

## نمون‌سازی واکنش سورگوم به شوری در مرحله جوانه‌زنی

سعید سعادت<sup>۱\*</sup> و مهدی همایی

استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

Saeed\_saadat@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس.

mhomae@modares.ac.ir

### چکیده

واکنش گیاه به شوری طی مراحل مختلف رشد متفاوت است. از این موضوع می‌توان برای مدیریت آبهای نامناسب در دوره زمانی که تحمل گیاه به شوری بیشتر است استفاده نمود. بدون اینکه کاهش عملکردی رخ دهد. به منظور کمی کردن اثر شوری بر جوانه‌زنی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) رقم اسپیدفید، آزمایشی در یک خاک شور با بافت لوم شنی و در گلدانهای پلاستیکی به ارتفاع ۱۵ و قطر دهانه هشت سانتی‌متر انجام گرفت. تیمارهای شوری شامل یک آب غیر شور (هدایت الکتریکی برابر ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و ۱۲ تیمار آب شور با هدایت‌های الکتریکی ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. به منظور کمی کردن اثر شوری بر جوانه‌زنی، تعداد نسبی بذرهای جوانه‌زده در شوری‌های مختلف خاک با استفاده از مدل‌های ماس و هوفمن، وانگنوختن و هوفمن، دیرکسن و همکاران و همایی و همکاران برآورد شد و پارامترهای مورد نیاز به دست آمد. نتایج نشان داد که آستانه کاهش شوری ( $EC^*$ ) گیاه سورگوم در مرحله جوانه‌زنی ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. در شوری نه دسی‌زیمنس بر متر، جوانه‌زنی ۵۰ درصد کاهش یافت. مقدار  $EC^*$  برآورد شده توسط مدل‌های مختلف، کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده در این پژوهش و گزارش شده توسط ماس و هوفمن (۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود. ضرایب تبیین ( $R^2$ ) برآورد تعداد نسبی بذرهای جوانه‌زده در سطوح مختلف شوری خاک توسط مدل‌های غیرخطی وانگنوختن و هوفمن، دیرکسن و همکاران و همایی و همکاران به ترتیب برابر ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ بود که بیشتر از مدل خطی ماس و هوفمن (۰/۹۰) بود.

واژه‌های کلیدی: شوری آستانه کاهش، نمون.

۱- آدرس نویسنده مسئول: مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج

\* دریافت: خرداد ۱۳۹۲ او پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

## مقدمه

جوانه‌زنی معتقدند (وانگ و شانون، ۱۹۹۹؛ ماس و همکاران، ۱۹۸۶).

نخستین اثر شوری بر گیاه تاخیر در جوانه‌زدن و ایجاد گیاهچه است. حساسیت گیاه به شوری طی فصل رشد بطور دائم تغییر می‌کند. بیشتر گیاهان در مرحله جوانه‌زدن مقاوم هستند. لیکن در مرحله گیاهچه و مراحل اولیه پس از آن، حساس بوده و در معرض آسیب می‌باشند. چنانچه گیاه در خاک استقرار یابد، با گذشت زمان و در مراحل بعدی رشد به شوری متحمل‌تر می‌شود. بنا بر این، اگر گیاه بتواند مرحله گیاهچه<sup>۲</sup> تا رشد اولیه<sup>۳</sup> را در یک خاک شور با موفقیت پشت سر گذاشته و در آن استقرار یابد، با افزایش سن، تحمل آن به شوری افزایش خواهد یافت.

به عبارت دیگر، هر چه گیاه در مراحل آغازین رشد خود به شوری مبتلا شود، با کاهش عملکرد بیشتری مواجه خواهد شد. با افزایش سن گیاه، تحمل آن به شوری افزایش می‌یابد (کده و قویل، ۱۹۶۴؛ لونین و همکاران، ۱۹۶۳؛ فرانکوئیس، ۱۹۸۵؛ دبز و همکاران، ۲۰۰۴؛ محمود، ۲۰۱۲). در آزمایش‌هایی که برای بررسی این موضوع روی سورگوم (ماس و همکاران، ۱۹۸۶)، گندم (ماس و پاس، ۱۹۸۹a)، لوبیا چشم بلبلی (ماس و پاس، ۱۹۸۹b)، جو (پانديا و همکاران، ۲۰۰۴) و کلزا (کشتا و همکاران، ۱۹۹۹) صورت گرفت مشخص شد که حساسیت این گیاهان به شوری طی دوره رویشی و مراحل اولیه تولید محصول، بیش از مرحله گلدهی و آن هم بیشتر از مرحله پرشدن دانه‌هاست.

تحمل گیاه به شوری در مرحله استقرار جوانه<sup>۴</sup> بطوری قابل ملاحظه از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت بوده و نیز با مفهوم مقاومت که بر مبنای عملکرد<sup>۵</sup> استوار است هیچ نوع همبستگی ندارد. زیرا، تحمل به هنگام استقرار

شوری منابع خاک و آب، رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. منابع آب در ایران هم محدود است و هم در بسیاری موارد کیفیت آن نامناسب می‌باشد. به همین دلیل، استفاده از آب‌های شور در کشاورزی موضوعی مهم به شمار می‌رود. واکنش گیاه به شوری طی مراحل مختلف رشد متفاوت است. از این موضوع می‌توان برای مدیریت آبهای نامناسب در زمانی که تحمل گیاه به شوری بیشتر است استفاده نمود، بدون اینکه کاهش عملکردی رخ دهد. بنا بر این مدل‌سازی این فرآیند از اهمیتی ویژه برخوردار است.

جوانه زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که منجر به فعال‌سازی جنین بذور می‌شود. شوری، به عنوان یک تنش غیرزنده شرایط بسیار دشواری را برای بذرها طی مرحله جوانه زنی ایجاد می‌کند. شوری نخست موجب کاهش آبیگری بذرها به دلیل پتانسیل پایین اسمزی محیط شده و سپس باعث سمیت و ایجاد تغییر در فعالیتهای آنزیمی آن می‌شود. شوری، همچنین از متابولیسم پروتئین جلوگیری کرده و تنظیم کننده‌های رشد گیاه را مختل و ذخایر بذری را کاهش می‌دهد (ماسایی و همکاران، ۲۰۰۴). به طور کلی شوری از سه راه افزایش فشار اسمزی، ایجاد سمیت ویژه یونی و برهم زدن تعادل تغذیه‌ای، رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند (همایی، ۱۳۸۱).

