبود نیتروژن خاک در سطوح شورتر، شیب کاهش بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد. شیب مذکور در سطوح شوری S_1، S_2 و S_3 نسبت به سطح S_0، به‌ترتیب ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۳ برابر افزایش یافت. لذا در کنار مدیریت حجم آب مصرفی، نیاز ضروری به تأمین کمبود نیتروژن خاک برای افزایش بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد. از سوی دیگر یک تابع درجه دوم با ضابطه $Y = -56 * 10^{-9}X^2 + 0.0004X + 3.6$ بین حجم آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب برازش داده شد (شکل ۷). برای یافتن تیمار بهینه، از تابع مذکور مشتق گرفته شد و مساوی صفر قرارداده شد. از حل معادله‌ی به‌دست آمده، مقدار ۴/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب به‌عنوان بهره‌وری بهینه برآورد شد که مربوط به تیمار S_0N_0 بود. نتیجه این‌که برای مقادیر تنش‌های موجود در پژوهش حاضر، تیمار S_0N_0 نسبت به حجم آب مصرفی دارای مناسب‌ترین بهره‌وری در مصرف آب بود. در یک تحقیق سه ساله در چین، اثر چهار سطح شوری آب شامل مقدار (S_0) ۰/۷۱، (S_3) ۳، (S_6) ۶ و (S_9) ۹ گرم در لیتر (نمک در آب آبیاری)، بر روی ذرت بررسی شد. بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای S_0، S_3، S_6 و S_9، به‌ترتیب ۶/۳، ۵/۲، ۴/۷ و ۴ کیلوگرم بر هکتار (در سال ۲۰۱۲)، ۵/۸، ۴/۷، ۴/۱ و ۳/۸ کیلوگرم بر هکتار (در سال ۲۰۱۳) و ۶، ۴/۹، ۴/۲ و ۴ کیلوگرم بر هکتار (در سال ۲۰۱۴)، برآورد شد. از سوی دیگر حجم آب مصرفی منطبق بر تبخیر- تعرق گیاه در تیمارهای S_0، S_3، S_6 و S_9، به‌ترتیب ۶۱۸۳، ۶۱۶۸، ۵۷۳۹ و ۵۳۳۰ مترمکعب بر هکتار (در سال ۲۰۱۲)، ۵۶۴۹، ۵۳۶۶، ۵۳۴۸ و ۵۲۹۳ مترمکعب بر هکتار (در سال ۲۰۱۳) و ۶۰۴۳، ۵۹۱۱، ۵۶۴۷ و ۵۹۳۴ مترمکعب بر هکتار (در سال ۲۰۱۴) بود. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب، بهره‌وری مصرف آب کاهش یافت. همچنین با افزایش شوری، شیب کاهش بهره‌وری مصرف آب نسبت به حجم آب مصرفی افزایش یافت که نشان‌دهنده تشابه این نتایج با نتایج پژوهش حاضر بود (۴).

بهره‌وری مصرف کود نیتروژن

نتایج تجزیه شیمیایی خاک قبل از کشت ذرت نشان داد درصد نیتروژن کل موجود در لایه ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، به‌ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۱ درصد بود. از طریق رابطه (۶)، وزن نیتروژن موجود در یک هکتار خاک مزرعه محاسبه شد. سپس با جمع‌کردن مقدار کود نیتروژن مصرفی و نیتروژن موجود در خاک، از طریق رابطه (۵) بهره‌وری زراعی مصرف کود نیتروژن محاسبه شد. نتایج نشان داد کمبود نیتروژن خاک و افزایش شوری آب، باعث کاهش بهره‌وری زراعی مصرف نیتروژن شد. در سال ۱۳۹۶ بهره‌وری زراعی مصرف نیتروژن با تغییر شوری آب در سطوح N_0، N_1، N_2 و N_3 به‌ترتیب بین ۳/۷۲-۵/۱۱، ۳/۶۵-۵/۰۶، ۳/۴۱-۵ و ۳/۳۴-۴/۹۲ کیلوگرم برکیلوگرم بود و در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب بین ۳/۶۸-۵، ۳/۵-۴/۹۴، ۳/۲۵-۴/۸ و ۳/۰۶-۴/۷۸ کیلوگرم برکیلوگرم محاسبه شد (شکل ۸). همچنین در سال ۱۳۹۶ با تغییر نیتروژن خاک از N_3 تا N_0 در سطح شوری S_0، S_1، S_2 و S_3 بهره‌وری زراعی مصرف نیتروژن به‌ترتیب بین ۴/۹۲-۵/۱۱، ۴/۵۳-۴/۷۳، ۳/۹۲-۴/۲۶ و ۳/۳۴-۳/۷۲ کیلوگرم برکیلوگرم بود و در سال ۱۳۹۷، به‌ترتیب بین ۴/۷۵-۵، ۴/۵-۴/۶۸، ۴/۰۵-۴/۵ و ۳/۰۶-۳/۶۸ کیلوگرم برکیلوگرم محاسبه شد (شکل ۹).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تحقیق ۲ ساله

