

## ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط گوجه فرنگی در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی

حمزه علی علیزاده<sup>۱\*</sup> - عبدالمجید لیاقت<sup>۲</sup> - مجید نوری محمدیه<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۳۱

### چکیده

استفاده از کم آبیاری به منظور صرفه‌جویی در آب و همچنین اعمال حداقل ضریب آبیاری در طول فصل آبیاری و یا حتی در سراسر چندین فصل آبیاری باعث انباشته شدن املاح در منطقه ریشه می‌شود. طبیعتاً وقتی از آبهای با کیفیت کم مثل پسابها و یا آبهای نامتعارف استفاده می‌کنیم وضع بدتر هم می‌شود. در چنین شرایطی گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر تنش شوری و کم آبی قرار می‌گیرند. در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آن‌ها در کاهش جذب آب مدل‌های ریاضی متعددی وجود دارد. مدل‌های جذب آب در شرایط تنش همزمان به سه دسته جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مدل‌های مفهومی تقسیم‌بندی می‌شوند. از آنجایی که بیشترین مقدار آب مصرفی در مناطق خشک و نیمه خشک صرف تعرق می‌شود، کارایی مدل‌های شبیه‌سازی پیش بینی حرکت آب و املاح تا حد زیادی به توانایی آنها در پیش‌بینی تعرق بستگی دارد. در این مطالعه شش تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی وان گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دیرکسن و آگوستیچن، وان دام و همکاران، اسکگر و همکاران و همایی با استفاده از داده‌های گل‌خانه‌ای گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت سطح شوری (۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵، ۶ و ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنز بر متر) انجام شد. سطوح خشکی به صورت تغییرات پتانسیل ماتریک و در طول دور آبیاری اعمال می‌شد. نتایج نشان داد که در شرایط عدم وجود تنش شوری همه مدل‌ها برازش خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشتند. همچنین نتایج نشان داد در شوری‌های کم واکنش گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی جمع‌پذیر است در حالیکه در شوری‌های بالاتر از ۳/۵ دسی‌زیمنز بر متر مدل‌های ضرب‌پذیر برازش بهتری دارند. از میان مدل‌های ضرب‌پذیر مدل مفهومی همایی و مدل اسکگر و همکاران برازش بهتری دارند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تنش خشکی، تابع کاهش، گوجه فرنگی

### مقدمه

بسیار مهم است (۱۶). جذب آب توسط ریشه عامل مهمی در چگونگی توزیع جریان آب و املاح در خاک، بویژه در شرایط غیر اشباع به شمار می‌رود. مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب از آن جهت اهمیت می‌یابند که اگر این مدل‌ها بتوانند جریان آب به سمت ریشه‌ها را به درستی پیش‌بینی کنند، بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های صحرائی می‌توان زمان آبیاری برای حداکثر رشد را با استفاده از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب و خاک و پارامترهای مشخص گیاهی تعیین کرد (۱۰).

بررسی‌های کاردون و لتی (۲) نشان می‌دهد که تقریباً همه مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک به وسیله حل عددی معادله دارسی - ریچاردز با در نظر گرفتن ترم جذب آب برای جریان در بعد عمودی نوشته شده‌اند. از آنجایی که جذب آب توسط گیاهان در رطوبت‌های غیر اشباع صورت می‌گیرد بنابراین باید آن را در معادله ریچاردز لحاظ کرد. شکل معادله ریچاردز بعد از لحاظ داشتن جذب آب توسط گیاهان به صورت زیر در می‌آید.

افزایش جمعیت، نیاز به غذای بیشتر و محدودیت منابع آب بشر را به سمت استفاده از آبهای با کیفیت کم و اعمال مدیریت کم آبیاری سوق داده است. استفاده از کم آبیاری و اعمال حداقل ضریب آبیاری در سراسر یک یا حتی چندین فصل آبیاری به منظور حفاظت از آب باعث انباشته شدن املاح در منطقه توسعه ریشه می‌شود. طبیعتاً وقتی از آبهای با کیفیت کم مانند پسابها استفاده می‌کنیم وضع بدتر هم می‌شود. بنابراین در مناطق خشک و نیمه خشک علاوه بر شوری، مسئله کمبود آب نیز عامل محدود کننده حفظ و توسعه کشاورزی است. تخمین مقدار آب جذب شده به وسیله ریشه گیاهان برای پیش‌بینی چگونگی پاسخ محصولات زراعی به کمیت و کیفیت آب آبیاری

۳ و ۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

۲ - دانشیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

\* - نویسنده مسئول: (Email: alizadeh.hamzeh@gmail.com)

گاردنر (۸).

مزیت روش های ماکروسکوپی در هندسه جریان آسانتر نسبت به روش های میکروسکوپی و همچنین اجتناب از مشکلات روش های میکرو برای شبیه سازی جذب ریشه های انفرادی در سیستم ریشه ها می باشد (۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۹ و ۲۳).

تنش آبی زمانی اتفاق می افتد که میزان تعرق بیش از مقدار جذب آب باشد. هنگامی که هیچگونه محدودیت آبی در خاک وجود نداشته باشد، مقدار آب جذب شده توسط گیاه معادل تعرق پتانسیل بوده و معادله کلی آن به صورت زیر است.

$$S = S_{\max} = \frac{T_p}{Z_r} \quad (3)$$

حال اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق فراهم آورد، به اندازه  $\alpha$  موسوم به تابع کاهش تعرق، از میزان تعرق کاسته می شود (۶).

$$T_p = T_{\max} \times \alpha(h) \Rightarrow S = S_{\max} \times \alpha(h) \quad (4)$$

فدس و همکاران (۶) پیشنهاد کردند که تابع کاهش جذب در تنش خشکی به صورت یک تابع خطی تکه ای است که در آن مقدار جذب آب در پتانسیل اشباع صفر، با کاهش پتانسیل ماتریک از صفر تا ظرفیت زراعی مقدار جذب به صورت خطی افزایش و به مقدار پتانسیل می رسد سپس مقدار جذب تا پتانسیلی که مقدار آن تابع نیاز تخیری گیاه است ثابت می ماند و با کاهش بیشتر رطوبت مقدار جذب به صورت خطی کاهش و به صفر می رسد. یکی دیگر از معروف ترین تابع های کاهش جذب در اثر تنش خشکی تابع کاهش سیگوئیدی شکل وان گنوختن (۲۵) است.

