

## ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی

علیرضا کیانی، مهدی همایی و مجید میرلطیفی<sup>۱\*</sup>

## چکیده

برای بیان چگونگی جذب آب بوسیله ریشه گیاهان تحت تنش، توابع ریاضی متعددی ارائه شده است. این توابع در صورتی که پیش‌بینی درستی از واکنش گیاه در شرایط تنش ارائه دهند، ابزار مفیدی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری به شمار می‌آیند. در این پژوهش پنج تابع شامل توابع جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر وان گنوختن، دیرکسن و همکاران، وان دم و همکاران و همایی و همکاران که عملکرد نسبی گیاه را در شرایط شوری و کم آبی پیش‌بینی می‌کنند، ارزیابی شدند. داده‌های مورد نیاز این مطالعه به استناد نتایج یک طرح پژوهشی که به مدت دو سال زراعی (۸۱-۱۳۸۰ و ۸۲-۱۳۸۱) در شمال گرگان و در مزرعه تحت کشت گندم به اجرا در آمده بود مبنای تحلیل قرار گرفتند. پژوهش فوق دارای چهار سطح آب ۵۰ (W<sub>1</sub>)، ۷۵ (W<sub>2</sub>)، ۱۰۰ (W<sub>3</sub>) و ۱۲۵ (W<sub>4</sub>) درصد نیاز گیاه و چهار سطح شوری آب آبیاری ۱/۵ (S<sub>1</sub>)، ۸/۵ (S<sub>2</sub>)، ۱۱/۵ (S<sub>3</sub>) و ۱۴/۲ (S<sub>4</sub>) دسی‌زیمنس بر متر بود که در یک آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد گرچه کاهش عملکرد به واسطه وجود توأم شوری و کم‌آبی در محیط جمع‌پذیر است، ولی اثر کمی هر کدام از تنش‌های اشاره شده بر عملکرد یکسان نبوده و اثر توأم شوری و کم‌آبی کمتر از مجموع اثرات هر یک از تنش‌های فوق می‌باشد. ارزیابی مدل‌های مورد بررسی نشان داد، مدل پیشنهادی همایی و همکاران و مدل ضرب‌پذیر وان گنوختن بهتر از مدل‌های دیگر کاهش عملکرد نسبی را پیش‌بینی می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: شوری، کم‌آبی، گندم، مدل‌های جذب آب، گرگان

## مقدمه

صورت عمودی و یک بعدی در نظر بگیریم، معادله ریچاردز به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$C(h) \frac{dh}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k(h) \frac{dh}{dz} + k(h) \right) - S \quad (1)$$

که در آن:  $h$  = بار فشاری آب خاک بر حسب  $cm$ ،  $k$  = هدایت هیدرولیکی غیر اشباع بر حسب  $cm/d$ ،  $C(h)$  = ظرفیت آب خاک بر حسب  $cm^3$  و برابر با شیب منحنی نگهداری آب در خاک ( $d\theta/dh$ ) که  $\theta$  رطوبت حجمی خاک است،  $t$  = زمان بر حسب روز،  $Z$  = عمق خاک بر حسب  $cm$  و  $S$  = شدت تخلیه آب خاک بوسیله گیاه بر حسب  $cm^3 \cdot cm^{-3} \cdot d^{-1}$ . برای کمی کردن شدت تخلیه آب توسط گیاه، محققین با شناسایی عوامل مؤثر بر آن همچون تعرق، عمق ریشه‌دهی، پتانسیل ماتریک و پتانسیل اسمزی ناحیه ریشه و حداکثر جذب آب در شرایط غیرتنش، مدل‌های متعددی را ارائه داده‌اند.

افزایش تقاضای آب و کاهش کیفی آب و خاک در مناطق تحت آبیاری خصوصاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان، می‌طلبد تا مدیریت این منابع با ارزش حیاتی در مسیر درست هدایت شود. گزینه‌های مختلف مدیریتی برای تعدیل شرایط کم‌آبی و شوری قابل دسترس است. کاربرد مدل‌های ریاضی که رابطه متغیرهای مزرعه‌ای را با مقدار عملکرد شبیه‌سازی می‌کنند، یکی از ابزارهای مفید در مسائل مدیریتی آب و خاک می‌باشد. تقریباً همه مدل‌ها برای شبیه‌سازی جریان آب خاک در منطقه غیر اشباع از ترکیب معادله داری و معادله پیوستگی جریان با احتساب عامل تخلیه کننده در محیط‌های کشت شده (Sink term) استفاده می‌کنند که معادله ترکیبی آنها به نام معادله ریچاردز (۱۹۳۱) مشهور است. اگر معادله جریان آب را به

۱- به ترتیب عضو هیئت علمی (استاد یار پژوهش) مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، دانشیار گروه خاکشناسی و استادیار

گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

\* وصول: ۸۴/۴/۸ و تصویب: ۸۴/۱۰/۲۲

عامل کاهنده  $a$  را که فقط تابع بار مکش آب خاک ( $h$ ) می‌باشد به صورت معادله ۲ تعریف نمودند:

$$a(h) = \frac{S}{S_{max}} \quad (2)$$

که در آن  $S$  و  $S_{max}$  به ترتیب مقدار جذب آب توسط گیاه در شرایط واقعی و بالقوه حداکثر است.

Feddes و همکاران (۱۹۷۸)  $S_{max}$  را تابع تعرق بالقوه ( $T_p$ ) و عمق توسعه ریشه ( $Z_r$ ) دانستند و رابطه زیر را برای محاسبه آن ارائه دادند.

