

ارزیابی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی در گیاه چمن

سودابه سیفی^{۱*}، امین علیزاده^۲، کامران داوری^۳، محمد بنایان اول^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۱۱

چکیده

قسمت چشم‌گیری از ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربرگرفته و این مناطق معمولاً با خشکی و شوری مواجه هستند. از سوی دیگر بهره‌وری آب در این مناطق نیز معمولاً پایین می‌باشد. مدل‌های ریاضی که رابطه‌ی متغیرهای مزرعه‌ای (مانند رطوبت خاک در دسترس) را با مقدار تعرق گیاه شبیه‌سازی می‌کنند، یکی از ابزارهای مفید مدیریتی می‌باشند. 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. در این مطالعه شش تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی (Van Genuchten, 1987) جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر، (Dirksen and Augustijn, 1993)، (Van Dam et al, 1997)، (Homae, 1999) و (Skaggs et al, 2006) با استفاده از داده‌های گلخانه‌ای چمن چچم (*Lolium preenne*) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح شوری (۵/۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و سه سطح خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و سه تکرار به انجام رسید. نتایج نشان داد در شوری‌های کم، واکنش چچم به تنش همزمان شوری و خشکی جمع‌پذیر است؛ در حالی که در شوری‌های بالاتر از ۵/۵ دسی زیمنس بر متر، مدل‌های ضرب‌پذیر برآزش بهتری دارند. از میان مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل‌های Van Genuchten و Homae, Skaggs et al برآزش بهتری نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، لولیوم پرنه، مدل جذب آب.

مقدمه

استفاده از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب و خاک و پارامترهای مشخص گیاهی برای داشتن حداکثر رشد تعیین کرد (Green et al, 2006). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تقریباً همه‌ی مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک به‌وسیله حل عددی معادله داریسی-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 (Cardon and Letty, 1992). شکل معادله ریچاردز بعد از لحاظ داشتن جذب آب توسط گیاهان به صورت زیر در می‌آید:

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

که در آن θ رطوبت حجمی خاک، t زمان، z عمق خاک، K ضریب آب‌گذری غیر اشباع خاک، h پتانسیل ماتریک و S مقدار آب جذب شده به وسیله ریشه‌ی گیاه در واحد حجم خاک و زمان است. در مدل‌سازی ریاضی (برای بیان کمی S) دو روش مرسوم است. روش اول بر مبنای مدل‌های تک ریشه‌ای استوار است که در واقع مقیاس میکروسکوپی در آن به کار رفته است. در روش دوم که مقیاس آن ماکروسکوپی است مجموعه ریشه‌ها به‌صورت

خشکی و شوری خاک از محدود کننده‌های مهم تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌روند. جذب آب توسط ریشه، پارامتر دینامیکی است که تحت تأثیر خاک، گیاه و اقلیم می‌باشد و به فاکتورهایی مثل هدایت هیدرولیکی خاک، عمق ریشه، چگالی و نحوه‌ی توزیع آن، هد فشاری آب خاک، هد اسمزی آب خاک، نیاز تبخیری، وجود سطح ایستابی، مقاومت گیاه، مرحله رشدی آن و ... وابسته است (Homae, 1999). در نتیجه، ارائه یک توضیح فیزیکی دقیق در رابطه با جذب آب ساده نیست (Skaggs et al, 2006). 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 صحرایی می‌توان زمان آبیاری را با

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول: (Email: sodabe.seifi@gmail.com)

5- Soil Water Pressure Head
6- Soil Water Osmotic Head

حال اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق فراهم آورد، به اندازه‌ی α موسوم به تابع کاهش تعرق، از میزان تعرق پتانسیل کاسته می‌شود.

$$S = S_{\max} \times \alpha(h) \Rightarrow T_p = T_{\max} \times \alpha(h) \quad (۴)$$

فدس و همکاران فرض کردند که میزان جذب زمانی که قدر مطلق هد فشاری آب خاک $|h|$ بین h_p و h_w باشد، حداکثر خواهد بود (Feddes et al, 1978) (شکل ۱). با افزایش قدر مطلق h از $|h_p|$ به $|h_w|$ که همان پتانسیل ماتریک خاک در رطوبت نقطه‌ی پژمردگی است، مقدار جذب آب به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام به صفر می‌رسد. جذب آب در $|h_p|$ که در آن خاک اشباع است، به جهت کمبود اکسیژن صفر است. همچنین $|h_p|$ خود تابعی از نیاز تبخیری نیوار بوده و با افزایش این نیاز مقدار $|h_p|$ کاهش می‌یابد (Denmead and Shaw, 1962).

یکی دیگر از معروف ترین تابع های کاهش جذب در اثر تنش خشکی تابع کاهش سیگموئیدی شکل ونگنوختن است:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_0}\right)^p} \quad (۵)$$

که در آن h_0 پتانسیل ماتریکی است که در آن میزان جذب ۵۰ درصد کاهش یافته باشد و p پارامتری تجربی است که به گیاه، خاک و شرایط اقلیمی مرتبط است و میزان آن معمولاً ۳ در نظر گرفته می‌شود.

دیرکسن و همکاران معادله ونگنوختن را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش h^* تعدیل کرده و آن را به صورت زیر ارائه کرده اند (Dirksen et al, 1988, 1993):

$$\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_0}\right)^p} \quad (۶)$$

اگر به جای $\alpha(h)$ ضریب کاهش را به صورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک قرار دهیم؛ معادله جذب آب از خاک‌های شور به صورت زیر در می‌آید:

$$S = \alpha(\pi) S_{\max} \quad (۷)$$

در این معادله $\alpha(\pi)$ تابع کاهش جذب آب در اثر تنش شوری است. مدل شیب آستانه (Maas and Hoffman, 1977) و مدل سیگموئیدی (Van Genuchten and Hoffman, 1984) معروف-ترین مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در خاک‌های شور می‌باشند. معمولاً مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکل توأم شوری و خشکی رو به رو هستند. با کم شدن رطوبت خاک، پتانسیل ماتریک

