

## اثر شوری آب و کمبود ازت خاک، بر ضریب $K_s$ و مقدار آب سهل الوصول ذرت

رضا سعیدی<sup>۱</sup> - عباس ستوده‌نیا<sup>۲\*</sup> - هادی رضمانی‌اعتدالی<sup>۳</sup> - بیژن نظری<sup>۴</sup> - عباس کاویانی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

### چکیده

برای مطالعه تأثیر شوری آب و کمبود ازت خاک (تنش حاصلخیزی)، بر مقدار ضریب  $K_s$  و آب سهل الوصول (RAW) ذرت، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سال ۱۳۹۶ و در قزوین انجام شد. تیمارهای هدایت الکتریکی آب شامل چهار مقدار  $(S_0)$  ۰،۵،  $(S_1)$  ۲/۱،  $(S_2)$  ۳/۵ و  $(S_3)$  ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر و تیمارهای ازت خاک در چهار سطح  $(N_0)$  ۱۰۰،  $(N_1)$  ۷۵،  $(N_2)$  ۵۰ و  $(N_3)$  ۲۵ درصد مصرف کود ازت، در سه تکرار و در کرت‌هایی به مساحت ۹ متر مربع به اجرا درآمد. هم‌زمان با افزایش مقاومت روزنه‌ها در اثر تنش‌های محیطی وارده بر گیاه، آبیاری کرت‌ها انجام شد. ضریب RAW با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از آبیاری و ضریب  $K_s$ ، از تقسیم مقدار تبخیر و تعرق گیاه تحت تنش بر گیاه شاهد، محاسبه شد. تغییرات ضریب  $K_s$  از تیمار  $S_0N_0$  تا  $S_3N_3$  ۱ تا ۰/۶۳ بود. برای برآورد ضریب  $K_s$  از روی مقادیر تنش‌های شوری و ازت، توابع مختلف بین ضریب  $K_s$  و نسبت‌های  $\frac{S_i}{S_0}$  و  $\frac{N_i}{N_0}$  برازش داده شد. در نهایت تابع درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۸۴ به عنوان تابع بهینه تخمین  $K_s$  انتخاب شد. با تغییر حاصلخیزی از  $N_0$  به  $N_3$  در تیمارهای  $S_0, S_1, S_2$  و  $S_3$  مقدار RAW به ترتیب: ۶۳/۷، ۵۸/۷، ۵۵/۴ و ۴۲ درصد و با تغییر شوری آب از  $S_0$  به  $S_3$  در تیمارهای  $N_0, N_1, N_2$  و  $N_3$  مقدار RAW به ترتیب: ۵۱/۷، ۴۶/۳، ۴۲/۷ و ۴۲ درصد برآورد شد. نتایج نشان داد که تنش شوری آب و کمبود ازت خاک، بر افزایش مقاومت روزنه، کاهش تبخیر و تعرق گیاه و حفظ محتوای آب خاک مؤثر بود. پس در شرایط وجود تنش‌های محیطی، می‌توان با کاهش حجم آب آبیاری، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز گیاه، از هدررفت آب جلوگیری به‌عمل آورد.

واژه‌های کلیدی: ازت، تبخیر و تعرق، ذرت، رطوبت قابل جذب، شوری آب

### مقدمه

عنوان تنش‌های شوری و حاصلخیزی، بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه مؤثرند. تنش شوری، جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن را در ذرت کاهش داده و باعث افزایش مقاومت روزنه‌ها می‌شود (۹). در تحقیقی روی گیاهان حساس به شوری، گزارش شد که افزایش تنش شوری، باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها شد. در این شرایط و با افزایش مقاومت روزنه گیاه، تعرق گیاه کاهش یافت (۱۹). با فرض اینکه افزایش شوری خاک باعث کاهش تبخیر و تعرق ذرت می‌شود، آزمایشی برای تعیین مقدار ازت مورد نیاز خاک، در چهار سطح شوری آب و چهار مقدار کود نیتروژن انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری باعث بسته شدن روزنه‌ها و تجمع  $NO_3^-$  در خاک شد. بنابراین با کاهش تبخیر و تعرق در اثر شوری آب، نیاز به ازت هم کاهش یافت (۱۴). به منظور تعیین ضریب  $K_s$  گندم در شرایط تنش آبی، آزمایشی در سطوح مختلف آبیاری شامل: ۰ (دیم)، ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درصد تبخیر و تعرق گندم انجام شد. نتایج نشان داد که در شرایط کم آبیاری فوق، به ترتیب: ۳۳، ۲۱، ۱۳ و ۸ درصد از مقدار تبخیر و تعرق گندم، نسبت به شرایط آبیاری کامل کاسته شد (۷). آزمایشی دیگر، برای تعیین اثر کود نیتروژن بر تبخیر و تعرق ذرت، تحت سه رژیم

برآورد تبخیر و تعرق واقعی محصولات زراعی، برای تعیین نیاز آبیاری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طور معمول عوامل اقلیمی، گیاهی و شرایط مدیریتی منطقه مورد کشت، بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه مؤثر بوده و آن را نسبت به مقدار پتانسیل (در شرایط استاندارد)، متمایز می‌کند. در صورت مساعد نبودن شرایط فوق برای تبخیر و تعرق، گیاه با تنش مواجه شده و از عملکرد محصول کاسته می‌شود. برآورد صحیح مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه، برنامه‌ریزان کشاورزی را قادر خواهد ساخت تا با مشخص کردن نیاز آبی و مقدار بارندگی مؤثر، برنامه‌ریزی‌های لازم را برای تأمین آب مورد نیاز گیاه، انجام دهند (۱۶). برخی از عوامل نامساعد محیطی و مدیریتی در کشت محصولات، مانند شوری آب آبیاری و کمبود ازت خاک، به

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ - به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشیار و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (۵)

\* نویسنده مسئول: (Email: absotoodehniako@yahoo.com)

ضریب  $K_s$  به عنوان ضریب کاهش تبخیر و تعرق گیاه، می‌توان تبخیر و تعرق واقعی گیاه را برآورد نموده و از مصرف بی‌مورد آب خودداری کرد. همچنین در فاصله بین دو آبیاری، با اندازه‌گیری مقاومت روزنه گیاه و شناسایی زمان افزایش مقاومت روزنه‌ها و بسته شدن آن‌ها، می‌توان محدوده دسترسی گیاه به رطوبت سهل الوصول داخل خاک را شناسایی نمود. با این کار و در شرایط تنش‌های مذکور، از نظر محاسبه حجم و دور آبیاری، تفاوت‌هایی نسبت به شرایط استاندارد وجود داشته که در راستای برنامه‌ریزی مناسب آبیاری به کار خواهد رفت. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر شوری آب و کمبود ازت خاک، بر مقدار ضریب  $K_s$  و حد تخلیه سهل الوصول آب توسط ذرت می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، در موقعیت عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 19' 36''$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ} 07' 50''$  شرقی و ارتفاع  $1382$  متر از سطح دریا انجام شد. آب موجود برای آبیاری، آب چاه با هدایت الکتریکی  $\frac{ds}{m} 0.5$  و اسیدیتته  $7/2$  بود. قبل از اجرای طرح، با نمونه برداری از اعماق  $0-30$  و  $30-60$  سانتی‌متری در  $5$  نقطه از خاک مزرعه، آنالیز شیمیایی خاک به شرح جدول ۱ انجام شد. با توجه به جدول (۱) مصرف انواع کودهای؛ اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، گوگرد و کود دامی به ترتیب به مقدار  $350$ ،  $200$ ،  $200$ ،  $200$  و  $15000$  کیلوگرم در هکتار، برای کشت ذرت علوفه‌ای، توسط آزمایشگاه خاک توصیه شده و غیر از اوره (ازت)، بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه شد.