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

پژوهش‌های متعدد دیگری در زمینه کمی نمودن تابع  $a(h)$  در شرایط بدون تنش شوری توسط Wyseure و همکاران (۱۹۹۴)، Hoogland و همکاران (۱۹۸۱)، Van Genuchten (۱۹۸۷)، Dirksen و Dasberg (۱۹۹۳) و Warrick و Gardner (۱۹۸۳) انجام پذیرفت. Feddes و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد کردند در محیط‌های شور می‌توان تابع کاهنده شوری،  $a(h_o)$  را در معادله ۲ جایگزین تابع  $a(h)$  نمود. مطالعات زیادی در رابطه با کمی نمودن تابع کاهنده عملکرد در شرایط شوری،  $a(h_o)$  و بدون وجود تنش آبی توسط پژوهشگرانی نظیر Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸۴) و Dirksen و Augustijn (۱۹۸۸) انجام یافته است.

در طبیعت، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش‌های شوری و کم‌آبی به صورت توأم وجود دارند و در این شرایط، انرژی آزاد آب بیشتر از فقدان هر کدام کاهش می‌یابد که در نهایت می‌تواند منجر به تنش بیشتر آب و کاهش بیشتر عملکرد شود. Van Genuchten (۱۹۸۷) تابع کاهنده عملکرد در شرایط وجود توأم تنش آبی و شوری،  $a(h, h_o)$  را به صورت زیر تعریف نمود:

$$a(h, h_o) = \frac{S}{S_{max}} = \frac{Y}{Y_{max}} \quad (4)$$

که در آن  $Y$  و  $Y_{max}$  به ترتیب مقدار عملکرد گیاه در شرایط واقعی و حداکثر می‌باشند.

به دلیل اهمیت کشت گندم و شرایط اقلیمی حاکم در استان گلستان مبنی بر وجود توأم تنش شوری و کم‌آبی، پژوهش حاضر با هدف شناسایی واکنش گندم در شرایط فوق و تطبیق آن با مدل‌های کمی موجود به اجرا در آمد.

بررسی منابع در این زمینه نشان می‌دهد که مدل‌های جذب آب به دو دسته کلان Macroscopic و خرد Microscopic تقسیم می‌شوند. مدل‌های کلان مدل‌هایی هستند که انتقال عمودی آب در یک خاک همگن را به سمت ریشه بررسی می‌کنند. در این مدل‌ها، مقدار برداشت آب توسط گیاه با مقدار تعرق واقعی برابر فرض می‌شود. بنابراین در صورتی که هیچگونه محدودیت آبی وجود نداشته باشد، مقدار آب جذب شده توسط گیاه معادل تعرق بالقوه خواهد بود. در این زمینه می‌توان به مطالعات Whisler و همکاران (۱۹۶۸)، Rowse و همکاران (۱۹۷۸)، Feddes و همکاران (۱۹۷۴ و ۱۹۷۸)، Belmans و همکاران (۱۹۸۳)، همایی و همکاران (۲۰۰۲<sub>a,b,c</sub>) و Gardner (۲۰۰۳<sub>a,b</sub>) اشاره نمود. Gardner (۱۹۶۴) اولین محقق بود که در زمینه مدل‌های خرد به کنکاش پرداخت. در این مدل، آهنگ جذب آب توسط گیاه متناسب با هدایت هیدرولیکی خاک و تفاوت پتانسیل ماتریک ریشه و خاک پیرامون آن است. وی هر ریشه را به صورت مجزا، استوانه صاف و یکنواخت با طول نامحدود و شعاع یکسان در نظر گرفته و خطوط ریشه را به هم متصل و جریان آب به سمت ریشه را به صورت شعاعی فرض کرد. سپس محققان دیگری نظیر Passioura و Cowen (۱۹۶۸)، Molz و Remson (۱۹۷۰) و Hillel و همکاران (۱۹۷۵) این روش را به کار برده و مدل حالت پایدار را اصلاح نمودند. اساس این مدل‌ها بر این فرضیات استوار است که همه مکان‌های جذبی در سطح ریشه یکنواخت و جریان آب نیز ماندگار است. به دلیل این فرضیات و همچنین عدم دسترسی به ورودی‌های مدل، همایی (۱۹۹۹) آن را غیر کاربردی دانست. Mathur و Rao (۱۹۹۹) دلایل عمده عدم پذیرش و مقبولیت مدل‌های خرد را فراگیر نبودن شرایط ماندگار در طبیعت، وابسته بودن هندسه ریشه گیاه و نفوذپذیری آن به زمان و مکان، متفاوت بودن جذب آب توسط ریشه‌ها بر اساس سن آنها، عدم ارزیابی عملی خصوصیات ریشه بدلیل مشکلات در اندازه‌گیری آن و نبود تعریف ساده از شرایط مرزی برای ریشه بیان نمودند. به همین دلیل در این پژوهش به ارزیابی مدل‌های کلان پرداخته شد.

Feddes و همکاران (۱۹۷۸) بیان داشتند در صورتی که گیاه در شرایط بدون تنش آبی قرار داشته باشد، می‌توان فرض نمود مقدار جذب آب توسط گیاه معادل جذب بالقوه است. به تدریج که مقدار رطوبت خاک کاهش می‌یابد، مقدار جذب گیاه کمتر از حد بالقوه می‌گردد. آنها

روش اجرا

این مدل در صورتی صادق است که شرایط  $h_4 - h_o \leq h < h_3$  و  $h_o \leq h_o^*$  در آن برقرار باشد.