یکپارچه در نظر گرفته می‌شود و به آن مدل سیستم ریشه‌ای نیز گفته می‌شود. مدل‌های میکروسکوپی بر این پایه استوارند که آهنگ جذب آب توسط گیاه با ضریب آب‌گذری خاک و تفاوت پتانسیل ماتریک در سطح ریشه‌ها و خاک پیرامون آن متناسب است. در این تعریف، هر ریشه‌ی مجزا به‌عنوان استوانه‌ای صاف و یکنواخت با طول بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود که خصوصیات آن از نظر جذب آب در هر مقطع فرضی دقیقاً برابر سایر نقاط است. معادله عمومی مدل‌های جذب آب میکروسکوپی، اولین بار توسط (Gardner, 1960) ارائه شد. مطالعات وسیعی توسط افراد مختلف (Whisler et al, 1968); (Childs; Feddes et al, 1974); (Nimah and Hanks, 1973); (Hillel et al, 1974-1975); (Hansen, 1974-1975); and Hanks, 1975); (Bresler, et al, 1982); (Herkelrath et al, 1977); (Rowse et al, 1987) صورت گرفته است. اشکال عمده مدل‌های میکروسکوپی به غیر کاربردی بودن آن‌ها مربوط می‌شود، زیرا دست-یابی به کمیت‌های آن در حال حاضر غیر ممکن است. افزون بر این، فرض یکنواخت بودن تمامی مکان‌های جذبی در سطح ریشه و یا ماندگار بودن جریان آب که از پایه‌های اساسی این مدل‌ها است با واقعیت منطبق نیست (Mathur and Rao, 1999). اولین فرضیات مدل‌های ماکروسکوپی توسط (Molz and Remson, 1970, 1971) عنوان شد؛ که در آن گفته شد جذب آب توسط ریشه با تعرق واقعی قابل توضیح است. عمومیت روش‌های ماکروسکوپی زمانی که مطالعات (Feddes et al, 1976, 1978) به سمت تعریف ترم کاهش جذب کشیده شد، بیش از پیش شد. فرم عمومی مدل‌های ماکروسکوپی که اولین بار توسط (Feddes et al, 1976) ارائه شد به صورت زیر است:

$$S = \alpha(h, \pi) \times S_{\max} = \alpha(h, \pi) \frac{T_p}{Z_r} \quad (۲)$$

که در آن $\alpha(h, \pi)$ تابع بدون بعد پاسخ به تنش، Z_r عمق توسعه ریشه، T_p تعرق پتانسیل، h پتانسیل ماتریک و π پتانسیل اسمزی، S_{\max} مقدار جذب آب توسط گیاه در شرایط واقعی و S جذب آب در حالت پتانسیل (بالقوه) می‌باشد. مهم‌ترین مدل‌هایی که بر مبنای معیارهای ماکروسکوپی ارائه شده‌اند عبارتند از: (Feddes et al, 1974, 1976); (Molz and Remson, 1971); (Van Genuchten, 1987); (Gardner, 1964).

تنش آبی زمانی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق پتانسیل 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 معادله‌ی کلی آن به صورت زیر است:

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

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و مکان آزمایش

این پژوهش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی، در زمستان ۹۱ و بهار ۹۲ اجرا شد. در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در شرایط متغیر پتانسیل اسمزی و ماتریک، آزمایشیبه صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در شرایط گلخانه‌ای روی چمن چچم (*Lolium perenne*) انجام شد. تیمارهای اعمال شده شامل چهار سطح شوری (۰/۵، ۵/۵، ۷/۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و سه سطح خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. خاک همه گلدان‌ها دارای بافت شن لومی و وزن آن‌ها یکسان بود.

روش کار

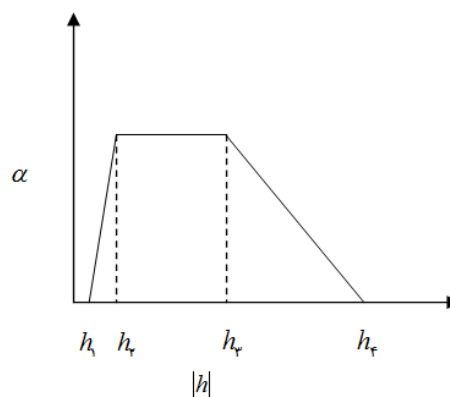
در این پژوهش از لوله‌های پلی اتیلن با قطر ۱۱۰ میلی‌متر و طول ۷۰ سانتی‌متر به‌منظور گلدان استفاده شد. وزن خاک گلدان ۴/۶ کیلوگرم، سطح خالی لوله تقریباً ۱۰ سانتی‌متر بود. پس از استقرار کامل گیاه (۳ ماه) و پوشیده شدن کامل سطح گلدان‌ها توسط چمن (حذف تبخیر از سطح گلدان)، اعمال تنش‌های شوری و خشکی به صورت همزمان آغاز گردید. تنش خشکی بر حسب درصدی از ظرفیت زراعی اعمال شد؛ سطوح شوری از طریق حل کردن مقادیر مختلف نمک NaCl در یک لیتر آب و روش آزمون و خطا، توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی به‌دست آمد. توزین گلدان‌ها به‌صورت روزانه (در ساعت ۱۰ صبح) با یک ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۵ کیلوگرم) انجام می‌شد و آب لازم با توجه به تیمار آن‌ها هر ۲ روز یک‌بار اعمال می‌شد. اعمال تنش‌ها، به مدت ۱ ماه به طول انجامید. برای اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی خاک، با استفاده از دستگاه صفحات فشاری^۱ و نرم افزار RETC^۲ به دست آمد (شکل ۲)، سپس با جای‌گزینی مقادیر رطوبت‌های روزانه اندازه‌گیری شده در منحنی مشخصه خاک، قدر مطلق پتانسیل ماتریک محاسبه شد.

مقدار تعرق روزانه با استفاده از اختلاف وزن گلدان در دو روز متوالی و ضریب کاهش جذب آب با استفاده از نسبت تعرق روزانه به تعرق پتانسیل (حالتی که گیاه تحت هیچ تنشی نباشد) محاسبه می‌شد (Homaei, 1999).

مدل‌های مورد استفاده

در این مطالعه سه تابع کاهش جذب در شرایط تنش خشکی

کاهش یافته و گیاه برای برداشت مقدار معینی آب باید انرژی بیش‌تری مصرف کند. اما اغلب، گیاه چنین توانایی نداشته و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد (کافی، ۱۳۸۹). از سوی دیگر با بالا رفتن غلظت املاح در محلول خاک، فشار اسمزی افزایش



شکل ۱- نمایش شماتیک تابع کاهش جذب آب توسط ریشه (Feddeset al., 1978)

یافته و این نیز به نوبه خود جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. هرچند که اثر هریک از این دو پدیده در کاهش جذب آب به تنهایی از مدت‌ها پیش شناسایی شده ولی این پرسش که به هنگام وجود توأم این دو عامل، جذب آب توسط گیاه به چه میزان کاهش می‌یابد برای مدت‌ها بی‌پاسخ مانده بود. در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هریک از آن‌ها در کاهش جذب آب نظریات و مدل‌های متعددی وجود دارد که بر مبنای این نظریات مدل‌های جذب آب به مدل‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر تقسیم می‌شوند (کافی، ۱۳۸۹). 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 به‌طور جداگانه محاسبه و در هم دیگر ضرب می‌شوند.

