

تعیین مدل بهینه جذب آب در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی توسط ارقام زراعی گندم (*Triticum aestivum*) در منطقه بیرجند

علی شهیدی^۱ - محمدجواد نحوی نیا^{۲*} - مسعود پارسی نژاد^۳ - عبدالمجید لیاقت^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۲

چکیده

در زمینه چگونگی واکنش گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آن‌ها در کاهش جذب آب مدل‌های ریاضی متعددی وجود دارد. مدل‌های جذب آب در شرایط تنش همزمان به سه دسته جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مدل‌های مفهومی تقسیم‌بندی می‌شوند. در این مطالعه شش تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی وان گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دیرکسن و آگوستیچن، وان دام و همکاران، اسکگز و همکاران و همایی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای کشت گندم دو رقم قدس و روشن مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل در پایه کرت‌های خرد شده انجام گرفت. سطوح مختلف شوری (S_1, S_2, S_3) بترتیب معادل $1/4$ و $4/5$ و $9/6$ دسی زیمنس بر متر) به عنوان کرت‌های اصلی و چهار سطح آبیاری (I_1, I_2, I_3, I_4) بترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ در صد نیاز آبی گیاه) و دو رقم گندم به عنوان کرت‌های فرعی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۸۵-۸۴ اجرا گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل جمع‌پذیر مقدار عملکرد نسبی را در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. به عبارت دیگر اثر تنش همزمان شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات آنهاست. سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر بود. مقایسه مدل‌های ریاضی ارائه شده نشان داد که در بیشتر موارد مدل اسکگز و همکاران (۱۵) کاهش عملکرد نسبی دو رقم گندم را در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند، هر چند که مدل همایی (۱۱) نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تنش خشکی، تابع کاهش، گندم، بیرجند

مقدمه

مدل‌های ریاضی متعددی وجود دارد که بر مبنای این نظریات مدل‌های جذب آب به سه دسته کلی جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مدل‌های مفهومی تقسیم می‌شوند. در مدل‌های جمع‌پذیر فرض شده که جذب آب تحت تأثیر تجمعی فشار آب خاک و فشار اسمزی انجام می‌شود. حال آنکه در مدل‌های ضرب‌پذیر ضرایب کاهش مربوط به تنش‌های آبی و شوری به طور جداگانه محاسبه و در هم دیگر ضرب می‌شوند (۹، ۱۵ و ۱۸). هدف از انجام این مطالعه بررسی و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف جذب برای شیبه سازی اطلاعات جمع‌آوری شده از یک مطالعه صحرایی کشت گندم تحت شرایط توأمان شوری و خشکی می‌باشد.

در مناطق خشک و نیمه خشک در اغلب موارد گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر تنش شوری و کم آبی قرار می‌گیرند. تأثیر توأم تنش شوری و کم آبی بر روی جذب آب و به تبع آن بر روی عملکرد محصولات در یک مکان خاص به نوع گیاه، تناوب آبیاری، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک و اقلیم و کیفیت آب آبیاری بستگی دارد (۵).

در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آنها در کاهش جذب آب نظریات و

مواد و روش‌ها

مدل‌های مورد استفاده

در این مطالعه سه تابع کاهش جذب در شرایط تنش خشکی

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(Email: mnahvinia@ut.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (5)$$

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

مدل همایی (۱۱) با عنوان مدل M5:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_3 - (h_4 - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (6)$$

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

مدل اسکگر و همکاران (۱۵) با عنوان مدل M6:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p1}} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (7)$$