Table 2- Variance analysis of traits studied in the 2 years research

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares		
		حجم آب مصرفی Water used volume	عملکرد Yield	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication	2	14.82 ns	324.7 ns	1×10^{-4} ns
سال Year	1	84.28 ns	2900 ns	0.0017 ns
شوری Salinity	3	4236032**	9.6×10^{7}**	0.178**
نیتروژن Nitrogen	3	342393**	8.7×10^{6}**	0.035**
شوری × نیتروژن Salinity × Nitrogen	9	20964**	6.4×10^{5}**	0.01**
خطا Error	77	3326	4.1×10^{4}	0.001

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

ns and **: Non-significant and significant at the probability level of one percent, respectively.

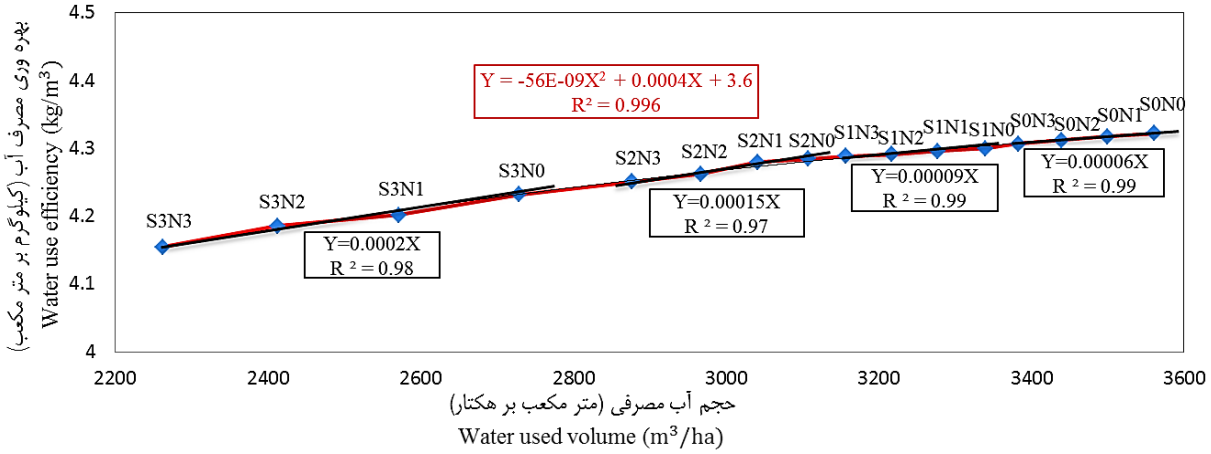
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و کمبود نیتروژن بر صفات مورد بررسی در تحقیق ۲ ساله

Table 3- Average interaction comparison of salinity stress and nitrogen deficiency on traits studied in 2 years research

تیمار Treatment	حجم آب مصرفی (متر مکعب بر هکتار) Water used volume ($m^3.ha^{-1}$)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) Water use efficiency (kg/m^3)
S0N0	3572 a	15373 a	4.322 a
S0N1	3492 b	15024 b	4.317 ab
S0N2	3448 b	14807 bc	4.312 ab
S0N3	3372 c	14589 cd	4.306 ab
S1N0	3351 c	14528 d	4.3 abc
S1N1	3268 d	14265 e	4.296 abc
S1N2	3225 d	14026 f	4.291 abc
S1N3	3148 e	13633 g	4.288 abcd
S2N0	3115 e	13484 g	4.284 abcd
S2N1	3030 f	13050 h	4.28 bcd
S2N2	2979 f	12604 i	4.262 cde
S2N3	2867 g	12103 j	4.251 de
S3N0	2737 h	11592 k	4.232 ef
S3N1	2562 i	10782 l	4.202 fg
S3N2	2422 j	99305 m	4.186 gh
S3N3	2251 k	91160 n	4.154 h

تیمارها با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند.