امروزه با توجه به گسترش شهرها و ماشینی شدن زندگی مدرن، اهمیت فضا‌های سبز و نیاز به آن، بیش از پیش نمایان گشته و مورد توجه قرار گرفته است. اما در سال‌های اخیر و به خصوص در کشورهای با اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی، به‌دلیل کمبود آب مطلوب و شیرین و هم‌چنین مشکل فزاینده شوری خاک و آب، گسترش و ایجاد فضا‌های سبز جدید با محدودیت‌های جدی روبه‌رو گردیده است. چمن از گیاهانی است که به‌طور گسترده در فضا‌های سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پژوهش نیز با هدف شناسایی چگونگی واکنش چمن چچم (*Lolium perenne*) به تنش همزمان شوری و خشکی و هم‌چنین ارزیابی مدل‌های ذکر شده به اجرا درآمد.

1- Pressure plate
2- Retention curve

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_{\delta.}}\right)^{R_1}\right]} \times \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{\delta.}}\right)^{R_1}\right]} \quad (10)$$

مدل - (Dirksen and Augustijn, 1993) با عنوان مدل M₃:
 (Dirksen and Augustijn, 1993) مضرب‌های تابع کاهش
 (Van Genuchten, 1987) را نسبت به آستانه‌ی کاهش شوری
 خشکی (π^*) و تعدیل و به صورت زیر ارائه کردند:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{\delta.}}\right)^{R_1}\right]} \times \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{\delta.}}\right)^{R_1}\right]} \quad (11)$$

مدل - (Van Dam et al, 1997) با عنوان مدل M₄:
 (Van Dam et al, 1997) از تلفیق شاخه نزولی تابع کاهش
 (Feddeset al, 1978) برای تنش خشکی و تابع کاهش (Maas
 and Hoffman, 1977) برای تنش شوری، تابع کاهش زیر را برای
 شرایط وجود همزمان تنش‌های شوری و خشکی ارائه کردند:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_f}{h_p - h_f} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (12)$$

h_3, h_4, b به ترتیب نقطه شروع تنش آبی، نقطه پژمردگی و
 درصد کاهش محصول به ازای افزایش واحد شوری می‌باشند.

مدل - (Homae, 1999) با عنوان مدل M₅:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_f - \pi)}{h_p - (h_f - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (13)$$

معادله اخیر در شرایط $\pi < \pi^*$ و $(h_f - \pi) \leq h \leq h_p$
 صادق است.

مدل - (Skaggs et al, 2006) با عنوان مدل M₆:

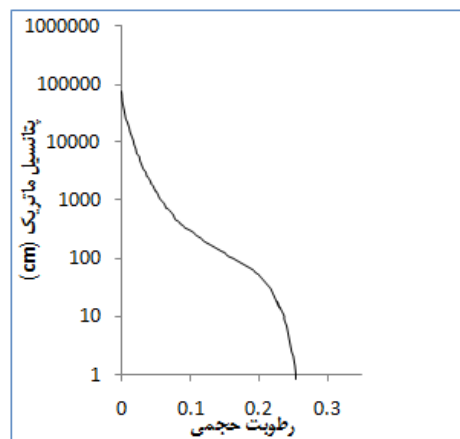
$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_{\delta.}}\right)^{P_1}\right]} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right] \quad (14)$$

این مدل از تلفیق مدل (Van Genuchten, 1984) برای تنش
 خشکی و معادله (Maas and Hoffman, 1977) برای تنش شوری
 به دست آمده است.

پارامترهای مورد نیاز مدل‌ها

$h^* = h_p$: مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش محصول

(Feddeset al, 1978) با عنوان مدل M₇ (Van Genuchten et al,
 1984) با عنوان مدل M₈ (Dirksen et al, 1988, 1993) با عنوان
 مدل M₉ و شش تابع کاهش جذب در شرایط تنش همزمان (Van
 Genuchten, 1987) (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، (Dirksen and
 Augustijn, 1993)



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبتی خاک

(Homae, 1999) (Van Dam et al, 1197) (Skaggs, et و
 al, 2006) با استفاده از داده‌های گلخانه‌ای چچم مورد ارزیابی قرار
 گرفت.

مدل جمع‌پذیر (Van Genuchten, 1987) با عنوان مدل M₁:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{\left[1 + \left[\frac{h(z, t)}{h_{\delta.}} + \frac{\pi(z, t)}{\pi_{\delta.}}\right]^p\right]} \quad (8)$$

در این تابع $h_{\delta.}, \pi_{\delta.}$ 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. (Van
 Genuchten and Gupta, 1987) (Van Genuchten and Gupta,
 1993) معادله‌ی فوق را برای محصولات با دامنه شوری‌های مختلف
 به کار برده و مقدار p را تقریباً ۳ به دست آوردند.

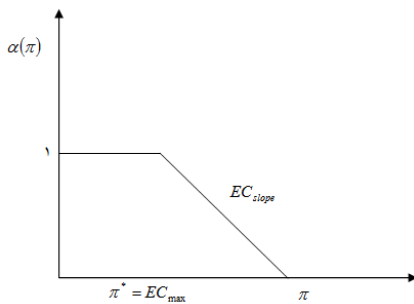
مدل ضرب‌پذیر (Van Genuchten, 1987) با عنوان مدل M₂:

معادله عمومی مدل‌های ضرب‌پذیر به صورت زیر است:

$$\alpha(h, \pi) = \alpha(h) \times \alpha(\pi) \quad (9)$$

مدل‌های ضرب‌پذیر اولین بار توسط (Van Genuchten,
 1987) پیشنهاد شدند و در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی شده عددی
 جذب آب توسط ریشه به کار گرفته شده‌اند.

که مقادیر $p_1 = 1/113$ ، $p_2 = 1/85$ به دست آمد.



شکل ۳- نمایش شماتیک تابع کاهش جذب آب توسط ریشه (Maas and Hoffman, 1977)

شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش اعتبار و درستی توابع تولید مدل‌ها وجود دارد. برای ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل‌ها از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده می‌کنیم. شاخص‌های آماری لازم برای این کار عبارتند از:

خطای متوسط $(AE)_2$ ، خطای ریشه میانگین مربعات $(RMSE)$ ، ضریب تغییرات $(CV)_4$ ، کارایی مدل‌سازی یا راندمان مدل $(EF)_5$ و ضریب باقیمانده $(CRM)_6$. طبق تعریف، هر یک از پارامترهای مذکور عبارتند از:

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

- میانگین ریشه دوم خطا $(RMSE)$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (18)$$

- ضریب تغییرات (CV)

- 2- Average Error
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Coefficient Variation
- 5- Modeling Efficiency
- 6- Coefficient of Residual Mass

بوده که (Aronson et al, 1987) مقدار آن را برای گیاه چچم ۸۰۰- سانتی‌متر گزارش نموده‌اند.