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

مشخصات محل مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با عرض جغرافیایی 53° و 32° شمالی و طول جغرافیایی 13° و 55° شرقی و ارتفاع 1480 متر از سطح دریا، در سال زراعی $1384-85$ اجرا گردید. قبل از کاشت گیاه گندم از اعماق مختلف خاک مزرعه جهت تعیین خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه نمونه گیری انجام گرفت. (جدول ۱) منحنی خصوصیات رطوبتی خاک با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های مختلف به کمک دستگاه صفحات فشاری و محفظه فشاری و مدل SWAP تعیین گردید (شکل ۱). منبع آب قابل استفاده سه حلقه چاه با شوری مختلف در مزرعه آزمایشی مورد نظر (با EC‌های متغیر از $1/4$ تا $9/6$ دسی‌زیمنس بر متر) بود که امکان تامین آب با شوری‌های مختلف در مزرعه برای ارزیابی مدل‌های جذب در سطوح مختلف شوری را به وجود آورد. نتایج تجزیه و تحلیل سه حلقه چاه فوق‌الذکر در جدول (۲) ارائه شده است.

فدس و همکاران، وان گنوختن و دیرکسن و آگوستیجن) و شش تابع کاهش جذب در شرایط تنش همزمان (وان گنوختن) جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر، دیرکسن و آگوستیجن، وان دام و همکاران، اسکگر و همکاران و همایی) با استفاده از داده‌های مزرعه ای رقم قدس گندم مورد ارزیابی قرار گرفت.

مدل جمع‌پذیر وان گنوختن (۱۷) با عنوان مدل M1:

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

در این تابع h_{50} پتانسیل ماتریکی است که به ازای آن جذب به میزان 50% درصد کاهش می‌یابد و P پارامتری تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است. وان گنوختن (۱۷) و وان گنوختن و گاپتا (۱۸) معادله فوق را برای محصولات با دامنه شوری‌های مختلف به کار برده و مقدار تقریبی p را معادل 3 به دست آوردند.

مدل ضرب‌پذیر وان گنوختن (۱۷):

معادله عمومی مدل‌های ضرب‌پذیر به صورت زیر است:

$$\alpha(h, \pi) = \alpha(h) \times \alpha(\pi) \quad (2)$$

- مدل ضرب‌پذیر وان گنوختن (۱۷) با عنوان مدل M2:

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{50}}\right)^{p2}} \quad (3)$$

مدل دیرکسن و آگوستیجن (۴) با عنوان مدل M3:

دیرکسن و آگوستیجن (۴) ضرب‌های تابع کاهش وان گنوختن (۱۷) را نسبت به آستانه کاهش شوری (π^*) و خشکی (h^*) تعدیل و به صورت زیر ارائه کردند (۴):

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{(h - h^*)}{(h^* - h_{50})} \right]^{p1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{(\pi - \pi^*)}{(\pi^* - \pi_{50})} \right]^{p2}} \quad (4)$$

مدل وان دام و همکاران (۱۶) با عنوان مدل M4:

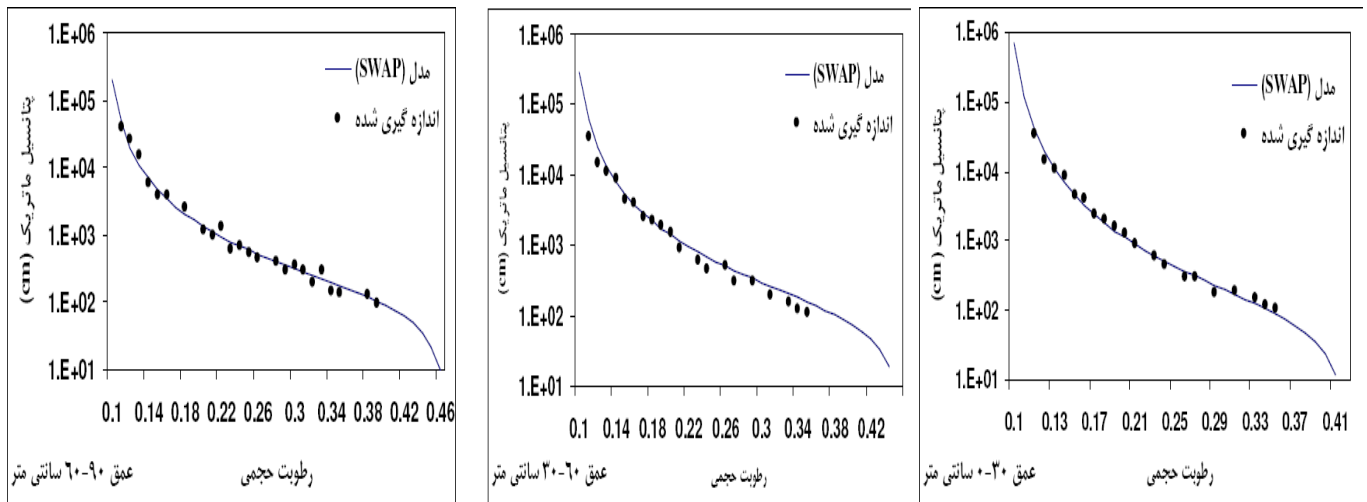
وان دام و همکاران (۱۶) از تلفیق شاخه نزولی تابع کاهش فدس و همکاران (۷) برای تنش خشکی و تابع کاهش ماس و هافمن (۱۳) برای تنش شوری، تابع کاهش زیر را برای شرایط وجود همزمان تنش‌های شوری و خشکی ارائه کردند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (cm)	pH	(EC) ds/m	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	بافت خاک	درصد اندازه ذرات خاک		
					شن	سیلت	رس
۰ - ۳۰	۷/۶۱	۲/۱	۱/۵	C-L	۲۹/۷	۳۴/۶	۳۵/۷
۳۰ - ۶۰	۷/۷۲	۲/۷	۱/۴۵	Si-C-L	۱۰/۱	۵۲/۶	۳۷/۳
۶۰ - ۹۰	۷/۷۸	۲/۹	۱/۳۹	Si-C-L	۱۱/۲	۵۳/۶	۳۵/۲

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب سه حلقه چاه مورد استفاده

شماره چاه	(EC) ds/m	pH	SAR	کاتیون ها				آنیون ها			
				Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
۱	۱/۴	۸/۰	۷/۴	۲/۲	۱/۷	۱۰/۲	۰/۰۵	۷/۲	۳/۱	۰	۴/۱
۲	۴/۵	۷/۸	۸/۶	۱۴/۰	۴/۸	۲۶/۵	۰/۳	۲۱/۲	۸/۳	۰	۱۶/۵
۳	۹/۶	۷/۷	۹/۷	۲۷/۶	۱۲/۸	۴۳/۸	۰/۸	۵۳/۵	۱۰/۶	۰	۲۰/۸



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبت حجمی خاک مزرعه آزمایشی در عمق های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری خاک

اعمال ضرایب هر تیمار، از رابطه (۱۵) انجام شد:

$$SMD = (W_{fc} - W_i) A_s \cdot D \cdot C \quad (۸)$$

که در آن: SMD = کمبود رطوبت خاک (mm)، W_{fc} ، W_i = به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود خاک، A_s = وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، D = عمق توسعه ریشه (mm) و C = ضرایب هر تیمار (%).

عمق آب کاربردی (مجموع آبیاری و باران) در چهار تیمار آبیاری به ترتیب برابر ۲۸۲، ۴۰۸، ۵۳۴ و ۶۶۰ میلی متر تعیین شد.