ب) نحوه جمع آوری داده‌ها

برای جمع آوری داده‌های مورد نیاز، از اطلاعات طرح پژوهشی انجام شده توسط کیانی (۱۳۸۳) استفاده شده است. این آزمایش شامل چهار سطح آب آبیاری  $50 (W_1)$ ،  $75 (W_2)$ ،  $100 (W_3)$  و  $125 (W_4)$  درصد آب مورد نیاز گیاه به همراه چهار سطح شوری آب آبیاری  $1/5 (S_1)$ ،  $8/5 (S_2)$ ،  $11/5 (S_3)$  و  $14/2 (S_4)$  دسی‌زیمنس بر متر در یک آزمایش کرت‌های خردشده با تیمار اصلی مقدار آب و تیمار فرعی شوری آب آبیاری در قالب یک طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. این طرح در شمال گرگان به مدت دو سال زراعی (۸۱-۱۳۸۰ و ۸۲-۱۳۸۱) روی گندم انجام شد. در منطقه مورد مطالعه متوسط سالانه بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا به ترتیب معادل  $330$  میلی‌متر،  $17/8$  درجه سانتی‌گراد و  $75$  درصد می‌باشد. بافت خاک در لایه سطحی، لوم سیلتی و در عمق، لوم رسی-سیلتی و درصد اشباع در سطح  $42$  درصد، در عمق  $51$  درصد، شوری عصاره اشباع خاک پیش از اجرای آزمایش در سطح  $(30-0)$  سانتی‌متر  $3/1$  و در عمق  $(90-30)$  سانتی‌متر  $5/8$   $dS/m$  و اسیدیته خاک  $7/8$  اندازه‌گیری شد. ابعاد کرتها  $3 \times 4$  متر، فاصله کرتها از همدیگر  $2$  متر، فاصله ردیف‌های گندم در هر کرت  $20$  سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها در روی ردیف  $8$  سانتی‌متر و فاصله شیارهای آبیاری  $60$  سانتی‌متر انتخاب شد. منحنی نگهداری آب خاک (رابطه رطوبت حجمی و مکش خاک) با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های مختلف به کمک دستگاه صفحه فشاری<sup>۱</sup> و محفظه فشاری<sup>۲</sup> تا عمق  $90$  سانتی‌متری و نرم افزار  $RETc$ <sup>۳</sup> برآورد شد که نتیجه در شکل ۱ ارائه گردیده است.

در هر سال چهار بار آبیاری با استفاده از لوله‌های دریچه‌دار انجام پذیرفت. مقدار آب آبیاری بر اساس محاسبه کمبود رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه به منظور پر کردن ظرفیت نگهداری آب در خاک در تیمار بدون تنش  $(W_3)$ ، و در نظر گرفتن ضرایب هر تیمار تعیین گردیده و با کنتورهای حجمی وارد کرت‌های آزمایشی گردید.

الف) مدل‌های به کار رفته

در این مطالعه پنج مدل که تابع کاهش  $a(h, h_o)$  را برآورد می‌کنند ارزیابی شدند. این مدل‌ها را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:  
- مدل جمع‌پذیر Van Genuchten (۱۹۸۷):

$$a(h, h_o) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{a_1 h + a_2 h_o}{h_{50}} \right]^p} \quad (5)$$

که در آن  $a_1$  و  $a_2$  ضرایب تجربی مربوط به بار فشار و اسمزی آب خاک،  $h_{50}$  بار فشار آب خاک است که در آن برداشت آب توسط ریشه‌های گیاه به نصف کاهش می‌یابد و  $p$  یک پارامتر تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است که وان گنوختن مقدار آن را  $3$  فرض کرده است.

- مدل ضرب پذیر Van Genuchten (۱۹۸۷):

$$a(h, h_o) = \frac{1}{1 + \left( \frac{h}{h_{50}} \right)^{p_1}} * \frac{1}{1 + \left( \frac{h_o}{h_{o50}} \right)^{p_2}} \quad (6)$$

که در آن  $h_{o50}$  بار اسمزی آب خاک است که در آن برداشت آب توسط ریشه‌های گیاه به نصف کاهش می‌یابد.

- مدل Dirksen و Augustijn (۱۹۸۸):

$$a(h, h_o) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{h^* - h}{h^* - h_{50}} \right]^{p_1}} * \frac{1}{1 + \left[ \frac{h^* - h_o}{h^* - h_{o50}} \right]^{p_2}} \quad (7)$$

که در آن  $h^*$  معرف حد آستانه هر یک از پتانسیل‌های آب خاک می‌باشد.

- مدل Van Dam و همکاران (۱۹۹۷):

$$a(h, h_o) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \left[ 1 - \frac{a}{360} (h_o^* - h_o) \right] \quad (8)$$

که در آن  $h_3$  و  $h_4$  به ترتیب پتانسیل‌های ماتریک خاک در نقاط شروع کاهش جذب آب و پژمردگی گیاه و  $a$  شیب خط شوری- عملکرد نسبی بر حسب درصد بر دسی‌زیمنس بر متر  $(\% / dS^{-1})$  بر مبنای معادله خطی Hoffman و Maas (۱۹۷۷) می‌باشد.

- مدل همایی (۱۹۹۹):

$$a(h, h_o) = \frac{h - (h_4 - h_o)}{h_3 - (h_4 - h_o)} \left[ 1 - \frac{a}{360} (h_o^* - h_o) \right] \quad (9)$$

<sup>1</sup> - Pressure Plate

<sup>2</sup> - Pressure Membrane

<sup>3</sup> - Retention Curve

در این پژوهش برای مقایسه و ارزیابی مدل‌ها از پنج شاخص آماری ارائه شده توسط Loague و Green (۱۹۹۱) استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> (RMSE)، ضریب تعیین (CD<sup>۵</sup>)، بازده مدل (EF<sup>۶</sup>)، خطای بیشینه (ME<sup>۷</sup>) و ضریب مقدار باقیمانده (CRM<sup>۸</sup>). روابط ریاضی برای محاسبه هر یک از شاخص‌های اشاره شده به شرح زیر می‌باشد:

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

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

$$EF = \left( \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2 \right) / \left( \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{O})^2 \right) \quad (15)$$

$$ME = \text{Max}_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (16)$$

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

در معادلات ۱۳ تا ۱۷،  $O$  و  $P$  به ترتیب نماینده عملکرد نسبی مشاهده شده و پیش‌بینی شده از هر تیمار،  $\bar{O}$  متوسط عملکرد اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشند.  $ME$  نشان دهنده چگونگی اجرای مدل است،  $RMSE$  مشخص می‌کند که چه مقدار از شبیه‌سازی‌ها بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده‌اند،  $CD$  نشان دهنده نسبت پراکندگی میان مقادیر شبیه‌سازی شده به پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده است و  $EF$  مقدار شبیه‌سازی شده را با متوسط مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. هرگاه  $EF$  منفی شود نشان می‌دهد که مقدار متوسط اندازه‌گیری شده برآورد بهتری نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده می‌دهد.  $CRM$  تمایل مدل در برآورد بیشتر یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. هرگاه  $CRM$  منفی شود نشان می‌دهد که مدل تمایل به برآورد بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. در صورتی که همه مقادیر پیش‌بینی شده برابر مقادیر اندازه‌گیری شده باشد در اینصورت شاخص‌های  $RMSE$ ،  $CD$ ،  $EF$ ،  $ME$  و  $CRM$  به ترتیب برابر صفر، یک، یک، صفر و صفر خواهند بود.

عمق آب کاربردی (مجموع آبیاری و باران) در تیمارهای  $W1$ ،  $W2$ ،  $W3$  و  $W4$  به ترتیب در سال اول برابر ۲۷۹، ۳۲۶، ۳۷۲ و ۴۰۹ میلی‌متر و در سال دوم معادل ۲۸۸، ۳۴۴، ۳۹۶ و ۴۴۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. جزئیات مربوط به تقویم آبیاری، عمق آب آبیاری و توزیع دو ساله باران توسط کیانی (۱۳۸۳) ارائه شده است. برای تعیین توزیع رطوبت و شوری نیمرخ خاک، طی فصل رشد در زمان کاشت، قبل و بعد از هر آبیاری و در زمان برداشت تا عمق یک متری به ازای هر ۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک در تیمارهای مختلف نمونه‌های خاک برداشت گردید. رطوبت به صورت وزنی و شوری از طریق عصاره اشباع خاک تعیین گردیدند.

رطوبت و شوری خاک مربوط به هر تیمار در هر مرحله تا عمق توسعه ریشه به صورت میانگین وزنی (به نسبت‌های ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد از سطح خاک) و سپس میانگین حسابی آنها در زمان‌های مختلف در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند.

رطوبت حجمی خاک با استفاده از منحنی نگهداری آب در خاک (شکل ۱) به بار ماتریک و شوری عصاره اشباع خاک از طریق رابطه زیر (Feng و همکاران، ۲۰۰۳a) به بار اسمزی تبدیل شدند.

$$h_o = 720 * ECe \quad (10)$$

که در آن  $h_o$  بار اسمزی بر حسب سانتی‌متر و  $ECe$  شوری عصاره اشباع خاک بر حسب  $ds/m$  است.

عملکرد دانه گندم در هر کرت با حذف نیم متر حاشیه از هر طرف در زمان برداشت تعیین شد. ورودی‌های ثابت مورد نیاز مدل‌ها شامل  $h^*$  یا  $h_3$ ،  $h_o^*$ ،  $h_4$ ،  $h_50$ ،  $h_0$  و  $a$  با استفاده از تابع تولید آب - شوری برآورد شده برای گندم (در این تابع به ازای مقادیر مختلف رطوبت و شوری عملکرد گندم پیش‌بینی می‌گردد) توسط Kiani و همکاران (۲۰۰۵) به ترتیب معادل ۱۰۰۰۰، -۴۵۰۰، -۸۵۰۰ سانتی‌متر و ۰/۰۶ در نظر گرفته شدند. ضرایب  $a_1$ ،  $a_2$ ،  $P_1$  و  $P_2$  مربوط به معادله‌های ۵، ۶ و ۷ بر اساس واضعین نظریه‌های فوق برابر ۱، ۱، ۳، ۳ و ۳ در نظر گرفته شدند. همچنین برای مقادیر  $P_1$  و  $P_2$  از روابط پیشنهادی همایی (۱۹۹۹) به شرح زیر استفاده شده است:

$$P_1 = \frac{h_{50}}{h_{50} - h^*} \quad (11)$$

$$P_2 = \frac{h_{o50}}{h_{o50} - h_o^*} \quad (12)$$

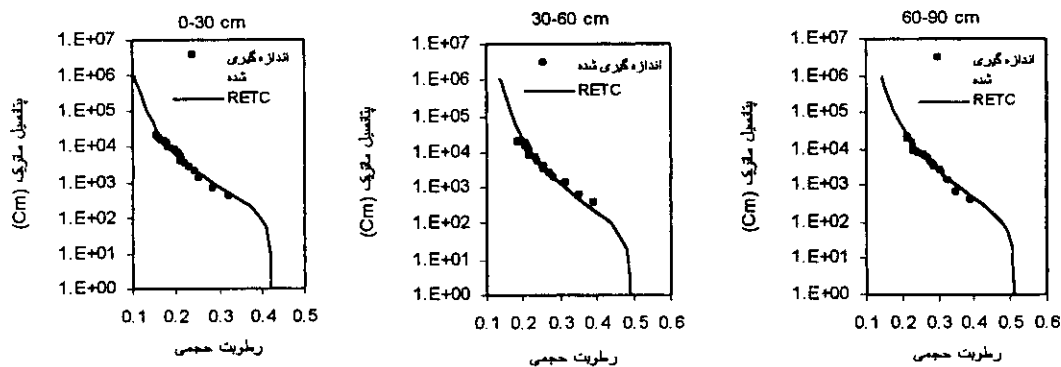
<sup>4</sup> - Root Mean Square Error

<sup>5</sup> - Coefficient of Determination

<sup>6</sup> - Modeling Efficiency

<sup>7</sup> - Maximum Error

<sup>8</sup> - Coefficient of Residual Mass



شکل ۱- منحنی نگهداری آب در خاک در عمق‌های ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری خاک