π^* : پتانسیل اسمزی در آستانه کاهش محصول بوده که با توجه به آستانه شوری برای کاهش عملکرد چچم (EC_{max}) و تبدیل آن به پتانسیل اسمزی با استفاده از رابطه زیر تعیین شد (Richards, 1954)

$$\pi = -36.0 \times EC_e \quad (15)$$

که در آن π پتانسیل اسمزی (Cm) و EC_e شوری عصاره اشباع خاک (ds/m) است.

(Maas and Hoffman, 1977) و علیزاده (۱۳۸۹) مقدار

EC_{max} را برای گیاه چچم معادل $5/6$ دسی زیمنس بر متر گزارش کرده‌اند؛ که با توجه به رابطه، پتانسیل اسمزی برابر با 20.16 - سانتی-متر خواهد شد که این مقدار برای پارامتر π^* قرار داده شد.

h_f : همان پتانسیل ماتریک در نقطه پژمردگی بوده که علیزاده (۱۳۸۳) آن را برابر 15000 - سانتی‌متر گزارش کرده است.

h_d : مکشی از خاک است که در آن جذب آب توسط گیاه 50 درصد کاهش می‌یابد؛ یا به عبارتی مقدار پتانسیل ماتریک در شرایطی

که $\alpha(h) = 0.5$ باشد. با توجه به شکل ۱ و پارامترهای

$\alpha(h) = 0.5$ ، $h_f = -15000$ و $h_d = -7900$ به دست آمد.

π_d : مقدار پتانسیل اسمزی که در آن جذب آب توسط گیاه 50 درصد کاهش می‌یابد. شیب EC_{slope} برای رایگراس (چچم) توسط

(Maas and Hoffman, 1977) و علیزاده (۱۳۸۹) برابر $7/6\%$ گزارش شده است. که در واقع EC_{slope} شیب خط (درصد کاهش عملکرد به ازاء هر واحد افزایش شوری ds/m عصاره اشباع) است.

با توجه به شکل ۳ و قرار دادن مقادیر $\pi^* = -20.16$ و EC_{slope} برابر $7/6\%$ و در نظر گرفتن $\alpha(\pi) = 0.5$ ، مقدار π_d برابر 4384 - به دست آمد.

پارامتر b که در مدل‌های جذب آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، در واقع همان EC_{slope} است.

پارامترهای تجربی p_1 و p_2 نیز از روابط زیر محاسبه شد؛ در شرایطی که:

$$\pi_{max} = \pi_d \quad , \quad h_{max} = h_d$$

$$p_1 = \frac{h_{max}}{h_{max} - h^*} \quad , \quad p_2 = \frac{\pi_{max}}{\pi_{max} - \pi^*}$$

(۱۶)

شکل‌های ۴ تا ۷ ارائه شده است. به‌طور کلی این نتایج نشان می‌دهند که در یک پتانسیل اسمزی ثابت، با کاهش پتانسیل ماتریک، مقدار جذب به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد (به‌عنوان مثال شکل ۴) و در یک پتانسیل ماتریک معین، با کاهش پتانسیل اسمزی، مقدار جذب آب کاهش می‌یابد (تفاوت مقدار ضریب جذب ماکزیمم در شکل-های ۴ تا ۷ گواه این ادعا است). هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که در شرایط وجود تنش همزمان شوری و خشکی، کاهش جذب آب شدیدتر می‌شود (اختلاف پتانسیل ماتریکی که در آن گیاه پژمرده می‌شود نشان‌دهنده‌ی این ادعا است؛ هرچه تنش شوری و خشکی بیش‌تر می‌شود، گیاه زودتر پژمرده می‌شود).

بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده، هریک از مدل‌ها رتبه‌بندی شدند. به این صورت که به مدلی که در آن هر یک از شاخص‌های آماری CRM, CV, AE, RMSE حداقل و یا EF آن به یک نزدیک باشد، رتبه یک اختصاص می‌گرفت (Homae et al, 2002)؛ پس از رتبه‌بندی هر یک از شاخص‌های آماری، میانگین رتبه‌های هر تابع با توابع دیگر مقایسه شد. پارامترهای آماری محاسبه شده مربوط به هر یک از توابع کاهش جذب آب و رتبه‌بندی آن‌ها در هر سطح شوری در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده است.

شکل ۴ برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار بدون تنش شوری (شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) را نشان می‌دهد. نتایج این شکل و جدول ۱ نشان می‌دهد، در شرایطی که گیاه فقط تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد، همه‌ی مدل‌های شبیه-سازی (در شرایط وجود تنش خشکی) برازش نسبتاً خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. هم‌چنین این شکل نشان می‌دهد که مدل (Feddes et al, 1987) در مکش‌های رطوبتی پایین‌تر، برازش بهتری نسبت به دو مدل دیگر دارد. جدول ۱ ارزیابی مدل‌های فوق را بر اساس پارامترهای آماری نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل فدس و همکاران بهترین برازش را نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده دارد و مدل‌های Van Genuchten و Dirksen et al در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

شکل ۵ برازش مدل‌های مختلف را بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار شوری ۵/۵ دسی زیمنس بر متر و جدول ۲ ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که در شوری ۵/۵ دسی زیمنس بر متر، تابع کاهش جذب آب در شرایط وجود تنش همزمان شوری و خشکی، جمع‌پذیر است؛ هرچند که مدل مفهومی (Homae, 1999) نیز برازش نسبتاً مناسبی ارائه می‌دهد.

$$CV = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (19)$$

- کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (20)$$

- ضریب باقیمانده (CRM)