اثرات متقابل شوری و جوانه زنی شامل اثر اسمزی و سمیت ویژه یونی است. کوشش برای تفکیک اثر هر یک از این دو با استفاده از محلولهای نمک هم غلظت<sup>۱</sup>، نتایجی متناقض ارائه داده است. بعضی بر غالب بودن اثر اسمزی به عنوان عامل محدودکننده اصرار دارند، در حالیکه بیشتر عقاید بر فزونی اثر سمیت ویژه یونی به عنوان عامل مضر تأکید می‌ورزند (وحید و همکاران، ۱۹۹۹). برخی دیگر نیز به اثر یکسان این دو عامل بر

<sup>2</sup>Seedling

<sup>3</sup>Preliminary Growth

<sup>4</sup>Emergence

<sup>5</sup>Yield

<sup>1</sup> Isotonic

پاسخ‌های متفاوت فیزیولوژیک (از نظر جذب یون‌های سدیم، پتاسیم، کلر و نسبت یونهای پتاسیم به سدیم در گیاه)، به نظر می‌رسد طرز عمل تحمل به شوری ارقام سورگوم متفاوت باشد (بارون و همکاران، ۲۰۱۲).

اسماعیلی (۱۳۸۱)، در مطالعه ای که بر روی واکنش سورگوم به کودهای نیتروژنی در سطوح مختلف شوری انجام داد، نشان داد که با افزایش شوری، درصد سبز شدن و وزن مرطوب، وزن خشک، سطح برگ و ارتفاع بوته سورگوم به طوری معنی‌دار کاهش می‌یابد. همچنین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه زنی و توانایی (بنیه) بذر نیز با افزایش شوری کاهش می‌یابد.

وجود رابطه‌ای خطی بین رشد گیاه و میزان تعرق و یا تبخیر و تعرق طی یک فصل زراعی معین طی پژوهش‌هایی زیاد گزارش شده است (دویت، ۱۹۵۸؛ فدس و همکاران، ۱۹۷۴؛ فدس و همکاران، ۱۹۷۶؛ هنکس، ۱۹۸۴؛ راموس و همکاران، ۲۰۱۲). با افزایش میزان شوری، جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین برای بیان کمی واکنش گیاه به شوری می‌توان از معادله عمومی جریان در حالت غیر اشباع (ریچاردز، ۱۹۳۱) استفاده کرد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(h) \frac{\partial h}{\partial z} + k(h) \right] - S \quad (1)$$

که در آن:

$\theta$  رطوبت حجمی خاک ( $L^3L^{-3}$ )،  $t$  زمان (T)،  $z$  عمق خاک (L)،  $k$  هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک ( $LT^{-1}$ )،  $h$  پتانسیل ماتریک (L) و  $S$  مقدار آب جذب شده بوسیله ریشه گیاه در واحد حجم خاک و زمان ( $L^3L^{-3}T^{-1}$ ) است. تابع  $S$  بخشی مهم از بیلان آبی را در اراضی زیر کشت تشکیل می‌دهد و تخمین آن بصورت کمی، هم از نقطه نظر تولید محصولات زراعی و هم از دیدگاه مدل‌سازی اهمیت فراوان دارد. برای بیان کمی  $S$

جوانه به مفهوم بقای گیاه در یک شوری معین است حال آنکه مقاومت گیاه پس از استقرار جوانه عملکرد را تعیین می‌کند (ماس و گراتان، ۱۹۹۹؛ گراتان و همکاران، ۲۰۰۴). بیشتر پژوهش‌ها نشان می‌دهند که حساسیت گیاهان نسبت به شوری، در مرحله استقرار جوانه بیش از مرحله جوانه‌زنی است. این موضوع برای گندم (یودونکو و الکسیوا، ۱۹۷۳؛ ماس و پاس، ۱۹۸۹ا؛ آیز و همکاران، ۱۹۵۲)، جو (آیز و همکاران، ۱۹۵۲)، پنبه (ابولناس و عمران، ۱۹۷۴)، برنج (پیرسون و برنشتاین، ۱۹۵۹؛ کده، ۱۹۶۳؛ هیمن و همکاران، ۱۹۸۸)، گوجه‌فرنگی (دمبروف و کوپر، ۱۹۷۴)، ذرت (ماس و همکاران، ۱۹۸۳)، بادام زمینی (شالوت و همکاران، ۱۹۶۹) و سویا (وانگ و شانون، ۱۹۹۹) به اثبات رسیده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که هر چند شوری خاک جوانه‌زدن را به تأخیر می‌اندازد، لیکن چنانچه مقدار آن از حد آستانه<sup>۱</sup> برای گیاه بالغ بیشتر نشود، درصد بذره‌های سبز شده اغلب گیاهان کاهش نمی‌یابد (ماس و گراتان، ۱۹۹۹).

سورگوم دانه‌ای به عنوان یک گیاه با "تحمل نسبی نسبت به شوری" در نظر گرفته می‌شود. در پژوهشی، خوش خلق سیما و همکاران (۱۹۹۷) مشاهده کردند که در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم، سورگوم ۷۰ درصد شاهد جوانه زنی داشت و ریشه و اندام هوایی رشد کمی داشتند. همچنین با افزایش غلظت NaCl در محیط، جوانه زنی بطور عمومی کاهش یافت. جوانه زنی در غلظت‌های ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار کلرور سدیم نسبت به شاهد به ترتیب ۵۰ و ۸۰ درصد کاهش داشت و افزایش ناگهانی غلظت سدیم در بافت ریشه سورگوم با کاهش وزن ریشه گیاه همراه بود.

صمدانی (۱۳۷۳) در تحقیقی نشان داد که افزایش شوری به طور متفاوت میزان جوانه زنی دانه‌های سورگوم را کاهش می‌دهد. همچنین مشخص گردید که تحمل به شوری در مرحله جوانه زنی با تحمل به شوری در مرحله گیاهچه‌ای ارتباطی ندارد. همچنین به علت

<sup>1</sup>Threshold Value

۲۰۰۲d) برای شرایط مختلف مورد پژوهش قرار گرفته است.

چنانچه خاکی شور باشد،  $\alpha$  بصورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک ( $h_0$ ) بوده و مقدار جذب آب توسط گیاه در این شرایط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \alpha(h_0)S_{\max} = \alpha(h_0)\frac{T_p}{Z_r} \quad (۱)$$

توابع  $\alpha(h_0)$  نیز توسط پژوهشگرانی متعدد (ماس و هوفمن، ۱۹۷۷؛ وان گنوختن و هوفمن، ۱۹۸۴؛ دیرکسن و همکاران، ۱۹۹۳؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲a؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲b؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲c؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲d) ارائه گردیده‌اند.