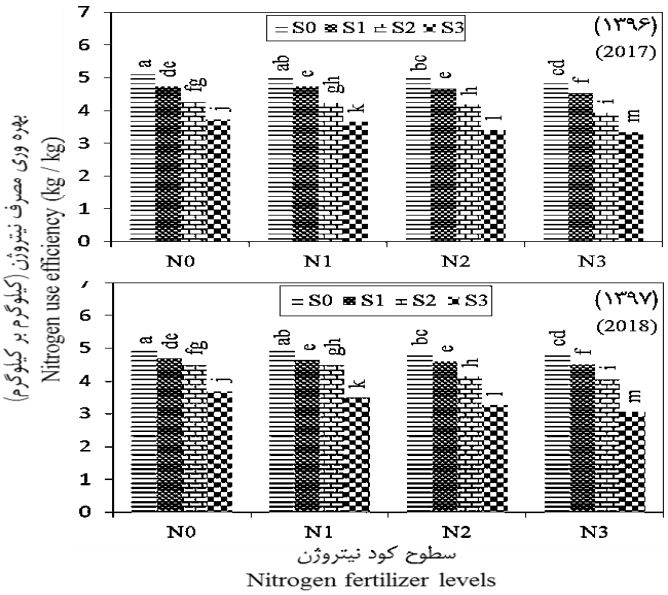
The treatments with common letters have not significantly difference.



شکل ۷- ارتباط بین بهره‌وری مصرف آب و حجم آب مصرفی، در سطوح تنش (میانگین دو سال)

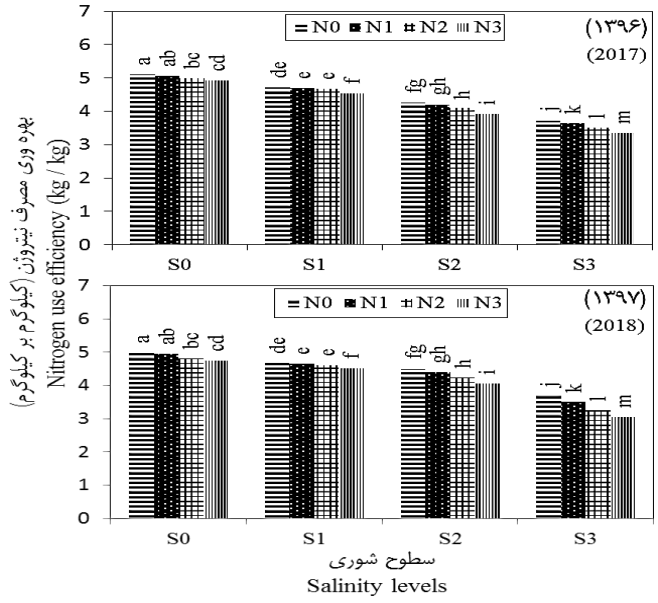
Figure 7- Relationship between water use efficiency and water used volume, in stress levels (average of 2 years)

نتایج حاصل نشان‌دهنده تأثیر مخرب تنش شوری بر جذب عنصر غذایی نیتروژن از خاک بود. به‌طوری‌که یون‌های تشکیل دهنده شوری، موجب اختلال در جذب عنصر نیتروژن توسط گیاه از خاک شدند. از سوی دیگر کاهش یافتن نیتروژن خاک در شرایط تنش شوری نیز، باعث کاهش بهره‌وری مصرف کود نیتروژن شد. دلیل آن غلبه یون‌های مضر در آب شور نسبت به عنصر نیتروژن موجود در خاک بود. یعنی عناصر موجود در آب شور که باعث ایجاد تنش شوری می‌شدند، نسبت به مقدار کم عنصر نیتروژن موجود در خاک غلبه یافتند. از این‌رو جذب نیتروژن توسط گیاه کاهش یافت و به‌دنبال آن از تولید ماده گیاهی کاسته شد. در تأیید یافته‌های فوق گزارش شد که در آبیاری ذرت با شوری ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، بهره‌وری مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب ۷، ۱۵ و ۳۰ درصد کاهش یافت (۱۰). 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 نیتروژن از خاک به گیاه شد (۱). تحقیق دیگری نیز با هدف بررسی اثر متقابل سه تیمار شوری آب شامل مقادیر ۰/۳۵، ۴/۶۱ و ۸/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر و چهار تیمار مصرف نیتروژن شامل مقادیر ۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ کیلوگرم بر هکتار، بر روی عملکرد محصول پنبه انجام شد. نتایج نشان داد بهره‌وری مصرف نیتروژن در آب آبیاری با شوری ۸/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین کاهش را به‌همراه داشت (۱۱).



