

## تعیین حد آستانه کاهش عملکرد ریحان و ارزیابی مدل‌های جذب آب تحت شرایط تنش شوری

مهدی سرائی تبریزی<sup>۱</sup> - حسین بابازاده<sup>۲\*</sup> - مهدی همایی<sup>۳</sup> - فریدون کاوه<sup>۴</sup> - مسعود پارسی نژاد<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۹

### چکیده

شوری منابع آب و خاک از چالش‌های مهم بخش کشاورزی در ایران است. در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش شوری، چند مدل ریاضی وجود دارد. لیکن اغلب این مدل‌ها در شرایطی خاص کاربرد دارند. هدف از این پژوهش، برآورد آستانه کاهش عملکرد ریحان، مدل‌سازی واکنش گیاه ریحان به شوری و نیز ارزیابی کارایی مدل‌های ریاضی موجود در برآورد عملکرد این گیاه بود. به همین منظور، آزمایشی با ۱۳ سطح مختلف شوری شامل شوری‌های ۱/۲، ۱/۸، ۲، ۲/۲، ۲/۵، ۲/۸، ۳، ۳/۵، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. تیمارهای شوری با استفاده از اختلاط آب رودخانه شور با آب شرب تهیه شد. به منظور کمی کردن اثر شوری بر عملکرد محصول، از هفت مدل ریاضی استفاده شد. نتایج نشان داد آستانه کاهش عملکرد ریحان نسبت به شوری خاک ۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد، ۷/۲ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. مدل ون‌گنوختن و هافمن (۴۸) در شبیه‌سازی تابع کاهش عملکرد ریحان به شوری عصاره اشباع دقتی بیشتر نسبت به دیگر مدل‌ها داشت. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های ون‌گنوختن و هافمن (۴۸)، استیوهن و همکاران (۴۴) و همایی و همکاران (۱۳) برای شبیه‌سازی واکنش عملکرد ریحان به شوری عصاره اشباع خاک از دقتی مناسب برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: توابع کاهش، مدل‌سازی، مدل‌های ریاضی

### مقدمه

خاک‌های شور، انجام اقدامات زهکشی اثربخش، معرفی ارقام مناسب مقاوم به شوری، افزایش نوبت‌های آبیاری، تسطیح اراضی، توجه به زمان کوددهی و روش‌های کاشت، توجه به روش‌های شوری‌زدایی و استفاده بهینه از منابع آب شور و لب‌شور در مدیریت آب کشاورزی از جمله اقدامات مدیریتی است که برای غلبه بر معضل شوری منابع آب و خاک معرفی و به فراخور وسعت، شدت و عامل ایجاد شوری در هر منطقه بررسی و پیشنهاد شده است.

در زمینه پاسخ عملکرد گیاهان مختلف به تنش شوری پژوهش‌هایی پرشمار انجام شده است. این پژوهش‌ها گستره وسیعی از مطالعات شامل پاسخ گیاه به شوری در مراحل مختلف رشد (۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۴۰)، پاسخ گیاه به شوری در کل فصل رشد (۴، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۱۷)، پاسخ گیاه به تنش‌های همزمان شوری و کم‌آبی (۱۵، ۱۶، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۴۱) و پاسخ گیاه به تنش‌های همزمان شوری و مواد غذایی (۶، ۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۴۳) را در بر می‌گیرند.

همان‌طور که اشاره شد یکی از این راهکارها، شناسایی و معرفی گیاهان، ارقام و گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری است. از آنجاکه تنوع گسترده‌ای از نظر مقاومت به شوری در بین گیاهان مختلف وجود دارد، انتخاب گیاه مطابق با شرایط شور موجود در هر منطقه راهکاری است که ضمن تضمین بقا و رشد گیاه، موجب دستیابی به

محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی همواره مطرح بوده و این امر استفاده بهینه از منابع آب و خاک موجود را ضروری ساخته است. وضعیت شوری منابع آب و خاک کشور پهناور ایران نشان می‌دهد که مسئله شوری، یکی از تنش‌های محیطی مهم در بخش کشاورزی ایران است. البته راهکارهای مهار و مدیریت بلندمدت و کوتاه مدت شوری توسط پژوهشگرانی پرشمار هم چون ماس و هافمن (۳۲)، ون‌گنوختن و هافمن (۴۸)، آیرز و وسکات (۲)، برسلا و هافمن (۳)، رودز و همکاران (۳۷)، هانسون و گراتان (۹)، شالیهوت (۴۲)، اوستر (۳۵)، سپاسخواه و بیروتی (۴۱) و همایی (۱۱) ارائه شده است. در این پژوهش‌ها راهکارهایی شامل بهینه‌سازی آب آبیاری، تلفیق منابع آب شور و شیرین، افزایش راندمان کاربرد آب، مدیریت و اصلاح شوری خاک، آبشویی مکانی

۱، ۲ و ۴- به ترتیب استادیار و دانشیاران گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران (\*- نویسنده مسئول: Email: h\_babazadeh@hotmail.com)

۳- استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه، تربیت مدرس  
۵- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۱۴ و ۳۸):

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

که در آن  $\theta$  درصد رطوبت حجمی خاک،  $h(L)$  بار فشاری آب خاک،  $t(T)$  زمان،  $Z(L)$  عمق خاک،  $K(LT^{-1})$  هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و  $S(T^{-1})$  منبع مصرف آب است. ترم جذب آب  $S$  توسط ریشه در رابطه ۱ تابعی از پتانسیل ماتریک، پتانسیل اسمزی، ویژگی‌های ریشه و شرایط آب و هوایی همچون نیاز تبخیری می‌باشد (۱۳ و ۳۸).