کمبود مقدار ازت خاک (تنش حاصلخیزی) و شوری بیش از حد تحمل آب آبیاری (تنش شوری)، از عوامل مؤثر بر کاهش تبخیر و تعرق و عملکرد گیاهان به شمار می‌روند. در این تحقیق، دو تیمار شوری آب و کمبود ازت خاک در چهار سطح و سه تکرار، به همراه یک کرت شاهد، به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. گیاه مورد مطالعه، ذرت با رقم سینگل کراس  $704$  بوده و روش کاشت آن، به صورت جوی و پشته در کرت‌هایی با ابعاد  $3 \times 3$  متر و با فاصله  $1/5$  متر از هم، انتخاب شد. در تحقیقات گذشته ابعاد کرت‌ها؛  $3 \times 3$  متر و  $3 \times 5$  متر گزارش شد (۱ و ۱۲). همچنین در تحقیقات دیگر، تراکم ذرت علوفه‌ای بین  $75000$  تا  $95000$  در هکتار انتخاب شد. به عنوان مثال؛ تراکم  $80000$  بوته و تراکم  $87-70$  هزار بوته در هکتار، بهترین گزینه برای رقم سینگل کراس  $704$  گزارش شد (۱۸ و ۱۲). بنابراین در این تحقیق، تراکم بذر  $80000$  بوته در هکتار، فاصله پشته‌ها  $75$  سانتیمتر و فاصله بین بذور،  $16/67$  سانتیمتر در طول پشته بود.

آبیاری؛ کامل، محدود ( $75\%$  آبیاری کامل) و دیم انجام شد. تیمارهای نیتروژن شامل مصرف کود ازت به مقدار؛  $0$ ،  $84$ ،  $140$ ،  $196$  و  $252$  کیلوگرم بر هکتار بود. نتایج نشان داد که شرایط دیم و آبیاری محدود، نسبت به آبیاری کامل و مصرف کم‌تر ازت نسبت به مصرف کامل آن، بر کاهش ضریب  $K_s$  تأثیر معنی‌داری داشت (۲۰). تحقیقی در دو سال زراعی  $2009$  و  $2010$  و در کشت ذرت، در سه سطح آبیاری؛  $(I_1)$  کامل،  $(I_2)$   $75$  و  $(I_3)$   $50$  درصد نیاز آبی، سه تیمار شوری آب شامل؛ هدایت الکتریکی  $(S_1)$   $0.6$ ،  $(S_2)$   $2$  و  $(S_3)$   $4$  دسی‌زیمنس بر متر و سه تیمار مصرف ازت شامل؛  $(N_1)$   $0$ ،  $(N_2)$   $150$  و  $(N_3)$   $300$  کیلوگرم بر هکتار، انجام شد. نتایج نشان داد با تغییر مقدار آبیاری از  $I_1$  به  $I_3$ ،  $43$  درصد از مقدار تعرق ذرت کاسته شد. همچنین با افزایش هدایت الکتریکی آب از  $S_1$  به  $S_3$ ،  $12$  درصد از تعرق ذرت کاسته شد (۶). در سال‌های  $2011$  و  $2012$  آزمایشی با سه تیمار شوری آب و چهار تیمار مصرف کود ازت بر روی پنبه انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب و کاهش مصرف ازت، تبخیر و تعرق پنبه کاهش یافته و محتوای آب خاک محفوظ ماند. همچنین مصرف کود ازت، آسیب شوری را کاهش و بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد (۱۵). در نشریه شماره  $56$  آبیاری و زهکشی فائو، گزارش شد که مقاومت روزنه‌های برگ، از ویژگی‌های گیاه بوده که مقدار آن بر پایه گونه‌های گیاهی و مدیریت زراعی متفاوت است. مقاومت روزنه‌ای تحت تأثیر اقلیم و آب قابل استفاده خاک بوده و با محدود شدن دسترسی گیاه به آب خاک، مقاومت افزایش و تعرق کاهش می‌یابد. طبق تعریف در نشریه فائو- $56$ ، هرگاه سرعت جریان به سمت ریشه گیاه برای تأمین آب مورد نیاز تعرق کافی نباشد، آن نقطه رطوبتی خاک، حد آب سهل الوصول (RAW) برای گیاه است. در این زمان، گیاه با افزایش مقاومت روزنه‌ها و بستن جزئی آن‌ها، از شدت تعرق می‌کاهد. علاوه بر دمای هوا، رطوبت محیط و باد، عواملی نظیر شوری آب و کاهش حاصلخیزی خاک، دسترسی ریشه گیاهان به آب خاک را کاهش می‌دهند. در منابع علمی، حد RAW به طور متوسط برای گیاه ذرت  $0.65$  گزارش شد (۳). بر اساس تحقیقاتی در کلرادو آمریکا، مقدار RAW ذرت در مراحل رشد  $4$  برگ،  $16$  برگ، خمیری شدن دانه‌ها و رسیدگی به ترتیب؛  $50$ ،  $60-70$ ،  $50$  و  $60-70$  درصد گزارش شد (۵). در تحقیق دیگر، ضریب RAW به عنوان یک روش برنامه‌ریزی آبیاری معرفی شد که برای هر محصول و دوره رشد آن متفاوت است. RAW، تابعی از پارامترهای هواشناسی و اقلیمی و خصوصاً تنش‌های محیطی در خاک (خشکی، حاصلخیزی، شوری و ...)، تعریف شد (۲۳). تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تنش شوری آب و کمبود ازت خاک (تنش حاصلخیزی) به عنوان تنش‌های محیطی، بر افزایش مقاومت روزنه، کاهش تبخیر و تعرق گیاه و حفظ محتوای آب خاک مؤثر بوده است. در این شرایط، با کاربرد مقدار

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک، قبل از کشت

Table 1- Results of chemical analysis of soil before cultivation

نوع تجزیه Analysis type	نتایج تجزیه خاک در عمق ۶۰-۳۰ (سانتی متر) ۳۰-۰ (سانتی متر)	
	0-30 (Centimeter)	30-60 (Centimeter)
مقدار آب در خاک اشباع (درصد) Watre amount in saturation soil (percentage)	29	42
هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity of soil (dS/m)	0.33	0.33
اسیدیته خاک اشباع Saturated soil acidity	7.4	7.46
کربن آلی (درصد) Organic carbon (percentage)	0.06	0.09
ازت کل (درصد) 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
رس (درصد) Clay (percentage)	10	8
سیلت (درصد) Silt (percentage)	33	24.5
شن (درصد) Sand (percentage)	57	67.5
رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (درصد) Moisture content at field capacity (percentage)	23	22
رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی (درصد) Moisture content at wilting point (percentage)	14	13.5

انتخاب شد (۳). مطابق با چهار سطح عملکرد فوق، تیمارهای  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  به ترتیب شامل: آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۰/۵، ۲/۱، ۳/۵ و ۵/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای تهیه آب شور مورد نیاز برای آبیاری، با توجه به تحقیقات گذشته از نمک صنعتی استفاده شد (۱۰). به این صورت که در حجم یک لیتر آب، مقدار نمک لازم برای رسیدن به EC مدنظر محاسبه شد. سپس بر اساس رابطه به دست آمده، 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 شد. در مجموع و با عنایت به شکل (۱)، تعداد ۱۶ تیمار تنش شوری و حاصلخیزی، در سه تکرار به اجرا درآمد.

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 بذرها کاشته شده و تاریخ جوانه زنی اولیه آن‌ها ۹۶/۴/۱۱ بود. در این طرح، تنش حاصلخیزی در قالب مصرف کود اوره (ازته) و در چهار سطح بود. تیمارهای  $N_0$ ،  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  به ترتیب: مصرف ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد از کود ازت مورد نیاز، بر اساس توصیه کودی بود. 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 (پنج برگی شدن گیاه)، تنش شوری توسط آبیاری گیاه با آب شور و در چهار سطح اعمال شد. حداکثر هدایت الکتریکی مجاز آب آبیاری ( $EG_{iw}$ ) که منجر به کاهش محصول نشود، برای ذرت علوفه‌ای  $1/2 \left(\frac{dS}{m}\right)$  گزارش شد. بنابراین تیمارهای شوری آب بر اساس پتانسیل عملکرد ذرت در چهار سطح ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصد

S <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>3</sub>			
S <sub>2</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	
S <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	
S <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	
S <sub>2</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>0</sub>	S <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	

شکل ۱- شبکه تیمارها

Figure 1- Network of treatments

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

تعیین زمان آبیاری، منوط به رسیدن رطوبت خاک به حد RAW (آب سهل الوصول) بود. اگر آب خاک کمتر از مقدار RAW شود، سرعت جریان به سمت ریشه برای تأمین آب مورد نیاز گیاه، کافی نخواهد بود. در این پژوهش، زمان رسیدن رطوبت خاک به حد RAW با اندازه‌گیری مقدار مقاومت روزنه برگ‌های ذرت توسط دستگاه پرومتر AP4 تعیین شد. در روزهای بعد از آبیاری، با اثرگذاری تنش‌های محیطی بر گیاه، مقدار مقاومت روزنه گیاه نسبت به روزهای اولیه پس از آبیاری، افزایش یافته و روزنه‌ها به‌طور جزئی بسته‌شد. در این زمان رطوبت وزنی خاک اندازه‌گیری شده و از تقسیم آن بر مقدار رطوبت بین دو حد FC و PWP خاک مزرعه، مقدار RAW محاسبه شد. با توجه به تنوع تیمارها، زمان واکنش روزنه‌ها به تنش متفاوت بوده و بعد از مشاهده واکنش، آبیاری کرت‌ها انجام شد. برای این کار، حجم آب ورودی کرت، منطبق 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 کنترلر آب کنترل شد. با توجه به اختلاف ناچیز رطوبت خاک و فاصله‌دار بودن کرت‌ها، امکان تبادل رطوبت بین آن‌ها وجود نداشت. 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 شد.