#### روابط کمی بیان‌کننده اثر شوری بر گیاه

بطور کلی، مدل‌های کلان برای شرایط شور پیشنهاد نشده‌اند، لیکن تلاش‌هایی چند برای استفاده از این مدل‌ها در شرایط شور انجام شده است. اگر در مدل‌های کلان بتوان بجای ضریب کاهش  $\alpha(h)$ ، آن را بصورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک ( $h_0$ ) در نظر گرفته و آن را به شکل مناسبی تعریف نمود، معادله عمومی جذب آب در شوری‌های مختلف که همان معادله (۴) است بدست می‌آید.

برای پاسخ گیاه به شوری ماس و هوفمن (۱۹۷۷) تابعی خطی و دو بخشی ارائه کردند. در این مدل، تا پیش از رسیدن شوری به آستانه کاهش محصول ( $EC^*$  یا  $h_0^*$  معادل آن) هیچگونه کاهشی در جذب آب توسط گیاه رخ نمی‌دهد. لیکن با افزایش شوری، مقدار جذب بصورت خطی کاهش می‌یابد:

$$\alpha(h_0) = 1 - \frac{a}{360}(h_0^* - h_0) \quad (۵)$$

نمون‌هایی<sup>۱</sup> وجود دارد. در گروهی از این نمونها که به نمونها کلان شهرت دارند، مقدار برداشت آب توسط گیاه با مقدار تعرق واقعی<sup>۲</sup> ( $T_a$ ) برابر فرض می‌شود. هنگامی که هیچگونه محدودیت آبی در خاک وجود نداشته باشد، مقدار آب جذب شده توسط گیاه معادل تعرق پتانسیل<sup>۳</sup> ( $T_p$ ) بوده و به صورت زیر بیان می‌شود (همایی، ۱۳۸۱):

$$S = S_{\max} = \frac{T_p}{Z_r} \quad (۲)$$

که در آن:

$Z_r$  عمق توسعه ریشه ( $L$ ) و  $T_p$  تعرق پتانسیل ( $LT-1$ ) است. در حالتی که خاک نتواند مقدار آب مورد نیاز گیاه را برای حداکثر تعرق ( $T_p$ ) فراهم کند، به اندازه  $\alpha$  که به آن تابع کاهش<sup>۴</sup> گفته می‌شود از میزان تعرق حداکثر کاسته می‌شود:

$$S = \alpha S_{\max} = \alpha \frac{T_p}{Z_r} \quad (۳)$$

بطور معمول  $\alpha$  تابعی از پتانسیل ماتریک خاک بوده و بصورت  $\alpha(h)$  بیان می‌شود. معادله (۳) شکل عمومی نمونها کلان است که نخستین بار توسط فدس و همکاران (۱۹۷۸) ارائه شد. این مدل به دلیل آنکه تابع  $\alpha$  در آن بخوبی تعریف شده و در بسیاری از کاربردها موفق بوده است از عمومیت بیشتری برخوردار است. توابع  $\alpha$  توسط پژوهشگرانی متعدد (فدس و همکاران، ۱۹۷۸؛ وان گنوختن، ۱۹۸۷؛ دیرکسن و همکاران، ۱۹۹۳؛ همایی، ۱۹۹۹؛ همایی و فدس، ۲۰۰۱؛ همایی و فدس، ۱۹۹۹؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲a؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲b؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲c؛ همایی و همکاران،

<sup>1</sup>Models

<sup>2</sup>Actual Transpiration

<sup>3</sup>Potential Transpiration

<sup>4</sup>Reduction Function

می‌باشد، همایی و همکاران (۲۰۰۲) رابطه زیر را برای بدست آوردن آن پیشنهاد کردند:

$$p = \frac{h_{050}}{h_{050} - h_0^*} \quad (۸)$$

بدلیل اینکه مشکل بدست آوردن  $h_{050}$  بدین ترتیب حل نشده بود، ایشان مقدار  $h$  را با  $h_{0max}$  جایگزین کردند و تابع غیرخطی زیر را که دارای دو آستانه کاهش می‌باشد پیشنهاد نمودند (همایی و فدس، ۲۰۰۱؛ همایی و فدس، ۱۹۹۹؛ همایی و همکاران، ۲۰۰۲a):

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + [(1 - \alpha_0) / \alpha_0] [(h_0^* - h_0) / (h_0^* - h_{0max})]^p} \quad (۹)$$

کاهش در مقدار  $\alpha$  در رابطه با شوری بیشتر از  $h_0^*$  ادامه می‌یابد تا به یک شوری مشخص ( $h_{0max}$ ) برسد، در مقادیر شوری‌های بیشتر از  $h_{0max}$ ، افزایش شوری نمی‌تواند باعث کاهش بیشتری در مقدار  $\alpha$  شود. این امر نشان می‌دهد که در  $h_0 \leq h_{0max}$  گیاه هنوز زنده بوده لیکن فعالیت‌های بیولوژیک آن حداقل است. ایشان سپس مقدار  $P$  را با توجه به  $h_{0max}$  به صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$p = \frac{h_{0max}}{h_{0max} - h_0^*} \quad (۱۰)$$

همه مدل‌های موجود که واکنش گیاهان به شوری را بصورت کمی بیان می‌کنند، بر فرض ثابت بودن شوری خاک از آغاز تا پایان دوره رشد استوارند. حال آنکه واکنش گیاهان به شوری، طی مراحل مختلف رشد متفاوت می‌باشد. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که شوری آستانه کاهش محصول گیاه سورگوم در مرحله جوانه‌زنی با دیگر مراحل رشد آن متفاوت باشد. همچنین مشخص نیست که توابع کاهش جذب آب برای مرحله جوانه‌زنی از چه شکلی برخوردار است. افزون بر آن، این پرسش که آیا توابع کاهش جذب آب در مرحله جوانه‌زنی با نمون‌های موجود برآورد می‌شود یا می‌بایست نمونی

$\alpha$  شیب تابع کاهش است. چون فرض خطی بودن کاهش جذب، با افزایش شوری با شرایط واقعی مزرعه مطابقت ندارد، وانگنوختن و هوفمن (۱۹۸۴) معادله‌ای غیرخطی به صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{h_0}{h_{050}} \right]^p} \quad (۶)$$

که در آن:

$h_{050}$  (L) مقدار شوری است که در آن  $\alpha(h_0)$  به ۰/۵ کاهش می‌یابد و  $P$  نیز یک ضریب تجربی بدون بعد وابسته به محصول، خاک و اقلیم می‌باشد (۲۰، ۲۲). مقدار  $P$  برای برخی از محصولات زراعی برابر ۳/۰ گزارش شده است (وان گنوختن و گوپتا، ۱۹۹۳). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این معادله نسبت به مدل ماس و هوفمن (۱۹۷۷) واکنش گیاهان به شوری را بهتر بیان می‌کند (همایی، ۱۳۸۱).