برای بیان کمی که مدل‌هایی وجود دارند که می‌توان آنها را به دو گروه مدل‌های خرد<sup>۱</sup> و مدل‌های کلان<sup>۲</sup> تقسیم کرد. مدل‌های خرد به دلیل مبانی غیر واقعی و نیز غیرقابل اندازه‌گیری بودن پارامترهای آن، تا به حال به بوته آزمایش گذاشته نشده‌اند. به همین خاطر گروه دیگری از مدل‌ها که به مدل‌های کلان شهرت دارند، طراحی و ارائه گردیده‌اند. در مدل‌های کلان، مقدار آب جذب شده توسط گیاه برابر با میزان تعرق واقعی<sup>۳</sup> و در شرایطی که هیچ‌گونه محدودیت آبی در خاک وجود نداشته باشد، برابر با تعرق پتانسیل<sup>۴</sup> در نظر گرفته شده و به صورت کلی زیر بیان می‌شود (۱۳ و ۱۴):

$$S = S_{max} = \frac{T_p}{Z_r} \quad (2)$$

که در آن  $S_{max}$  حداکثر مقدار آب جذب شده به وسیله ریشه گیاه در واحد حجم خاک و زمان تحت شرایط عدم تنش  $(L^3L^{-3}T^{-1})$ ،  $Z_r$  عمق توسعه ریشه  $(L)$  و  $T_p$  تعرق پتانسیل  $(LT^{-1})$  است. اگر پتانسیل آب خاک کمتر از پتانسیل سهل الوصول جذب آب توسط گیاه باشد، به اندازه‌ای که به آن تابع کاهش<sup>۵</sup> گفته می‌شود، از تعرق کاسته می‌شود. مهم‌ترین مدل‌های جذب، موسوم به مدل‌های کلان، توابعی تجربی هستند که جذب آب توسط گیاه را بر مبنای پاسخ گیاه به پتانسیل آب خاک توصیف می‌کنند (۲۷). در حال حاضر این مدل‌ها به دلیل کاربردی بودن، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر اساس این مدل‌ها، در شرایط تنش شوری تابع جذب آب توسط گیاه به صورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک تعریف و بر اساس آن رابطه کلی جذب آب از خاک‌های شور به صورت زیر بیان می‌شود (۱۰ و ۱۲).

$$S = \alpha(h_0) S_{Max} = \alpha \cdot \frac{T_p}{Z_r} \quad (3)$$

عملکرد اقتصادی محصول می‌شود. گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) نعنای (Lamiaceae) است. منشاء این گیاه هند، ایران و افغانستان گزارش شده است. جنس *Ocimum* شامل ۳۰ گونه است که در میان آنها گونه *O. basilicum* مهم‌ترین گونه اقتصادی بوده و امروزه به طور تجاری در کشورهای زیادی مانند فرانسه، مجارستان، آمریکا (کالیفرنیا)، هند، اسپانیا، مصر، پاکستان، اندونزی، مراکش و تقریباً در کلیه مناطق گرم و معتدل جهان کشت می‌شود. از ریحان به عنوان گیاهی دارویی و ادویه‌ای و همچنین به عنوان سبزی تازه استفاده می‌شود (۳۴).

پژوهشگران مختلف، پژوهش‌های زیادی جهت دستیابی به آستانه کاهش عملکرد گیاهان مختلف انجام داده‌اند. در پژوهشی، فرانسویس (۸) با بررسی اثر شوری آب آبیاری بر ۴ هیبرید آفتابگردان نشان داد که متوسط آستانه کاهش عملکرد آفتابگردان نسبت به شوری ۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد ۵ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. ماس و گراتان (۳۱) بانک اطلاعاتی آستانه کاهش و شیب کاهش عملکرد گیاهان مختلف نسبت به شوری را که تا آن زمان اندازه‌گیری شده بودند، ارائه کردند. سپاسخواه و بیروتی (۴۱) تحت شرایط گلخانه‌ای حد آستانه و شیب کاهش عملکرد روناس را تعیین نمودند. نتایج نشان داد که آستانه کاهش گیاه روناس به شوری خاک و آب آبیاری به ترتیب ۱۷ و ۱۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد نیز به ترتیب ۲ و ۳/۷ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

از آنجا که هیچ پژوهشی در ارتباط با پاسخ گیاه ریحان به سطوح مختلف شوری وجود ندارد، پژوهش حاضر با هدف برآورد آستانه کاهش عملکرد ریحان، مدل‌سازی واکنش گیاه ریحان به شوری و نیز ارزیابی کارایی مدل‌های ریاضی موجود در برآورد عملکرد این گیاه انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### مدل‌های مورد استفاده

گیاهان برای فتوسنتز و تعرق، به آب نیاز دارند. با افزایش شوری، جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. مناسب‌ترین روش کمی کردن جذب آب توسط ریشه گیاهان، استفاده از معادله کلی جریان یا معادله ریچاردز است. تقریباً همه مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک به وسیله حل عددی معادله ریچاردز-داریسی با در نظر گرفتن ترم جذب آب برای جریان در بعد عمودی ارائه شده‌اند. از آنجاکه جذب آب توسط گیاهان در رطوبت‌های غیر اشباع صورت می‌گیرد، بنابراین باید آن را در معادله ریچاردز لحاظ کرد. شکل معادله ریچاردز پس از لحاظ کردن ترم جذب آب توسط گیاه به صورت زیر است (۱۰)،

- 1-Microscopic Models
- 2-Macroscopic Models
- 3-Actual Transpiration ( $T_a$ )
- 4-Potential Transpiration ( $T_p$ )
- 5-Reduction Function ( $\alpha$ )

زیر را برای به دست آوردن آن پیشنهاد نمودند:

$$P = \frac{h_{o50}}{h_{o50} - h_o^*} \quad (7)$$

به دلیل این که مشکل به دست آوردن  $h_{o50}$  تا بدین جا حل نشده باقی مانده بود، همایی و همکاران (۱۳) مدل غیرخطی دیگری را ارائه کرده اند که در آن به جای  $h_{o50}$  پارامتر جدیدی بنام  $h_{omax}$  معرفی شد. این مدل، تابع غیرخطی است که دارای دو آستانه کاهش می باشد:

$$\alpha(h_o) = \frac{1}{1 + \left( \frac{1 - \alpha_o}{\alpha_o} \right) \left( \frac{h_o^* - h_o}{h_o^* - h_{omax}} \right)^P} \quad (8)$$