جدول ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه گندم در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های مختلف

تیمار	h (Cm)	h <sub>0</sub> (Cm)	عملکرد نسبی					
			عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده	۵	۶	۷	۸	۹
سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰								
W <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	-۲۳۲۲	-۲۷۵۸	۰/۸۲	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۸۸
W <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	-۲۲۵۵	-۲۹۵۲	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸۹
W <sub>1</sub> S <sub>3</sub>	-۲۳۸۶	-۳۹۰۰	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۸	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۷۲
W <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	-۲۲۰۵	-۳۲۲۰	۰/۷۳	۰/۵۱	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۸	۰/۶۹
W <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	-۲۳۵۰	-۲۶۳۵	۰/۸۶	۰/۶۳	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۱
W <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	-۲۳۷۲	-۲۸۸۰	۰/۸۵	۰/۶۱	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۸۷
W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	-۱۸۹۶	-۳۶۱۵	۰/۸۴	۰/۶۳	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۸۶
W <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	-۱۸۲۸	-۳۳۵۸	۰/۷۹	۰/۵۷	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۷۶
W <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	-۱۷۲۳	-۲۳۷۶	۰/۹۸	۰/۷۸	۰/۹۳	۰/۲	۱/۱	۱/۰۷
W <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	-۱۷۳۲	-۳۱۶۱	۰/۹۲	۰/۷	۰/۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۵
W <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	-۱۶۱۷	-۳۷۱۰	۰/۹۱	۰/۶۷	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۸۹
W <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	-۱۲۷۹	-۳۹۳۰	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۳
W <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	-۱۴۰۶	-۲۰۱۶	۱	۰/۸۶	۰/۹۶	۱/۰۶	۱/۲	۱/۲
W <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	-۱۳۳۱	-۳۲۹۷	۰/۹۶	۰/۷۶	۰/۹۲	۱	۱/۰۳	۱
W <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	-۱۱۵۸	-۳۸۷۳	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶
W <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	-۱۰۱۹	-۳۵۲۰	۰/۸۸	۰/۷	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹	۰/۹
سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱								
W <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	-۱۵۳۳	-۳۰۱۷	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۹۲	۱/۰	۱/۰۳	۱/۰۱
W <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	-۱۵۸۵	-۳۲۵۳	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۹۱	۰/۹۹	۱/۰	۰/۹۷
W <sub>1</sub> S <sub>3</sub>	-۱۴۹۷	-۳۱۶۲	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹	۰/۸۵
W <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	-۱۴۶۰	-۳۴۵۰	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۸۲

ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم آبی / ۷۸

۱/۰۱	۱/۰۴	۱	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۹۲	-۳۲۲۰	-۱۳۷۴	W <sub>2</sub> S <sub>1</sub>
۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹	۰/۷۳	۰/۸۹	-۳۶۸۶	-۱۲۸۰	W <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۷۰	۰/۸۲	-۴۰۷۵	-۱۲۴۸	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۶۷	۰/۸۱	-۴۴۰۰	-۱۲۳۷	W <sub>2</sub> S <sub>4</sub>
۱/۰۹	۱/۱	۱/۰	۰/۹۴	۰/۸۳	۰/۹۹	-۳۱۶۸	-۱۰۰۵	W <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
۱/۰۳	۱/۰۲	۱	۰/۹۲	۰/۷۹	۰/۹۶	-۳۶۲۰	-۱۰۰۲	W <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۹۳	-۴۱۶۲	-۹۷۳	W <sub>3</sub> S <sub>3</sub>
۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۹	-۴۶۶۰	-۹۲۴	W <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
۱/۲	۱/۲	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۹۱	۱	-۲۳۷۶	-۸۳۶	W <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
۱/۰۹	۱/۰۸	۱	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۹۷	-۳۴۱۳	-۸۰۸	W <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۹۱	-۴۳۵۰	-۸۰۵	W <sub>4</sub> S <sub>3</sub>
۰/۹	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۸۹	-۴۷۹۵	-۸۰۸	W <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

جدول ۲- ارزیابی آماری مدل های مختلف جذب آب برای عملکرد نسبی دانه گندم

شماره مدل					شاخص های آماری
۹	۸	۷	۶	۵	
سال زراعی ۱۳۸۰-۸۱					
۴/۱	۶/۵	۱۸/۱	۴/۸	۲۶/۱	RMSE (%)
(۱)	(۳)	(۴)	(۲)	(۵)*	CD
۰/۶	۰/۹۹	۰/۳۱	۳/۴	۰/۱۱	EF
(۲)	(۱)	(۳)	(۵)	(۴)	CRM
۰/۸۱	۰/۵	-۲/۸	۰/۷۳	-۶/۹	ME (%)
(۱)	(۳)	(۳)	(۲)	(۵)	
-۰/۰۰۹	-۰/۰۵	-۰/۱۵	-۰/۰۰۶	۰/۲۳	
(۲)	(۳)	(۴)	(۱)	(۵)	
۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۰۷	۰/۲۳	
(۲)	(۱)	(۳)	(۱)	(۳)	
سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲					
۷/۵	۱۰	۱۸/۷	۸/۲	۱۶/۳	RMSE (%)
(۱)	(۳)	(۵)	(۲)	(۴)	CD
۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۲۱	۶/۱	۰/۲۲	EF
(۱)	(۲)	(۴)	(۵)	(۳)	CRM
۰/۰۳	-۰/۷	-۵	-۰/۱۶	-۳/۶	ME (%)
(۱)	(۳)	(۵)	(۲)	(۴)	
-۰/۰۵	-۰/۰۶	-۰/۱۵	-۰/۰۲	۰/۱۴	
(۲)	(۳)	(۵)	(۱)	(۴)	
۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۲	
(۱)	(۲)	(۵)	(۳)	(۴)	

\*-اعداد داخل پرانتز درجه بندی مدل در شاخص آماری مربوطه است.