پژوهش‌های فراوان (دیرکسن و آگوستین، ۱۹۸۸؛ دیرکسن و همکاران، ۱۹۹۳) نشان داده است که جذب آب توسط گیاه تا رسیدن به یک شوری مشخص کاهش نمی‌یابد. این مقدار شوری همان شوری آستانه کاهش ( $h_0^*$ ) است. به همین دلیل دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) با منظور کردن این پارامتر به مدل پیشنهادی وانگنوختن و هوفمن (۱۹۸۴) آنرا نسبت به آستانه کاهش شوری تعدیل کردند:

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + [(h_0^* - h_0) / (h_0^* - h_{050})]^p} \quad (۷)$$

مهم‌ترین محدودیت در این رابطه، بدست آوردن مقدار  $h_{050}$  است. افزون بر این، مقدار  $P$  نیز تا کنون چه بصورت فیزیکی و چه تجربی تعریف نشده است. در واقع  $P$  همانند  $h_0^*$  و  $h_{050}$  فاکتوری وابسته به شکل تابع می‌باشد، لیکن تأثیر  $h_{050}$  بیشتر از  $h_0^*$  است. با فرض اینکه  $P$  پارامتری وابسته به محصول، خاک و اقلیم

طبیعی استفاده شده است. تیمارهای شوری در این آزمایش شامل یک آب غیر شور (هدایت الکتریکی برابر ۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و ۱۲ تیمار آب شور با هدایت‌های الکتریکی ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. هر یک از تیمارها در این آزمایش دارای سه تکرار بود. خاکها پس از خشک شدن در هوا، کوبیده شده و از الک پنج میلی متری عبور داده شدند. سپس، در گلدانها ریخته شده و برای کاهش شوری آنها تا حد شوری تیمارهای آزمایشی (شوری‌های کمتر از ۱۹)، بسته به شوری مورد نیاز در تیمار، ابتدا چندین بار با آب غیر شور بطور کامل اشباع و آبشویی شدند تا شوری آنها به حدود شوری مورد نظر برسد.

سپس، دوبار با آب شور طبیعی با شوری مشخص (مطابق تیمارها) بطور کامل اشباع شدند تا شوری خاک با شوری آب آبیاری به تعادل برسد. همچنین در شوری‌های بیشتر از ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر، سه بار با آب شور طبیعی با همان شوری اشباع گردیدند. آنگاه، تعداد هفت عدد بذر سورگوم در داخل خاک کاشته شده و اجازه داده شد تا بذرها جوانه بزنند. بذرها جوانه زده، هر ۲۴ ساعت مشاهده و شمارش شد. شمارش بذرها جوانه‌زده تا جوانه زنی صددرصد و یا هنگامیکه تعداد بذرها جوانه زده در شمارشهای متوالی تفاوتی نشان نمی‌داد، ادامه یافت.

مناسب برای آن بدست آورد بی‌پاسخ مانده است. هدف از انجام این پژوهش پاسخ به پرسش‌های سه گانه گفته شده بود.

## مواد و روشها

به منظور بررسی و کمی کردن اثر شوری بر جوانه‌زنی بذرها گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) رقم اسپیدفید، آزمایشی در یک خاک شور با بافت لوم شنی<sup>۱</sup> و در گلدانهای پلاستیکی به ارتفاع ۱۵ و قطر دهانه هشت سانتیمتر انجام گرفت. جدول یک برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر پیش از آبشویی را نشان می‌دهد. واکنش خاک با استفاده از pH متر و شوری عصاره اشباع خاک توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی (*Digimeter L21, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, The Netherlands*) اندازه‌گیری شد. خاک لوم شنی به این دلیل انتخاب شد تا بتوان شوری کل نیمرخ خاک را با اعمال نیاز آبشویی زیاد حتی‌الامکان یکنواخت کرد. در این صورت می‌توان نیاز آبشویی (LF) را که حداکثر برابر ۰/۵ است، اعمال نمود. یک دلیل دیگر برای این انتخاب، نگهداشت یکنواخت توزیع رطوبت در محیط ریشه برای همه تیمارها بود. به منظور اعمال تیمارهای شوری در این آزمایش از آب شور طبیعی با هدایت الکتریکی ۴۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر که از رودخانه قمرود در استان قم تهیه شده بود، استفاده و با توجه به تیمارهای شوری با آب مقطر رقیق گردید.

جدول (۲) برخی ویژگیهای شیمیایی آب مورد نظر را نشان می‌دهد. هدف از استفاده از آب شور طبیعی به حداقل رساندن انحراف از شرایط طبیعی بود. متأسفانه بیشتر پژوهش‌های انجام شده، با استفاده از آب شور طبیعی نبوده و در تهیه آنها از ترکیب  $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$  استفاده شده است که منطبق با شرایط واقعی منابع خاک و آب شور نیست. به همین دلیل در این آزمایش از آب شور

<sup>1</sup>Sandy Loam

جدول ۱- برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش پیش از آبشویی

بافت	O.C	P	K	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Na	pH	EC dS/m
	درصد	میلی گرم در کیلوگرم	میلی گرم در کیلوگرم	میلی گرم در لیتر	میلی اکی والان در لیتر	میلی اکی والان در لیتر	میلی اکی والان در لیتر	میلی اکی والان در لیتر		
SL	۰/۱۹	۳/۴	۳۳۶	۳۱	۶۸۰	۹۰	۱۱۵	۶۱۸	۷/۳۷	۱۹/۵

جدول ۲- ویژگیهای شیمیایی آب کاربردی در آزمایش

SAR	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	PH	هدایت الکتریکی dSm <sup>-1</sup>
	میلی گرم در لیتر									
۸۵	۰/۶۷	۳۷۴/۴	۱۶/۹	۲۱/۵	۱۰۴	۳۰۶/۹	۲/۱	۰/۰	۷/۶۷	۴۳/۶

پس از شمارش تعداد بذرها، تعداد بذرها، تعداد نسبی بذرها، تعداد نسبی بذرها (RGS) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RGS = \frac{\text{تعداد بذرها، جوانه زده در هر تیمار}}{\text{تعداد بذرها، جوانه زده در تیمار بدون تنش}} \quad (11)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (14)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (15)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (16)$$

که در آن:

$P_i$  مقادیر پیش بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌ها و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه گیری شده است.