شکل ۸- تأثیر تنش شوری بر بهره‌وری مصرف نیتروژن، در سطوح مختلف کود نیتروژن

Figure 8- Effect of salinity stress on nitrogen use efficiency, at different levels of nitrogen fertilizer



شکل ۹- تأثیر کمبود نیتروژن بر بهره‌وری مصرف نیتروژن، در سطوح مختلف شوری

Figure 9- Effect of nitrogen deficiency on nitrogen use efficiency, at different levels of salinity

نتایج ارائه شده در جدول ۴ نشان داد بین داده‌های دو ساله‌ی مربوط به بهره‌وری مصرف کود نیتروژن، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از سوی دیگر تأثیر تیمارهای شوری و کمبود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر بهره‌وری مصرف نیتروژن، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین دو ساله‌ی اثر تیمارها بر صفات نشان داد که در برخی تیمارهای نزدیک به‌هم، مقادیر صفات مورد بررسی در یک رده‌ی آماری قرار گرفت (جدول ۵). بررسی میانگین نتایج دو ساله در شکل ۱۰ نشان داد شیب کاهش بهره‌وری کود نیتروژن با افزایش شوری و کمبود نیتروژن خاک، افزایش یافت. شیب مذکور در سطوح شوری S_1، S_2 و S_3 نسبت به سطح S_0، به‌ترتیب ۱/۴، ۳ و ۳/۸ برابر رشد یافت. در سطوح شوری S_0، S_1، S_2 و S_3، مصرف کامل کود نیتروژن نسبت به کمترین سطح آن (N_3)، باعث افزایش بهره‌وری کود نیتروژن به‌ترتیب به مقدار ۲/۵، ۴/۱، ۹/۷ و ۱۵/۷ درصد شد. نتایج نشان داد در صورت وجود تنش شوری اگر

امکان اصلاح شرایط وجود نداشته باشد، می‌توان با مدیریت مصرف کود نیتروژن بهره‌وری مصرف کود نیتروژن را افزایش داد. در این پژوهش ارتباط بین بهره‌وری مصرف آب و نیتروژن تحت تنش‌های مذکور بررسی شد. میانگین بهره‌وری مصرف کود نیتروژن و مصرف آب به‌ترتیب ۴/۳۱ کیلوگرم بر کیلوگرم و ۴/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد و با دو خط عمود برهم در شکل ۱۱ نمایش داده شد. تیمارهایی که در سمت راست و بالای این دو خط قرار داشتند در وضع بهینه و تیمارهایی که در سمت پایین و چپ این دو خط بودند، وضعیت نامطلوبی از نظر مقادیر بهره‌وری داشتند. از این‌رو تیمارهای S_0N_0، S_0N_1، S_0N_2، S_0N_3، S_1N_0، S_1N_1، S_1N_2، S_1N_3 و S_2N_0 دارای بهره‌وری مطلوب و تیمارهای S_2N_2، S_2N_3، S_3N_0، S_3N_1، S_3N_2 و S_3N_3 دارای بهره‌وری نامطلوب مصرف آب و نیتروژن بودند. تیمار S_2N_1 نیز صرفاً دارای بهره‌وری مناسب آب بود. برای یافتن تیمار بهینه، یک تابع درجه دوم با ضابطه $Y = -0.025X^2 + 0.252X + 3.68$ بین همه‌ی تیمارها برازش داده شد. سپس از تابع مذکور مشتق گرفته شد و مساوی صفر قرارداده شد. از حل معادله‌ی به‌دست آمده، مقادیر ۴/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب و ۵/۰۵ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌ترتیب به‌عنوان بهره‌وری بهینه مصرف آب و نیتروژن محاسبه شد که مربوط به تیمار S_0N_0 بود. در شکل ۱۱ با افزایش تنش شوری، شیب مربوط به خطوط برازش داده شده بین نقاط افزایش یافت. با توجه به محورهای نمودار که از بهره‌وری مصرف آب و نیتروژن تشکیل شده بود، شیب مذکور نشان‌دهنده مقدار نیتروژن خاک به‌ازای حجم آب مصرفی بود. تحلیل نمودارها نشان داد در سطوح بالای تنش شوری، مقدار نیتروژن خاک نسبت به حجم آب مصرفی بیشتر بود. نتیجه حاصل این‌که با عنایت به تحقیقات گذشته، درصورت وجود شوری در خاک، کود نیتروژنی که بیشتر از نیاز گیاه در خاک وجود داشته باشد، به‌صورت یون نیترات در خاک باقی خواهد ماند (۱۰). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سطوح بالای شوری در این پژوهش، مقدار کمتری از کود نیتروژن مصروف تولید ماده‌ی گیاهی شد و بیشتر در خاک تجمع یافت.

