

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

علیرضا کیانی، مهدی همایی و مجید میرلطیفی\*<sup>1</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 (81-1380 و 82-1381) در شمال گرگان و در مزرعه تحت کشت گندم به اجرا در آمده بود مبنای تحلیل قرار گرفتند. پژوهش فوق دارای چهار سطح آب 50 ( $W_1$ )، 75 ( $W_2$ )، 100 ( $W_3$ ) و 125 ( $W_4$ ) درصد نیاز گیاه و 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 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 کم آبی در محیط جمع‌پذیر است، ولی اثر کمی هر کدام از تنش‌های اشاره شده بر عملکرد یکسان نبوده و اثر توأم شوری و کم آبی 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، کم آبی، گندم، مدل‌های جذب آب، گرگان

1- 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: 84/4/6 و تصویب: 84/10/22

## مقدمه

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

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

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  $cm^{-1}$  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  $d^{-1} \cdot cm^{-3} \cdot cm^{-3}$ . 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 غیر تنش، مدل‌های متعددی را ارائه داده‌اند.

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 (1978) 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 عامل کاهنده  $a$  را که فقط تابع بار مکش آب خاک ( $h$ ) می‌باشد به صورت معادله 2 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 (1978)  $S_{max}$  را تابع تعرق بالقوه ( $T_p$ ) و عمق توسعه ریشه ( $Z_r$ ) دانستند و رابطه زیر را برای محاسبه آن ارائه دادند.

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

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 (1931) مشهور است. اگر معادله جریان آب را به

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 (1968)، Rowse و همکاران (1978)، Feddes و همکاران (1974 و 1978)، Belmans و همکاران (1983)، همایی و همکاران (2002<sub>a,b,c</sub>) و Feng و همکاران (2003<sub>a,b</sub>) اشاره نمود. Gardner (1964) 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 (1968)، Molz و Remson (1970) و Hillel و همکاران (1975) 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 (1999) آن را غیر کاربردی دانست. Rao و Mathur (1999) دلایل عمده

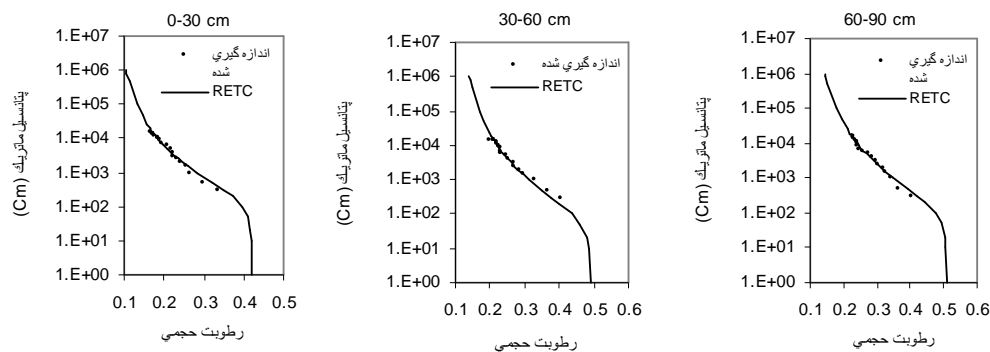
کدام کاهش می‌یابد که در نهایت می‌تواند منجر به تنش بیشتر آب و کاهش بیشتر عملکرد شود. Van Genuchten (1987) تابع کاهنده عملکرد در شرایط وجود توأم تنش آبی و شوری،  $a(h, h_o)$ ، را به صورت زیر تعریف نمود:

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

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 درآمد.