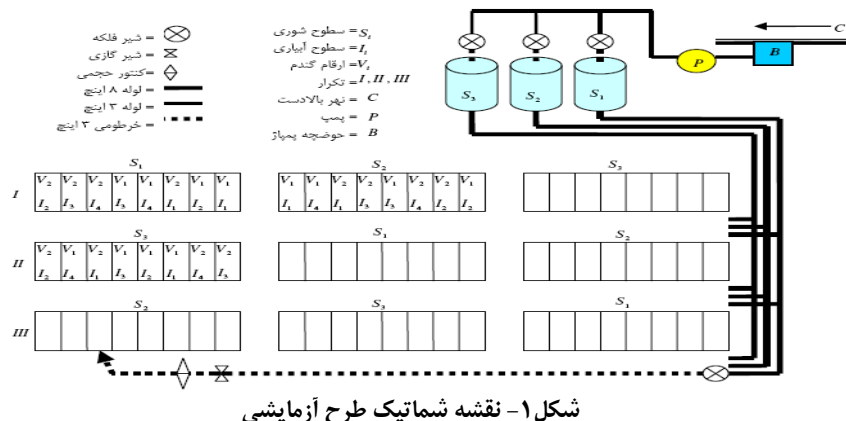
برای تعیین توزیع رطوبت حجمی و شوری خاک طی فصل رشد در زمان کاشت، قبل و بعد از هر آبیاری و در زمان برداشت تا عمق یک متری به ازای هر ۲۰ سانتی متر از سطح خاک در تیمارهای مختلف نمونه های خاک برداشت گردید. رطوبت به صورت وزنی و شوری به صورت عصاره اشباع تعیین گردید. رطوبت و شوری خاک مربوط به هر تیمار در هر مرحله تا عمق توسعه ریشه به صورت میانگین وزنی (به صورت ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰ درصد از سطح خاک) و سپس میانگین حسابی آن ها در زمان های مختلف در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند.

طرح آزمایشی

قالب طرح آزمایشی کرت های خرد شده به صورت فاکتوریل بود که در آن سطوح مختلف شوری (S_1, S_2, S_3) بترتیب معادل ۱/۴ و ۴/۵ و ۹/۶ دسی زیمنس بر متر) بعنوان کرت های اصلی و دو رقم گندم قدس و روشن و چهار سطح آبیاری (I_1, I_2, I_3, I_4) بترتیب معادل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ در صد نیاز آبی گیاه، به عنوان کرت های فرعی که در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۸۵-۸۴ اجرا گردید.

روش کاشت بصورت دستی و در داخل کرت انجام شد و به منظور حصول یکنواختی در اعمال شوری، از روش آبیاری کرتی استفاده گردید. که در این مطالعه ابعاد کرت ها ۳×۴ (متر×متر) و فاصله کرت های فرعی ۵۰ سانتی متر و فاصله کرت های اصلی حداقل ۴/۵ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت دو رقم گندم هر کدام تحت ده ردیف کاشت با فاصله ۲۰ سانتی متر و طول ۳ متر طوری کاشته شد که تراکم معمول ۴۰۰ بوته گندم در متر مربع حاصل گردد. آرایش قطعات زراعی، استقرار سیستم آبیاری و کرت های آزمایشی در شکل (۲) ترسیم شده است.

برنامه ریزی آبیاری و اعمال رژیم های مختلف آب، بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی و



جدول ۳- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل های مختلف جذب آب (cm)

P_2	P_1	b	π_{50}	h_{50}	h_4	π^*	$h_3 = h^*$
۱/۶۲	۱/۱۳	۰/۰۷	-۱۱۰۰۰	-۸۵۰۰	-۱۵۰۰۰	-۴۲۰۰	-۱۰۰۰

تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده می‌کنیم. شاخص‌های آماری لازم برای این کار عبارتند از:

خطای متوسط^۱ (AE)، حداکثر خطا^۲ (ME)، خطای ریشه حداقل مربعات^۳ (RMSE)، ضریب تغییرات^۴ (CV)، کارایی مدل سازی یا راندمان مدل^۵ (EF) و ضریب باقیمانده^۶ (CRM) (۱۰).