که در آن ضریب  $\alpha_o$  ضریب فاکتور شکل معادله بوده و نشان دهنده تعرق نسبی در نقطه  $h_{omax}$  می باشد. کاهش در مقدار  $\alpha$  در شوری های بیشتر از  $h_o^*$  ادامه می یابد تا به یک شوری معین ( $h_{omax}$ ) برسد. در شوری های بیشتر از  $h_{omax}$  افزایش شوری نمی تواند با همان روند قبلی در مقدار  $\alpha$  کاهش ایجاد کند. البته در حل های عددی این پدیده در بین دو حد آستانه و ماکزیمم هم صادق است. عمدتاً برای ساده سازی خطی در نظر گرفته می شود. این واقعیت نشان می دهد که در  $h_o > h_{omax}$  گیاه هنوز زنده بوده و در سطحی بسیار اندک به فعالیت های حیاتی خود ادامه می دهد. سپس مقدار  $P$  با توجه به  $h_{omax}$  به صورت زیر تعریف شد (۱۳):

$$P = \frac{h_{omax}}{h_{omax} - h_o^*} \quad (9)$$

علاوه بر مدل های تجربی، مدل های دیگری نیز ارائه شده اند که بر خلاف مدل های مذکور مبنای فیزیکی - تجربی نداشته و مبتنی بر تحلیل های آماری می باشند. شکل کلی این معادلات به صورت  $Y_r = f(CE_e)$  می باشد که مهم ترین آنها شامل ویبول تصحیح شده (۴۴)، نمایه دوگانه (۴۴) و گومپرتز (۴۵) می باشند:

$$Y_r = 100 \exp(C(CE_e)^a) \quad (10)$$

$$Y_r = 100 \exp(C(CE_e) - a(CE_e)^2) \quad (11)$$

$$Y_r = 100 [1 - \exp[C(\exp(a(CE_e)))] \quad (12)$$

که در آنها  $Y_r$  و  $CE_e$  به ترتیب عملکرد نسبی (درصد)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک طی فصل رشد (dS/m) و  $a$  و  $C$  ضرایب ثابت هر معادله می باشند.

اجزای مجهول این معادلات ضرایب  $a$  و  $C$  می باشند. این ضرایب از طریق برازش هر معادله بر مقادیر مشاهده ای عملکرد نسبی ( $Y_r$ ) و  $CE_e$  مشخص می شوند (۴۴ و ۴۵).

که در آن  $\alpha$  تابعی از پتانسیل اسمزی خاک بوده و آن را به صورت  $\alpha(h_o)$  تابع بدون بعد پاسخ به تنش شوری نشان می دهند.

رابطه ۳ شکل عمومی مدل های کلان تحت تنش شوری است. توابعی چند برای برآورد  $\alpha(h_o)$  توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد شده است، ماس و هافمن (۳۷) تابعی خطی و دو تکه ای ارائه کرده اند که بر مبنای آن تا پیش از آستانه کاهش ( $h_o^*$ )، هیچ گونه کاهش در جذب آب پدید نمی آید. لیکن با افزایش  $h_o$  به مقادیر بالاتر از  $h_o^*$  مقدار جذب به طور خطی کاهش می یابد:

$$\alpha(h_o) = 1 - \frac{b}{360}(h_o^* - h_o) \quad (4)$$

که در آن  $b$  شیب خط یا مقدار کاهش عملکرد به ازای یک واحد افزایش شوری پس از آستانه شوری می باشد.

از آنجا که منحنی دقیق پاسخ گیاه به شوری، شکلی سیگموئیدی و نه خطی دارد، به همین دلیل ون گنوختن و هافمن (۴۸) معادله ای غیرخطی به صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$\alpha(h_o) = \frac{1}{1 + \left( \frac{h_o}{h_{o50}} \right)^P} \quad (5)$$

که در آن  $h_{o50}$  (L) مقدار پتانسیل اسمزی است که در آن جذب آب توسط گیاه به اندازه ۵۰ درصد کاهش می یابد، و  $P$  نیز ضریبی تجربی است که وابسته به گیاه، خاک و اقلیم می باشد.

در ابتدا مقدار این پارامتر به صورت یک مقدار ثابت و معادل ۳ در نظر گرفته شد. ون گنوختن (۴۶) و ون گنوختن و گوپتا (۴۷) با استفاده از بانک اطلاعاتی که برای ضرایب گیاهی (حد آستانه شوری و شیب خط کاهش عملکرد محصولات مختلف توسط ماس و هافمن (۳۲) گردآوری شده بود و جایگذاری این مقادیر در مدل ریاضی جذب آب پیشنهادی خود، اقدام به محاسبه ضریب  $P$  کردند. همایی و همکاران (۱۳) هم یک رابطه فیزیکی برای برآورد پارامتر  $P$  ارائه نمودند. پژوهش های مختلف نشان داده است که جذب آب توسط گیاه تا رسیدن به یک شوری معین ( $h_o^*$ ) کاهش نمی یابد، به همین خاطر دیرکسن و آگوستین (۴) رابطه ۵ را نسبت به آستانه شوری ( $h_o^*$ ) تعدیل و رابطه زیر را پیشنهاد کرده اند:

$$\alpha(h_o) = \frac{1}{1 + \left( \frac{h_o^* - h_o}{h_o^* - h_{o50}} \right)^P} \quad (6)$$

همایی و همکاران (۲۶) نشان دادند که این مدل نسبت به مدل های قبلی می تواند با دقتی بیشتر واکنش گیاه به شوری را شبیه سازی نماید، لیکن در آن پارامتر  $P$  نه به صورت تجربی و نه به صورت فیزیکی تعریف نشده است. با فرض این که  $P$  پارامتری وابسته به محصول، خاک و اقلیم است، همایی و همکاران (۱۳) رابطه

جدول ۱- نتایج آزمایش تجزیه شیمیایی نمونه آب رودخانه شور

Table 1- Results of chemical analysis of Shoor River water sample

T.D.S (mg/lit)	EC (dS/m)	pH	milliequivalent/liter				milliequivalent/liter					SAR*	Na %	
			CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	مجموع آنیون‌ها	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>			مجموع کاتیون‌ها
7520	10.49	7.88	0.04	4	70	49.1	123.1	10.4	31.6	76.5	0.17	118.67	16.69	64.61

(milliequivalent/liter)<sup>a/b</sup> برحسب SAR\*

جدول ۲- مشخصات خاک گلدان‌های آزمایش

Table 2- Some chemical properties of pot soil

وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	رطوبت حجمی در مکش ۱۵ اتمسفر Volumetric Moisture 15 atm	رطوبت حجمی در مکش ۱۰/۳ اتمسفر Volumetric Moisture a7 0.3 atm	رطوبت اشباع (%) Relative Saturated (%)	بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
1.54	11.0	25.4	41.4	Sandy loam	13	7	80

شود، به عبارت دیگر هرگاه رطوبت روزانه ( $\theta_t$ ) برابر رطوبت قابل جذب گیاه ( $\theta_{CEC}$ ) شد، عملیات آبیاری انجام می‌شود. برای تعیین مقدار عمق آب آبیاری از رابطه ۱۵ استفاده می‌شود. میزان ضریب مدیریتی تخلیه مجاز رطوبتی برابر ۳۰ درصد در نظر گرفته شد (۵).

$$\theta_{CEC} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \quad (14)$$

که در آن  $\theta_{CEC}$ ، رطوبت حجمی قابل جذب گیاه (درصد)،  $\theta_{FC}$  رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی<sup>۱</sup> (درصد) و  $\theta_{PWP}$  رطوبت حجمی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم<sup>۲</sup> (درصد) و  $MAD$  ضریب حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (درصد) می‌باشد.

$$d_n = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D_{rz} \quad (15)$$

که در آن  $d_n$  عمق آب آبیاری (میلی تر) و  $D_{rz}$  عمق منطقه توسعه ریشه‌ها (میلی تر) می‌باشد.