نتیجه‌گیری

امروزه بحران کمّیت و کیفیت منابع آبی در بخش کشاورزی، مانعی برای برطرف نمودن نیازهای غذایی بشر به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر مدیریت صحیح در تعیین آب مورد نیاز گیاهان و تأمین عناصر غذایی خاک بر اساس شرایط منطقه، موجب افزایش بهره‌وری آب و نهاده‌های کشاورزی می‌گردد. بنابراین پژوهشی تحت تنش‌های افزایش شوری آب آبیاری و کمبود نیتروژن خاک (به‌عنوان تنش‌های محیطی)، بر روی ذرت انجام شد. تنش‌های مذکور به‌دلیل کاهش پتانسیل آب خاک و انرژی گیاه برای جذب آب، باعث افزایش مقاومت روزنه، کاهش تبخیر- تعرق گیاه و جذب آب خاک و کاهش عملکرد محصول شد. نتایج نشان داد درصورت عدم توجه به تأثیر تنش‌ها بر کاهش تبخیر- تعرق گیاه، بهره‌وری مصرف آب کاهش یافت.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تحقیق ۲ ساله

Table 4- Variance analysis of traits studied in the 2 years research

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares
		بهره‌وری مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency
تکرار Replication	2	1×10^{-4} ns
سال Year	1	0.0008 ns
شوری Salinity	3	9.873**
نیتروژن Nitrogen	3	0.53**
شوری × نیتروژن Salinity × Nitrogen	9	0.026**
خطا Error	77	0.009

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

ns and **: Non-significant and significant at the probability level of one percent, respectively.

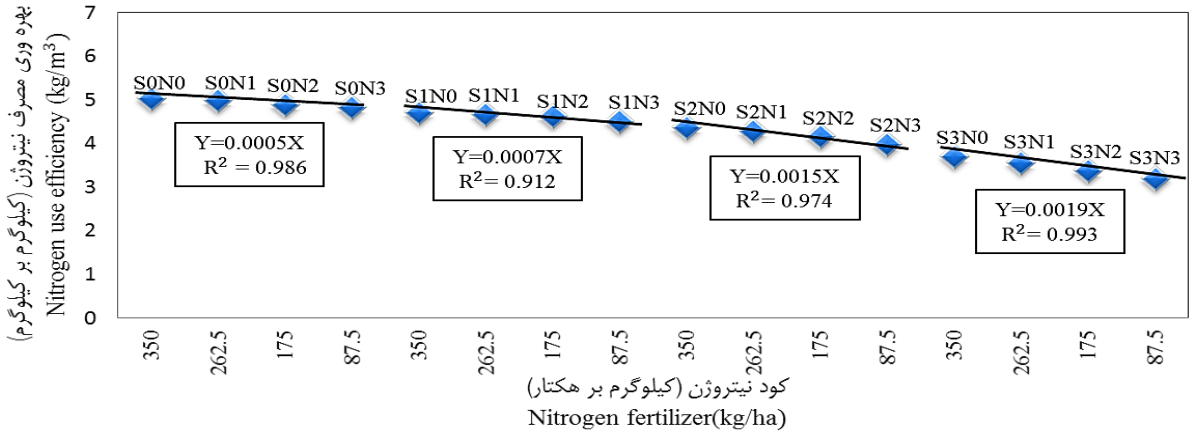
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و کمبود نیتروژن بر صفات مورد بررسی در تحقیق ۲ ساله

Table 5- Average interaction comparison of salinity stress and nitrogen deficiency on traits studied in 2 years research