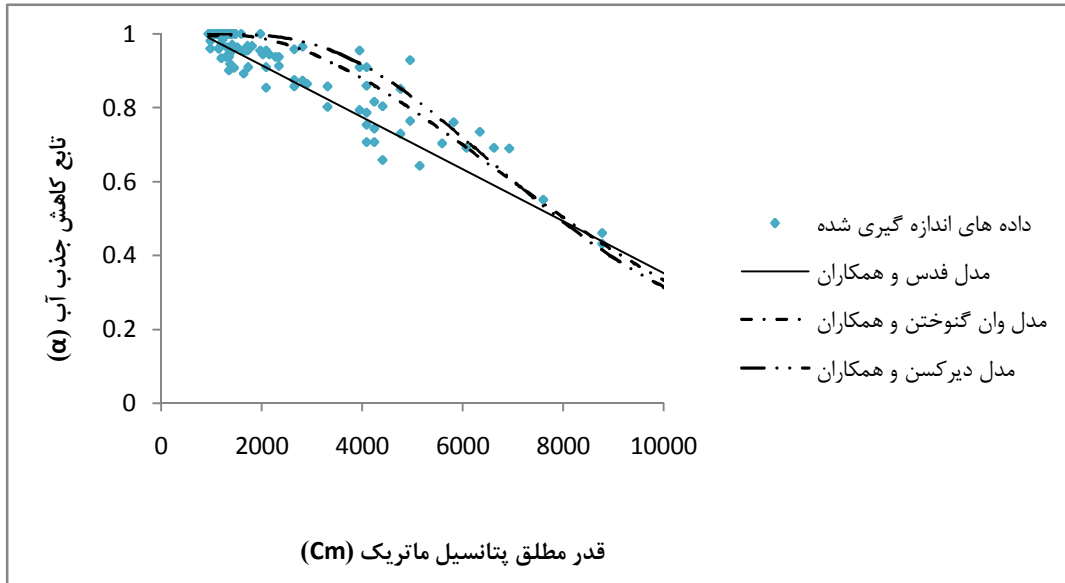
$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (21)$$

که در آن‌ها: P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)

که در آن‌ها: P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n : تعداد نمونه‌های به‌کار رفته، \bar{O} : مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده می‌باشند. حداقل مقدار AE, RMSE و CV صفر است. حداکثر مقدار EF برابر با یک است. CRM, EF می‌توانند مقادیر منفی داشته باشند. مقدار زیاد AE نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است. شاخص CV نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. شاخص EF مقادیر پیش‌بینی را با میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. CRM شاخصی است که درجه بالا یا پایین تخمین زدن مدل را نشان می‌دهد؛ چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های CRM, AE, RMSE و CV برابر با صفر و مقدار EF برابر با ۱ خواهد بود.

نتایج و بحث

ضرایب کاهش جذب آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و ماتریک در

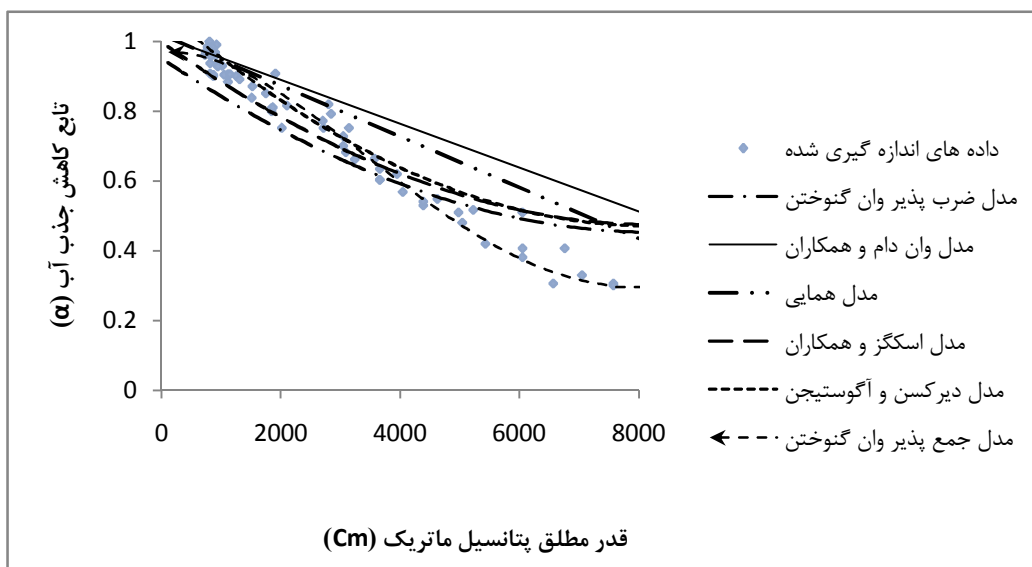


شکل ۴- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار بدون شوری (ods/m +)

جدول ۱- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده در تیمار بدون تنش شوری

M_9	M_8	M_7	(%) RMSE
^(۳) ۱۴/۳۶۰	^(۲) ۱۴/۲۰۳	^(۱) ۱۳/۶۲۲	
^(۳) ۰/۰۵۹	^(۱) ۰/۰۵۵	^(۱) ۰/۰۵۵	AE
^(۱) ۱۸/۷۴۷	^(۳) ۱۹/۷۱۴	^(۳) ۲۱/۸۵۶	CV
^(۳) ۰/۴۰۹	^(۲) ۰/۴۵۱	^(۱) ۰/۴۵۹	EF
^(۳) ۰/۰۵۷	^(۲) ۰/۰۴۶	^(۱) ۰/۰۰۹	CRM
۲/۴	۱/۸	۱/۴	میانگین رتبه‌ها
۳	۲	۱	رتبه نهایی

M_7 : مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸); M_8 : مدل وان گنوتخن و همکاران (۱۹۸۴) و M_9 : مدل دیرکسن و همکاران (۱۹۸۸، ۱۹۹۳)



شکل ۵- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار ۵/۵ دسی زمینس بر متر

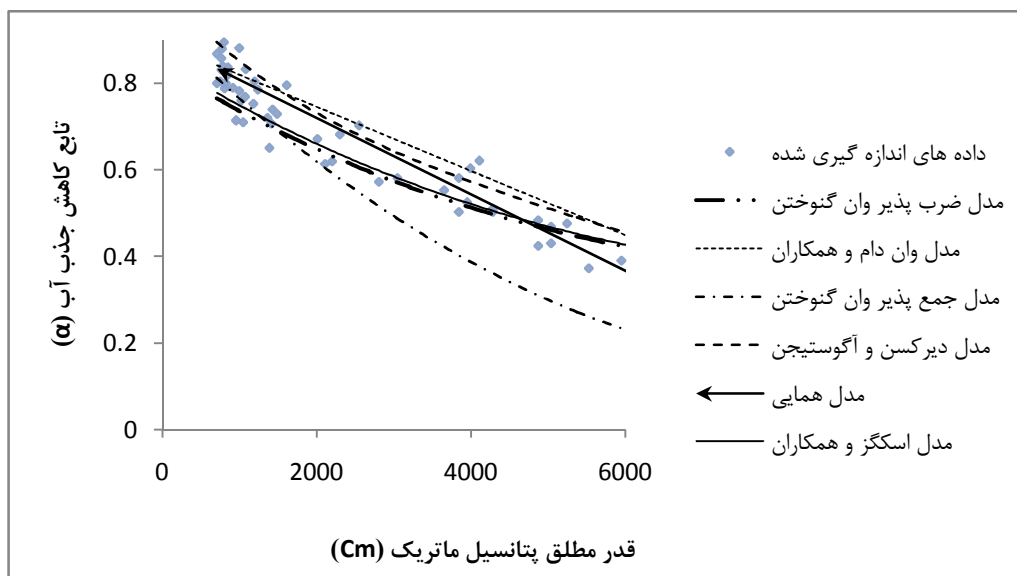
جدول ۲- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده در تیمار ۵/۵ دسی زمینسبر متر