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^p} \quad (5)$$

در این معادله  $h_{50}$  پتانسیل ماتریکی که به ازای آن میزان جذب ۵۰ درصد کاهش می یابد و معمولا از طریق آزمون و خطا بدست می آید و  $P$  یک ضریب تجربی است که معمولا مقدار آن ۳ در نظر گرفته می شود. دیرکسن و آگوستینجن (۳) معادله وان گنوختن را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش  $h^*$  تعدیل کرده و آن را به صورت زیر ارائه کرده اند.

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{50}}\right)^p} \quad (6)$$

اگر به جای  $\alpha(h)$  ضریب کاهش را به صورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک قرار دهیم معادله جذب آب از خاک های شور به صورت زیر در می آید (۷).

$$S = \alpha(\pi) S_{\max} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} [K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h)] - S \Rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial t} = D_h \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} - \frac{dK}{dz} - S \quad (1)$$

در این معادله  $\theta$  درصد رطوبت حجمی،  $h(L)$  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 توسط ریشه  $S$  (در معادله ۱) تابعی از ارتفاع فشار آب خاک، ارتفاع فشار اسمزی، خصوصیات ریشه و شرایط آب و هوایی مانند نیاز تخیری می باشد (۲۳). مدل های جذب آب بر اساس چگونگی بکار بردن ترم جذب آب در معادله عمومی جریان به دو گروه، مدل های میکروسکوپی که جریان آب به طرف تک ریشه را مورد رسیدگی قرار می دهند و مدل های ماکروسکوپی که برداشت آب به وسیله کل ناحیه ریشه را بدون در نظر گرفتن تأثیر تک تک ریشه ها مورد بررسی قرار می دهد، تقسیم بندی می شوند (۲۱). بر اساس طبقه بندی دیگری که توسط ماتور و راتو (۱۸) انجام شده مدل های جذب آب توسط ریشه به سه دسته ماکروسکوپی، میکروسکوپی و مدل های مرکب طبقه بندی می شوند. مدل های مرکب مدل های ماکروسکوپی ای هستند که در آنها از تحلیل های میکروسکوپی استفاده می شود (۱۰). مبنای کار مدل های میکروسکوپی معادله گاردنر (۸) است که در آن فرض شده است: جذب آب در واحد طول ریشه متناسب با ضریب آبگیری خاک و تفاوت بار هیدرولیکی بین خاک و گیاه می باشد، هر ریشه مجزا به عنوان استوانه ای صاف و یکنواخت با طول بینهایت در نظر گرفته می شود، فاصله و شعاع همه ریشه ها یکسان و برابر است، همه مکان های جذبی در سطح ریشه یکنواخت و جریان آب نیز ماندگار است، حرکت آب به سمت ریشه فقط به صورت شعاعی صورت می گیرد، درصد رطوبت اولیه خاک مقداری یکنواخت دارد در نتیجه پتانسیل ماتریک اولیه در حجم خاک یکسان است. افراد زیادی برای وارد کردن ترم جذب به معادله عمومی جریان از روش های میکروسکوپی استفاده کرده اند. مهمترین این مدل ها عبارتند از: مدل گاردنر (۸)؛ ویسلر و همکاران؛ نیما و هنکس (۲۱)؛ فدس و همکاران (۵)؛ هیلبل و همکاران (۱۲)؛ هرکلرات و همکاران (۱۱) و رز و همکاران (۲۲).

دومین تپ مدل های جذب آب، توابع تجربی هستند که جذب آب توسط گیاه را بر مبنای پاسخ گیاه به پتانسیل توصیف می کنند (۲). در حال حاضر این مدل ها بیشتر مورد توجه هستند (۷). فرم عمومی مدل های ماکروسکوپی که اولین بار توسط فدس و همکاران (۶) ارائه شد به صورت زیر است.

$$S = \alpha(h, \pi) \times S_{\max} = \alpha(h, \pi) \frac{T_p}{Z_r} \quad (2)$$

که در آن  $\alpha(h, \pi)$  تابع بدون بعد پاسخ به تنش می باشد. مهمترین مدل هایی که بر مبنای معیارهای ماکروسکوپی ارائه شده اند عبارتند از: فدس و همکاران (۵ و ۶)، مولز و رمسون (۲۰)، وان گنوختن (۲۵) و

در این معادله  $\alpha(\pi)$  تابع کاهش جذب آب در اثر تنش شوری است. مدل شیب آستانه ماس و هافمن (۱۷) و مدل سیگموئیدی وان گنوختن و هافمن (۲۶) معروفترین مدل‌های شبیه سازی جذب آب در خاک‌های شور می‌باشند.

در مناطق خشک و نیمه خشک در اغلب موارد گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر تنش شوری و کم آبی قرار می‌گیرند تأثیر توأم تنش شوری و کم آبی بر روی جذب آب و به تبع آن بر روی عملکرد محصولات در یک مکان خاص به نوع گیاه، تناوب آبیاری، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و اقلیم و کیفیت آب آبیاری وابسته است (۴).