### نتایج و بحث

نتایج نشان داد که پس از گذشت ۹۴ ساعت از کاشت بذرها، جوانه‌زنی بذرها آغاز و تا ۱۹۰ ساعت پس از کاشت به حداکثر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌رسد. پس از آن، هیچگونه جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

به منظور کمی کردن اثر شوری بر جوانه‌زنی بذرها، سورگوم، تعداد نسبی بذرها، جوانه‌زده (RGS) در شوری‌های مختلف خاک با استفاده از مدل‌های ماس و هوفمن (۱۹۷۷) (معادله ۵)، وان گنوختن و هوفمن (۱۹۸۴) (معادله ۶)، دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) (معادله ۷) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) (معادله ۹) برآورد و پارامترهای مورد نیاز بدست آمد. سپس برای مقایسه مدل‌ها و تعیین مقدار خطا و نیز میزان کارایی مدل‌ها، آماره‌های خطای بیشترین (ME)<sup>۱</sup>، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۲</sup>، ضریب تبیین (CD)<sup>۳</sup>، کارایی مدل (EF)<sup>۴</sup> و ضریب خطای تجمعی (CRM)<sup>۵</sup> محاسبه شد (۲۲). بیان ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است:

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (12)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \frac{100}{\bar{O}} \quad (13)$$

<sup>1</sup>Maximum Error

<sup>2</sup>Root Mean Square Error

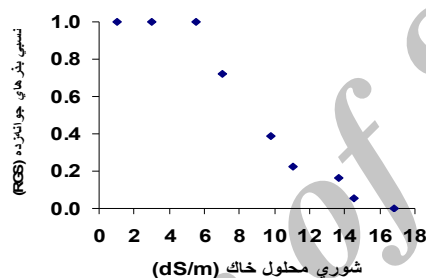
<sup>3</sup>Coefficient of Determination

<sup>4</sup>Modeling Efficiency

<sup>5</sup>Coefficient of Residual Mass

رسیده است. مقایسه درصد بذره‌های جوانه‌زده در زمانهای مختلف نشان می‌دهد که تا شوری ۷/۰ دسی‌زیمنس بر متر، حدود ۵۰ درصد از جوانه‌زنی در همان ۹۴ ساعت اولیه انجام شده است. لیکن در شوریه‌های بیشتر، جوانه‌زنی با تأخیر انجام شده و در شوریه‌های بیشتر از ۱۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر، بذرها ۱۹۰ ساعت پس از کاشت، جوانه زده‌اند (داده‌ها نشان داده نشده است). این نتایج، تأخیر در جوانه‌زنی بر اثر افزایش شوری خاک را به خوبی نشان می‌دهد.

دیده نشد. شکل یک تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده را در سطوح مختلف شوری خاک برای یک دوره زمانی ۱۹۰ ساعته نشان می‌دهد. این شکل نشان دهنده آنست که جوانه‌زنی، با افزایش شوری کاهش عمومی داشته و تا شوری ۱۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر ادامه دارد. لیکن در شوریه‌های بیشتر، هیچگونه جوانه‌زنی به وقوع نپیوسته است. با افزایش شوری تا ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر، تعداد نسبی بذره‌های جوانه زده تفاوتی نشان نمی‌دهند، لیکن در شوریه‌های بیشتر، روندی کاهش داشته و این کاهش به حدود ۸۰ درصد در شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر



شکل ۱- اثر شوری بر تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده (RGS) ۱۹۰ ساعت پس از کاشت درون خاک

با برآزش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده، پارامترهای مختلف هر یک از مدل‌ها، برآورد و در جدول (۳) ارایه شده است. در این جدول،  $EC_m^*$  آستانه تحمل شوری اندازه‌گیری شده گیاه سورگوم،  $EC_p^*$  آستانه تحمل شوری برآورد شده توسط مدل،  $p_p$  مقدار  $p$  برآورد شده توسط مدل،  $p_c$  مقدار  $p$  محاسبه شده توسط روابط (۸) و (۱۰)،  $R^2(p_p)$ ، ضریب تبیین مدل هنگامیکه از  $p_p$  استفاده شود،  $R^2(p_c)$ ، ضریب تبیین مدل در شرایطی که از  $p_c$  استفاده شود.

حد آستانه تحمل شوری گیاه سورگوم، هنگامیکه شوری خاک از ابتدا تا پایان دوره رشد ثابت باشد، بر اساس یافته‌های ماس و هوفمن (۱۹۷۷)، برابر ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. همچنین سورگوم در شوری ۱۳/۰ دسی‌زیمنس بر متر ۵۰ درصد کاهش جوانه‌زنی دارد (آیزو و وستکات، ۱۹۸۵). نتایج این مطالعه نشان داد که آستانه کاهش سورگوم در مرحله جوانه‌زنی ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده و در شوری ۹/۰ دسی‌زیمنس بر متر، جوانه‌زنی آن ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

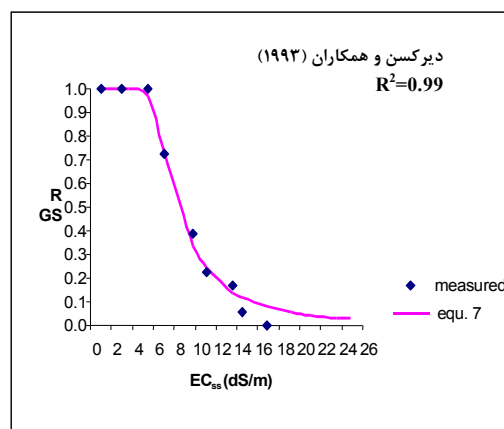
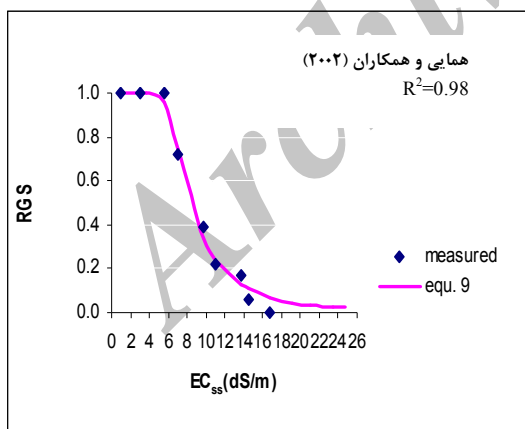
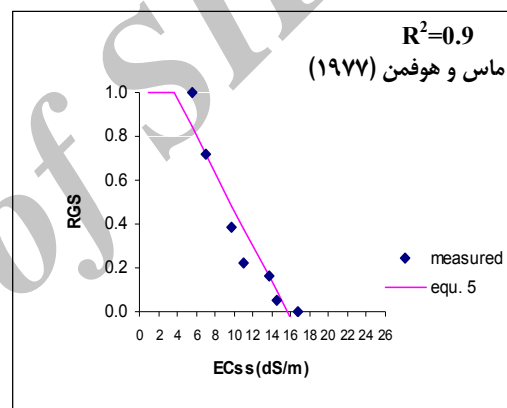
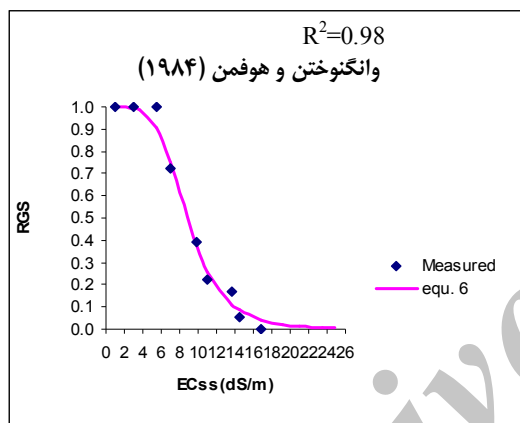
جدول ۳- پارامترهای روابط ۵، ۶، ۷ و ۹ هنگامی که از آستانه تحمل شوری برآورد شده ( $EC_p^*$ )