پس از اعمال تیمارها و در روزهای بین دو آبیاری، رطوبت خاک کرت‌ها در عمق توسعه ریشه‌ها، توسط دستگاه بازتاب زمانی امواج یا TDR<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. این دستگاه از نوع تراپیم (Trime) بوده و قبل از شروع داده‌برداری رطوبت، در خاک مزرعه کالیبره شد. برای افزایش دقت در داده‌برداری، با چرخاندن حسگر دستگاه در سه جهت (با زاویه ۱۲۰ درجه)، اعداد را یادداشت نموده و عدد ثبت شده، متوسط آن اعداد بود. با توجه به این‌که آبیاری با آب شور و شور شدن خاک، امکان تأثیرگذاری بر ثبت داده‌ها را داشت، 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 و تعرق گیاهان شاهد و تحت تنش برآورد شد. در صورتی که تبخیر و تعرق گیاه تحت تنش (ET<sub>c-adj</sub>) کمتر از تبخیر و تعرق گیاه شاهد (ET<sub>c</sub>) بوده باشد، با تقسیم ET<sub>c-adj</sub> بر ET<sub>c</sub>، ضریب تنش K<sub>s</sub> محاسبه شد. مقدار ضریب K<sub>s</sub> در کرت‌های تحت کنترل (شاهد)، برابر با عدد یک و با اعمال تنش، این عدد کوچکتر از یک برآورد شد.

$$(ET_c)_i = (\theta_{i-1} - \theta_i) \cdot \rho b \quad (1)$$

در رابطه (۱)، (ET<sub>c</sub>)<sub>i</sub>: تبخیر و تعرق روزانه گیاه در کرت کنترل (شاهد)، (θ<sub>i-1</sub> - θ<sub>i</sub>): اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت کنترل (شاهد)، ρb: چگالی ظاهری خاک (g/cm<sup>3</sup>) و D<sub>rz</sub>: عمق ریشه گیاه (cm) می‌باشد.

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

در رابطه (۲)، (ET<sub>c-adj</sub>)<sub>i</sub>: تبخیر و تعرق روزانه گیاه در کرت تحت تنش و (θ'<sub>i-1</sub> - θ'<sub>i</sub>): اختلاف رطوبت روزانه خاک در کرت تحت تنش می‌باشد.

**تحلیل آماری طرح**

در این طرح، مقادیر روزانه تبخیر و تعرق ذرت، در همه کرت‌ها اندازه‌گیری شده و ضرایب K<sub>s</sub> از روی آن‌ها محاسبه شد. مقادیر RAW نیز، با اندازه‌گیری رطوبت خاک کرت‌ها قبل از انجام آبیاری برآورد شد. سپس با کمک نرم‌افزار SPSS، موارد اندازه‌گیری شده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

مدل‌سازی ضریب تنش تبخیر و تعرق (K<sub>s</sub>) با استفاده از توابع تولید

با به‌کارگیری داده‌های برداشت شده از طرح، مقدار ضریب K<sub>s</sub> در شرایط وجود مقادیر متفاوتی از تنش‌های شوری آب و کمبود ازت، از طریق رابطه (۳) قابل پیش‌بینی است. در این رابطه، صرفاً تأثیر تنش‌های مذکور در نظر گرفته شده و سایر عوامل مؤثر، ثابت نگه‌داشته شد.

$$K_s = \frac{ET_{c-adj}}{ET_c} = f\left(\frac{N_i}{N_0}, \frac{S_i}{S_0}, A_0\right) \quad (3)$$

در رابطه (۳)، K<sub>s</sub>: ضریب تنش تبخیر و تعرق ذرت، مقدار  $\frac{N_i}{N_0}$ : مقدار کود ازت داده شده به زمین نسبت به حاصلخیزی کامل، مقدار  $\frac{S_i}{S_0}$ :

اهدایت الکتریکی آب آبیاری نسبت به شوری قابل تحمل برای ذرت و  $A_0$ : بردار ثابت سایر عوامل مؤثر بر ضریب  $K_S$  است. در رابطه فوق، متغیرهای مستقل و وابسته بی بعد هستند. برای یافتن توابع قابل برازش بین متغیرهای مستقل و وابسته، از توابع پیشنهاد شده در نرم افزار اکسل استفاده شد. این توابع شامل؛ فرم‌های خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی بوده که به عنوان توابع تولید  $K_S$  - شوری - حاصلخیزی، به ترتیب در روابط (۴) الی (۸) آورده شد. در نرم افزار SPSS، ضرایب توابع تولید، برآورد شده و برای تعیین معنی داری آن‌ها، از آماره F استفاده شد. آماره F نشان دهنده معنی دار بودن کلی تابع می باشد. در تحقیقات گذشته، از رابطه (۳) برای مدل سازی عملکرد گوجه فرنگی، تحت تأثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری در منطقه کرج استفاده شد (۱۷).

افزایش مقدار شوری آب فراتر از آستانه تحمل گیاه، ضریب  $K_S$  کاهش یافته و در سطوح  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  به ترتیب؛  $0/95$  و  $0/88$  و  $0/77$  شد. در شکل ۳ و در شوری قابل تحمل آب آبیاری ( $\frac{dS}{m}$ )، تغییرات ضریب  $K_S$  نسبت به تغییر مقدار کود ازت مصرفی در خاک، مشخص شد. در این حالت، با کاهش مقدار ازت خاک، ضریب  $K_S$  کاهش یافته و در سطوح  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  به ترتیب؛  $0/98$  و  $0/96$  و  $0/95$  شد. با توجه به شیب خط در شکل ۲ و ۳، مشاهده شد که به ازای افزایش یک دسی‌زیمنس بر متر شوری آب و کاهش ۲۵ درصد در مصرف ازت، به ترتیب؛  $4/5$  و  $1/7$  درصد از مقدار  $K_S$  کاسته شد. تحلیل مشابهی نیز در نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو گزارش شد که به ازای افزایش یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک از آستانه ( $\frac{dS}{m}$ )  $1/8$ ،  $7/4$  درصد از عملکرد ذرت علوفه‌ای کاسته شد. بنابراین مشخص شد که هر کدام از تنش‌های شوری و کمبود ازت، به تنهایی بر کاهش تبخیر و تعرق گیاه مؤثر بوده و در این میان، اثر تنش شوری بیشتر بود. برای بررسی اثر توأمان تنش‌های مذکور بر ضریب  $K_S$ ، تجزیه واریانس داده‌ها به روش دانکن طبق جدول ۴ انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر دو تنش مذکور بر مقدار  $K_S$ ، در سطح یک درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۵ بیان می‌کند که افزایش شوری آب و کاهش ازت خاک، باعث کاهش مقدار  $K_S$  شد. در مقادیر مختلف مصرف ازت، میانگین ضریب  $K_S$  در سطح شوری  $S_0$ ،  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$ ، به ترتیب؛  $0/97$ ،  $0/92$ ،  $0/86$  و  $0/68$  شد. دلیل نتایج به دست آمده این است که با افزایش شوری آب، پتانسیل اسمزی آب در خاک کاهش یافته و گیاه برای به دست آوردن آب، باید انرژی بیشتری مصرف کند. به همین خاطر، از مقدار تعرق گیاه کاسته شده و محتوای آب خاک محفوظ می‌ماند. از سوی دیگر، وجود یون‌های  $Na^+$  و  $Cl^-$  به صورت محلول در خاک شور، علاوه بر بروز سمیت در گیاه، باعث اختلال در فرایند جذب آب و عناصر غذایی مانند نیتروژن، از خاک به گیاه می‌شوند (۲). تحقیق مشابهی در سال ۲۰۱۵-۲۰۱۶ در کشت گندم و با تیمارهای شوری آب آبیاری شامل؛  $(S_1)$  ۴،  $(S_2)$  ۶،  $(S_3)$  ۸ و  $(S_4)$  ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و ضریب  $K_S$  به ترتیب؛ ۱، ۱،  $0/93$  و  $0/82$  شد (۱). در تحقیق دیگر، افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۷ دسی‌زیمنس بر متر، سبب کاهش تبخیر و تعرق ذرت دانه‌ای به میزان  $24/8$  درصد گزارش شد. به عبارت دیگر شیب کاهش ضریب  $K_S$  در این تحقیق،  $4/9$  درصد محاسبه شد که به نتایج پژوهش کنونی نزدیک است (۱۱). در تحقیقی اثر افزودن کود ازت بر تبخیر و تعرق ذرت، در کشور ایتالیایی بررسی شد. به ترتیب از شرایط خاک فقیر تا شرایط حاصلخیزی کامل، تعرق ذرت از ۱۴۶ به ۳۵۵ میلی‌متر افزایش یافت. بنابراین مصرف ازت بر افزایش مقدار ضریب  $K_S$  مؤثر بود (۸). در تحقیق