مقدار مصرف آب توسط گیاه از طریق اندازه‌گیری اجزاء بیلان آب بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I = (ET_c + D_d + R_o) \pm \Delta S \quad (16)$$

که در آن  $I$  عمق آب آبیاری (میلی تر)،  $ET_c$  تبخیر و تعرق گیاه (میلی تر)،  $D_d$  عمق آب زهکشی (میلی تر)،  $R_o$  عمق رواناب (میلی تر) و  $\Delta S$  تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (میلی تر) می‌باشند.

برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری از دستگاه تئاپروب استفاده شد و روش وزنی نیز به عنوان یک روش کنترلی برای واسنجی دستگاه تئاپروب مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه دستگاه تئاپروب با روش‌های مختلف (خطی، غیرخطی و روش ویژه) واسنجی شد (۲۱، ۳۳، ۳۶ و ۳۹). نتایج نشان داد که روش واسنجی غیرخطی که توسط

نیاز آبتیابی در تیمارهای آزمایشی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱ و ۲):

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (13)$$

که در آن  $LR$  نیاز آبتیابی،  $EC_{iw}$  هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m) و  $EC_{dw}$  هدایت الکتریکی آب زهکشی (dS/m) (که در هر آبیاری اندازه‌گیری شد)، می‌باشد. نیاز آبتیابی برای همه تیمارها بین ۱۶/۶ و ۲۵ درصد بدست آمد.

شرح آزمایش:

آزمایش‌ها دارای ۱۳ تیمار شوری شامل ۱/۲ (تیمار شاهد)، ۱/۸، ۲، ۲/۲، ۲/۵، ۲/۸، ۳، ۳/۵، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر در سه تکرار بود. در تاریخ هفتم اردیبهشت ۱۳۹۲ بذر ریحان داخل گلدان‌های همگن به ابعاد ۲۰ سانتی‌متر قطر و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع با بافت لوم شنی کشت شد. تعرق نسبی به صورت روزانه طی ۴ ماه فصل کشت اندازه‌گیری شد. تعداد آبیاری‌ها ۳۲ نوبت بود. بعد از مرحله سه برگی شدن، تیمارهای شوری در کل فصل رشد اعمال شدند. از آنجا که استفاده از نمک طعام برای تهیه تیمارهای شوری ممکن است منجر به سمیت عناصر خاص شود. در این پژوهش، برای اعمال تیمارهای شوری از آب شور رودخانه شور واقع در منطقه بین پیک زرنده و ورامین استفاده شد. نتایج تجزیه شیمیایی آب و مشخصات خاک مورد استفاده در این پژوهش، به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

برای برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین زمان و مقدار آبیاری با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی از روش بیلان رطوبتی آب در خاک استفاده شد. نخست باید مقدار رطوبت قابل جذب گیاه ( $\theta_{CEC}$ ) محاسبه شود و سپس هر وقت رطوبت به حدود آن رسید آبیاری انجام

1-Field Capacity (FC)

2-Permanent Wilting Point (PWP)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (18)$$

که در آنها  $P_i$  مقادیر برآورد شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد مشاهدات و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر  $O_i$  می‌باشد. آماره  $nRMSE$  مقادیر کلی یا میانگین انحراف مقادیر برآورد شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نمایش‌دهنده عدم اطمینان مطلق مدل می‌باشد. هر چه  $nRMSE$  به صفر نزدیک‌تر باشد عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. کمترین مقدار برای  $ME$  و  $nRMSE$  صفر است. مقدار زیاد  $ME$  نمایانگر بدترین حالت برآورد مدل است. ضریب  $EF$  بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین می‌باشد. مقدار  $EF$  بین  $-\infty$  تا  $+1$  متغیر است. هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد مدل کارآتر است. در حالی که مقدار  $CRM$  نشان‌دهنده تمایل مدل برای بیش‌برآوردی<sup>۶</sup> و یا کم‌برآوردی<sup>۷</sup> در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده است. بیشترین مقدار برای  $EF$  برابر یک است. آماره  $EF$  مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. اگر تمامی داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده یکسان باشند، نتایج آماره‌ها به صورت  $ME$ ،  $CRM$  و  $nRMSE$  برابر صفر و  $EF$  و  $d$  برابر یک خواهد بود. آماره  $d$  یک پارامتر توصیفی است که مقدار آن از  $-\infty$  تا  $+1$  متغیر است (۲۵، ۳۰ و ۴۹).

### نتایج و بحث

در شکل ۱ واکنش گیاه ریحانه سطوح مختلف شوری عصاره اشباع خاک ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تا شوری ۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد نسبی ثابت و از آن به بعد با افزایش شوری عملکرد نسبی کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه در همه مدل‌های کلان جذب آب، عملکرد نسبی تابعی از مجموع تعرق دوره‌های مختلف رشد تعریف می‌شود. آستانه کاهش عملکرد محصول به دست آمده نماینده متوسط کل فصل می‌باشد. بنابراین آستانه کاهش عملکرد گیاه ریحان در مقابل تنش شوری عصاره اشباع خاک در کل فصل رشد برابر ۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. با برآزش معادله ماس و هافمن (۳۲) بر داده‌های اندازه‌گیری شده شوری، شیب خط کاهش عملکرد نسبت به شوری عصاره اشباع خاک ۷/۲ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر محاسبه شد.