M ₆	M ₅	M ₄	M ₃	M ₂	M ₁	(%) RMSE
(۳) ۶/۹۵	(۳) ۵/۱۶	(۵) ۸/۰۹	(۳) ۶/۲۶	(۶) ۸/۱۶	(۱) ۳/۹۸	AE
(۴) ۰/۰۵۵	(۲) ۰/۰۴۳	(۵) ۰/۰۶۸	(۳) ۰/۰۴۵	(۶) ۰/۰۷۶	(۱) ۰/۰۲۹	CV
(۴) ۲۹/۰۳۶	(۳) ۲۶/۲۵۷	(۵) ۳۲/۲۵۴	(۲) ۲۵/۷۱۷	(۶) ۳۵/۲۰۸	(۱) ۲۱/۳۹۲	EF
(۳) ۰/۰۰۸	(۴) ۰/۰۴۶	(۶) ۰/۰۸۵	(۵) ۰/۰۴۸	(۱) ۰/۰۵۵	(۳) ۰/۰۰۴	CRM
(۳) ۰/۰۰۸	(۳) ۰/۰۴۶	(۶) ۰/۰۸۵	(۴) ۰/۰۴۹	(۵) ۰/۰۵۵	(۱) ۰/۰۰۴	میانگین رتبه ها
۳/۲	۲/۸	۵/۴	۳/۴	۴/۸	۱/۴	رتبه نهایی
۳	۲	۶	۴	۵	۱	

M₁: مدل جمع پذیر وان گنوختن (۱۹۷۸)، M₂: مدل ضرب پذیر وان گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)، M₃: مدل دیرکسن و آگوستیچن (۱۹۹۳)، M₄: مدل وان دام و همکاران (۱۹۹۷)، M₅: مدل همایی (۱۹۹۹) و M₆: مدل اسکگز و همکاران (۲۰۰۶)

واکنش چچم به تنش همزمان شوری و خشکی ضرب پذیر است و از میان مدل‌های ضرب پذیر، مدل (Homaei, 1999) و (Skaggs et al, 2006) مناسب‌ترین برازش را ارائه می‌دهند.

شکل ۶ برازش مدل‌های مختلف را بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار شوری ۷/۵ دسی زمینس بر متر و جدول ۳ ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که در شوری ۷/۵ دسی زمینس بر متر،



شکل ۶- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار ۷/۵ دسی زمینس بر متر

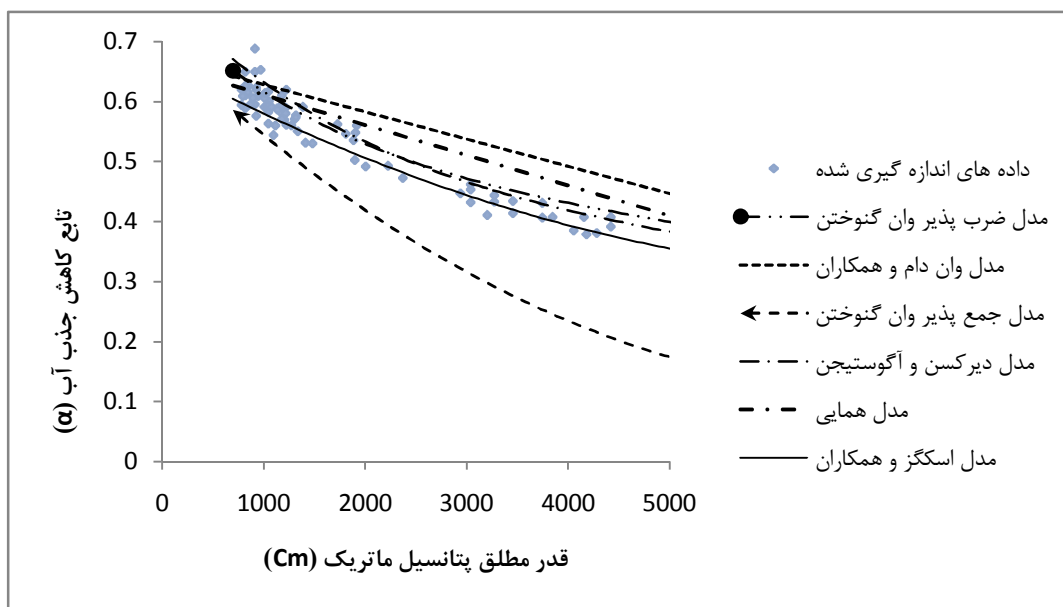
جدول ۳- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده در تیمار ۷/۵ دسی زمینسبر متر

M ₆	M ₅	M ₄	M ₃	M ₂	M ₁	(%) RMSE
(۳) ۷/۰۴۹	(۱) ۵/۲۵۹	(۲) ۶/۶۰۷	(۵) ۸/۲۸۵	(۴) ۷/۴۳۸	(۶) ۱۰/۱۳۸	AE
(۲) ۰/۰۵۴	(۱) ۰/۰۴	(۳) ۰/۰۵۷	(۵) ۰/۰۶۸	(۴) ۰/۰۵۸	(۶) ۰/۰۸۸	CV
(۳) ۳۳/۵۲۰	(۱) ۲۸/۷۶۷	(۴) ۳۵/۵۲۴	(۵) ۳۸/۷۱۴	(۳) ۳۴/۹۶۶	(۶) ۴۴/۰۸۷	EF
(۳) ۰/۴۹۱	(۵) ۰/۲۰۷	(۳) ۰/۱۵۷	(۴) ۰/۱۰۶	(۱) ۰/۴۹۹	(۶) ۰/۵۸۸	CRM
(۲) ۰/۰۱۵	(۱) ۰/۰۰۶	(۴) ۰/۰۶۹	(۵) ۰/۰۹۹	(۳) ۰/۰۳۲	(۶) ۰/۱۰۲	میانگین رتبه ها
۲/۲	۱/۸	۳/۲	۴/۸	۳	۶	رتبه نهایی
۲	۱	۴	۵	۳	۶	

M₁: مدل جمع پذیر وان گنوختن (۱۹۷۸)، M₂: مدل ضرب پذیر وان گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)، M₃: مدل دیرکسن و آگوستیچن (۱۹۹۳)، M₄: مدل وان دام و همکاران (۱۹۹۷)، M₅: مدل همایی (۱۹۹۹) و M₆: مدل اسکگز و همکاران (۲۰۰۶)

واکنش چچم به تنش همزمان شوری و خشکی ضرب‌پذیر است و از میان مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل (Skaggs et al, 2006) و مدل (Van Genuchten, 1987) مناسب‌ترین برآزش را ارائه می‌دهند.