با داشتن داده‌های مشاهده‌ای (Observation) و پیش‌بینی شده (Predict) ضریب  $K_S$  و استفاده از آماره‌های مربوطه شامل؛ حداکثر خطا (ME)، میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، کارایی مدل سازی (EF) و ضریب باقیمانده مدل (CRM)، اعتبار توابع ارزیابی شده و تابع بهینه تعیین می‌گردد. معادلات مربوط به آماره‌های فوق، در روابط (۹) الی (۱۳) آورده شد.

$$K_S = A_0 + A_1 \left(\frac{N_i}{N_0}\right) + A_2 \left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad (4)$$

$$K_S = A_0 \cdot \left(\frac{N_i}{N_0}\right)^{A_1} \cdot \left(\frac{S_i}{S_0}\right)^{A_2} \cdot e^{[A_3 \left(\frac{N_i}{N_0}\right) + A_4 \left(\frac{S_i}{S_0}\right)]} \quad (5)$$

$$K_S = A_0 + A_1 \ln\left(\frac{N_i}{N_0}\right) + A_2 \ln\left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad (6)$$

$$K_S = A_0 + A_1 \left(\frac{N_i}{N_0}\right) + A_2 \left(\frac{N_i}{N_0}\right)^2 + A_3 \left(\frac{S_i}{S_0}\right) + A_4 \left(\frac{S_i}{S_0}\right)^2 + A_5 \left(\frac{N_i}{N_0}\right) \cdot \left(\frac{S_i}{S_0}\right) \quad (7)$$

$$K_S = A_0 \left(\frac{N_i}{N_0}\right)^{A_1} \cdot \left(\frac{S_i}{S_0}\right)^{A_2} \quad (8)$$

با داشتن داده‌های مشاهده‌ای (Observation) و پیش‌بینی شده (Predict) ضریب  $K_S$  و استفاده از آماره‌های مربوطه شامل؛ حداکثر خطا (ME)، میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، کارایی مدل سازی (EF) و ضریب باقیمانده مدل (CRM)، اعتبار توابع ارزیابی شده و تابع بهینه تعیین می‌گردد. معادلات مربوط به آماره‌های فوق، در روابط (۹) الی (۱۳) آورده شد.

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (9)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{O} \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (13)$$

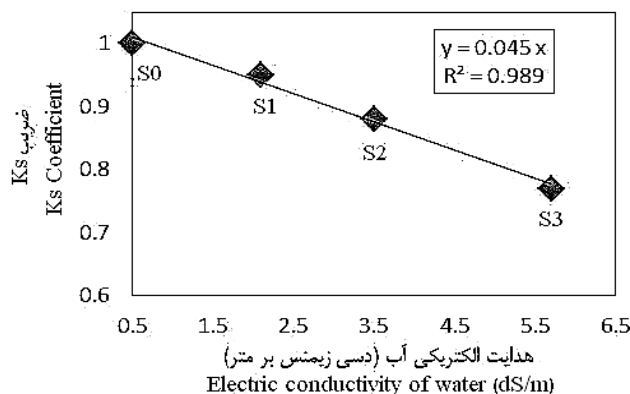
## نتایج و بحث

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

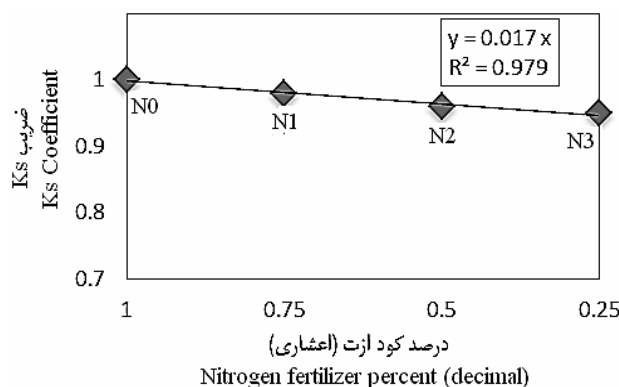
در این تحقیق، پس از اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق ذرت در شرایط تحت کنترل و تنش، اقدام به محاسبه ضریب ( $K_S$ ) شد. با توجه به نوع و مقدار تنش وارده به هر کرت، مقدار  $K_S$  متفاوت بود. در شکل ۲ و در سطح حاصلخیزی ۱۰۰ درصد (کامل)، حساسیت ضریب  $K_S$  نسبت به تغییر هدایت الکتریکی آب مشاهده می‌شود. با

معادلات برآورد نیاز آبی گیاهان به کار می‌رود، در شرایط استاندارد و بدون تنش تعیین شده‌است و اگر از این معادلات در شرایط غیر استاندارد (با وجود تنش) استفاده شود، بی‌تردید بیش از نیاز گیاه، آب مصرف شده‌است. پس در شرایط بحرانی کمبود آب، لزوم این تحقیقات و به‌کارگیری نتایج آن‌ها برای استفاده بهینه و کاهش مصرف آب، بیش از گذشته احساس می‌شود.

دیگر، اثر مصرف کود نیتروژن بر تبخیر و تعرق دو رقم گندم حساس و مقاوم به کم‌آبی در چین مطالعه شد. با افزودن ۲۷۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن، میانگین مجموع تبخیر و تعرق در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۲ برای گندم حساس و مقاوم به کم‌آبی به ترتیب ۲۱/۷ و ۱۸/۷ درصد افزایش یافت (۲۴). با توجه به نتایج تحقیقات گذشته، تنش‌های محیطی (شوری و کمبود ازت) تأثیر به‌سزایی در برآورد نرخ تبخیر و تعرق واقعی گیاه دارند. هم‌اکنون، آن چیزی که به‌عنوان



شکل ۲- تغییرات ضریب  $K_s$ ، نسبت به تغییرات شوری آب در سطح ازت کامل  
Figure 2- Changes in  $K_s$  coefficient, relative to salinity changes at full nitrogen level



شکل ۳- تغییرات ضریب  $K_s$ ، نسبت به تغییرات ازت خاک، در شوری قابل تحمل  
Figure 3- Changes in  $K_s$  coefficient, relative to soil nitrogen changes, in acceptable salinity

درجه دوم و توانی، به‌عنوان مدل‌های رگرسیونی انتخاب شده و با برازش آن‌ها بین داده‌های  $\frac{S_i}{S_0}$  و  $\frac{N_i}{N_0}$ ، قابلیت آن‌ها برای تعیین مقدار ضریب  $K_s$  ارزیابی شد. محدودیت این قبیل مدل‌ها، وابستگی آن‌ها به شرایط خاص مکانی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اما نسبت به سایر روش‌های تئوری و تجربی که بر پایه فرضیات متعددی هستند، ترجیح داده می‌شوند. پس از برازش توابع مذکور در نرم‌افزار SPSS، ضرایب ثابت هر کدام از توابع طبق جدول ۲ برآورد شد. بنابراین با استفاده از توابع تعیین شده، ابتدا مقادیر  $K_s$  تخمین زده شد. سپس مقادیر تخمینی و واقعی  $K_s$  از طریق روابط (۹) الی (۱۳) و