تیمار Treatment	بهره‌وری مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) Nitrogen use efficiency (kg/kg)
S0N0	5.072 a
S0N1	4.985 ab
S0N2	4.917 bc
S0N3	4.82 cd
S1N0	4.72 de
S1N1	4.655 e
S1N2	4.652 e
S1N3	4.501 f
S2N0	4.392 fg
S2N1	4.283 gh
S2N2	4.19 h
S2N3	3.977 i
S3N0	3.716 j
S3N1	3.558 k
S3N2	3.397 l
S3N3	3.192 m

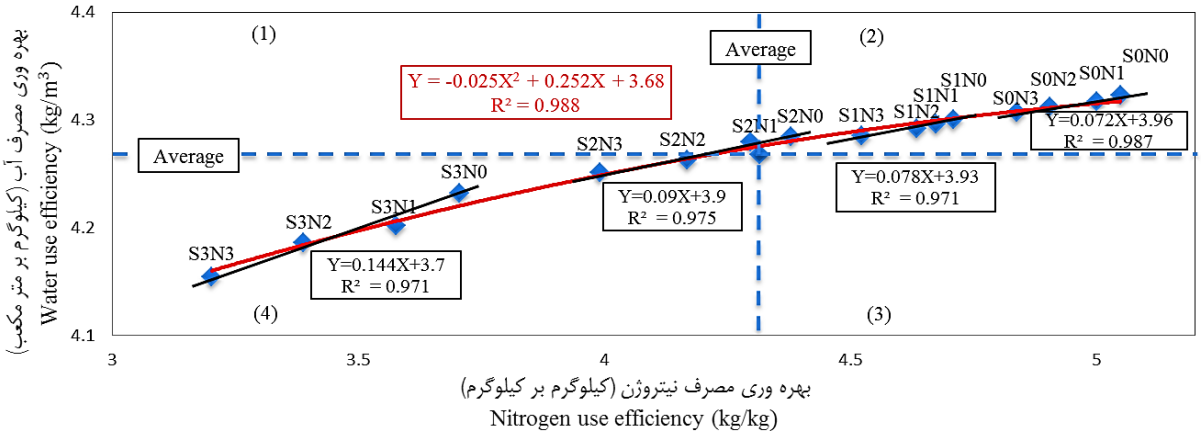
تیمارها با حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند.

The treatments with common letters have not significantly difference.



شکل ۱۰- ارتباط بین بهره‌وری مصرف نیتروژن و کود مصرفی، در سطوح تنش (میانگین دو سال)

Figure 10- Relationship between nitrogen use efficiency and fertilizer used, in stress levels (average of 2 years)



شکل ۱۱- ارتباط بین بهره‌وری مصرف آب و نیتروژن، در سطوح تنش (میانگین دو سال)

Figure 11- Relationship between water and nitrogen use efficiency, in stress levels (average of 2 years)

به‌طوری که مقدار آن در تیمارهای مختلف (S_0N_0 تا S_3N_3)، از ۴/۴ تا ۲/۷۴ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۶) و ۴/۳۵ تا ۲/۵۷ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۷) متغیر بود. اما با مدیریت صحیح آبیاری و تعیین دقیق آب مورد نیاز گیاهان، بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای تحت تنش افزایش یافت و به تیمار شاهد (استاندارد منطقه) نزدیک شد. به‌طوری که مقدار آن در تیمارهای مختلف، از ۴/۲ تا ۴/۴ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۶) و ۴/۱۵ تا ۴/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب (در سال ۱۳۹۷) برآورد شد. دلیل افزایش بهره‌وری مصرف آب، مدیریت حجم آب مصرفی منطبق بر تبخیر- تعرق واقعی گیاه در تیمارهای تحت تنش و جلوگیری از آبیاری گیاه در حد پتانسیل منطقه بود. از سوی دیگر، کمبود نیتروژن خاک و افزایش شوری آب باعث کاهش بهره‌وری زراعی مصرف کود نیتروژن شد. در تیمارهای مختلف تحت تنش، بهره‌وری مصرف نیتروژن از ۳/۳۴ تا ۵/۱۱ کیلوگرم بر کیلوگرم (سال ۱۳۹۶) و از ۳/۰۶ تا ۵ کیلوگرم بر کیلوگرم (سال ۱۳۹۷) بود. دلیل آن تأثیر منفی تنش شوری بر جذب عنصر غذایی نیتروژن توسط گیاه از خاک بود. به‌طوری‌که یون‌های سدیم و کلر در آب شور، موجب اختلال در جذب و انتقال نیتروژن و کاهش تولید ماده گیاهی شد. اما مصرف کامل کود نیتروژن نسبت به کمترین سطح آن (N_3) در سطوح شوری S_0، S_1، S_2 و S_3، باعث افزایش بهره‌وری کود نیتروژن به‌ترتیب به مقدار ۲/۵، ۴/۱، ۹/۷ و ۱۵/۷ درصد شد. در میان کل تیمارها، تیمار S_0N_0 دارای مقدار بهینه در بهره‌وری مصرف آب و نیترون بود. نتیجه کلی این بود که در شرایط تنش شوری، حجم آب مصرفی در مزرعه باید مطابق با نیاز واقعی گیاه تنظیم شده و از مصرف زیادتر آن جلوگیری به‌عمل آورد. همچنین با مصرف کامل و به‌اندازه کود نیتروژن در شرایط مذکور، امکان افزایش بهره‌وری مصرف آب و کود نیتروژن فراهم شد. لذا افزایش نیتروژن خاک به‌جای آبیاری بیشتر، راه‌کار مناسب‌تری برای افزایش عملکرد محصول بود.