پژوهش‌های متعدد دیگری در زمینه کمی نمودن تابع  $a(h)$  در شرایط بدون تنش شوری توسط Wyseure و همکاران (1994)، Hoogland و همکاران (1981)، Van Genuchten (1987)، Dirksen و Dasberg (1993) و Warrick و Gardner (1983) انجام پذیرفت. Feddes و همکاران (1978) پیشنهاد کردند در محیط‌های شور می‌توان تابع کاهنده شوری،  $a(h_o)$ ، را در معادله 2 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 (1984) و Dirksen و Augustijn (1988) 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



شکل 1- منحنی نگهداری آب در خاک در عمق‌های 0-30، 30-60 و 60-90 سانتی متری خاک

جدول 1- مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی دانه گندم در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های مختلف

تیمار	h (Cm)	h <sub>o</sub> (Cm)	عملکرد نسبی					
			عملکرد نسبی پیش‌بینی شده توسط مدل‌های	عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده	5	6	7	8
سال زراعی 1380-81								
W <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	-2442	-2758	0/82	0/61	0/83	0/94	0/96	0/88
W <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	-2255	-2952	0/82	0/62	0/85	0/96	0/89	
W <sub>1</sub> S <sub>3</sub>	-2386	-3900	0/76	0/51	0/8	0/94	0/72	
W <sub>1</sub> S <sub>4</sub>	-2205	-4320	0/73	0/51	0/79	0/96	0/69	
W <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	-2350	-2645	0/86	0/64	0/85	0/96	0/91	
W <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	-2372	-2880	0/85	0/61	0/84	0/95	0/87	
W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	-1896	-3615	0/84	0/63	0/87	0/98	0/86	
W <sub>2</sub> S <sub>4</sub>								

0/76	0/84	0/99	0/83	0/57	0/79	-4358	-1828	
1/07	1/1	1/02	0/93	0/78	0/98	-2376	-1723	W <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
0/95	1	0/99	0/9	0/7	0/92	-3161	-1732	W <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
0/89	0/94	0/99	0/88	0/67	0/91	-3710	-1617	W <sub>3</sub> S <sub>3</sub>
0/93	0/95	0/99	0/89	0/71	0/87	-3940	-1279	W <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
1/2	1/2	1/06	0/96	0/86	1	-2016	-1406	W <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
1	1/03	1	0/93	0/76	0/96	-3297	-1331	W <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
0/96	0/97	0/99	0/9	0/74	0/96	-3874	-1158	W <sub>4</sub> S <sub>3</sub>
0/9	0/9	0/99	0/86	0/7	0/88	-4520	-1019	W <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

## سال زراعی 1381-82

1/01	1/04	1/0	0/92	0/75	0/79	-3017	-1523	W <sub>1</sub> S <sub>1</sub>
0/97	1/0	0/99	0/91	0/72	0/76	-3254	-1585	W <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
0/85	0/9	0/99	0/86	0/64	0/74	-4162	-1497	W <sub>1</sub> S <sub>3</sub>
0/82	0/86	0/99	0/85	0/62	0/71	-4450	-1460	W <sub>1</sub> S <sub>4</sub>
1/01	1/04	1	0/92	0/76	0/92	-3220	-1374	W <sub>2</sub> S <sub>1</sub>
0/96	0/98	0/99	0/9	0/73	0/89	-3686	-1280	W <sub>2</sub> S <sub>2</sub>
0/91	0/94	0/99	0/88	0/70	0/82	-4075	-1248	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
0/87	0/89	0/99	0/86	0/67	0/81	-4400	-1237	W <sub>2</sub> S <sub>4</sub>
1/09	1/1	1/0	0/94	0/83	0/99	-3168	-1005	W <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
1/03	1/02	1	0/92	0/79	0/96	-3620	-1002	W <sub>3</sub> S <sub>2</sub>
0/96	0/95	0/99	0/89	0/74	0/93	-4162	-973	W <sub>3</sub> S <sub>3</sub>
0/90	0/89	0/99	0/85	0/70	0/9	-4660	-924	W <sub>3</sub> S <sub>4</sub>
1/2	1/2	1/03	0/97	0/91	1	-2376	-836	W <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
1/09	1/08	1	0/93	0/84	0/97	-3413	-808	W <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
0/96	0/94	0/99	0/87	0/75	0/91	-4350	-805	W <sub>4</sub> S <sub>3</sub>
0/9	0/88	0/99	0/84	0/71	0/89	-4795	-808	W <sub>4</sub> S <sub>4</sub>