### تابع تولید ضریب $K_s$ - شوری - حاصلخیزی

نتایج حاصل از بررسی ضریب  $K_s$  نشان داد که اثر توأمان افزایش شوری آب (تنش شوری) و کاهش مقدار ازت خاک (تنش حاصلخیزی)، بر کاهش تبخیر و تعرق ذرت مؤثر بود. بنابراین سعی شد که بین تنش‌های مذکور و ضریب تنش تبخیر و تعرق ذرت ( $K_s$ )، رابطه‌ای برازش داده شود. وزن پارامترهای تنش، به‌صورت نسبت‌های  $\frac{S_i}{S_0}$  و  $\frac{N_i}{N_0}$  که هر دو بی‌بعد هستند، تعیین شد. افزایش تنش حاصلخیزی با کاهش نسبت  $\frac{N_i}{N_0}$  و افزایش تنش شوری با افزایش نسبت  $\frac{S_i}{S_0}$  همراه بود. در این تحقیق، توابع خطی، نمایی، لگاریتمی،

و خشکی، برای برآورد عملکرد گوجه‌فرنگی در کرج، تابع درجه دوم به عنوان تابع بهینه معرفی شد (۱۷). در تحقیق دیگر، تابع درجه دوم به عنوان تابع بهینه تولید برای بذر بونجه (۲۲) و تولید گندم (۱۳) گزارش شد. تعیین مقدار ضریب تنش ( $K_s$ )، موجب تشخیص مقدار واقعی تبخیر و تعرق گیاه و برنامه‌ریزی متناسب آبیاری با نیاز آبی گیاه می‌گردد. در تحقیقات گذشته گزارش‌هایی در مورد تأثیر تنش شوری و کمبود ازت بر کاهش نرخ تبخیر و تعرق و ضریب تنش ( $K_s$ ) ذرت، ارائه شد. اما در مورد مدل‌سازی و تعیین کمی این ضریب از روی نسبت بی‌بعد تنش‌های وارده بر گیاه، تحقیقی انجام نشد. پرواضح است تخمین ضریب  $K_s$  از روی وزن تنش‌های محیطی، دستاورد کاربردی برای مصرف بهینه آب و ازت در شرایط تنش‌های مذکور بوده که در نوع خود دارای نوآوری حائز اهمیتی است.

مطابق جدول ۳ مورد مقایسه قرار گرفت. برای اولویت بندی 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 شد. با توجه به جدول ۳، از نظر تمام آماره‌ها به غیر از آماره CRM، تابع درجه دوم به عنوان تابع بهینه، عملکرد خوبی برای تخمین ضریب  $K_s$  داشت. از نظر آماره ME و  $R^2$ ، فرم خطی و از نظر RMSE و EF، فرم نمایی در اولویت بعدی قرار گرفت. فرم لگاریتمی و توانی هم به ترتیب در اولویت چهارم و پنجم انتخاب قرار گرفتند. مقادیر CRM نشان داد که به ترتیب در توابع؛ درجه دوم، خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی، مقادیر  $K_s$  بیشتر از مقدار واقعی برآورد شد. پس تابع درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۸۴ به عنوان تابع بهینه برای تخمین مقدار ضریب  $K_s$  ذرت در قزوین انتخاب شد. به طور مشابه در شرایط توأمان شوری

جدول ۲- ضرایب فرم‌های مختلف توابع تولید کود- شوری- ضریب  $K_s$

Table 2- Coefficients of various forms of production functions in fertilizer-salinity- $K_s$  coefficient

ضرایب	فرم خطی	فرم نمایی	فرم لگاریتمی	فرم درجه دوم	فرم توانی
Coefficients	Linear Form	Exponential form	Logarithmic form	Polynomial form	Power form
$A_0$	0.959	0.895	1.039	0.982	1.038
$A_1$	0.103	-0.038	0.052	-0.061	0.059
$A_2$	- 0.028	0.093	-0.101	0.072	-0.108
$A_3$	-	0.18	-	-0.012	-
$A_4$	-	-0.054	-	-0.002	-
$A_5$	-	-	-	0.013	-
آماره F	**85.8	**2178	**974	**5027	**783
Statistical F					

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

\*\*\*: Indicates the overall significance of the function at a probability level of one percent

جدول ۳- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع تولید

Table 3- Statistical parameters of calculated to evaluate the validity of production functions

نوع تابع	ME (%)	RMSE	$R^2$	EF	CRM
Function type					
خطی	0.048 <sup>(2)</sup> *	3.51 <sup>(3)</sup>	0.959 <sup>(2)</sup>	0.928 <sup>(3)</sup>	$34 \times 10^{-4}$ (4)
نمایی	0.051 <sup>(3)</sup>	2.89 <sup>(2)</sup>	0.946 <sup>(3)</sup>	0.951 <sup>(2)</sup>	$11 \times 10^{-4}$ (3)
لگاریتمی	0.114 <sup>(4)</sup>	6.99 <sup>(4)</sup>	0.718 <sup>(4)</sup>	0.717 <sup>(4)</sup>	$-3.5 \times 10^{-4}$ (2)
درجه دوم	0.033 <sup>(1)</sup>	1.77 <sup>(1)</sup>	0.984 <sup>(1)</sup>	0.982 <sup>(1)</sup>	$60 \times 10^{-4}$ (5)
توانی	0.123 <sup>(5)</sup>	7.38 <sup>(5)</sup>	0.65 <sup>(5)</sup>	0.684 <sup>(5)</sup>	$-3.3 \times 10^{-4}$ (1)

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

\*: The numbers in brackets indicate the priority of choosing a model, based on statistical indices

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در طرح

Table 4- Analysis of variance of the traits studied in the plot

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	
		ضریب $K_s$ $K_s$ Coefficient	حد RAW Limit of RAW
تکرار Replication	2	$3 \times 10^{-6}$ ns	$8.1 \times 10^{-6}$ ns
شوری Salinity	3	** 588	** 0.082
ازت خاک Nitrogen of soil	3	** 0.041	** 0.006
شوری × ازت خاک Salinity × Nitrogen of soil	9	** 0.016	** 0.001
خطا Error	30	$1.2 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-6}$

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

ns and \*\*: Non significant and significant at a probability level of one percent, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری آب و کمبود ازت بر  $K_s$  و RAW

Table 5- Comparison of the average interactions of water salinity and nitrogen deficiency on  $K_s$  and RAW

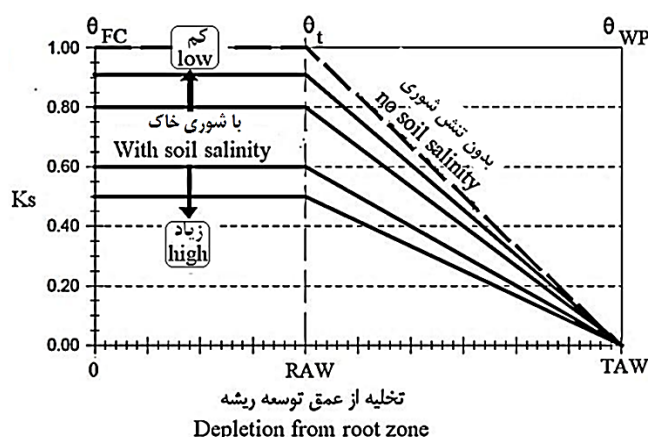
تیمار Treatment	ضریب $K_s$ $K_s$ Coefficient	حد RAW Limitation of RAW
SON0	1 a	0.665 a
SON1	0.98 b	0.646 b
SON2	0.96 c	0.641 c
SON3	0.95 d	0.637 cd
S1N0	0.95 d	0.636 d
S1N1	0.93 e	0.62 e
S1N2	0.9 f	0.6 f
S1N3	0.88 g	0.587 g
S2N0	0.88 g	0.586 g
S2N1	0.87 h	0.582 h
S2N2	0.86 i	0.573 i
S2N3	0.83 j	0.554 j
S3N0	0.77 k	0.517 k
S3N1	0.69 l	0.463 l
S3N2	0.64 m	0.427 m
S3N3	0.63 n	0.42 n

#### رطوبت سهل الوصول (RAW)

وجود نمک‌های محلول در آب خاک باعث کاهش پتانسیل اُسمزی آب قابل جذب برای گیاه می‌شود. میزان جذب آب توسط ریشه گیاه، به انرژی پتانسیل آب خاک و نه مقدار آن، وابسته است. در نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو، گزارش شد که با کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط تنش شوری، با افزایش مقاومت و بسته شدن جزئی روزنه‌ها از شدت تعرق گیاه کاسته می‌شود. از سوی دیگر و در شرایط تنش شوری، گیاه برای بدست آوردن آب باید انرژی بیشتری مصرف کند. پس بخشی از انرژی که گیاه برای رشد و نمو به آن نیاز دارد، صرف به‌دست آوردن آب شده و تبخیر و تعرق و در

نهایت رشد آن کاهش می‌یابد (۲۱). اگر رطوبت خاک بیشتر از مقدار سهل الوصول در شرایط استاندارد باشد، وجود شوری آب و کمبود ازت خاک (تنش‌های محیطی)، با کم کردن پتانسیل آب خاک و انرژی لازم برای جذب آب، می‌تواند بر مقدار آب قابل جذب توسط گیاه مؤثر باشند. با توجه به شکل ۴، تأثیر تنش شوری بر مقدار ضریب  $K_s$  مشاهده می‌شود (۴). تغییرات  $K_s$  در شکل مذکور، صرفاً به‌علت تنش شوری بوده و بقیه شرایط (مانند حاصلخیزی خاک) در حد استاندارد می‌باشد. در این شکل، با کاهش رطوبت از حد RAW و نزدیک شدن به TAW، گیاه با تنش آبی مواجه شده و اثر این تنش نیز بر ضریب  $K_s$  قابل مشاهده است.