معادله	برای برآورد پارامترهای معادلات استفاده گردید									
	$EC_m^*$	$EC_p^*$	$b$	$EC_{50}$	$P_p$	$P_c$	$EC_{max}$	$a_0$	$R^2(p_p)$	$R^2(p_c)$
۵	۵/۵	۳/۶	-۰/۰۸۳۲	-	-	-	-	-	۰/۹۰	-
۶	۵/۵	-	-	۸/۸	۴/۸	۲/۶	-	-	۰/۹۸	۰/۹۸
۷	۵/۵	۴/۹	-	۸/۴	۲/۰	۲/۴	-	-	۰/۹۹	۰/۹۹
۹	۵/۵	۴/۵	-	-	۲/۳	۱/۴	۱۴/۸	۰/۱	۰/۹۸	۰/۹۹



(۳). جدول سه نشان می‌دهد که ضریب تبیین مدل خطی معادله (۵) کمتر از ضریب تبیین مدل‌های غیر خطی روابط (۶، ۷ و ۹) می‌باشد. لیکن ضرایب تبیین مدل‌های غیر خطی، اختلافی ناچیز با یکدیگر دارند. تجزیه خطای باقیمانده (تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده)، می‌تواند برای ارزیابی میزان کارایی مدل مورد استفاده قرار گیرد. کمترین مقدار برای  $ME$ ،  $RMSE$  و  $CD$  برابر صفر است. بیشترین مقدار برای  $EF$  برابر با یک می‌باشد. هر دو مقدار  $EF$  و  $CRM$  می‌توانند منفی باشند.

تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مختلف به عنوان تابعی از میانگین شوری محلول خاک ( $EC_{ss}$ ) در شکل (۲) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده  $EC^*$  توسط روابط ۷ و ۹ به ترتیب برابر  $۳/۶$ ،  $۴/۹$  و  $۴/۵$  می‌باشد. مقدار  $EC^*$  کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در این پژوهش (۵/۵ دسی زیمنس بر متر) و گزارش شده توسط ماس و هوفمن (۶/۸ دسی زیمنس بر متر) می‌باشد. ضرایب تبیین ( $R^2$ ) روابط (۵، ۶، ۷ و ۹) به ترتیب برابر  $۰/۹۰$ ،  $۰/۹۸$ ،  $۰/۹۹$  و  $۰/۹۸$  می‌باشد جدول



شکل ۲- تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده (RGS) سورگوم اندازه‌گیری شده و برآورد شده بوسیله روابط مختلف

مقادیر برآورد شده را در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. مقدار  $EF$  مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین ارقام آزمایشی، مقایسه می‌کند. مقدار منفی  $EF$  نشان می‌دهد که مقدار میانگین ارقام آزمایشی، تخمین

مقدار بالای  $ME$ ، کارایی نامطلوب و نامناسب مدل را نشان می‌دهد، در حالیکه مقدار  $RMSE$  نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده بیشتر یا کمتر از اندازه‌گیری شده برآورد شده‌اند. مقدار  $CD$  نسبت بین پراکندگی

خطی بسیار اندک می‌باشد، در حالیکه این اختلاف بین مدل خطی مس و هوفمن (۱۹۷۷) و مدل‌های غیرخطی زیاد است. این موضوع نشان می‌دهد، کارایی مدل‌های غیر خطی بیش از مدل خطی معادله (۵) است. همچنین، مقدار بالای RMSE در مدل خطی نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده توسط این مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوتی زیاد دارند. مقدار زیاد EF در مدل‌های غیرخطی نشان از کارایی بالای این مدل‌ها در برآورد تعداد نسبی بذرهاى جوانه‌زده دارد.

بهتری نسبت به مقادیر برآورد شده ارایه داده است. CRM گرایش مدل را به تخمین بیشتر و یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. مقدار منفی CRM برآورد بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. اگر همه مقادیر آزمایشی و برآورد شده برابر باشند، آنگاه  $ME=0$ ،  $RMSE=0$ ،  $CD=1$ ،  $EF=1$  و  $CRM=0$  می‌باشد. در جدول (۴)، مقادیر محاسبه شده این آماره‌ها برای مدل‌های مختلف ارایه شده است. اختلاف مقادیر ME، RMSE، CD، EF و CRM بین مدل‌های غیر

جدول ۴- آماره‌های محاسبه شده برای روابط ۵، ۶، ۷ و ۹

معادله	ME	RMSE	CD	EF	CRM
۵	-۰/۷۶	۹۲/۷۵	-۰/۴۴	-۰/۳۶	-۰/۴۷
۶	-۰/۰۹	۱۰/۵۱	۱/۰۸	-۰/۹۹	-۰/۰۱
۷	-۰/۰۸	۱۱/۶۶	۱/۱۱	-۰/۹۹	-۰/۰۵
۹	-۰/۰۷	۱۰/۶۶	۱/۰۹	-۰/۹۹	-۰/۰۴

همکاران (۲۰۰۲) مناسبتر از مدل‌های غیرخطی دیگر است.

هنگامیکه مقدار  $p$  با استفاده از روابط (۸) و (۱۰) محاسبه ( $p_c$ ) و برای برآورد پارامترهای دیگر مدل استفاده شد جدول (۳)، ضرایب تبیین ( $R^2$ ) مدل‌های غیرخطی روابط (۶، ۷ و ۹) به ترتیب برابر ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ شدند که با مقادیر ضرایب تبیین هنگامیکه از  $p_p$  استفاده شد، تفاوتی نداشت. بنابراین، استفاده از روابط (۸) و (۱۰) برای محاسبه مقدار  $p$  از دقت لازم برخوردار می‌باشد. پارامترهای معادلات مختلف هنگامیکه از  $EC_m^*$  برای برآورد پارامترها استفاده شود، در جدول (۵) ارایه شده‌اند.