شکل ۷ برآزش مدل‌های مختلف را بر داده‌های اندازه‌گیری شده از تیمار شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و جدول ۴ ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر،



شکل ۷- برآزش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر

جدول ۴- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر

M ₆	M ₅	M ₄	M ₃	M ₂	M ₁	
(^۱)۲/۶۸۲	(^۵)۵/۴۰۶	(^۴)۴/۴۶۷	(^۳)۳/۳۰۷	(^۲)۲/۷۹۸	(^۶)۱۲/۶۴۶	(%) RMSE
(^۱)۰/۰۲۲	(^۵)۰/۰۴۴	(^۴)۰/۰۴۰	(^۳)۰/۰۲۸	(^۲)۰/۰۲۴	(^۶)۰/۱۱۵	AE
(^۱)۲۶/۹۴۸	(^۴)۳۸/۱۱۲	(^۵)۳۸/۱۹۹	(^۳)۳۱/۰۵۰	(^۲)۲۸/۸۱۶	(^۶)۶۵/۱۰۵	CV
(^۱)۰/۱۸۶	(^۵)۰/۰۹۹۹	(^۴)۰/۰۳۴۶	(^۳)۰/۰۲۶۷	(^۲)۰/۰۰۹	(^۶)۰/۲۴۱	EF
(^۲)۰/۰۳۱	(^۱)۰/۰۰۲	(^۴)۰/۰۰۶۳	(^۳)۰/۰۰۴۰	(^۲)۰/۰۰۳۱	(^۵)۰/۱۸۳	CRM
۱/۲	۴	۴/۲	۳	۲	۵/۸	میانگین رتبه‌ها
۱	۴	۵	۳	۲	۶	رتبه نهایی

M₁: مدل جمع‌پذیر وان گنوختن (۱۹۷۸); M₂: مدل ضرب‌پذیر وان گنوختن و همکاران (۱۹۸۷); M₃: مدل دیرکسن و آگوستین (۱۹۹۳); M₄: مدل وان دام و همکاران (۱۹۹۷); M₅: مدل همایی (۱۹۹۹) و M₆: مدل اسکگز و همکاران (۲۰۰۶)

پاسخ گیاهان به شوری جمع‌پذیر نیست (Cardon and Letty, 1992). از طرف دیگر در شوری‌های کم، پاسخ گیاه به تنش همزمان شوری و کم آبی تحت تأثیر مجموع پتانسیل اسمزی و ماتریک خاک قرار دارد. بنابراین توابع جمع‌پذیر در شرایط شوری کم، بسیار خوب عمل می‌کنند (Skaggs et al, 2006). در صورتی که با افزایش مقدار شوری، تعرق پیش‌بینی شده با این توابع، با کاهش تعرق اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری پیدا می‌کند (Cardon and Letty, 1992). میزان CRM منفی در مدل‌های M₃, M₄, M₅ نشان‌دهنده این است

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 تأثیر 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 می‌کند. در این شرایط، پاسخ گیاه به افزایش یک سانتی‌متر فشار اسمزی با کاهش یک سانتی‌متر مکش ماتریک یکسان نیست (Homae et al, 2002). بنابراین در شوری‌های زیاد

- شوری و خشکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)، ۲۳: ۸۸-۹۷.
- کافی، م. ۱۳۸۹. کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد.
- کیانی، ع.، همایی، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی. مجله علوم خاک و آب. ۲۰: ۷۳-۸۳.
- Aronson, L.J., Gold, A.J., Hull, R.J. 1987. Cool-season turfgrass responses to drought stress. *Crop Science*. 27: 1261-1266.
- Bresler, E. McNeal, B. L., Carter, D.L. 1982. Saline and Sodic soils. *Advanced series in Agricultural Sciences*. 10. 236.
- Cardon, G.E., Letty, J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Science Society of America Journal*. 32: 1876-1880.
- Childs, S.W., Hanks, R.J. 1975. Model of soil salinity effects on crop growth. *Soil Science Society of America Journal*. 39: 617-622.
- Denmead, O.T., Shaw, R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal*. 54: 385-390.
- Dirksen, C., Augustijn, D.C. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. *Agronomy Journal*. 15: 188 (Abstracts).
- Dirksen, C., Kool, J.B., Koorevaar, P., Van Genuchten, M.Th. 1993. HYSWASOR - Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In: D. Russo and G. Dagan (editors). *Water flow and solute transport in soils*. Springer Verlag Berlin, 99-122. *Advanced Series In Agricultural Sciences* no. 20.
- Feddes, R.A., Bresler, E., Neuman, S.P. 1974. Field test of a modified numerical model for water uptake by root system. *Water Resources Research*. 10.6: 1199-1206.
- Feddes, R.A., Kowalik, P., Kolinska-Malinka, K., Zarandy, H. 1976. Simulation of field water uptake plants using a soil water dependent root extraction function. *Journal of Hydrology*. 31: 13-26.
- Feddes, R. A., Kowalik, P., Zarandy, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Center for Agricultural Publishikg and Documentation (PUDOC)*, Wageningen.
- Gardner, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Science*. 89: 60-73.
- Gardner, W.R. 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agronomy Journal*. 56: 41-45.
- Green, S.R., Kirkham, M.B., Clothier, E. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. *Agric. Water Manage.* 86: 165-176.
- Hansen, G.K. 1974. Resistance to water transport in soil and young wheat plants. *Acta Agriculturae*