شکل ۴- تأثیر تنش شوری بر مقدار ضریب  $K_s$  (فائو-۵۶)

Figure 4- Effect of salinity stress on  $K_s$  coefficient (FAO-56)

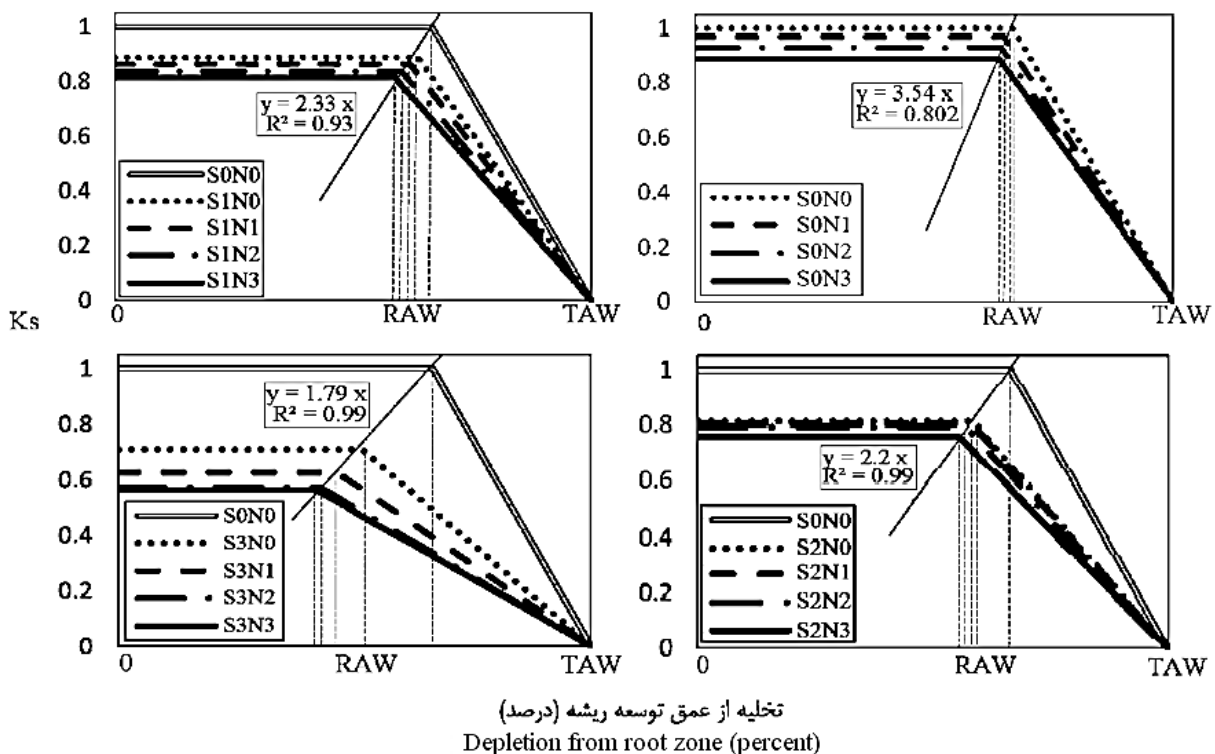
RAW به ترتیب؛  $۶۳/۷$ ،  $۵۸/۷$ ،  $۵۵/۴$  و  $۴۲$  درصد شد. همچنین در تیمارهای  $N_0$ ،  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$ ، با تغییر مقدار شوری آب از  $S_0$  به  $S_3$ ، مقدار RAW به ترتیب؛  $۵۱/۷$ ،  $۴۶/۳$ ،  $۴۲/۷$  و  $۴۲$  درصد اندازه‌گیری شد. با توجه به هدف این تحقیق، فقط تأثیر تنش‌های شوری و کمبود ازت بر حد RAW بررسی شده و ورودی به بحث تنش خشکی نشد. پس به صورت پیش فرض (شکل ۴)، نمودار تیمارها در شکل ۵ و ۶ در حد پژمردگی TAW به یک نقطه ختم شد. بی‌تردید تنش‌های مورد نظر بر حد TAW تأثیرگذار بوده و برای مطالعه بیشتر، می‌توان به بررسی آن پرداخت. در شکل‌های ۵ و ۶، شیب خط حاصل از برازش بین نقاط مربوط به RAW و  $K_s$  مشاهده می‌شود. در تفسیر اعداد شیب‌ها، می‌توان به کاهش مقدار آن‌ها همزمان با افزایش تنش‌های مربوطه اشاره نمود. شیب زیاد، نشان‌دهنده تأثیر پذیری کم RAW از تنش موجود می‌باشد. به دلیل تأثیر بیشتر تنش شوری بر مقدار RAW، تغییر مقدار ازت در شکل ۵ نسبت به تغییر شوری در شکل ۶، دارای شیب بیشتری می‌باشد. در تأیید نتایج فوق، گزارش شد که تبخیر و تعرق گیاه تحت تأثیر ویژگی‌های گیاه، شرایط محیطی و عملیات کشت می‌باشد. علاوه بر نوع گیاه، مراحل رشد، عوامل محیطی و مدیریت زراعی نیز در برآورد تبخیر و تعرق مؤثر بود (۴). پس تنش‌های محیطی با تبخیر و تعرق و مقدار آب قابل جذب توسط گیاه، رابطه مستقیمی دارد. در تحقیق دیگر گزارش شد که رطوبت سهل الوصول، رابطه‌ای بین شاخص‌های گیاهی و شاخص‌های مربوط به خاک است. این روش برای زمانی تعیین شده که محدودیت محیطی، تنش رطوبتی باشد. اما این شرایط همواره برقرار نبوده و محدودیت‌های محیطی دیگری غیر از تنش آبی (مثل شوری آب و ...)، بر مقدار رطوبت سهل الوصول تأثیرگذارند (۲۳). در نشریه شماره ۵۶ فائو، حد RAW به مقدار تبخیر و تعرق گیاه بستگی دارد. در این نشریه مقدار RAW در شرایط استاندارد برای ذرت،  $۰/۵۵$  گزارش