در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آنها در کاهش جذب آب نظریات و مدل‌های ریاضی متعددی وجود دارد که بر مبنای این نظریات مدل‌های جذب آب به سه دسته کلی جمع‌پذیری، ضرب‌پذیری و مدل‌های مفهومی تقسیم می‌شوند. در مدل‌های جمع‌پذیر فرض شده که جذب آب در اثر مجموع وزنی فشار آب خاک و فشار اسمزی به وجود می‌آید. حال آنکه در مدل‌های ضرب‌پذیر ضرایب کاهش مربوط به کم آبی و شوری به طور جداگانه محاسبه و در هم دیگر ضرب می‌شوند (۲۵، ۲۳، ۱۰). این مطالعه با هدف شناسایی چگونگی واکنش گوجه فرنگی به تنش توأم شوری و خشکی و همچنین ارزیابی مدل‌های فوق به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

### مدل‌های مورد استفاده

در این مطالعه سه تابع کاهش جذب در شرایط تنش خشکی (فدس و همکاران، وان گنوختن و دیرکسن و آگوستیجن) و شش تابع کاهش جذب در شرایط تنش همزمان (وان گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دیرکسن و آگوستیجن، وان دام و همکاران، اسکگز و همکاران و همایی) با استفاده از داده‌های گل‌خانه‌ای گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مدل جمع‌پذیر وان گنوختن (۲۵):

$$\alpha(h, \pi) = \frac{S_{Max}}{1 + \left[ \frac{h(z, t)}{h_{50}} + \frac{\pi(z, t)}{\pi_{50}} \right]^p} \quad (۸)$$

در این تابع  $S_{max}$  تعرق پتانسیل،  $\pi_{50}$  و  $h_{50}$  به ترتیب پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریکی که به ازای آن میزان جذب ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و P پارامتری تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است. وان گنوختن (۲۵) و وان گنوختن و گاپتا (۲۷) معادله فوق را برای محصولات با دامنه شوری‌های مختلف به کار برده و مقدار p

را تقریباً ۳ بدست آوردند.

مدل ضرب‌پذیر وان گنوختن (۲۵):

معادله عمومی مدل‌های ضرب‌پذیر به صورت زیر است.

$$\alpha(h, \pi) = \alpha(h) \times \alpha(\pi) \quad (۹)$$

مدل‌های ضرب‌پذیر اولین بار توسط وان گنوختن (۲۵) پیشنهاد شدند و در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی شده عددی جذب آب توسط ریشه به کار گرفته شده‌اند.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left( \frac{h}{h_{50}} \right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi}{\pi_{50}} \right)^{p_2}} \quad (۱۰)$$

مدل دیرکسن و آگوستیجن (۳):

دیرکسن و آگوستیجن (۳) ضرب‌های تابع کاهش وان گنوختن (۲۵) را نسبت به آستانه کاهش شوری ( $\pi^*$ ) و خشکی ( $h^*$ ) تعدیل و به صورت زیر ارائه کردند.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{(h-h^*)}{(h^*-h_{50})} \right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[ \frac{(\pi-\pi^*)}{(\pi^*-\pi_{50})} \right]^{p_2}} \quad (۱۱)$$

مدل وان دام و همکاران (۲۴):

وان دام و همکاران (۲۴) از تلفیق شاخه نزولی تابع کاهش فدس و همکاران (۶) برای تنش خشکی و تابع کاهش ماس و هافمن (۱۷) برای تنش شوری، تابع کاهش زیر را برای شرایط وجود همزمان تنش‌های شوری و خشکی ارائه کردند.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h-h_4}{h_3-h_4} \times \left[ 1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (۱۲)$$

$h_3$ ،  $h_4$  و b به ترتیب نقطه شروع تنش آبی، نقطه پژمردگی و درصد کاهش محصول به ازای افزایش واحد شوری می‌باشند. مدل اسکگز و همکاران (۲۳):

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left( \frac{h}{h_{50}} \right)^{p_1}} \times \left[ 1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (۱۳)$$

این مدل از تلفیق مدل وان گنوختن برای تنش خشکی و معادله ماس هافمن برای تنش شوری بدست آمده است.

مدل همایی (۱۳)

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_3 - (h_4 - \pi)} \times \left[ 1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (۱۴)$$

معادله اخیر در شرایط  $\pi < \pi^*$  و  $h_4 - \pi \leq h \leq h_3$  صادق است.

### روند انجام آزمایشات

در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در

مقدار تعرق روزانه با استفاده از اختلاف وزن گلدان‌ها در دو روز متوالی و ضریب کاهش جذب آب با استفاده نسبت تعرق روزانه به تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود. در همه مدل‌های مقدار  $\pi_{50}$  با استفاده از معادله ماس و هافمن (۱۷) با شیب کاهش عملکرد ۹/۹٪، شوری آستانه ۲/۵ دسی‌زیمنز بر متر و ۵۰ درصد کاهش ( $y/y_p = 0.5$ ) مقدار شوری  $EC_{50} = 7.55$  محاسبه و برای تبدیل آن به سانتیمتر از معادله ریچارد استفاده شد.

$$\pi = -360 \times EC_e \quad (16)$$

$h_{50}$  با استفاده از داده‌های پتانسیل ماتریک تیمارهایی که پتانسیل اسمزی در آنها بیشتر از پتانسیل اسمزی آستانه کاهش محصول ( $|\pi^*| \leq |\pi|$ ) بود محاسبه شد. همچنین برای ارزیابی مدلها، از پارامترهای آماری ریشه دوم میانگین قدرمطلق خطاها (RMSE) و قدرمطلق بیشینه خطاها (ME) و به صورت زیر استفاده شد.