سازندگان دستگاه پیشنهاد شده است بیشترین دقت را در برآورد رطوبت دارا می‌باشد ( $RMSE=0.023$  و  $R^2=0.935$ ). بنابراین در این مطالعه، از روش سازندگان دستگاه برای برآورد رابطه بین رطوبت و ثابت دی الکتریک استفاده شد.

تعرق نسبی با استفاده از تغییرات رطوبت روزانه خاک محاسبه شد. برای کاهش تبخیر از سطح خاک گلدان‌ها، یک لایه شن به ضخامت دو سانتی‌متر استفاده گردید. در پایان آزمایش عملکرد ماده خشک ریحان در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری و عملکرد نسبی ریحان از تقسیم عملکرد ماده خشک تیمارها بر عملکرد ماده خشک تیمار بدون تنش (تیمار شاهد) محاسبه شد.

به منظور محاسبه پارامترهای مدل‌ها ( $b, h_{0.50}, h_{0max}, h_o^*$ ) از روش بهینه‌سازی حداقل مجموع مربعات خطا و برآزش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده شد. نرم افزارهای آماری مورد استفاده در این پژوهش، SPSS و Excel بودند.

مقایسه کمی مدل‌های مورد استفاده با محاسبه آماره‌های بیشینه خطای نسبی ( $ME$ )<sup>۱</sup>، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ( $nRMSE$ )<sup>۲</sup>، کارایی مدل‌سازی ( $EF$ )<sup>۳</sup>، ضریب جرم باقی‌مانده ( $CRM$ )<sup>۴</sup> و شاخص سازگاری ( $d$ )<sup>۵</sup> برای هر کدام از مدل‌ها انجام شد. بیان ریاضی آماره‌های یاد شده به صورت زیر است:

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \times \frac{100}{O} \quad (14)$$

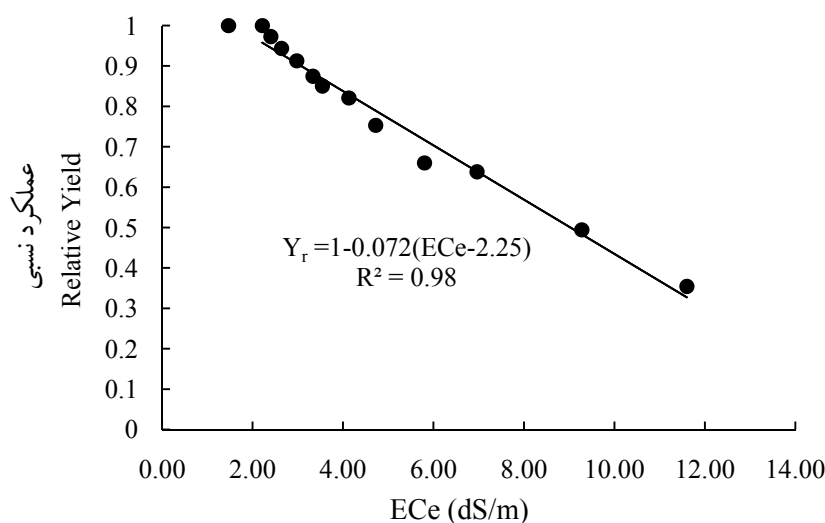
$$nRMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{100}{O} \quad (15)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (16)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (17)$$

- 1-Maximum Error
- 2-normalized Root Mean Square Error
- 3-Modeling Efficiency
- 4-Coefficient of Residual Mass
- 5-Index of Agreement

- 6-Overestimate
- 7-Underestimate



شکل ۱- واکنش گیاه ریحان در مقابل تنش شوری عصاره اشباع  
Figure 1- Basil response to irrigation water salinity stress

جدول ۳- پارامترهای بدست آمده برای مدل‌های ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ جهت برآورد واکنش گیاه ریحان به سطوح مختلف شوری  
Table 3- Model parameters for estimating basil response to salinity stress at models of 4, 5, 6, 8, 10, 11, and 12

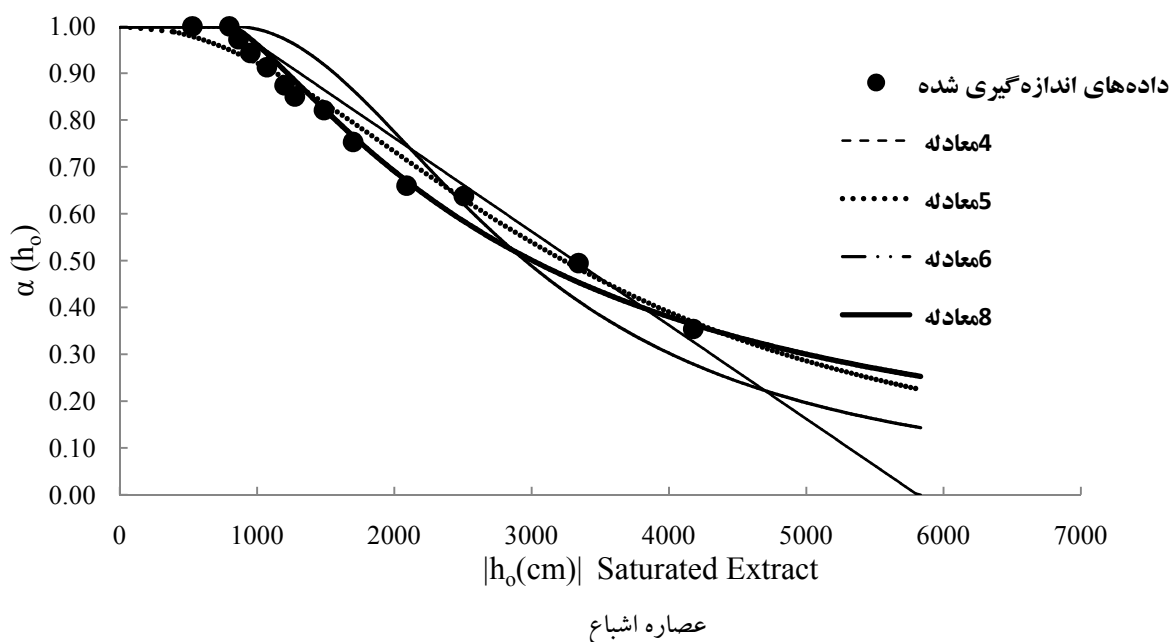
نوع مدل Type of model	نام مدل Model Name	شماره مدل Model No.	$h_o^*$	$h_{omax}$	$h_{o50}$	b (%)	a	P	C	$\alpha_0$
مدل‌های ریاضی-تجربی Math-empirical Models	ماس و هافمن Maas & Hoffman	4	810	-	-	7.20	-	-	-	-
	ون گنوختن و هافمن Van Genuchten & Hoffman	5	-	-	3232.8	-	-	2.10	-	-
	دیرکسن و آگوستین Dirksen and Agustin	6	810	-	2952	-	-	2.10	-	-
مدل‌های آماری Statistical Models	همایی و همکاران Homae et al	8	810	5688	-	-	-	1.31	-	0.26
	ویبول تصحیح شده Modified Weibull	10	-	-	-	-	-0.018	-	1.87	-
	نمایه دوگانه Bi-Exponential	11	-	-	-	-	0.0085	-	0.015	-
	گومپرتز Gompertz	12	-	-	-	-	-10.50	-	-0.45	-