همانگونه که در جدول (۴) دیده می‌شود، مقدار CRM مدل‌های غیر خطی منفی می‌باشد و این موضوع نشان دهنده این است که این مدل‌ها تعداد نسبی بذرهاى جوانه‌زده را در سطوح مختلف شوری خاک، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌نمایند. همانگونه که در شکل (۲) دیده می‌شود، مقادیر برآورد شده توسط مدل‌های غیرخطی به خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت دارد. همچنین، تعداد نسبی بذرهاى جوانه‌زده برآورد شده توسط روابط (۷) و (۹) به هم نزدیک بوده و تفاوتی ناچیز دارند. لیکن به دلیل اینکه پارامترهای ورودی معادله (۹) با سهولت بدست می‌آیند، مدل همایی و

جدول ۵- پارامترهای روابط ۵، ۶، ۷ و ۹ هنگامی که از آستانه تحمل شوری اندازه‌گیری شده

معادله	$EC_m^*$	$b$	$EC_{50}$	$P_p$	$P_c$	$EC_{max}$	$a_0$	$R^2(p_p)$	$R^2(p_c)$
۵	۵/۵	-۰/۱۰۲۱						۰/۸۳	-
۶	۵/۵		۸/۸	۴/۸	۲/۶			۰/۹۸	۰/۹۸
۷	۵/۵		۸/۳	۱/۶	۳/۰			۰/۹۹	۰/۹۹
۹	۵/۵			۱/۷	۲/۲	۱۰	-۰/۳	۰/۹۸	۰/۹۹

بررسی، کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده در این مطالعه و گزارش شده توسط ماس و هوفمن (۱۹۷۷) می‌باشد. مدل‌های غیرخطی وانگنوختن و هوفمن (۱۹۸۴)، دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) توانسته‌اند بهتر از مدل خطی ماس و هوفمن (۱۹۹۷) تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده گیاه سورگوم را در سطوح مختلف شوری خاک برآورد نمایند.

برآورد تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده توسط مدل‌های غیرخطی تفاوتی ناچیز با یکدیگر داشته است و هر سه مدل به خوبی تعداد نسبی بذره‌های جوانه‌زده را برآورد کرده‌اند. لیکن، به این دلیل که پارامترهای ورودی معادله (۹) در عمل با سهولت نسبی تری قابل دستیابی می‌باشند، استفاده از مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) برای مقاصد کاربردی توصیه می‌شود. ضرایب تبیین ( $R^2$ ) مدل‌های مورد بررسی، هنگامیکه از مقدار آستانه تحمل شوری اندازه‌گیری شده ( $EC^*_m$ ) برای برآورد پارامترها استفاده شود، با شرایطی که مقدار برآورد شده آن ( $EC^*_p$ ) بکار رود، تفاوتی نداشته است. لیکن استفاده از  $EC^*_m$  باعث کاهش مقدار  $EC_{max}$ ،  $p_p$  و افزایش مقدار  $a_0$  در مدل‌های دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) شده است. این موضوع نشان می‌دهد که هر دو مدل به پارامتر  $EC^*$  حساس می‌باشند و استفاده از  $EC^*_m$  برای برآورد پارامترهای مدل مناسب‌تر می‌باشد.

ضرایب تبیین ( $R^2$ ) روابط ۵، ۶، ۷، و ۹ در این جدول به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ می‌باشند. ضرایب تبیین مدل خطی (معادله ۵) کمتر از ضرایب تبیین مدل‌های غیرخطی می‌باشد. لیکن، بین ضرایب تبیین مدل‌های غیرخطی تفاوت ناچیز است. ضرایب تبیین، در شرایطی که از  $EC^*_m$  برای برآورد پارامترهای روابط مختلف استفاده شد با زمانی که از  $EC^*_p$  برای برآورد آن استفاده گردید تفاوتی نداشت. لیکن استفاده از  $EC^*_m$  باعث کاهش مقدار  $EC_{max}$ ،  $p_p$  و افزایش مقدار  $a_0$  در روابط (۷) و (۹) شده است. این موضوع بخوبی نشان می‌دهد که مدل‌های دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) به پارامتر  $EC^*$  حساس می‌باشند.

ضرایب تبیین مدل‌های غیرخطی، هنگامی که از  $p_c$  برای برآورد پارامترها استفاده شد به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود جدول (۵) که با ضرایب تبیین بدست آمده هنگامیکه از  $p_p$  استفاده گردید، تفاوتی نداشت.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آستانه کاهش شوری گیاه سورگوم در مرحله جوانه‌زنی ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده و این گیاه تا شوری حدود ۹ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۰ درصد کاهش جوانه‌زنی دارد. مقدار  $EC^*$  برآورد شده توسط مدل‌های خطی و غیرخطی مورد

### فهرست منابع

۱. اسماعیلی، ا. ۱۳۸۱. بررسی واکنش سورگوم به کودهای نیتروژنه در سطوح مختلف شوری. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
۲. همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. شماره ۵۸. تهران. ایران.
3. Abul-Naas, A. A, and M. S. Omran. 1974. Salt tolerance of seventeen cotton cultivars during germination and early seedling development. *Acker pflan zenbau*. 140: 229-236.
4. Ayres, A. D., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and Drainage bulletin. No 29.
5. Ayres, A. D., J. W. Brown, and C. H. Wadleigh. 1952. Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. *agronomy journal*. 44: 307-310.