$$ME = |ET_p - ET| \quad (17)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (ET_p - ET)^2}{m}} \quad (18)$$

در روابط (۱۷) و (۱۸)،  $ET_p$  و  $ET$  به ترتیب تعرق اندازه‌گیری شده و تعرق پیش بینی شده و  $m$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

## نتایج و بحث

ضرایب کاهش جذب آب اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل‌های مختلف در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک در شکل‌های (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) ارائه شده است. به طور کلی این نتایج نشان می‌دهند که در یک پتانسیل اسمزی ثابت با کاهش پتانسیل ماتریک مقدار جذب آب به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد (به عنوان مثال شکل (۱)) و در یک پتانسیل ماتریک معین با کاهش پتانسیل اسمزی مقدار جذب آب کاهش می‌یابد (تفاوت مقدار ضریب جذب ماکزیمم در شکل‌های نامبرده گواه این ادعاست). همچنین نتایج نشان می‌دهد که در شرایط وجود تنش همزمان شوری کاهش جذب آب تشدید می‌شود (اختلاف پتانسیل ماتریکی که در آن گیاه پژمرده می‌شود نشان دهنده این ادعا است).

شکل (۱) برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمارهای بدون تنش شوری (تیمار ۱، ۲ و ۳) را نشان می‌دهد. نتایج این شکل و جدول (۱) نشان می‌دهد، در شرایطی که گیاه فقط تحت تأثیر تنش خشکی (عدم وجود تنش شوری) قرار می‌گیرد همه مدل‌های شبیه‌سازی (مدل‌های جذب آب در شرایط وجود تنش خشکی که در قسمت مقدمه ذکر شدند) برازش نسبتاً خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. همچنین این شکل (شکل ۱) نشان

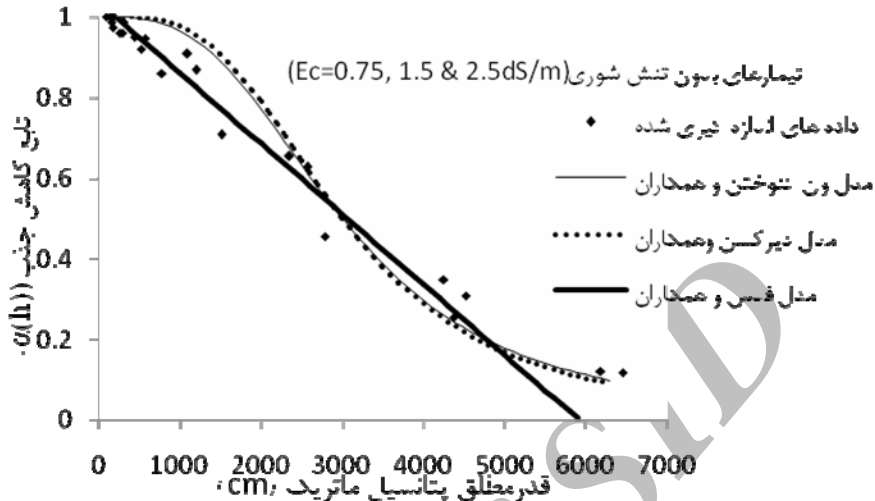
شرایط متغیر پتانسیل اسمزی و ماتریک، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط گلخانه‌ای بر روی گوجه فرنگی (رقم Super Luna D.P) انجام شد. تیمارهای اعمال شده شامل هشت سطح شوری (۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنز بر متر) و سطوح خشکی به صورت تغییرات پتانسیل ماتریک در طول دور آبیاری اعمال می‌شد. آبیاری با آب شور در تمام آبیاری‌ها و با لحاظ ۲۰ درصد نیاز آبیاری اعمال گردید. تیمارهای شوری با اضافه کردن نسبت مناسب از یک آب شور با شوری ۱۸۰ دسی‌زیمنز بر متر (زه‌آب حاصله از یک طرح تحقیقاتی (۱) که خاک آن شور غیر سدیمی با  $pH=7.8$  و  $EC=110$  و از منطقه اشتهارد کرج بود) اعمال گردید. با بافت خاک همه گلدان‌ها لومی شنی و وزن خاک مورد استفاده در همه آنها ۱۱/۶ کیلوگرم بود. برای تعیین وزن خشک خاک، ۱۱/۶ کیلوگرم (وزن خاک مورد استفاده در هر یک از گلدان‌ها) از خاک مورد استفاده در آن گذاشته و وزن خشک آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد و بعد از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. برای حذف تبخیر از سطح گلدان‌ها، سطح آنها به وسیله ورقه‌های پلاستیکی ضخیم پوشانده می‌شد. تیمارهای اعمال شده به مدت یک ماه و از مرحله گلدی تا میوه دهی اعمال شد. میزان شوری اولیه پروفیل خاک ۱/۱ (ds/m) و مقدار اسیدیته خاک ۷/۱ اندازه‌گیری شد. در همه گلدان‌ها به منظور اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشار (Pressure Plate) و نرم افزار RETC تعیین و سپس با جایگزینی مقادیر رطوبت‌های روزانه-ای اندازه‌گیری شده در منحنی مشخصه خاک قدرمطلق پتانسیل ماتریک محاسبه می‌شد. به منظور اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک، وزن همه گلدان‌ها هر روز (در یک ساعت مشخص (حدود ساعت ۲۱) و با اطمینان از پایان جذب روزانه گیاه) با یک ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱ گیلوگرم) اندازه‌گیری شده (گلدان به عنوان لایسیمترهای وزنی در نظر گرفته می‌شد) سپس با استفاده از وزن خاک خشک، وزن گلدان‌ها، وزن گیاه (در آغاز و پایان آزمایش) و وزن مخصوص ظاهری ( $1/37 \text{ gr.cm}^{-3}$ ) رطوبت حجمی از رابطه زیر محاسبه می‌شد.