مدل ون گنوختن و هافمن (۴۸) و مدل همایی و همکاران (۱۳) در توابع کاهش عملکرد به ترتیب ۲/۱ و ۱/۳۱ و ضریب  $\alpha_0$  در مدل همایی و همکاران (۱۳)، ۰/۲۶ محاسبه شد. در شکل ۲ برازش توابع کاهش عملکرد شبیه‌سازی شده نسبت به شوری عصاره اشباع خاکبر داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه شده است. همچنین در جدول ۴ آماره‌های ارزیابی مدل‌ها ارائه شده است. بر این اساس، مدل ون گنوختن و هافمن (۴۸) و همایی و همکاران (۱۳) در

در جدول ۳ ضرایب مدل‌های مورد استفاده ارائه شده است. بر این اساس پتانسیل اسمزی در حد آستانه کاهش عملکرد ریحان نسبت به شوری خاک ۸۱۰ سانتی‌متر و شیب خط کاهش عملکرد ۷/۲ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. شوری که در آن عملکرد ۵۰ درصد کاهش می‌یابد ( $h_{o50}$ ) در مدل‌های ون گنوختن و هافمن (۴۸) و دیرکسن و آگوستین (۴) در واکنش عملکرد به شوری عصاره اشباع به ترتیب ۳۳۳۲/۸ و ۲۹۵۲ سانتی‌متر محاسبه شد. مقدار پارامتر P

حیث با نتایج پژوهش کیانی و همکاران (۲۶) مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در بین مدل‌های آماری واکنش عملکرد به شوری عصاره اشباع، فقط مدل آماری تصحیح شده ویبول (۴۴) دارای دقت مناسب می‌باشد و دو مدل آماری ارائه شده دیگر شبیه‌سازی قابل قبولی را ارائه نمی‌کنند که از این حیث با نتایج پژوهش استپوهن و همکاران (۴۵) همخوانی دارد.

شبیه‌سازی تابع کاهش عملکرد ریحان به شوری عصاره اشباع خاکبیشترین همخوانی و بهترین برازش (کمترین مقدار  $ME$ ،  $RMSE$  و  $d=1$ ) نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده راداشته است. در مجموع با توجه به نتایج ارائه شده به نظر می‌رسد در بین مدل‌های جذب آب نسبت به شوری، مدل‌های ون‌گنوختن و هافمن (۴۸) و همایی و همکاران (۱۳) دقت بیشتری نسبت به مدل‌های خطی ماس و هافمن (۳۲) و حد آستانه دیرکسن و آگوستین (۴) دارا می‌باشند که از این



شکل ۲- توابع کاهش عملکرد نسبت به پتانسیل اسمزی عصاره اشباع خاک

Figure 2- Mathematical-empirical functions based on electrical conductivity of the saturated extract soil salinity

جدول ۴- آماره‌های محاسبه شده برای مقایسه مدل‌های مختلف برآورد توابع کاهش عملکرد ریحان به شوری

نوع مدل Type of model	شماره مدل Model No.	R <sup>2</sup>	nRMSE (%)	EF (%)	ME (%)	CRM (%)	d (%)
مدل‌های ریاضی-تجربی Math-empirical Models	4	0.970	12.250	0.520	21.060	-0.100	0.930
	5	0.986	3.580	0.880	6.910	-0.003	0.990
	6	0.900	9.490	0.900	14.070	-0.050	0.970
	8	0.987	8.920	0.710	14.540	-0.080	0.960
مدل‌های آماری Statistical Models	10	0.987	4.590	0.980	10.440	0.020	0.990
	11	0.981	20.550	0.650	34.220	-0.170	0.890
	12	0.982	10.400	0.910	22.720	0.030	0.980

۲/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد ۷/۲ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. در مجموع با توجه به نتایج ارائه شده به نظر می‌رسد در بین توابع کاهش عملکرد، مدل ریاضی ون‌گنوختن و هافمن (۴۸) و همایی و همکاران (۱۳) در شبیه‌سازی تابع کاهش عملکرد ریحان به شوری عصاره اشباع خاک دارای دقت بیشتری نسبت به مدل‌های خطی ماس و هافمن (۳۲) و حد آستانه دیرکسن و

## نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی واکنش عملکرد ریحان به شوری و برآورد ضرایب گیاهی آستانه کاهش و شیب کاهش عملکرد ریحان نسبت به شوری و همچنین ارزیابی کارایی مدل‌های ریاضی موجود در برآورد عملکرد نسبی انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد آستانه کاهش عملکرد ریحان نسبت به شوری عصاره اشباع خاک

آگوستین (۴) می‌باشند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در بین مدل‌های آماری واکنش عملکرد به شوری عصاره اشباع خاک، فقط مدل آماری تصحیح شده ویبول (۴۴) دارای دقت مناسب می‌باشد.