جدول ۳- ارزیابی آماری مدل ۶ بر اساس برآورد P<sub>1</sub> و P<sub>2</sub> با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲

شاخص های آماری					سال زراعی
ME	EF	CRM	CD	RMSE	
۰/۲۹	-۸/۹	۰/۲۸	۰/۱	۲۷/۹	۱۳۸۰-۸۱
۰/۲۶	-۷	۰/۲۲	۰/۱۳	۲۳/۳	۱۳۸۱-۸۲

## نتایج و بحث

تنش آبی شدیدتر، کمتر از تیمار  $W_3S_4$  بود. در تیمارهای دیگر و نتایج سال دوم (جدول ۱) نیز روندی مشابه وجود دارد. نتایج این بررسی با کارهای پژوهشگرانی نظیر Meiri و Shalhevet (۱۹۷۳) روی عملکرد میوه فلفل، Boersma و Sepaskhah (۱۹۷۹) روی وزن خشک گندم، Parra و Romero (۱۹۸۰) روی عملکرد لوبیا و Jensen (۱۹۸۲) روی میزان تعرق جو که بیان کرده‌اند تنش آبی در توقف رشد گیاهان فوق نسبت به تنش شوری از وزن بیشتری برخوردار است مطابقت دارد. هر یک از آنها عملکرد گیاهان فوق را تابع دو متغیر شوری و مقدار آب آبیاری دانسته و معادله خطی درجه یک را ارائه دادند. ضرایب معادله‌های فوق، به ترتیب پژوهشگران اشاره شده، برای عامل شوری برابر با  $0.9/5$ ،  $0.7/3$ ،  $0.2/0$  و برای عامل مقدار آب برابر با  $0.13/5$ ،  $0.13/8$  و  $0.14/0$  به دست آمدند که نشان دهنده تأثیر بیشتر مقدار آب نسبت به شوری آب آبیاری است.

بر اساس شاخص‌های آماری معرفی شده در روش اجرا، هر یک از مدل‌های به کار رفته ارزیابی و درجه‌بندی شده و نتایج به تفکیک هر سال در جدول ۲ ارائه گردیده‌اند. به عنوان نمونه به مدلی که RMSE آن کمترین باشد، و یا مدلی که CD یا EF آن نزدیکتر به یک باشد درجه یک نسبت داده شد.

بر این اساس همانطور که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، برای کلیه تیمارها مدل جمع‌پذیر Van Genuchten (معادله ۵) برای پیش‌بینی تابع کاهنده به هنگام وجود توأم شوری و کم‌آبی پایین‌ترین مرتبه را دارد. بنابراین، همسان در نظر گرفتن اثر تنش‌های آبی و شوری بر عملکرد، با واقعیات سازگاری ندارد. اگر چه نتایج کلی ارزیابی حکایت از برتری مدل ۹ نسبت به مدل‌های دیگر دارد، لیکن مدل‌های ۶ و ۸ نیز نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه داده‌اند. اساساً ساختار مدل‌های ۸ و ۹ یکسان بوده ولی در نگرش تحلیلی به  $h_e$  متفاوت هستند. مدل ۸ مقدار  $h_e$  را در هر شرایطی (شور و غیر شور) ثابت در نظر می‌گیرد، در حالی که مدل ۹ مقدار  $h_e$  را ثابت ندانسته و به گونه‌ای محاسبه می‌شود که با افزایش شوری، مقدار آن در فشار کمتری رخ می‌دهد. با افزایش شوری در نیمرخ خاک، جذب گیاه نسبت به شرایط غیر شور کمتر بوده، در نتیجه رطوبت بیشتری در محیط باقی می‌ماند. به همین دلیل، مبنای تحلیل مدل ۸ برای  $h_e$  با واقعیت سازگارتر است. در شوری‌های کم، مقدار  $h_e$  در هر دو معادله نزدیک به هم است و به استناد ارزیابی مدل‌ها (جدول ۲)، شبیه سازی تابع کاهنده تحت دو مدل نیز تقریباً یکسان است.