$$\theta_v = \frac{\text{وزن خاک خشک} \times \text{وزن بوته} - \text{وزن گلدان خالی} - \text{وزن مرطوب گلدان در هر روز}}{\text{وزن خاک خشک}} \times 1/37 \quad (15)$$

به علت غیرممکن بودن اندازه‌گیری وزن روزانه بوته‌ها (و قابل صرف‌نظر بودن تغییرات روزانه وزن بوته‌ها در مقابل وزن خاک مرطوب موجود در گلدان‌ها)، برای هر گلدان و به صورت جداگانه، ابتدا میانگین وزن بوته اندازه‌گیری شده در حالت نشاء و پایان آزمایش محاسبه شد. سپس میانگین این عدد (میانگین حالت نشاء و پایان آزمایش) و وزن بوته در حالت نشاء به عنوان وزن بوته در دو هفته اول رشد و میانگین آن (میانگین حالت نشاء و پایان آزمایش) با وزن بوته در پایان آزمایش به عنوان وزن بوته در دو هفته بعدی لحاظ شد.

دارند. جدول (۱) ارزیابی مدل‌های فوق را بر اساس پارامترهای آماری نشان می‌دهد این نتایج نشان می‌دهد که مدل فدس و همکاران (۶) بهترین برازش را نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده دارد و مدل‌های دیرکسن و همکاران و وان گنوختن در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

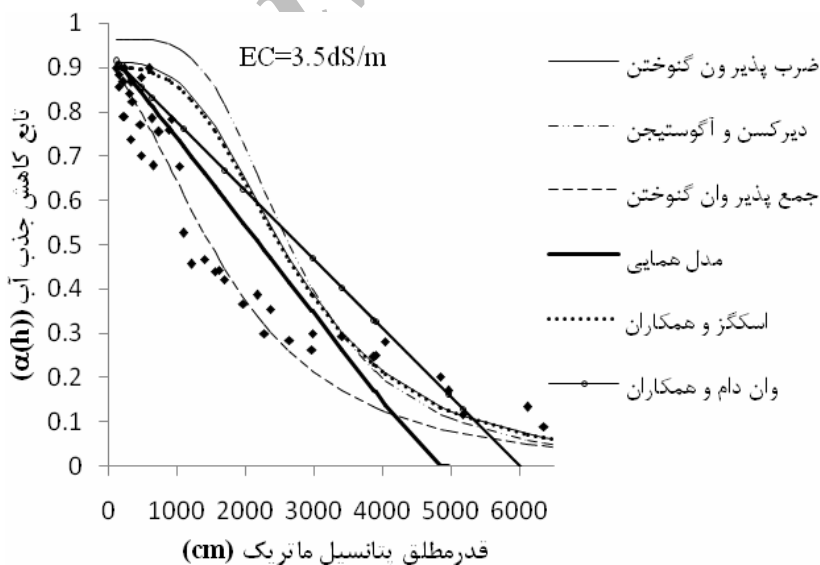
می‌دهد که مدل فدس و همکاران (۶) در مکش‌های رطوبتی پایینتر برازش بهتری نسبت به مدل ون گنوختن (۲۵) و دیرکسن و همکاران (۳) دارد. حال آنکه در مکش‌های بالاتر مدل‌های وان گنوختن و دیرکسن و همکاران برازش بهتری نسبت به مدل فدس و همکاران



(شکل ۱) - نمودار تابع کاهش جذب آب در گیاه گوجه فرنگی در شرایط عدم وجود تنش شوری

(جدول ۱) - مقایسه بین مدل‌های مختلف در تیمارهای بدون تنش شوری

مدل	% RMSE	ME
فدس و همکاران	۵/۰	-۰/۱۲
دیرکسن و همکاران	۷/۱	-۰/۱۹
وان گنوختن	۸/۰	-۰/۱۷



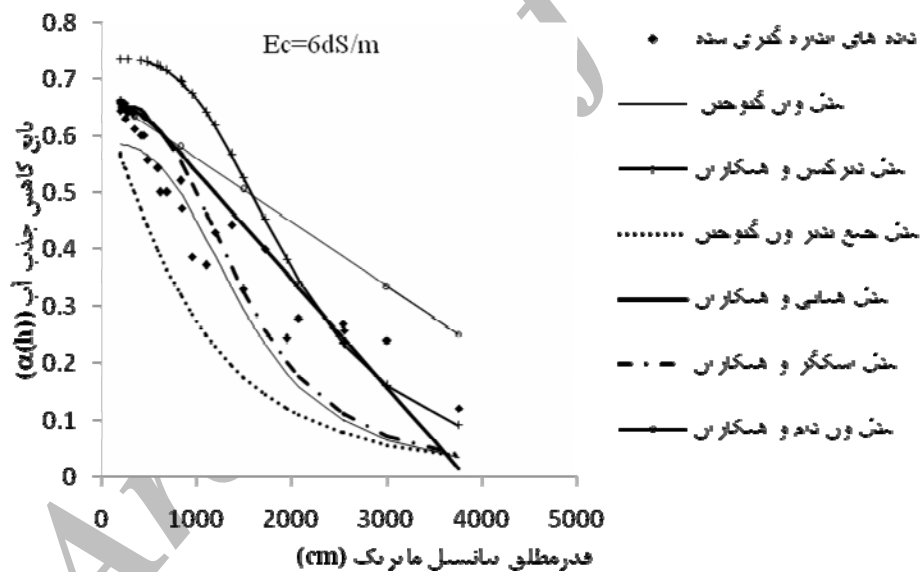
(شکل ۲) - نمودار تابع کاهش جذب آب در شرایط عدم وجود تنش شوری

شکل (۳) برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار شش و جدول (۳) ارزیابی این مدل‌ها را با استفاده از پارامترهای RMSE و ME نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که در شوری ۶ دسی‌زیمنز بر متر واکنش گوجه فرنگی به تنش همزمان شوری و خشکی ضربه پذیر است و از میان مدل‌های ضربه پذیر مدل همایی (۱۴) و اسکگرز و همکاران (۲۳) مناسبترین برازش را ارائه می‌دهند.