## منابع

- 1- Ayars J.E., Corwin D.L. and Hoffman. G.J. 2012. Leaching and root zone salinity control. ASCE Manual and Report Engineering Practice No 71 Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition), ASCE Riston. Chapter 12: 371-403.
- 2- Ayers R.S. and Westcott D.W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper, No. 29, Rev. 1, FAO, Rome.
- 3- Bressler E., and Hoffman G.J. 1986. Irrigation management for soil salinity control: Theories and tests. Soil Science Society America. Journal, 50:1552-1560.
- 4- Dirksen C.m and Augustijn D.C. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. Agriculture Abstracts, pp. 188.
- 5- Ekren S., Sonmez C., Ozcakal E., Kukul Kurttas Y.S., Bayram E. and Gurgulu H. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum L.*). Agricultural Water Management, 57 (2): 111-126.
- 6- Esmaili E., Homae M., and Malakouti M.J. 2005. Interactive effect of salinity and Nitrogen fertilizers on growth and composition of Sorghum. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 19 (1): 131-146. (in Persian with English abstract).
- 7- Esmaili E., Kapourchal S.A., Malakouti M.J., and Homae M. 2008. Interactive effects of Salinity and two nitrogen fertilizers on growth and composition of sorghum. Plant Soil Environment, 54 (12): 537-546.
- 8- Francois L.E. 1996. Salinity effects on four sunflower hybrids. Agron Journal, 88: 215-219.
- 9- Hanson B.R., and Grattan S.R. 1999. Agricultural salinity and drainage. University of California, Irrigation Program, 328 pp.
- 10- Homae M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. PhD dissertation, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 173 pp.
- 11- Homae M. 2002. Plants response to salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). No. 58. (in Persian).
- 12- Homae M., and Feddes R.A. 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic and pressure heads. Develop Water Science, 47: 17-24.
- 13- Homae M., Dirksen C., and Feddes R.A. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management, 57: 89-109.
- 14- Homae M., Dirksen C., and Feddes R. A. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Nonuniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management, 57(2): 111-126.
- 15- Homae M., Feddes R. A. and Dirksen C. 2002c. Simulation of root water uptake. III. non-uniform transient combined salinity and water stress. Agricultural Water Management, 57: 127-144.
- 16- Homae M., Feddes R. A. and Dirksen C. 2002d. A macroscopic water extraction model for non-uniform transient salinity and water stress. Soil Science Society America Journal, 66: 1764-1772.
- 17- Homae M. and Schmidhalter U. 2008. Water integration by Plants root under non-uniform soil salinity. Irrigation Science, 27: 83-95.
- 18- Hosseini Y., Homae M., Karimian N.A. and Saadat S. 2009a. Modeling of Canola response to combined salinity and nitrogen stresses. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science) 12 (46): 721-734. (in Persian with English abstract).
- 19- Hosseini Y., Homae M., Karimian N.A., and Saadat S. 2009b. The effects of phosphorus and salinity on growth, nutrient concentrations, and water use efficiency in Canola (*Brassica napus L.*). Agricultural Research (Water, Soil and Plant in Agriculture) 8 (4): 1-18. (in Persian with English abstract).
- 20- Hosaini Y., Homae M., Karimian N.A., and Saadat S. 2009. Modeling vegetative stage response of Canola (*Brassica napus L.*) to combined salinity and boron stresses. International Journal of Plant Production, 4 (3): 175-186.
- 21- Jacobsen O.J., and Schjonning P. 1993. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. Journal of Hydrology, 5: 147-157.
- 22- Jalali V.R., Homae M., and Mirnia S. Kh. 2008a. Modeling Canola response to salinity on vegetative growth stages. Journal of Agricultural Engineering Research 8 (4): 95-112. (In Persian with English abstract).
- 23- Jalali V.R., Homae M., and Mirnia S. Kh. 2008b. Modeling Canola Response to Salinity in Productive Growth Stages. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science) 12 (44): 111-121. (in Persian with English abstract).



- 24- Jalali V. R. and Homae M. 2010. Modeling the effect of salinity application time of root zone on yield of canola (*Brassica napus L.*). Journal of Crop Improvement 12 (1): 29-40. (in Persian with English abstract).
- 25- Jamieson P. D., Porter J. R. and Wilson D. R. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27, 337-350.
- 26- Kiani A.R., Mirlatif M., Homae M. and Cheraghi A. 2004. Effect of different irrigation regimes and salinity on wheat yield in Gorgan region. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1): 79-89. (in Persian with English abstract).
- 27- Kiani A.R., Mirlatif M., Homae M. and Cheraghi A. 2005a. Water use efficiency of wheat under salinity and water stress. Journal of Agricultural Engineering Research 6 (24): 47-64. (in Persian with English abstract).
- 28- Kiani A.R., Mirlatif M., Homae M. and Cheraghi A. 2005b. Determination of the best watersalinity functions for wheat production in north of Gorgan. Journal of Agricultural Engineering Research 6 (25): 1-14. (in Persian with English abstract).
- 29- Kiani A.R., Homae M. and Mirlatif M. 2006. Evaluation yield reduction functions under salinity and water stress conditions. Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences) 20 (1): 73-83. (in Persian with English abstract).
- 30- Loague K., and Green R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal of Contaminant Hydrology, 7: 51-73.
- 31- Maas E.V., and Grattan S. R. 1999. Crop yields as affected by salinity. In R. W. Skaggs and J. van Schilfgarde (eds) Agricultural Drainage. Agron.Monograph 38.ASA, CSSA, SSA, Madison, WI pp. 55-108.
- 32- Maas E.V., and Hoffman G. J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Engineering(ASCE), 103 (IR2): 115-134.
- 33- Miller J. D. and Gaskin G. 1997. The development and application of the theta probes soil water sensor. MLURI.Technical note, 312 pp.
- 34- Omidbaigi R. 2009. Production and processing of medicinal plants.Astan Quds Razavi publications, No. 149, 397 pp. (in Persian).
- 35- Oster J. D. 1994. Irrigation with poor quality water.Agricultural Water Management,25(3):271-297.
- 36- Ponizovsky A., Chudinova S. and Pachepsky Y. 1999. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. Journal of Hydrology, 218: 35-43.
- 37- Rhoades J.D. Kandiah A. and Mashali A. M. 1992. The use of saline waters for crop production. Irrigation and Drainage paper, No. 48, FAO, Rome.
- 38- Richards L. A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous mediums.Physics, 1: 318-333.
- 39- Robinson D.A., Gardner C.M.K., and Cooper J.D. 1999. Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and theta probes: comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity. Journal of Hydrology, 223: 198-211.
- 40- Saadat S., Homae M. and Liaghat A. M. 2005. Effect of soil solution salinity on the germination and seedling growth of sorghum plant. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 19 (2): 243-254. (in Persian with English abstract).
- 41- Sepaskhah A. R. and Beirouti Z. 2009. Effect of irrigation interval and water salinity on growth of madder (*Rubiatinctorum L.*).International Journal of Plant Production, 3(3):1-16.
- 42- Shalhevet J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. Agricultural Water Management, 25(3):233-269.
- 43- Shenker M., Ben-Gal A. and ShaniU. 2003. Sweet corn response to combined nitrogen and salinity environmental stresses. Plant Soil, 256: 139-147.
- 44- Steppuhn H. van Genuchten M. Th. and Grieve C. M. 2005a. Crop ecology, management and quality: Root-Zone Salinity: I. Selecting a Product-Yield Index and Response Function for Crop Tolerance. Crop Science, 45(1):209-220.
- 45- Steppuhn H. van Genuchten M.Th. and Grieve C.M. 2005b. Crop ecology, management and quality: Root-Zone Salinity: II. Indices for Tolerance in Agricultural Crops.Crop Science,45(1):221-232.
- 46- van Genuchten M.Th. 1983. Analyzing crop salt tolerance data: Model description and user's manual. UDSA, ARS, U.S. Salinity Lab. Research Report No. 120. U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- 47- van GenuchtenM.Th., and Gupta S.K. 1993. A reassessment of the crop tolerance response function. Journal Indian Society Soil Science, 41(4):730- 737.
- 48- van Genuchten M. Th. and HoffmanG. J. 1984.Analysis of crop production. In: I. Shainberg and J. Shalhevet (eds), Soil salinity under irrigation. pp. 258-271. Springer-Verlag.
- 49- Willmott C.J., Akleson G.S., Davis R.E., Feddema J. J., Klink K.M., Legates D.R., Odonnell J. and Rowe C. M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. Journal of Geophysics Research, 90: 8995-9005.