نتایج و بحث

مقادیر عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول h نشان دهنده‌ی مقادیر میانگین وزنی پتانسیل ماتریک خاک تا عمق یک متری به ازای هر ۲۰ سانتی متر بوده که با اندازه‌گیری توزیع رطوبت در پروفیل خاک و با استفاده از منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) به پتانسیل ماتریک (مکش خاک) تبدیل شده است. مقدار π پتانسیل اسمزی پروفیل خاک بوده که با اندازه‌گیری توزیع شوری پروفیل خاک و سپس تبدیل E_{ce} به پتانسیل اسمزی توسط رابطه (۹) بدست آمده است. مقادیر این نتایج نشان می‌دهند که در یک پتانسیل

رطوبت حجمی با استفاده از منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) به پتانسیل ماتریک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از رابطه زیر (۸) به پتانسیل اسمزی تبدیل شدند.

$$\pi = -0.725 \times (EC_e)^{1.06} \quad (9)$$

که در آن π پتانسیل اسمزی بر حسب بار و EC_e شوری عصاره اشباع خاک بر حسب dS/m است.

عملکرد دانه گندم در هر کرت در پایان فصل با رعایت حاشیه سطحی ۰/۱۲ متر مربع از هر کرت تعیین شد. سایر داده‌هایی که در مدل‌های مذکور مورد نیاز هستند، به شرح جدول ۳ می‌باشد. این اطلاعات با استفاده از منحنی خصوصیات رطوبتی خاک و تابع تولید آب-شوری (در این تابع به ازای مقادیر مختلف رطوبت و شوری عملکرد گندم پیش‌بینی می‌شود) برآورد شده توسط شهیدی و همکاران (۱) تعیین شدند.

- پارامترهای تجربی P_1 و P_2 نیز با توجه به مقادیر h_{50} ، π_{50} ، h^* و π^* از روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه گردید.

$$P_1 = \frac{h_{max}}{h_{max} - h^*} \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{\pi_{max}}{\pi_{max} - \pi^*} \quad (11)$$

در شرایطی که: $h_{max} = h_{50}$ ، $\pi_{max} = \pi_{50}$

- 1- Average Error
- 2- Maximum Error
- 3-Root mean square error
- 4-Coefficient Variation
- 5-Modeling Efficiency
- 6-Coefficient of Residual Mass

شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش اعتبار و درستی توابع تولید مدل‌ها وجود دارند. برای ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل از

این نتیجه با نتایج کیانی و همکاران و بورسما مطابقت دارد (۱۴۰۲).

بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده هر یک از مدل‌ها رتبه‌بندی شدند. به این صورت که مدلی که در آن هر یک از شاخص‌های آماری (CV, ME, RMSE و CRM) حداقل بوده و یا EF آن نزدیک به یک باشد، رتبه یک اختصاص می‌گرفت (۱۲ و ۱۰). پس از رتبه‌بندی هر یک از شاخص‌های آماری، میانگین رتبه‌های هر تابع با توابع دیگر مقایسه شد. پارامترهای آماری محاسبه شده مرتبط به هر یک از توابع کاهش جذب آب و رتبه مربوط به آنها برای دو رقم گندم در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. همان طوری که ملاحظه می‌گردد برای کلیه شاخص‌های آماری که مبنی ارزیابی قرار گرفتند، مدل جذب M_6 با کسب رتبه نهایی یک نسبت به سایر مدل‌ها برای هر دو رقم گندم برتری نسبی دارد. مدل M_5 با فاصله بسیار کم از مدل M_6 در رتبه بعدی قرار دارد. اما تفاوت در مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده برای هر یک از دو رقم گندم نشان می‌دهد که کارایی این دو مدل برای رقم روشن بالاتر از رقم رقدس می‌باشد.

نظر به اینکه گندم روشن با توجه به قدمت کاشت آن در منطقه تقریباً بومی منطقه شده است و با شرایط کم آبی و شوری سازگاری دارد و همچنین شبیه سازی مدل‌های M_6 و M_5 با مقادیر واقعی گندم روشن نزدیک تر است، لذا این مطلب نشان می‌دهد این دو مدل توانسته اند تطابق بیشتری با شرایط واقعی منطقه داشته باشند.