نتایج عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل‌های مختلف در تیمارهای تحت بررسی به تفکیک هر سال در جدول ۱ ارائه شده است. بطور کلی، نتایج نشان داد در یک پتانسیل ماتریک معین با کاهش پتانسیل اسمزی و در یک پتانسیل اسمزی معین با کاهش پتانسیل ماتریک عملکرد نسبی کاهش یافت. وجود هر دو تنش به دلیل اثر فزاینده هر کدام در کاهش انرژی آب نسبت به نبود هر یک، در جذب آب توسط گیاه اختلال بیشتری ایجاد کرده که در نهایت عملکرد را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال در سال اول در تیمار تحت تنش آب و بدون تنش شوری ( $W_1S_1$ ) عملکرد نسبی ۸۲ درصد، در تیمار تحت تنش شوری ولی بدون تنش آبی ( $W_3S_4$ ) عملکرد نسبی ۸۷ درصد و در تیماری که تحت هر دو تنش قرار داشت ( $W_1S_4$ ) عملکرد نسبی معادل ۷۳ درصد بود (در سال دوم نیز روند مشابهی وجود داشت). بنابراین، اگر چه کاهش عملکرد گندم به واسطه وجود توأم دو تنش تجمعی است، لیکن اثر توأم شوری و کم‌آبی از مجموع اثرات هر یک از تنش‌های فوق کمتر است. همایی (۱۹۹۹) نشان داد تعرق نسبی یونجه که فقط تحت تأثیر تنش آبی (بدون محدودیت شوری و ۵۰ درصد آب مورد نیاز گیاه) قرار داشت، معادل ۵۰ درصد پتانسیل، در تیماری که فقط متأثر از شوری بود (بدون محدودیت مقدار آب و شوری  $5 \text{ dS/m}$ ) تعرق نسبی معادل ۵۹ درصد و در تیمار تحت هر دو تنش (۵۰ درصد آب مورد نیاز با شوری  $5 \text{ dS/m}$ ) معادل ۲۶ درصد بود. نتایج بررسی Feng و همکاران (۲۰۰۳ a,b) روی ذرت نشان داد عملکرد نسبی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل ۵ در تیماری که فقط تحت تنش آبی (با دور ۲۱ روزه و شوری آب  $1/7 \text{ dS/m}$ ) قرار داشته معادل ۶۸ درصد، در تیماری که تحت تنش شوری (دور ۴ روزه و شوری آب آبیاری  $1/2 \text{ dS/m}$ ) بوده، معادل ۶۰ درصد و در تیماری که تحت هر دو تنش قرار داشت عملکرد نسبی برابر ۵۲ درصد به دست آمد. نتایج دو ساله به دست آمده در این پژوهش (جدول ۱)، همچنین دلالت بر این دارد که اثر تنش آبی بر عملکرد گندم بیشتر از تنش شوری است. به عنوان نمونه اگر تیمار  $W_1S_1$  (پتانسیل کل  $-5200$  سانتی‌متر) با تیمار  $W_3S_4$  (پتانسیل کل  $-5219$  سانتی‌متر) با هم مقایسه شوند، ملاحظه می‌شود که پتانسیل کل آنها برابر ولی سهم پتانسیل ماتریک ( $-2442$  سانتی‌متر) در تیمار  $W_1S_1$ ، ۴۷ درصد و در تیمار  $W_3S_4$ ، ۲۴ درصد می‌باشد. با وجود شورتر شدن محیط در تیمار  $W_3S_4$  ( $-3940$  سانتی‌متر) نسبت به تیمار  $W_1S_1$  ( $-2758$  سانتی‌متر) عملکرد در تیمار اخیر به خاطر

آبی بهتر از بقیه مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش پیش‌بینی نماید. ضمن اینکه کاربرد این مدل به دلیل ورودی‌های قابل دسترس آن نسبت به بقیه مدل‌ها ساده‌تر است.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که اثر یک واحد پتانسیل ماتریک بر عملکرد با اثر یک واحد پتانسیل اسمزی برابر نیست. وزن اثر کمبود رطوبت بیش از شوری و اثر توأم شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثر هر یک از تنش‌ها است. از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل پیشنهادی همایی (مدل ۹) بهتر از دیگر مدل‌ها کاهش عملکرد را به هنگام وجود توأم شوری و کم آبی پیش‌بینی می‌کند. همچنین، به دلیل سادگی کاربرد آن، استفاده از آن در مسائل عملی توصیه می‌شود. از آنجا که گیاه پویا و در حال رشد می‌باشد، ثابت در نظر گرفتن عواملی که به نحوی به گیاه مرتبط است با واقعیت سازگاری ندارد. مثلاً پارامترهایی نظیر  $h_{50}$  یا  $h_{0.50}$  در تمام فصل رشد ثابت نیستند. بنابراین، ضروری است چنین عواملی به صورت پارامترهایی وابسته به رشد تعیین گردند.

بر مبنای شاخص آماری  $CD$  مدل شش در رتبه پایین قرار می‌گیرد. نتایج نامطلوب این مدل از نظر مقدار  $CD$  به پارامترهای  $P_1$  و  $P_2$  که اندازه‌گیری‌های آنها بسیار مشکل است بر می‌گردد. در این پژوهش از عدد ۳ (Van Genuchten, 1987) استفاده شد. محققین متعددی در مطالعاتشان از عدد فوق استفاده نموده‌اند. به عنوان نمونه می‌توان به پژوهشگرانی نظیر Cardon و Letey (a,b,c) (۱۹۹۲)، Feng و همکاران (۲۰۰۳a,b)، Minhas و Gupta (۱۹۹۳a,b)، Bradford و Letey (۱۹۹۲) و Scheierling و همکاران (۱۹۹۷) اشاره نمود.

مقادیر  $P_1$  و  $P_2$  بر اساس معادله‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب  $1/2$  و  $1/8$  برآورد گردیدند. با جایگزینی ارقام حاصل از معادلات فوق در مدل ۶، این مدل مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. نتایج ارزیابی در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳ نشان می‌دهد اگرچه شاخص  $CD$  نسبت به نتایج قبل بهبود یافت، لیکن بقیه شاخص‌های آماری رتبه مدل فوق را به شدت کاهش دادند.

در نتیجه در یک برآیند کلی به استناد نتایج حاصل شده می‌توان گفت مدل ۹ (همایی، ۱۹۹۹) قادر است مقدار کاهش عملکرد را در شرایط توأم شوری و کم

### فهرست منابع:

- کیانی، ع. ر. (۱۳۸۳). مدیریت آبیاری گندم تحت شرایط شوری و کم‌آبی. رساله دکترای مهندسی آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۲۶ ص.
- Belmans, C.J., Wesseling, J.G. and Feddes, R.A. (1983). Simulation of the water balance of the cropped soil : SWATRE. *Journal of Hydrology* 63: 271-286.
- Bradford, S. and Letey, J. (1992). Simulated effects of water table and irrigation scheduling as factors in cotton production. *Irrig. Sci.* 117: 311-314.
- Cardon, G.E. and Letey, J. (1992a). Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32: 1876-1880.
- Cardon, G.E. and Letey, J. (1992b). A soil-based model for irrigation and soil salinity management. Tests of plant water uptake calculations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 56: 1881-1887.
- Cardon, G.E. and Letey, J. (1992c). A soil-based model for irrigation and soil salinity management. water and solute movement calculations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1889-1894.
- Dirksen, C. and Augustijn, D.C. (1988). Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. *Agric. Abstracts*, pp. 188.
- Dirksen, C. and Dasberg, S. (1993). Improved calibration of time domain reflectometry, soil water content measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 660-667.
- 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.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H. (1978). Simulation of field water use and crop yield. *Prudoc, Wageningen*, 189 P.