## Determining the Threshold Value of Basil Yield Reduction and Evaluation of Water Uptake Models under Salinity Stress Condition

M. Sarai Tabrizi<sup>1</sup> - H. Babazadeh<sup>2\*</sup> - M. Homae<sup>3</sup> - F. Kaveh<sup>4</sup> and M. Parsinejad<sup>5</sup>

Received:26-05-2014

Accepted:30-11-2014

**Introduction:** Several mathematical models are being used for assessing the plant response to the salinity of the root zone. The salinity of the soil and water resources is a major challenge for agricultural sector in Iran. Several mathematical models have been developed for plant responses to the salinity stress. However, these models are often applicable in particular conditions. The objectives of this study were to evaluate the threshold value of Basil yield reduction, modeling Basil response to salinity and to evaluate the effectiveness of available mathematical models for the yield estimation of the Basil.

**Materials and Methods:** The extensive experiments were conducted with 13 natural saline water treatments including 1.2, 1.8, 2, 2.2, 2.5, 2.8, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8, and 10 dSm<sup>-1</sup>. Water salinity treatments were prepared by mixing Shoor River water with fresh water. In order to quantify the salinity effect on Basil yield, seven mathematical models including Maas and Hoffman (1977), van Genuchten and Hoffman (1984), Dirksen and Augustijn (1988), and Homae *et al.*, (2002) were used. One of the relatively recent methods for soil water content measurements is theta probes instrument. Theta probes instrument consists of four probes with 60 mm long and 3 mm diameter, a water proof container (probe structure), and a cable that links input and output signals to the data logger display. The advantages that have been attributed to this method are high precision and direct and rapid measurements in the field and greenhouse. The range of measurements is not limited like tensiometer and is from saturation to wilting point. In this study, Theta probes instrument was calibrated by weighing method for exact irrigation scheduling. Relative transpiration was calculated using daily soil water content changes. A coarse sand layer with 2 centimeters thick was used to decrease evaporation from the surface soil of the pots. Quantity comparison of the used models was done by calculating statistical indices such as maximum error (ME), normalized root mean square error (nRMSE), modeling efficiency (EF), and coefficient of residual mass (CRM). At the end of the experiment, dry matter yield at the different treatments was measured and relative yield was calculated by dividing dry matter yield of treatments on dry matter yield at no stress treatment (control treatment). Leaching requirement in experimental treatments was calculated by Ayarset *et al.*, (2012) equation.

**Results and Discussion:** The results indicated that Basil threshold value based on soil salinity was 2.25 dSm<sup>-1</sup> with the yield reduction of 7.2% per dSm<sup>-1</sup>. The mathematical model of van Genuchten and Hoffman (1984) had a higher precision than other models in simulating Basil yield reduction function based on saturated soil extract salinity. The overall observations revealed that van Genuchten and Hoffman (1984), Steppuhnet *et al.*, (2005) and Homae *et al.*, (2002) models were accurate for simulating Basil root water uptake and yield response to saturated soil extract salinity. Considering the presented results, it seems that among math-empirical models for salinity stress conditions, model of van Genuchten and Hoffman (1984) is more accurate than Maas and Hoffman (1977), Dirksen and Augustijn (1988) and Homae *et al.*, (2002a) models. The works of Green *et al.*, (2006) and Skaggs *et al.*, (2006) came to the same conclusion. Our work indicated that mostly statistical models have lower precision than math-empirical models. Steppuhn *et al.*, (2005a) reported that statistical models had the higher accuracy than math-empirical model of Maas and Hoffman (1977) and among statistical models, the modified Weibull model had the best fit on measured data which is in good agreement with the results of this study.

**Conclusion:** The goals of this research were to evaluate Basil response to saturated soil extract salinity, to estimate threshold value of Basil crop coefficients, to obtain yield reduction gradient, and also to investigate efficiency of available math-empirical models in estimating reduction functions. The results of this study indicated that the Basil threshold value obtained based on saturated soil extract salinity was 2.25 dSm<sup>-1</sup> and the gradient of yield reduction was 7.2% per dSm<sup>-1</sup> according to Maas and Hoffman (1977) linear fitting. The reached general conclusion was that among the math-empirical reduction functions, the model of van Genuchten

1, 2, 4- Assistant and Associate Professors, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

3- Professor, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University

5- Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

(\* - Corresponding Author Email: h\_babazadeh@hotmail.com )

and Hoffman (1984) had the highest accuracy when compared to the models of Maas and Hoffman (1977), Dirksen and Augustijn (1988) and Homaei *et al.*, (2002a). Therefore, it is recommended to use the van Genuchten and Hoffman (1984), Steppuhn *et al.*, (2005), and Homaei *et al.*, (2002) models respectively, instead of the other models in this research.

**Keywords:** Basil, Root water uptake models, Salinity, Threshold value