اسمزی ثابت با کاهش پتانسیل ماتریک مقدار جذب آب به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد (شکل ۱، ۲ و ۳) و در یک پتانسیل ماتریک معین با کاهش پتانسیل اسمزی مقدار جذب آب به صورت خطی یا غیر خطی کاهش می‌یابد. وجود هر دو تنش به دلیل 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 گندم قدس در تیمار تحت تنش آبی و بدون تنش شوری I_1S_1 عملکرد نسبی ۰/۴۳۴، در تیمار تحت تنش شوری و بدون تنش آبی I_4S_3 عملکرد نسبی ۰/۷۰۲ و در تیماری که تحت هر دو تنش قرار داشت I_1S_3 عملکرد نسبی ۰/۲۸ بود (در رقم روشن نیز روند مشابهی وجود داشت). بنابر این اگر چه کاهش عملکرد به واسطه وجود دو تنش تجمعی است، لیکن اثر توأم شوری و کم آبی از مجموع اثر هر یک از تنش‌های فوق کمتر است. نتایج این تحقیق در دامنه تنش‌های توأم اعمال شده بر روی دو رقم گندم (جدول ۴) بیانگر آن است که اثر تنش آبی بر عملکرد گندم بیشتر از تنش شوری است. به عنوان نمونه اگر تیمار I_1S_1 (پتانسیل کل ۷۴۳۱- سانتی متر) با تیمار I_3S_3 (پتانسیل کل ۷۱۱۰- سانتی متر) با هم مقایسه شوند، ملاحظه می‌شود که سهم پتانسیل ماتریک (۴۳۹۶- سانتی متر) در تیمار I_1S_1 ۵۹ درصد و در تیمار I_3S_3 ۲۸ درصد می‌باشد، با وجود شورتر شدن محیط در تیمار I_3S_3 (۵۰۹۸- سانتی متر) نسبت به تیمار I_1S_1 (۳۰۳۵- سانتی متر) عملکرد در تیمار اخیر به خاطر تنش آبی شدید تر، کمتر از تیمار I_3S_3 بود. در تیمارهای دیگر و رقم روشن نیز روند مشابهی وجود دارد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی گندم در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف

عملکرد نسبی پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها						عملکرد نسبی مشاهده‌ای		سطوح		سطوح	
M_6	M_5	M_4	M_3	M_2	M_1	گندم روشن	گندم قدس	π (cm)	h(cm)	آبی	شوری
۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۸۲	۰/۴۳۴	-۳۰۳۵	-۴۳۹۶	I_1	S_1
۰/۹۰	۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۸۳۵	۰/۸۷۹	-۳۱۲۵	-۳۲۸۴	I_2	
۰/۹۹	۱/۰۷	۱/۱	۰/۸۳	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۹۹۹	۰/۹۶۴	-۳۰۵۱	-۲۳۸۵	I_3	
۱/۱۱	۱/۲۰۵	۱/۲۱	۰/۹۳	۰/۷۴	۰/۶۸	۱/۰۰	۱/۰۰	-۲۹۹۹	-۱۲۵۴	I_4	
۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۵۲۳	۰/۳۴۴	-۴۶۶۷	-۴۳۸۵	I_1	S_2
۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۷۹۱	۰/۷۳۶	-۴۳۳۲	-۲۸۴۱	I_2	
۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۶۴	۰/۵۷	۰/۸۹۴	۰/۸۴	-۴۲۵۴	-۲۲۱۵	I_3	
۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۷۰	۰/۶۱	۰/۹۰۲	۰/۸۹۸	-۴۶۰۷	-۱۲۰۶	I_4	
۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴۴۲	۰/۲۸	-۵۹۴۷	-۴۱۱۲	I_1	S_3
۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۷۰	۰/۷۹	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۶۸۹	۰/۵۷	-۵۱۴۳	-۲۹۹۵	I_2	
۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۸۱۷	۰/۶۴۷	-۵۰۹۸	-۲۰۱۲	I_3	
۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۸۱۳	۰/۷۰۲	-۵۲۹۶	-۱۰۵۳	I_4	