شکل (۲) برازش مدل‌های مختلف را بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار چهار (شوری ۳/۵ دسی‌زیمنز بر متر) و جدول (۲) ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری درصد ریشه دوم میانگین قدرمطلق خطاها (RMSE) و قدرمطلق بیشینه خطاها (ME) را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که در شوری ۳/۵ دسی‌زیمنز بر متر تابع کاهش جذب آب در شرایط وجود تنش همزمان شوری و خشکی جمع پذیر است هرچند که مدل مفهومی همایی (۱۴) هم برازش نسبتاً مناسبی ارائه می‌دهد (جدول ۲).

(جدول ۲) - مقایسه بین مدل‌های مختلف در تیمار چهار ( $E_c=3.5 \text{ ds/m}$ )

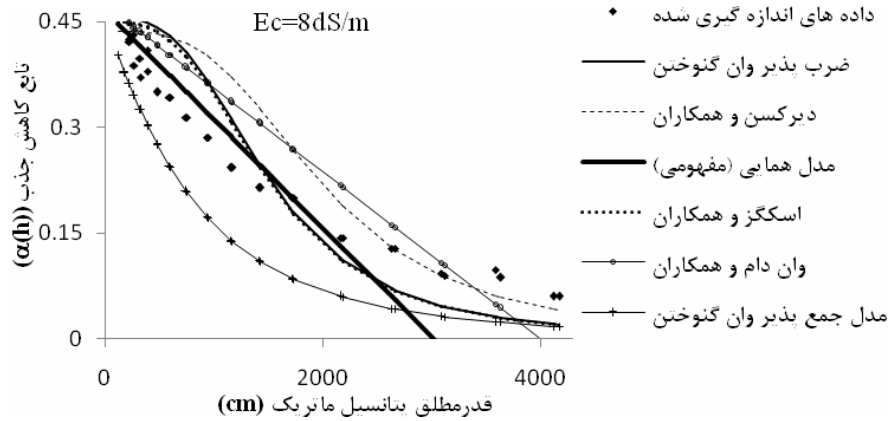
مدل	% RMSE	ME
جمع پذیر ون گنوختن	۷/۰	۰/۱۶
مدل مفهومی همایی	۱۱/۰	۰/۲۴
ضربه پذیر وان گنوختن	۱۴/۱	۰/۳۶
ون دام و همکاران	۱۶/۳	۰/۲۹
اسکگرز و همکاران	۱۶/۰	۰/۳۶
دیرکسن و آگوستیچن	۲۱/۰	۰/۴۶



(شکل ۳) - برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار شش

(جدول ۳) - مقایسه بین مدل‌های مختلف در  $E_c=6 \text{ ds/m}$

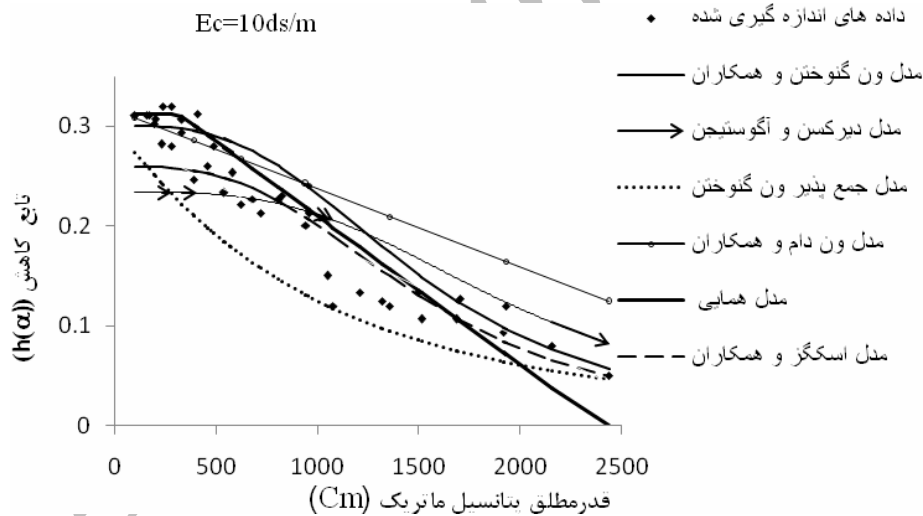
مدل	RMSE	ME
همایی	۷/۲	۰/۱۵۸
اسکگرز و همکاران	۸/۱	۰/۱۶
ضربه پذیر وان گنوختن	۸/۴	۰/۱۷۴
مدل ون دام و همکاران	۱۰/۱	۰/۲۱
دیرکسن و همکاران	۱۴/۸	۰/۲۸۱
جمع پذیر ون گنوختن	۱۴/۹	۰/۱۶۵