که این مدل‌ها میزان جذب آب را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. در حالی که مدل جمع‌پذیر M_1 در اکثر موارد میزان جذب را کم‌تر از مقدار واقعی نشان می‌دهند. از مقایسه نمودارها می‌توان دریافت که اثر تنش خشکی بیش‌تر از تنش شوری است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر نمودار (سطوح مختلف خشکی) میزان جذب کاهش زیادی داشته؛ در حالی که در مقایسه نمودارها با هم (سطوح مختلف شوری) این کاهش کم‌تر می‌باشد. نتایج این بررسی با تحقیقات پژوهش‌گرانی نظیر (Meiri and Shalhevet, 1973) (رووی وزن عملکرد میوه فلفل، (Sepaskhasand Boresma, 1979) (رووی وزن خشک گندم و (Parraand Romero, 1980) (رووی عملکرد لوبیا، کیانی و همکاران (۱۳۸۵)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۸) و شهیدی و همکاران (۱۳۸۹) که بیان کرده‌اند تنش خشکی در توقف رشد گیاهان فوق نسبت به تنش شوری از وزن بیش‌تری برخوردار است، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در یک پتانسیل اسمزی ثابت، با کاهش پتانسیل ماتریک و در یک پتانسیل ماتریک معین، با کاهش پتانسیل اسمزی، مقدار جذب آب کاهش یافت. در شرایطی که گیاه فقط تحت تنش خشکی بود، همه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در شرایط وجود تنش خشکی، برازش نسبتاً خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان دادند. هم‌چنین نتایج نشان داد که واکنش گیاه چچم به تنش هم‌زمان شوری و خشکی در شوری‌های کم جمع‌پذیر و در شوری‌های بیش‌تر از ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر ضرب‌پذیر است. در واقع، اگرچه کاهش جذب آب چچم به واسطه وجود توأم دو تنش تجمعی است؛ لیکن اثر توأم شوری و خشکی از مجموع اثرات هر یک از تنش‌های فوق کم‌تر است. از بین مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل (Van Genuchten, (Skaggs et al, 2006) (Homae, 1999) و (Van Genuchten, 1987) برازش بهتری نشان دادند.

منابع

- شهیدی، ع.، نحوی‌نیا، م. ج. و پارسی‌نژاد، م. ۱۳۸۹. ارزیابی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی توسط رقم روشن گندم. *مجله پژوهش آب*، ۴: ۷-۱۲.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. فیزیک خاک. دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ اول.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ یازدهم.
- علیزاده، ح. ع.، لیاقت، ع. م. و نوری محمدیه، م. ۱۳۸۸. ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط گوجه فرنگی در شرایط تنش هم‌زمان

- soil water, plant, and atmospheric interrelations: I. Description and sensitivity. *Soil Science Society of America Journal*. 37: 522-527.
- Parra, M. A., Romero, G. C. 1980. On the dependence of salt tolerance of beans (*Phaseolus vulgaris* L) on soil water matric potential. *Plant Soil*. 56: 3-16.
- Rowse, H.R., Stone, D.A., Gerwitz, a. 1987. Simulation of the water distribution in soil. 2. The model for cropped soil and its comparison with experiment. *Plant Soil*. 49: 500-534.
- Sepaskhas, A.R., Boresma, L. 1979. Shoot and growth of wheat seedlings exposed to several levels of matric potential and NaCl-induced osmotic potential of soil water. *Agronomy Journal*. 71: 746-752.
- Skaggs, T.H., Van Genuchten, M.Th., Shouse, P.J., Poss, J.A. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. *Agricultural Water Management*. 86: 140-179.
- Van Dam, J. C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P., Van Diepen, C.A. 1997. Theory of SWAP, version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Report No. 71. Dept. of Water Resour., Wageningen Agricultural University. 167 pp.
- 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.
- Van Genuchten, M.Th., Gupta, S.K. 1993. A reassessment of the crop salt tolerance response function. *Indian Society of Soil Science Journal*, 41(4): 730-737.
- Van Genuchten, M.Th., Hoffman, G.J. 1984. Analysis of crop production. In: I. Shainberg and J. Shalhevet (editors), *Soil salinity under irrigation*. Ecological Studies, 51: 258-271.
- Whisler, F.D., Klute, A., Millington, R.J. 1968. Analysis of steady state evapotranspiration from a soil column. *Soil Science Society of America Journal*. 32: 167-174.
- Scandinavica. 24: 37-48.
- Hansen, G.K. 1975. Resistance to water flow in soil and plants, plant water status, stomatal resistance and transpiration of Italian ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 24: 83-92.
- Herkelrath, W.N., Miller, E.E., Gardner, W.R. 1977. Water uptake by plant. II: The root contact model. *Soil Science Society of America Journal*. 41: 1039-1043.
- Hillel, D., Talpaz, H., Van Keulen, H. 1976. A macroscopic model of water uptake by a nonuniform root system and of water and salt movement in the soil profile. *Soil Science*. 121.4: 242-255.
- Homae, M. 1999. Water uptake under nonuniform transient salinity and water stress. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University.
- Homae, M., Direksen, C., Feddes, R.A. 2002. Simulation of root water uptake. I. Nonuniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*. 57: 89-109.
- League, K., Green, R.E. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*. 7: 51-73.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. 103.2: 115-134.
- Mathur, S., Rao, S. 1999. Modeling water uptake by plant roots. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 125.3: 156-165.
- Meiri, A., Shalhevet, J. 1973. Pepper plant response to irrigation water quality and timing of leaching. *Ecological studies Springer*. 4: 421-429.
- Molz, F.J., Remson, I. 1970. Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants. *Water Resources Research*, 6: 1346-1356.
- Molz, F.J., Remson, I. 1971. Application of an extraction term model to the study of moisture flow to plant roots. *Agronomy Journal*, 63: 72-77.
- Nimah, M.N., Hanks, R.J. 1973. Model for estimating

Evaluation of Water Uptake Functions under Simultaneous Salinity and Water Stress Conditions in Turf Grass

S. Seifi^{1*}, A. Alizadeh², K. Davari³, M. Banayan aval⁴

Recived: Nov.2, 2014

Accepted: Apr.8, 2015

Abstract

A significant part of Iran lays in arid and semi-arid regions, that face with drought and salinity. In other hand, Water use efficiency under this condition is generally low. Mathematical models that simulate transpiration of plant as a function of soil moisture availability are useful tools for water productivity management. Various mathematical models have developed to estimate transpiration of plant reduction due to combined effect of drought and salinity stresses. This study compares six different macroscopic reduction functions; namely: Van Genuchten (additive and multiplicative, 1987), Dirksen & Augustijn (1993), Van Dam et al. (1997), Homae (1999) and Skaggs et al. (2006). These models were evaluated against measured transpiration of turfgrass (*Lolium prene*) in greenhouse environment for 12 treatments. The factorial experiment was performed based oncompletely randomized design with four levels of salinity (0.5, 5.5, 7.5 and 10 dS/m) and three levels of drought (water refills of 100, 75 and 50 %FC) and three replicates for each treatment. The results indicated that the crop response to water and salinity stresses is additive in low salinity level and is multiplicative at salinity level above 5.5 dS/m. Among used models, reduction functions of Skaggs et al, Homae and Van Genuchtenshowed better agreement with the measured data.

Key words: Drought Stress, *Lolium prene*, Water Uptake Model.

1- M.Sc Student of Irrigation and Drainage Engineering Department, University of Mashhad

2- Professor of Irrigation, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor, Irrigation and DrainageEngineering, Agriculture Faculty Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate Professor, Department of Agronomy, Agriculture Faculty Ferdowsi University of Mashhad

(*-Corresponding Author Email: sodabe.seifi@gmail.com)