نکته قابل تحقیق در شکل ۴ این است که با وجود افزایش تنش، حد ثابتی برای RAW در نظر گرفته شده است. همان‌طور که گفته شد، در زمان اعمال تنش شوری، انرژی گیاه برای تخلیه رطوبت خاک، با آنچه که در شرایط استاندارد وجود دارد، متفاوت است. در این شرایط، مقدار حاصلخیزی خاک نیز بر توان جذب گیاه، بی‌تأثیر نخواهد بود. با توجه به گزارش‌های نشریه شماره ۵۶ فائو، حد رطوبت سهل الوصول برای کرت‌های شاهد و تحت تنش، با اندازه مقاومت روزه‌های برگ ارتباط دارد. با کم شدن رطوبت خاک از حد FC و رسیدن به RAW، مقاومت روزه افزایش یافته و به طور جزئی روزه‌ها بسته می‌شوند. این تحقیق و در فاصله بین دو آبیاری، در شرایط استاندارد محیط  $(S_0N_0)$  و شرایط تنش شوری آب و کمبود ازت خاک (تنش حاصلخیزی)، مقاومت روزه برگ‌های ذرت با دستگاه پرومتر  $AP_4$  اندازه‌گیری شد. از روزهای ابتدای پس از آبیاری، مقاومت روزه‌ها در کرت‌های تحت تنش و تحت کنترل متفاوت بود و مقدار آن تا روزهایی که گیاه رطوبت را به سهولت دریافت می‌کرد، ثابت بوده و یا تغییرات کمی داشت. اما با کاهش پتانسیل آب خاک، افزایش ناگهانی در مقدار مقاومت روزه‌ها و بسته شدن جزئی آن‌ها مشاهده شد. در این زمان، با اندازه‌گیری رطوبت خاک در محل فعالیت ریشه‌ها، مقدار رطوبت تخلیه شده از هر کرت برآورد شد. سپس از تقسیم مقدار رطوبت تخلیه شده بر مقدار رطوبت بین دو حد FC و TAW، مقدار RAW محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار کاهش آب خاک در کرت‌ها متفاوت بود. در طول دوره رشد، متوسط مقدار RAW برای شرایط استاندارد محیط  $(S_0N_0)$ ،  $۶۶/۵$  درصد بود. اما با توجه به شکل ۵ و ۶ و جدول ۴، افزایش شوری آب و کاهش ازت خاک، علاوه بر ضریب  $K_s$  بر مقدار RAW نیز تأثیر معنی‌داری داشت. با مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۵، مشاهده شد که در تیمارهای  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$ ، با تغییر مقدار ازت از  $N_0$  به  $N_3$ ، مقدار

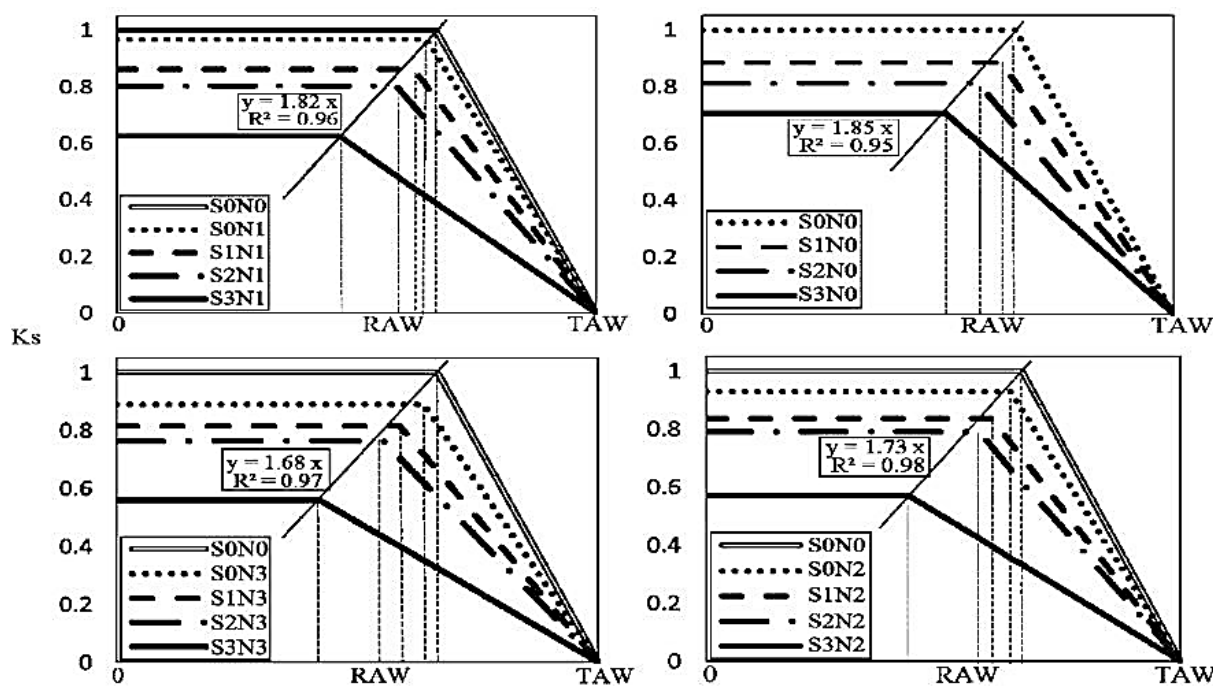
### نتیجه گیری

با توجه به بحران کنونی کمیت و کیفیت منابع آبی در بخش کشاورزی و نیاز روزافزون بشر به تولیدات گیاهی، لزوم استفاده صحیح از نابع و تأمین آب مورد نیاز گیاه، ضروری به نظر می‌رسد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری و کمبود ازت خاک، با کم کردن پتانسیل آب خاک و انرژی گیاه برای جذب آب، باعث افزایش مقاومت روزنه، کاهش تبخیر و تعرق ذرت و کاهش سهولت در دسترسی به آب موجود در خاک شد. تأثیر توأمان دو تنش مذکور بر کاهش مقدار ضریب  $K_s$  و آب سهل الوصول (RAW)، در سطح یک درصد معنی دار شد. میزان تغییرات دو ضریب  $K_s$  و RAW از تیمار  $S_0N_0$  تا  $S_3N_3$  به ترتیب؛ ۱ تا ۰/۶۳ و ۶۶/۵ تا ۴۲ درصد بود. برای تخمین ضریب  $K_s$  از روی مقدار تنش موجود، توابع تولید در فرم‌های؛ خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی، بین نسبت‌های بی‌بعد  $\frac{S_i}{S_0}$  و  $\frac{N_i}{N_0}$  برازش داده شد. نتایج نشان داد تابع درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۸۴ و بعد از آن، توابع خطی و نمایی، عملکرد خوبی برای تخمین ضریب  $K_s$  داشتند. با توجه به دستاورد این تحقیق، با محاسبه ضریب تنش  $K_s$  از روی نسبت تنش‌های وارده به گیاه، می‌توان تبخیر و تعرق واقعی ذرت را نسبت به شرایط پتانسیل منطقه قزوین برآورد نمود.

شد. اما اعلام شد که در اقلیم گرم و خشک به‌علت بالا بودن دما، علی‌رغم مرطوب بودن خاک، بازهم تنش آبی مشاهده می‌شود و مقدار RAW، ۱۰ تا ۲۵ درصد کمتر از مقدار تعیین شده است. افزایش دما به‌عنوان تنش آبی، بر قدرت جذب آب توسط گیاه مؤثر بوده و باعث کاهش تبخیر و تعرق گیاه می‌شود. پس می‌توان نتیجه گرفت، تنش‌هایی که باعث کاهش تبخیر و تعرق گیاه می‌شوند، به‌طور مستقیم بر کاهش مقدار RAW نسبت به شرایط استاندارد، مؤثر می‌باشند. تحت این شرایط، آبیاری گیاه بر اساس تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه، بیش از نیاز واقعی گیاه است. از سوی دیگر کاهش آب قابل جذب توسط گیاه، منجر به کاهش عملکرد محصول و ایجاد خلأ عملکرد نسبت به شرایط پتانسیل منطقه می‌گردد. شناخت دقیق مقدار رطوبت سهل‌الوصول در شرایط تنش‌های شوری و کمبود ازت، کمک کاربردی به مصرف بهینه آب و افزایش کارایی مصرف آب و ازت در جهت افزایش عملکرد محصول می‌نماید. در شرایط تنش‌های محیطی با مشاهده کاهش عملکرد محصول، اغلب از سوی کشاورزان، آبیاری بیشتر برای رسیدن به عملکرد پتانسیل منطقه انجام می‌گیرد. اما با توجه به دستاورد کاربردی این پژوهش (نوآوری)، لزومی برای افزایش آبیاری مشاهده نشده و افزایش ازت خاک برای دستیابی بیشتر گیاه به محتوای آب خاک، مؤثر می‌باشد.



شکل ۵- تغییر مقدار RAW، با تغییر مقدار ازت خاک در شوری ثابت  
Figure 5- Change in RAW, by changing the amount of soil nitrogen in constant salinity



تخلیه از عمق توسعه ریشه (درصد)

Depletion from root zone (percent)

شکل ۶- تغییر مقدار RAW، با تغییر مقدار شوری آب در سطح ازت ثابت

Figure 6- Change in RAW, by changing the amount of water salinity in constant nitrogen level

شرایط استاندارد محیط وجود ندارد. بنابراین با تأیید یافته‌های مربوط به مقدار تبخیر و تعرق ذرت، می‌توان برای تعیین آب مورد نیاز گیاهان در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مصرف بهینه آب، اقدام دقیق‌تری نسبت به گذشته انجام داد. بی‌تردید با کمتر کردن حجم آب مصرفی در شرایط وجود تنش‌های محیطی، ضمن برآورده شدن نیاز آبی واقعی گیاه، در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد.