(شکل ۴) - برآزش مدل های مختلف بر داده های اندازه گیری شده حاصل از تیمار هفت

(جدول ۴) - مقایسه بین مدل های مختلف در تیمار هفت  $E_c=8ds/m$

مدل	%RMSE	ME
همایی	۴/۵	۰/۰۹
اسکگز و همکاران	۵/۴	۰/۰۸
ضرب پذیر وان گنوختن	۵/۸	۰/۰۹
مدل ون دام و همکاران	۵/۹	۰/۰۹
دیرکسن و همکاران	۶/۸	۰/۱۳
جمع پذیر ون گنوختن	۸/۴	۰/۱۲



(شکل ۵) - برآزش مدل های مختلف بر داده های اندازه گیری شده حاصل از تیمار هفت

(جدول ۵) - مقایسه بین مدل های مختلف در  $E_c=10ds/m$

مدل	%RMSE	ME
همایی	۳/۱	۰/۰۷
اسکگز و همکاران	۳/۳	۰/۰۹
وان گنوختن و هافمن	۳/۷	۰/۰۹
مون دام و همکاران	۵/۱	۰/۰۹
دیرکسن و همکاران	۵/۲	۰/۱۱
جمع پذیر ون گنوختن	۶/۳	۰/۱۲

(۲). از طرف دیگر در شوری‌های کم، پاسخ گیاه به تنش همزمان شوری و کم آبی تحت تاثیر مجموع پتانسیل اسمزی و ماتریک خاک (در این حالت سازگاری با شوری یا افزایش نفوذپذیری ریشه‌ها وجود ندارد.) قرار دارد. بنابراین توابع جمع‌پذیر در شرایطی شوری کم، بسیار خوب عمل می‌کنند (۲۳). در صورتی که با افزایش مقدار شوری تعرق پیش‌بینی شده با این توابع، با کاهش تعرق اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری پیدا می‌کند (۲).

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که همه مدل‌های جذب آب در شرایط عدم وجود تنش شوری واکنش گیاهان به تنش خشکی را به خوبی مدل می‌کنند. مدل خطی فوس و همکاران پاسخ گیاه به تنش خشکی (در شرایط عدم وجود تنش شوری) را بهتر از مدل‌های غیرخطی برازش می‌کند هرچند که در پتانسیل ماتریک‌های کم، ماهیت پاسخ گیاهان بیشتر غیر خطی است. واکنش گوجه فرنگی به تنش همزمان شوری و خشکی در شوری‌های کم جمع‌پذیر و با افزایش پتانسیل اسمزی ماهیت واکنش بیشتر ضرب‌پذیر است. همه مدل‌های موجود بر پایه شوری محلول خاک به عنوان یک کمیت واحد استوارند. حال آنکه در طبیعت می‌توان ترکیبات متفاوتی از املاح را یافت که شوری یکسانی ایجاد می‌کنند. اثر تنش همزمان شوری و خشکی در اکثر موارد کمتر از مجموع اثر هر یک از آنهاست. از میان مدل‌های ضرب‌پذیر مدل همایی و اسکگرز برازش بهتری را ارائه می‌دهند بدلیل سادگی مدل همایی و استفاده از پارامترهای فیزیکی بیشتر برای مسائل علمی توصیه می‌شود که در شرایط ایران بیشتر این مدل استفاده شود.

به طور مشابه شکل (۵) و جدول (۵) به ترتیب برازش مدل‌ها بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار هشت و ارزیابی آنها را با استفاده از شاخص‌های مذکور را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده در این شوری مشابه تیمار هفت می‌باشد.

شکل (۴) برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار هفت (شوری هشت دسی‌متر بر متر) و جدول (۴) ارزیابی آنها را با پارامترهای آماری RMSE و ME نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که در شوری ۸ دسی‌متر بر متر واکنش گوجه فرنگی به تنش همزمان شوری و خشکی ضرب‌پذیر است و از میان مدل‌های ضرب‌پذیر مدل همایی (۱۴) و اسکگرز و همکاران (۲۳) مناسبترین برازش را ارائه می‌دهند.

همچنین از شکل‌های (۱ تا ۵) می‌توان نتیجه گرفت در شرایطی که تنش آبی وجود ندارد (ماکزیمم مقدار جذب آب در تیمارهای شوری، مثلاً در تیمار ۶ (شکل ۳) این مقدار ۰/۷۶ است.) مقدار تابع کاهش جذب آب در همه تیمارها به استثنای شوری  $EC=10dS/m$ ، با مقدار تابع کاهش جذب ماس و هافمن (۱۷) برابر است. این نتیجه نشان می‌دهد که در شوری‌های بالا تابع کاهش جذب آب از حالت خطی منحرف می‌شود.

با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک و به تبع آن میزان جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. هنگامی که گیاه تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد می‌تواند خود را تا حدی با املاح محلول سازگار کند و یا اینکه در شوری‌های بالاتر، با افزایش نفوذپذیری ریشه‌ها نسبت به آب شور، شرایط جذب آب بیشتر را فراهم کند. در این شرایط، پاسخ گیاه به افزایش یک سانتیمتر فشار اسمزی با کاهش یک سانتیمتر مکش ماتریک یکسان نیست (۱۵). بنابراین در شوری‌های زیاد پاسخ گیاهان به شوری جمع‌پذیر نیست

### منابع

- ۱- نوری محمدیه م، علیزاده ح.ع. و پارسی نژاد م. اثر مدیریت کاربرد گچ در آبشویی نمک از پروفیل خاک ۱۳۸۸. یازدهمین کنگره علوم خاک ایران.
- 2- Cardon G.E., and Letey J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Sci. Soc. Am. J. 32, 1876-1880.
- 3- Dirksen C., and Augustijn, D.C. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. Agric. Abstracts, pp. 188.
- 4- Dudley L.M., and Shani U. 2003. Modeling Plant Response to Drought and Salt Stress: Reformulation of the Root-Sink Term Vadose Zone Journal, 2:751-758.
- 5- Feddes R.A., Bresler E., and Neuman S.P. 1974. Field test of a modified numerical model for water uptake by root system. Water Resources Research, 10(6):1199-1206.
- 6- Feddes R.A., Kowalik P.J., and Zaradny H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Prudoc, Wageningen, 189 P
- 7- Feddes R.A., and Raats P.A.C. 2004. Parameterising the soil-water-plant-root system. In: Feddes, R.A., et al. (Eds.), Unsaturated Zone Modelling: Progress, Challenges and Applications. Wageningen Frontis Series, vol. 6. pp. 95-141.