6. De Wit, C. T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk.Onderz., 64. 6. Pudoc. Wageningen. The Netherlands.
7. Debez, A., K. B. Hamed, C. Grignon, and C. Abdelly. 2004. Salinity effects on germination, growth and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. Plant and Soil. 262: 179-189.
8. Dirksen, C., and D. C. Augustijn. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. p. 185. In Agronomy Abstracts. ASA, Madison, WI.
9. Dirksen, C., J. B. Kool, P. Koorevaar, and M.T. Van Genuchten. 1993. HYSWASOR-Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. p. 99-122. In: D. Russo and G. Dagan(ed.). Water flow and solute transport in soils. Springer Verlage, New York.
10. Dumbroff, E. B., and A. W. Cooper. 1974. Effects of salt stress applied in balanced nutrient solution at several stages during growth of tomato. Bot. Gaz. 135: 219-224.
11. Feddes, R. A., E. Bresler, and S. P. Neuman. 1974. Field test of a modified numerical model for water uptake by root system. Water Resource Research. 10(6): 1199-1206.
12. Feddes, R. A., P. Kowalik, and H. Zarandy. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen. The Netherlands.
13. Feddes, R. A., P. Kowalik, K. Kolinska-Malinka, and H. Zarandy. 1976. Simulation of field water uptake plants using a soil water dependent root extraction function. Journal of Hydrology. 31: 13-26.
14. Francois, L. E. 1985. Salinity effects on germination, growth and yield of two squash cultivars. Hort Science. 20: 1102-1109.
15. Grattan, S. R., C. M. Grieve, J. A. Poss, P. H. Robinson, D. L. Suarez, and S. E. Benes. 2004. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. I. Biomass production. Agricultural Water Management. 70: 109-120.
16. Hanks, R. J. 1984. Predictions of crop yield and water consumption under saline conditions. P. 272-283. In: I. Shainberg and J. Shalhevet (ed.) soil salinity under irrigation. Springer Verlage. New York.
17. Heeman, D. P., L. G. Lewin, and D. W. Mc Caffery. 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. Aust. J. Exp. Agric. 28: 343-349.
18. Homae, M. 1999. Root water uptake under nonuniform transient salinity and water stress. Ph.D Thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen. The Netherlands.
19. Homae, M., and R. A. Feddes. 2001. Quantification of water extraction under salinity and drought. In: W. J. Horst et al. (Eds), Plant nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems.p. 376-377.
20. Homae, M., and R. A. Feddes. 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic and pressure heads. 14<sup>th</sup> international conference on computational methods in water resources. Delft. The Netherlands.
21. Homae, M., R. A. Feddes. 1999. Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. p. 416-427. In: J. Feyen and K. Wiyono (ed.). Modelling of transport processes in soils at various scales in time and space. Wageningen Press, Wageningen. The Netherlands.
22. Homae, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management, 57:89-109.
23. Homae, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management, 57:111-126.

24. Homaei, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002c. Simulation of root water uptake. III. Non-uniform transient combined salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 57: 127-144.
25. Homaei, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002d. A macroscopic water extraction model for Non-uniform transient salinity and water stress. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 1764-1772.  
irrigated with fresh and blended saline waters. *Agricultural Water Management*. 111. 87-104
26. Kaddah, M. T. 1963. Salinity effects on growth of rice at the seedling and inflorescence stages of development. *Soil Sci*. 96: 105-111.
27. Kaddah, M. T., and S. I. Ghowail. 1964. Salinity effects on the growth of corn at different stages of development. *Agron. J*. 56: 214-217.
28. Keshta, M. M., M. Hammad and W. A. I. Sorour. 1999. Evaluation of rapeseed genotypes in saline soils. *Proceeding of the 10th international rapeseed congress, Canberra, Australia*.
29. Khoshkholgh Sima, N.A., T. Nagaoka, K. Kouno, and T. Ando. 1997. Effect of salinity on seed germination and seedling growth of the species collected from the saline areas of Iran. In: T. Ando et al. (Eds). *Plant nutrition for sustainable food production and environment*. pp 417-418. Kluwer Academic Publishers. Japan.
30. Lunin, J., M. H. Gallatin, and A. R. Batcheler. 1963. Saline irrigation of several vegetable at various growth stages. I. Effect on yields. *Agron. J*. 55: 107-114.
31. Maas, E. V. 1986. Physiological response of plant to chloride. In: Jackson, T. L. (ed.). *Chloride and crop Production*. T. L., PP. 4-20. *Proc. ASA Symp. Spec. Bull. 2. ASA. Madison. WI*.
32. Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage*. 103 (IR2): 115-134.
33. Maas, E. V., and J. A. Poss. 1989a. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrig. Sci*. 10: 29-40.
34. Maas, E. V., and J. A. Poss. 1989b. Sensitivity of cowpea to salt stress at three growth stages. *Irrig. Sci*. 10: 313-320.
35. Maas, E. V., and S. R. Grattan. 1999. Crop yields as affected by salinity. In. M. Pessarakly (Ed.). *Hand book of plant and crop stress*. pp. 55-108. Marcel Dekker. New York.
36. Maas, E. V., G. J. Hoffman, G. D. Chaba, J. A. Poss, and M. C. Shannon. 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrig. Sci*. 4: 45-57.
37. Maas, E. V., J. A. Poss, G. J. Hoffman. 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrig. Sci*. 7: 1-11.
38. Mahmood, O. M. A. G. 2012. Modeling Effect of Irrigation Water quality Frequency with difference leaching requirement on the salts accumulation and yield for sorghum. *Al-Rafadain Engineering Journal*. Vol. 20 Issue 4, p60.
39. Massai, R., D. Remorin and M. Tattini. 2004. Gas exchange, water relation and osmotic adjustment in two scion/rootstock combinations of prunus under various salinity concentrations. *Plant and soil*. 259: 153-162.
40. Pandya, D. H., R. K. Mer, P. K. Prajith, and A. N. Pandey. 2004. Effect of salt stress and Manganese supply on growth of Barley seedlings. *Journal of Plant Nutrition*. Vol: 27, No: 8: 1361-1379.
41. Pearson, G. A., and L. Bernstein. 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. *Agron. J*. 51: 654-657.
42. Ramos, T.B., J. Simunek, M.C. Gonc, J.C. Martins, A. Prazeres, and L.S. Pereira, 2012. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum

43. Richards, L. A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics*. 1: 318-333.
44. Samadani, B. 1373. Response of Different varieties of Sweet Corn to Salinity and Study Tolerance Mechanisem. Msc. Thesis. University of Shiraz. Shiraz. Iran. (in farsi).
45. Shalhevet, J., P. Reiniger, and D. Shimshi. 1969. Peanut response to uniform and non-uniform soil salinity. *Agron. J.* 61: 384-387.
46. Udovenko, G. V., and L. I. Alkeseeva. 1973. Effect of salinization on initial stages of plant growth. *Sov. Plant physiol.* 20: 228-235.
47. van Genuchten, M. Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U.S. Salinity Laboratory. Riverside, CA.
48. van Genuchten, M. Th., and S. K. Gupta. 1993. A reassessment of the crop response function. *Journal of Indian Society on Soil Science.* 41: 730-737.
49. van Genuchten, M. Th., and G. J. Hoffman. 1984. Analysis of crop salt tolerance data: model description and manual. USDA-ARS-USSL Res. Rep. No. 120. U.S.Gov. print. Office, Washington, DC.
50. Wahid, A., E. Rasul, and A. R. Rao. 1999. Germination of seeds and propagules under salt stress. In: M. Pessarakli (Ed.). *Hand book of plant and crop stress*. 2nd edition. pp. 153-169. Marcel Dekker, Inc. New York. ISBN: 0-8247-1948-4.
51. Wang, D., and M. C. Shannon, 1999. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant and Soil.* 214: 117-124.
52. Yaron, D., E. Bresler, H. Bielorai, and B. Harpinist. 2012. A model for optimal irrigation scheduling with saline water. *Water Resources Research.* Volume 16, Issue 2, pages 257-262.

Archive of SID