به این ترتیب حجم آب ورودی به زمین مطابق با نیاز واقعی گیاه تنظیم شده و از مصرف زیادتر آن جلوگیری می‌شود. همچنین در شرایط تنش شوری، افزایش ازت خاک راه‌کار مناسبی است که باعث افزایش ضریب  $K_s$  و تبخیر و تعرق ذرت و در نهایت عملکرد بیشتر محصول می‌گردد. از سوی دیگر با بررسی محدوده RAW مشخص شد که در شرایط تنش‌های مذکور، امکان جذب آب توسط گیاه، مانند

## منابع

- 1- Abedinpour M. 2017. Wheat water use and yield under different salinity of irrigation water. *Water and Land Development*, 33: 3-9.
- 2- Akhtari A., Homaei 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)
- 3- Alizade A. 2007. design of surface irrigation systems (2th ed.). Mashhad. (In Persian)
- 4- 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, FAO. Rome, Italy: 1-326.
- 5- Al-Kaisi M.M., and Broner I. 1992. Crop Water Use and Growth Stages. Colorado State University Extension. No. 4.715
- 6- 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.
- 7- Ebrahimi-Pak N. A. 2010. Estimation of wheat evapotranspiration under full irrigation and water stress conditions. P. 1-10. 10th Irrigation Seminar and Evaporation Reduction. Kerman Shahid Bahonar University. (In Persian with English abstract)
- 8- 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.
- 9- 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.
  - 10- 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 Persian with English abstract)
  - 11- 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 Persian with English abstract)
  - 12- Heydargolinejad 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 Persian with English abstract)
  - 13- Kalra N., Chakraborty D., Ramesh Kumar P., Jolly M., and Sharma P.K. 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data, *Agricultural Water Management*, 2471: 11.
  - 14- 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. *Agronomy and Crop Science*, 202: 192-202.
  - 15- 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.
  - 16- Mir-Musavi S. H., Panahi H., Akbari H., and Akbarzadeh Y. 2012. Calibration methods for estimating of potential evapotranspiration of reference plant ( $ET_0$ ) and calculate the need for an olive plant (ETC) in Kermanshah province. *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 3: 45-64. (In Persian)
  - 17- 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 Persian with English abstract)
  - 18- 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 Persian with English abstract)
  - 19- Renault S., Wolfe S., Markham J., and Avila-Sakar G. 2016. Increased resistance to a generalist herbivore in a salinity-stressed non-halophytic plant. *AoB PLANTS*, 8:1-10.
  - 20- Rudnick D.R., and Irmak S. 2014. Impact of Nitrogen Fertilizer on Maize Evapotranspiration Crop Coefficients under Fully Irrigated, Limited Irrigation, and Rainfed Settings. *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 12: 1-15.
  - 21- Saadat S., and Homaei M. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agricultural Water Management*, 152:119-124.
  - 22- Shock C.C., Feibert E.B.G., Saunders L.D., and Klauzer J. 2007. Deficit Irrigation for Optimum Alfalfa Seed Yield and Quality. *Agronomy*, 99: 992-998
  - 23- Verdinejad V.R., Besharat S., Abghari H., and Ahmadi H. 2011. Estimation of Maximum Allowable Deficit in Different Growth Stages of Fodder Mays Using Canopy-Air Temperature Difference. *Journal of Water and Soil*, 25(6): 1344-1352. (In Persian with English abstract)
  - 24- 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.

## Effect of Water Salinity and Soil Nitrogen Deficiency on $K_s$ -Coefficient and Readily Available Water of Maize

R. Saedi<sup>1</sup>- A. Sotoodehnia<sup>2\*</sup>- H. Ramezani Etedali<sup>3</sup>- B. Nazari<sup>4</sup>- A. Kaviani<sup>5</sup>

Received: 17-02-2018

Accepted: 26-08-2018

**Introduction:** Estimating the actual evapotranspiration of the crops, is so important for determining the irrigation needs. Typically, the climatic, vegetative and management parameters are effective on actual evapotranspiration. If the crops are exposed to salinity, fertility and other stresses, reduce actual evapotranspiration and yield. The correct estimation of the actual evapotranspiration of crop will allow agricultural planners to the better agricultural water management. Previous researches show water stress and soil nitrogen deficiency (as management stresses), effect on increasing of stomatal resistance and reducing of crops evapotranspiration. Thus, goal of this study was to investigate the effect of salinity and soil nitrogen deficiency on the amount of  $K_s$  coefficient and readily available water of maize.

**Materials and Methods:** This study was conducted in research farm at University of Imam Khomeini International, Qazvin, Iran during June to November 2017. In this research, the effects of saline water and soil nitrogen deficiency on Maize (*SC 704*) evapotranspiration, were investigated. The applied treatments included irrigation with saline water (in four levels: 0.5 ( $S_0$ ), 1.2 ( $S_1$ ), 3.5 ( $S_2$ ) and 5.7 ( $S_3$ ) dS/m) and soil fertility (in four levels: nitrogen fertilizer consumption at 100 ( $N_0$ ), 75 ( $N_1$ ), 50 ( $N_2$ ) and 25% ( $N_3$ )). The experimental design used in this research was a completely randomized block design with three replications. In this experiment, maize seeds were cultivated in the plots with Length and width of 3×3 meters. The prometer device (Model: AP4) was also used to measure stomatal resistance of maize leaf. Determining the irrigation schedule, was based on the soil moisture reached to the limit of RAW (Readily Available Water). At the same time, with increasing stomatal resistance, RAW was calculated and irrigation was done. Evapotranspiration of the under stress plants were  $ET_{c-adj}$  and evapotranspiration of  $S_0N_0$  treatment was  $ET_c$ . The stress factor ( $K_s$ ) is calculated by  $ET_{c-adj}/ET_c$ . The values of RAW and  $K_s$  were analyzed by SPSS software.  $K_s$  coefficient was modeled with amounts of salinity stresses and soil nitrogen deficiency.

**Results and Discussion:** The results of this study showed that the interaction between two factors of salinity stress and nitrogen deficiency on the  $K_s$  and RAW parameters (in level: 1%) are significant.  $K_s$  coefficient at the levels of  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$ , were 0.95, 0.88 and 0.77, respectively. In saline water of 0.5 (dS/m), the  $K_s$  coefficient of  $N_1$ ,  $N_2$  and  $N_3$  were 0.98, 0.96 and 0.95, respectively. With increasing the 1(dS/m) salinity of water and 25% reduction in nitrogen consumption, decreased the  $K_s$  amount about 4.5% and 1.7%, respectively. The reason of results is that with increasing of water salinity, decreases the osmotic potential of water in the soil and the crop needs to consume more energy to obtain water. Thus, amount of crop transpiration is reduced and soil water content is remained. The linear, exponential, logarithmic, polynomial and power functions were fitted between  $\frac{N_i}{N_0}$  and  $\frac{S_i}{S_0}$  data. The ability of the above functions to estimate the  $K_s$  coefficient value was evaluated. The polynomial function has a good function for estimating the  $K_s$  coefficient. In the  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  treatments, by changing the fertility value from  $N_0$  to  $N_3$ , amounts of RAW were 63.7, 58.7, 55.4 and 42% , respectively. Also in  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  and  $N_3$  treatments, with changing the salinity of water from  $S_0$  to  $S_3$ , RAW values were 51.7, 46.3, 42.7 and 42%, respectively. Therefore, stresses that reduce crop evapotranspiration are effective on reducing the amount of RAW. In this situation, the actual water requirement of the crop is less than the potential evapotranspiration of the area.

**Conclusions:** Increasing water salinity and nitrogen deficiency decrease evapotranspiration of maize and increase soil water content. By calculating the stress coefficient ( $K_s$ ), it is possible to estimate the actual evapotranspiration of maize, in Qazvin. Thus, the amount of irrigation water is adjusted according to the actual water requirement of maize. Under salt stress conditions with increasing the soil nitrogen, Can be increased the  $K_s$  coefficient and evapotranspiration of maize. Therefore, calculating the crop's water requirement based on the

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Associate Professor and Assistant Professors, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Respectively

existence of strresse, it will help to saving water.

**Keywords:** Absorbable moisture, Evapotranspiration, Maize, Nitrogen, Water salinity