جدول 2- ارزیابی آماری مدل های مختلف جذب آب برای عملکرد نسبی دانه گندم

شماره مدل					شاخص های آماری
9	8	7	6	5	
سال زراعی 1380-81					
4/1	6/5	18/1	4/8	26/1	RMSE (%)
(1)	(3)	(4)	(2)	(5)	
0/6	0/99	0/31	3/4	0/11	CD
(2)	(1)	(3)	(5)	(4)	EF
0/81	0/5	-2/8	0/73	-6/9	CRM
(1)	(3)	(4)	(2)	(5)	
-0/0009	-0/05	-0/15	-0/006	0/23	ME (%)
(2)	(3)	(4)	(1)	(5)	
0/08	0/07	0/23	0/07	0/23	
(2)	(1)	(3)	(1)	(3)	
سال زراعی 1381-82					

7/5	10	18/7	8/2	16/3	RMSE (%)
(1)	(3)	(5)	(2)	(4)	
0/95	0/93	0/21	6/1	0/22	CD
(1)	(2)	(4)	(5)	(3)	
0/03	-0/7	-5	-0/16	-3/6	EF
(1)	(3)	(5)	(2)	(4)	
-0/05	-0/06	-0/15	-0/02	0/14	CRM
(2)	(3)	(5)	(1)	(4)	
0/06	0/07	0/24	0/08	0/2	ME (%)
(1)	(2)	(5)	(3)	(4)	

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

جدول 3- ارزیابی آماری مدل 6 بر اساس برآورد  $P_1$  و  $P_2$  با استفاده از روابط 11 و 12

شاخص های آماری					سال زراعی
ME	EF	CRM	CD	RMSE	
0/29	-8/9	0/28	0/1	27/9	1380-81
0/26	-7	0/22	0/13	23/3	1381-82

### نتایج و بحث

تحت تنش آبی (با دور 21 روزه و شوری آب 1/7 dS/m) قرار داشته معادل 68 درصد، در تیماری که تحت تنش شوری (دور 4 روزه و شوری آب آبیاری 10/2 dS/m) بوده، معادل 60 درصد و در تیماری که تحت هر دو تنش قرار داشت عملکرد نسبی برابر 52 درصد به دست آمد. نتایج دو ساله به دست آمده در این پژوهش (جدول 1)، همچنین دلالت بر این دارد که اثر تنش آبی بر عملکرد گندم بیشتر از تنش شوری است. به عنوان نمونه اگر تیمار  $W_3S_4$  (پتانسیل کل 5200- سانتی متر) با تیمار  $W_3S_4$  (پتانسیل کل 5219- سانتی متر) با هم مقایسه شوند، ملاحظه می شود که پتانسیل کل آنها برابر ولی سهم پتانسیل ماتریک (2442- سانتی متر) در تیمار  $W_3S_4$ ، 47 درصد و در تیمار  $W_3S_4$ ، 24 درصد می باشد. با وجود شورتر شدن محیط در تیمار  $W_3S_4$  (3940- سانتی متر) نسبت به تیمار  $W_1S_1$  (2758- سانتی متر) عملکرد در تیمار اخیر به خاطر تنش آبی شدیدتر، کمتر از تیمار  $W_3S_4$  بود. در تیمارهای دیگر و نتایج سال دوم (جدول 1) نیز روندی مشابه وجود دارد. نتایج این بررسی با کارهای پژوهشگرانی نظیر Meiri و Shalhevet (1973) روی عملکرد میوه فلفل، و Sepaskhah و Boersma (1979) روی وزن خشک گندم، Parra و Romero (1980) روی عملکرد لوبیا و Jensen (1982) روی میزان تعرق جو که بیان کرده اند 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 معادله های فوق، به ترتیب پژوهشگران اشاره شده، برای عامل شوری برابر با 5/9، 3/4، 0/07 و 0/02 و برای