- 8- Gardner W.R., 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron, J.* 56, 41–45.
- 9- Gardner W.R., 1991. Modeling water uptake by roots. *Irrigation Sci*, 12, 109–114.
- 10- Green S.R., Kirkham M.B., and Clothier E. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. *Agric. Water Manage*, 86, 165–176.
- 11- Herkelrath W.N., Miller E.E., and Gardner W.R. 1977. Water uptake by plants. 2. The root contact model. *Soil Sci. Soc. Am, J.* 41, 1039–1043.
- 12- Hillel D., Van Bakle C.G.E.M., and Talpaz H. 1975. A microscopic- scale model of soil water uptake and salt movement to plant roots. *Soil Sci*, 120:385-399.
- 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. *Agric. Water Manage*, 57: 89 -109.
- 14- Homae M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis , Wageningen Agricultural University, 173 P.
- 15- Homae M., Feddes R.A., and Dirksen C. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress using different macroscopic reduction functions. *Agric. Water Manage*, 57:111-126.
- 16- Huston J.L., Dudley L.M., and Wagenet R.J. 1990. Modeling transient root zone salinity. In K.K. Tanji (ed.) *Agricultural salinity assessment and mangement. ASCE manuals and reports on engineering practice No. 71.* Am. Soc. Civil Eng., Irrig. Drain. Div., New York.
- 17- Maas E.V., and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 103:115–134.
- 18- Mathur S., and Rao S. 1999. Modeling water uptake by plant roots. *J. Irrigation Drainage Eng.* 125, 159–165.
- 19- Mmolawa K., and D.Or. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant Soil*, 222:163–190.
- 20- Molz F.J., and Remson I. 1971. Application of an extraction term model to the study of moisture flow to plant roots. *Agron, J.* 63, 72–77.
- 21- Nimah M.N., Hanks R.J. 1973. Model for estimating soil water, plant, and atmospheric interrelations. I. Description and sensitivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc*, 37, 522–527.
- 22- Rowse H.R., Stone D.A., and Gerwitz A. 1978. Simulation of the water distribution in soil. 2. The model for cropped soil and its comparison with experiment. *Plant Soil* 49, 500–534.
- 23- Skaggs T.H., van Genuchten M.Th., Shouse P.J., and Poss J.A. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. *Agric. Water Manage*, 86, 140–179.
- 24- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P., Van Walsum P.E.V, Groenendijk P. and Van Diepen C.A. 1997. Theory of SWAP, version 2. Simulation of water flow, solute transport plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Report No.71, Dept. of Water Resources, Wageningen Agricultural Univ., 167 P.
- 25- Van Genuchten M.Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U. S. Salinity Lab. Riverside CA.
- 26- Van Genuchten M.Th., and Hoffman, G.J. 1984. Analysis of crop production, in: Shainberg, I. and Shalhevet, J. (Eds.), *soil salinity under irrigation*, pp. 258-271, Springer-Verlag.
- 27- van Genuchten M.Th., and Gupta S.K. 1993. A reassessment of the crop salt tolerance response function. *J. Indian Soc. Soil Sci*, 41, 730–737.
- 28- Wesseling J.G., and Feddes R.A. 2006. Assessing crop water productivity from field to regional scale. *Agric. Water Manage*, 86, 30–39.

## Evaluating Water Uptake Reduction Functions under Salinity and Water Stress Conditions

H. A. Alizadeh<sup>1\*</sup> - A. M. Liaghat<sup>2</sup> – M. Noorimohamadeh<sup>3</sup>

### Abstract

Use of deficit irrigation to conserve water by minimizing leaching fraction during an irrigation season, or even across several irrigation seasons causes salt accumulate within the root zone. Naturally, salinization of the root zone is exacerbated when marginal waters are used. In this situation plants are experiencing simultaneously drought and salinity stress. Various mathematical models are exist for plants response to combined drought and salinity stress and its corporation in water uptake. The reduction functions are classified as additive, multiplicative and non coseptive models. Because transpiration is the largest component of the water budget in arid systems, the efficacy of models to simulate water and salt movement is depended on their ability to predict transpiration. In this study six different macroscopic reduction functions; Van Genuchten (additive and multiplicative), Dirksen et al., Van Dam et al, Skaggs et al and Homae were evaluated in greenhouse condition using tomato data were exerted. This experiment was performed based on completely randomized design with three replicates and eight levels of salinity (0.75, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 6, 8 and 10 dS/m). Drought levels carry out as matrix potential during the experiment. The result of this study indicated that without salinity stress, all reduction function have a good agreement with measured data. Also, The result of this study indicated that the crop response to drought and salinity stress is additive low salinity level and is multiplicative at salinity level above 3.5 dS/m. among multi model, reduction function of Skaggs et al and Homae's models were better fitness to measured data than the other functions.

**Key words:** Salinity stress, Drought stress, Reduction function, Tomato

1,3- M.Sc Student of Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran

2- Associate professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran

(\*- Corresponding author Email: alizadeh.hamzeh@gmail.com)