جدول ۵- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده برای گندم قدس

توابع جذب	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
ME	۰/۳۴ (۳)	۰/۲۸ (۲)	۰/۲۷۳ (۱)	۰/۴۹ (۶)	۰/۴۱ (۵)	۰/۳۹۹ (۴)
AE	۰/۲۰۱ (۵)	۰/۱۵۷ (۴)	۰/۲۰۷ (۶)	۰/۱۷ (۳)	۰/۱۲ (۲)	۰/۱۰۲ (۱)
RMSE	۰/۲۲ (۶)	۰/۱۸۲ (۳)	۰/۲۱۳ (۴)	۰/۲۱۴ (۵)	۰/۱۶۳ (۲)	۰/۱۵۵ (۱)
C.V	۳۲/۰۲ (۶)	۲۶/۲۲ (۳)	۳۰/۹۷ (۵)	۳۰/۸۴ (۴)	۲۳/۵۲ (۲)	۲۲/۳۵ (۱)
R ²	۰/۶۹ (۵)	۰/۲۲ (۴)	۰/۵۱ (۳)	۱/۸۳ (۲)	۰/۸۳ (۲)	۰/۸۸ (۱)
EF	۰/۳۹ (۵)	۰/۳۸ (۶)	۰/۱۴۵ (۵)	۰/۱۵۲ (۴)	۰/۵۰۷ (۲)	۰/۵۵۴ (۱)
CRM	۰/۱۹ (۴)	۰/۱۰۹ (۱)	۰/۲۰۰ (۵)	۰/۲۴۵ (۶)	۰/۱۷۳ (۳)	۰/۱۲۱ (۲)
میانگین رتبه ها	۵/۸۳	۳/۸۳	۴/۸۳	۵	۳	۱/۵۷
رتبه نهایی	(۶)	(۳)	(۴)	(۵)	(۲)	(۱)

جدول ۶- ارزیابی مدل‌های مختلف با استفاده از پارامترهای آماری محاسبه شده برای گندم روشن

توابع جذب	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
ME	۰/۲۶۹ (۶)	۰/۲۵۶ (۴)	۰/۲۲۴ (۲)	۰/۲۱۱ (۱)	۰/۲۶۵ (۵)	۰/۲۵۱ (۳)
AE	۰/۲۱۴ (۶)	۰/۱۵۹ (۵)	۰/۱۰۳ (۳)	۰/۱۰۴ (۴)	۰/۰۷۹ (۱)	۰/۰۸۵ (۲)
RMSE	۰/۲۴۳ (۶)	۰/۱۸۴ (۵)	۰/۱۱۹ (۳)	۰/۱۴۳ (۴)	۰/۱۱۱ (۲)	۰/۱۰۵ (۱)
C.V	۳۱/۴ (۶)	۲۴/۲۲ (۵)	۱۵/۴۵ (۳)	۱۸/۵۱ (۴)	۱۴/۳۵ (۲)	۱۳/۶ (۱)
R ²	۰/۵۸ (۴)	۰/۳۲۹ (۶)	۰/۷۵۹ (۳)	۰/۵۷۹ (۵)	۰/۸۶ (۲)	۰/۹۲ (۱)
EF	۰/۶۰۶ (۶)	۰/۰۶ (۵)	۰/۶۱ (۳)	۰/۴۳ (۴)	۰/۶۵ (۲)	۰/۶۹ (۱)
CRM	۰/۱۹۰ (۵)	۰/۱۰۵ (۱)	۰/۱۸۸ (۴)	۰/۲۴۵ (۶)	۰/۱۷۳ (۳)	۰/۱۲۱ (۲)
میانگین رتبه ها	۵/۵۷	۴/۴۳	۳	۴	۲/۴۲	۱/۵۷
رتبه نهایی	(۶)	(۵)	(۳)	(۴)	(۲)	(۱)

بنابراین همسان در نظر گرفتن اثر تنش های آبی و شوری بر عملکرد، با واقعیت سازگاری ندارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل جمع پذیر مقدار عملکرد نسبی را در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. به عبارت دیگر اثر تنش همزمان شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات آنهاست.