نتایج عملکرد نسبی اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل های مختلف در تیمارهای تحت بررسی به تفکیک هر سال در جدول 1 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 می دهد. به عنوان مثال در سال اول در تیمار تحت تنش آب و بدون تنش شوری ( $W_1S_1$ ) عملکرد نسبی 82 درصد، در تیمار تحت تنش شوری ولی بدون تنش آبی ( $W_3S_4$ ) عملکرد نسبی 87 درصد و در تیماری که تحت هر دو تنش قرار داشت ( $W_1S_4$ ) عملکرد نسبی معادل 73 درصد بود (در سال دوم نیز روند مشابهی وجود داشت). بنابراین، اگر چه کاهش عملکرد گندم به واسطه وجود توأم دو تنش جمععی است، لیکن اثر توأم شوری و کم آبی از مجموع اثرات هر یک از تنش های فوق کمتر است. همایی (1999) نشان داد تعرق نسبی یونجه که فقط تحت تأثیر تنش آبی (بدون محدودیت شوری و 50 درصد آب مورد نیاز گیاه) قرار داشت، معادل 50 درصد پتانسیل، در تیماری که فقط متأثر از شوری بود (بدون محدودیت مقدار آب و شوری 5 dS/m) تعرق نسبی معادل 59 درصد و در تیمار تحت هر دو تنش (50 درصد آب مورد نیاز با شوری 5 dS/m) معادل 26 درصد بود. نتایج بررسی Feng و همکاران (2003 a,b) روی ذرت نشان داد عملکرد نسبی شبیه سازی شده با استفاده از مدل 5 در تیماری که فقط

می‌توان به پژوهشگرانی نظیر Cardon و Letey (1992a,b,c)، Feng و همکاران (2003a,b)، Minhas و Gupta (1993a,b)، Bradford و Letey (1992) و Scheierling و همکاران (1997) اشاره نمود.

مقادیر  $P_1$  و  $P_2$  بر اساس معادله‌های 11 و 12 به ترتیب  $1/2$  و  $1/8$  برآورد گردیدند. با جایگزینی ارقام حاصل از معادلات فوق در مدل 6، این مدل مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. نتایج ارزیابی در جدول 3 خلاصه شده است.

جدول 3 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 9 (همایی، 1999) قادر است مقدار کاهش عملکرد را در شرایط توأم شوری و کم 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 به دست 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 9) 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  $h_{050}$  در تمام فصل رشد ثابت نیستند. بنابراین، ضروری است چنین عواملی به صورت پارامترهایی وابسته به رشد تعیین گردند.

عامل مقدار آب برابر با 13، 5/6، 0/83 و 0/14 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 2 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 2 نشان می‌دهد، برای کلیه تیمارها مدل جمع‌پذیر Van Genuchten (معادله 5) برای پیش‌بینی تابع کاهش به هنگام وجود توأم شوری و کم آبی 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 9 نسبت به مدل‌های دیگر دارد، لیکن مدل‌های 6 و 8 نیز نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه داده‌اند. اساساً ساختار مدل‌های 8 و 9 یکسان بوده ولی در نگرش تحلیلی به  $h_4$  متفاوت هستند. مدل 8 مقدار  $h_4$  را در هر شرایطی (شور و غیر شور) ثابت در نظر می‌گیرد، در حالی که مدل 9 مقدار  $h_4$  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 8 برای  $h_4$  با واقعیت سازگارتر است. در شوری‌های کم، مقدار  $h_4$  در هر دو معادله نزدیک به هم است و به استناد ارزیابی مدل‌ها (جدول 2)، شبیه سازی تابع کاهش تحت دو مدل نیز تقریباً یکسان است.

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 3 (Van Genuchten, 1987) استفاده شد. محققین متعددی در مطالعاتشان از عدد فوق استفاده نموده‌اند. به عنوان نمونه

#### فهرست منابع:

1. کیانی، ع. ر. (1383). مدیریت آبیاری گندم تحت شرایط شوری و کم آبی. رساله دکترای مهندسی آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس، 226 ص.
2. 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.

3. Bradford, S. and Letey, J. (1992). Simulated effects of water table and irrigation scheduling as factors in cotton production. *Irrig. Sci.* 117: 311-314.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Dirksen, C. and Augustijn, D.C. (1988). Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. *Agric. Abstracts*, pp. 188.
8. Dirksen, C. and Dasberg, S. (1993). Improved calibration of time domain reflectometry, soil water content measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 660-667.
9. 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.
10. 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.