منابع

1- Akhtari A., Homaee M., and Hoseini Y. 2014. Modeling plant response to salinity and soil nitrogen deficiency. Journal of Water and Soil Resources Protection 3(4): 33-50. (In Persian with English abstract)
2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation Drainage Paper No.56: 1-326.
3- 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.
4- Chengfu Y., Shaoyuan F., Juan W., Zailin H., and Quanyi J. 2018. Effects of irrigation water salinity on soil salt content distribution, soil physical properties and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. Journal of Agriculture & Biology Engineering 11(3): 137-145.
5- Doorenbos J., and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, Food and agriculture organization (FAO) of the United Nations, Irrigation and drainage paper No. 24. Rome, Italy.
6- 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 Scinences 2(3): 238-247.
7- Farooq M., Hussain M., Wakeel A., and Kadambot H.M. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) 35: 461-481.
8- Heidarinia M., Naseri A.A., Boroomandnasab 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 Persian with English abstract)
9- Katerji N., Hoom J.W., Hamdy A., and Mastrorilli M. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. Journal of Agricultural Water Management 62(1): 37-66.
10- Lacerda C.F., Ferreira J.F.S., Liu X., and Suarez D.L. 2016. Evapotranspiration as a criterion to estimate nitrogen requirement of maize under salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science 202: 192-202.
11- Min W., Hou Z., Ma L., Zhang W., Ru S., and Ye J. 2014. Effects of water salinity and N application rate on water- and N-use efficiency of cotton under drip irrigation. Journal of Arid Land 6(4): 454–467.
12- Mohammadi M., Mohammadighaleney M., and Ebrahimi K. 2011. Time and local variations of groundwater quality in Qazvin plain. Journal of Iranian Water Research 5(8): 41-52. (In Persian)
13- Nemoto Y., and Sasakuma T. 2002. Differential stress responses of early salt stress responding genes in common wheat. Journal of Phytochemistry 61: 129-133.
14- Parvaiz A., and Satyawati S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. Journal of Plant Soil Environment 54: 89-99.
15- Rudnick D. R., Irmak S., Djaman K., and Sharma V. 2017. Impact of irrigation and nitrogen fertilizer rate on soil water trends and maize evapotranspiration during the vegetative and reproductive periods. Journal of Agricultural Water Management 191: 77–84.

16- Salari A., Hooshmand A., and Bahrami M. 2016. Simulation of effects of water stress and nitrogen levels on yield and yield components corn. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 10(1): 73-81. (In Persian with English abstract)
17- Wang Y., Baldur J., Engedal T., and Neergaard A. 2016. Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. Journal of Agricultural Water Management AGWAT 4520: 1-21.
18- Xin H., Peiling Y., Shumei R., Yankai L., Guangyu J., and Lianhao L. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. Journal of Agriculture & Biology Engineering 9(2): 63-73.
19- 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.
20- Zwart S., and Bastiaanssen G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Journal of Agricultural Water Management 69(2): 115-133.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 861-877

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۸۷۷-۸۶۱

Management of Saline Water and Nitrogen Fertilizer in Maize Cultivation

R. Saeidi[1]- H. Ramezani Etedali[2]*- A. Sotoodehnia[3]- B. Nazari[4]- A. Kaviani[5]

Received: 30-09-2019
Accepted: 27-04-2020

Introduction: Supplying human and animal nutritional needs requires suitable use of water resources. Due to the decrease of fresh water resources for agriculture, saline water resources cannot be ignored. Increasing water salinity reduces the water absorption by plant, due to decreasing the water potential. On the other hand, soil infertility (such as nitrogen deficiency) decreases the evapotranspiration and crop yield. The present study was to increase the water and nitrogen fertilizer use efficiency of maize, under salinity stress condition. This was done by managing the consumption of saline water and nitrogen fertilizer. In this research, irrigation requirement was determined proportional to the plant evapotranspiration to avoid excessive saline water use.