11. Feng, G.L., Meiri, A. and Letey, J. (2003a). Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions: I. Effects of plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 71-76.
12. Feng, G.L., Meiri, A. and Letey, J. (2003b). Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions: II. Salt distribution and rooting pattern effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 77-80.
13. Gardner, B.W.R. (1964). Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agronomy Journal* 56: 41-45.
14. 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.
15. Homae, M. (1999). Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, 173 P.
16. 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.
17. 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.
18. Homae, M., Feddes R.A. and Dirksen C. (2002c). Simulation of root water uptake. III. Non-uniform transient combined salinity and water stress. *Agric. Water Manage.* 57: 127-144.
19. Hoogland, J.C., Feddes, R.A. and Belmans C. (1981). Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate. *Acta. Horti.* 119: 123-136.
20. Jensen, C.R. (1982). Effect of soil water osmotic potential on growth and water relationship of barely during soil water depletion. *Irrigation Science* 3: 111-121.
21. Kiani, A.R., Asadi, M.E., Homae, M. and Mirlatifi, M. (2005). Wheat production function under salinity and water stress conditions. *MTERM International Conference Proc., AIT, Thailand.*
22. Loague, K. and Green, R.E. (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *J. Contaminant Hydrology* 7: 51-73.
23. Maas, E. V. and Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance current assessment. *J. Irrig. and Drain. Div., ASCE* 103(2): 115-134.
24. Mathur, S. and Rao, S. (1999). Modeling water uptake by plant roots. *J. Irrig. and Drain. Div., ASCE* 125(3): 156-165.
25. Meiri, A. and Shalhevet, J. (1973). Pepper plant response to irrigation water quality and timing and leaching. *Ecological Studies Vol. IV, Springer-Verlag, Berlin*, pp. 421-429.
26. Minhas, P.S. and Gupta, R.K. (1993a). Conjunctive use of saline and non saline waters. Response of wheat to initial salinity profiles and stalinization patterns. *Agric. Water Manage.* 23: 125-137.
27. Minhas, P.S. and Gupta, R.K. (1993b). Conjunctive use of saline and non saline waters. III. Validation of applications of transient model for wheat. *Agric. Water Manage.* 23: 149-160.
28. Molz, F.J. and Remson, I. (1970). Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants. *Water Resources Research* 6: 1346-1351.
29. Parra, M.A. and Romero, G.C. (1980). On the dependence of salt tolerance of beans on soil water matric potential. *Plant and Soil* 56: 3-16.
30. Passioura, J. B. and Cowen, I. R. (1968). On solving the nonlinear diffusion equation for the radial flow of water to roots. *Agric. Meteorology* 5: 129-134.

31. Richards, L.A. (1931). Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics* 1: 318-333.
32. Rowse, H.R., Stone, D.A. and Gerwitz, A. (1978). Simulation of the water distribution in soil. II. The model for cropped and its comparison with experiment. *Plant and Soil* 49: 534-550.
33. Scheierling, S.M., Cardon, G. E. and Young, R.A. (1997). Impact of irrigation timing on simulated water-crop production functions. *Irrig. Sci.* 18: 23-31.
34. Shalhevet, J. and Hsaio, T.C. (1986). Salinity and drought, a comparison of their effect on osmotic adjustment, assimilation, transpiration and growth. *Irrigation Science* 7: 249-264.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Warrick, A.W. and Gardner, W.R. (1983). Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. *Water Resources Research* 19: 181-186.
39. Whisler, F.D., Klute, A. and Millington, R.J. (1968). Analysis of steady state evapotranspiration from a soil column. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 167-174.
40. Wyseure, G.C.L., Sanmuganathan, K. and O'Callaghan, J.R. (1994). Use of simulation for combining rainfed and irrigated sugarcane production in dry zone of Sri Lanka. *Electron Agri.* 11: 323-335.

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

A. R. Kiani, M. Homaei and M. Mirlatifi<sup>1</sup>

### Abstract

Various water uptake models have been developed under salinity and water stress conditions. These models can be considered as useful tools in irrigation scheduling and management, because often they predict reliable crop response under stress conditions. Simulated relative yield of wheat from the five macroscopic water uptake models (Van Genuchten (additive and multiplicative), Dirksen et al., Van Dam et al. and Homaei) were evaluated against the measured results from field experiment that had been conducted during the wheat growing season of 2002 and 2003 north of Gorgan. The treatments consisted of four water quantities 50 ( $W_1$ ), 75 ( $W_2$ ), 100 ( $W_3$ ) and 125 ( $W_4$ ) percent of crop water requirement and four water qualities 1.5 ( $S_1$ ), 8.5 ( $S_2$ ), 11.5 ( $S_3$ ) and 14.2 ( $S_4$ ) dS/m. The experiment was laid out in a randomized complete block design with split plot plan with three replications. It was found that the yield decrease under combined salinity and water stress was additive. However, the effect of osmotic potential on wheat yield was not the same as matric potential. The effect of combined stresses on wheat yield was less compared to sum of the separate effects due to salinity and water stress. The results also indicated that reduction function of Homaei's model was more accurate than the other functions.

**Keywords:** Salinity, Water stress, Wheat, Water uptake models, Gorgan

1 - Research Staff, Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan Province, Gorgan, Iran. Associate professor, Soil Science Department, and Assistant professor, Irrigation and Drainage Department, Respectively, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.