Materials and Methods: In this research, two treatments of water salinity and nitrogen deficiency in four levels and three replications were implemented as a factorial experiment in a randomized complete block design. The studied plant was maize (S. C. 704 cultivar) sown in plots with dimensions of 3 × 3 meters and 1.5 meters distance. In this research, fertility stress was in the form of nitrogen fertilizer consumption and at four levels. Treatments of N_0 ،N_1 ،N_2 and N_3 consisted of consumption of 100, 75, 50 and 25% of nitrogen fertilizer, respectively. Salinity stress has been applied by irrigation of the plant with saline water. Water salinity treatments were selected based on the yield potential of maize, at four levels of 100, 90, 75 and 50%. According to the above four performance levels, treatments of S_0 ،S_1 ،S_2 and S_3 included irrigation water with electric conductivity of 0.5, 1.2, 3.5 and 7.5 (dS/m), respectively. The soil moisture content was measured at the depth of root development during the interval between two irrigations. Daily maize evapotranspiration was measured by the volumetric balance of water at the depth of root development. The stomata resistance of maize leaf was measured by the AP4 porometer device between two irrigations interval. Variance analysis and mean comparison of data were done by SPSS software and Duncan's multiple range test, respectively.

Results and Discussion:

Water use efficiency

In this research, the evapotranspiration and dry matter yield of maize decreased under salinity stress and nitrogen deficiency treatments. This seems to be caused by the water potential decrease (due to salinity stress) and the nitrogen deficit in the soil. Under these conditions, optimum use of water and fertilizer increased water use efficiency. At first without water and fertilizer management, water use efficiency in different treatments (S_0N_0 to S_3N_3), ranged from 2.74 to 4.4 kg/m^3 (in 2017) and from 2.57 to 4.35 kg/m^3 (in 2018). With suitable management of irrigation, water use efficiency, however, increased in stress treatments and approached to optimum treatment. The range of water use efficiency was from 4.2 to 4.4 kg/m^3 (in 2017) and from 4.15 to 4.32 kg/m^3 (in 2018). The reason for this was the management of irrigation volume based on actual evapotranspiration in stress treatments. On the other hand, increasing soil nitrogen was an appropriate strategy to increase water use efficiency. But in high salinity stress, despite the optimum use of water and fertilizer, it was not possible to achieve optimal water use efficiency. This is explainable by the harmful effect of salinity on the reduction of nutrient uptake (especially nitrogen) by the plant.

Nitrogen use efficiency

Soil nitrogen deficiency and increasing water salinity reduced nitrogen use efficiency. In different stress treatments, nitrogen use efficiency ranged from 3.34 to 5.11 kg/kg (in 2017) and from 3.06 to 5 kg/kg (in 2018). The results showed the destructive effect of salinity on nitrogen uptake by the plant. Under these conditions, the ions in the soil (especially the sodium and calcium) caused the plant to be unable to absorb nitrogen from the soil. Therefore, the production of plant matter was reduced. The results showed that proper management of nitrogen can increase nitrogen use efficiency under salinity stress. At high salinity levels, the nitrogen fertilizer was not, however, absorbed by the plant and accumulated in the soil.

Conclusion: The results showed that water use management could increase the water use efficiency under

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D. of Irrigation and Drainage Engineering, Associate Professors and Assistant Professors Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.82917

stress treatments, by controlling evapotranspiration. On the other hand, soil fertility increased nitrogen fertilizer use efficiency under salinity stress. Among all treatments, S_0N_0 had optimum water and nitrogen use efficiency. Overall, the volume of water used in the field should be adjusted to the actual requirement of the plant to prevent excessive consumption under salinity stress. In addition, increasing soil nitrogen, rather than more irrigation water, appears to be a suitable strategy to increase crop yield.

Keywords: Evapotranspiration, Nitrogen deficiency, Salinity stress, Yield