شکل‌های (۶ و ۷ و ۸) به ترتیب برآزش مقادیر عملکرد پیش بینی شده بوسیله توابع مختلف جذب در شرایط شوری کم (S₁)، شوری متوسط (S₂) و شوری زیاد (S₃) را با عملکرد نسبی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش شدید آبی همه مدل‌ها (به استثنای مدل جمع‌پذیر) مقدار عملکرد نسبی را بیش از مقدار واقعی تخمین می‌زنند. با افزایش مقدار شوری دقت مدل‌های M₅ و M₆ در برآزش با داده‌های اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. همان طوری که مشاهده می‌شود در تیمار شوری S₁ با کاهش مقدار پتانسیل ماتریک اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با این مدل‌ها از مقادیر اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش مقدار شوری از S₁ به S₃ این اختلاف کاهش می‌یابد. مدل دیرکسن و همکاران (۴) در شوری‌های کم برآورد قابل قبولی با داده‌های اندازه‌گیری شده ارائه می‌دهد. اما با افزایش مقدار شوری

مقدار CRM منفی در مدل‌های جذب M₅، M₆، M₄ و M₃ برای رقم قدس نشان می‌دهد که این مدل‌ها در اکثر موارد عملکرد نسبی گندم قدس را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. در صورتیکه مدل‌های M₁ و M₂ در اکثر موارد عملکرد نسبی گندم قدس را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

در رقم روشن مقدار CRM در مدل‌های جذب M₅، M₆ و M₄ مثبت است که نشان می‌دهد این مدل‌ها در اکثر موارد عملکرد نسبی گندم روشن را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. در صورتیکه مدل‌های M₁ و M₂ در اکثر موارد عملکرد نسبی گندم روشن را بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

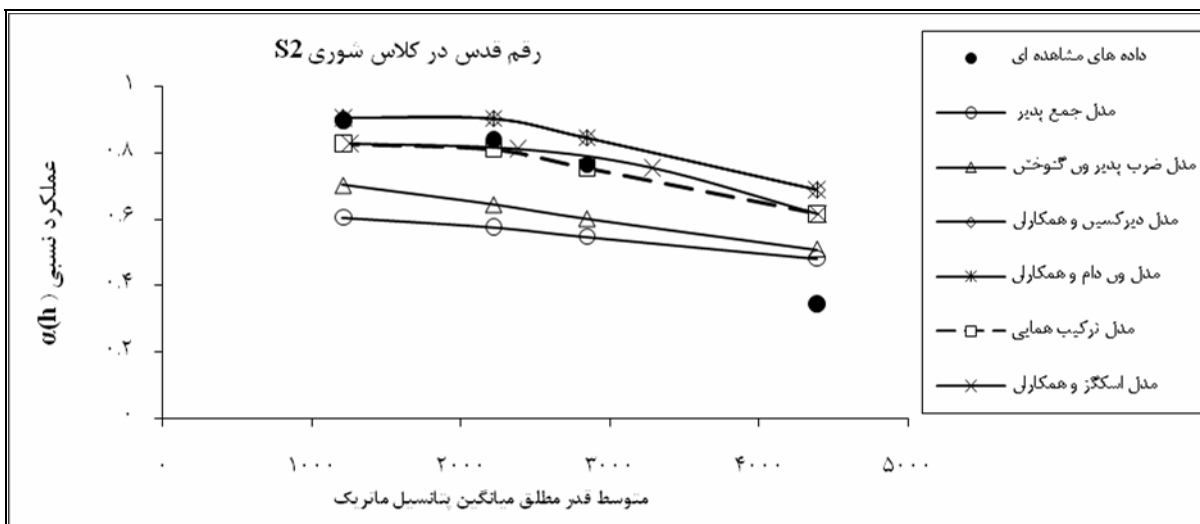
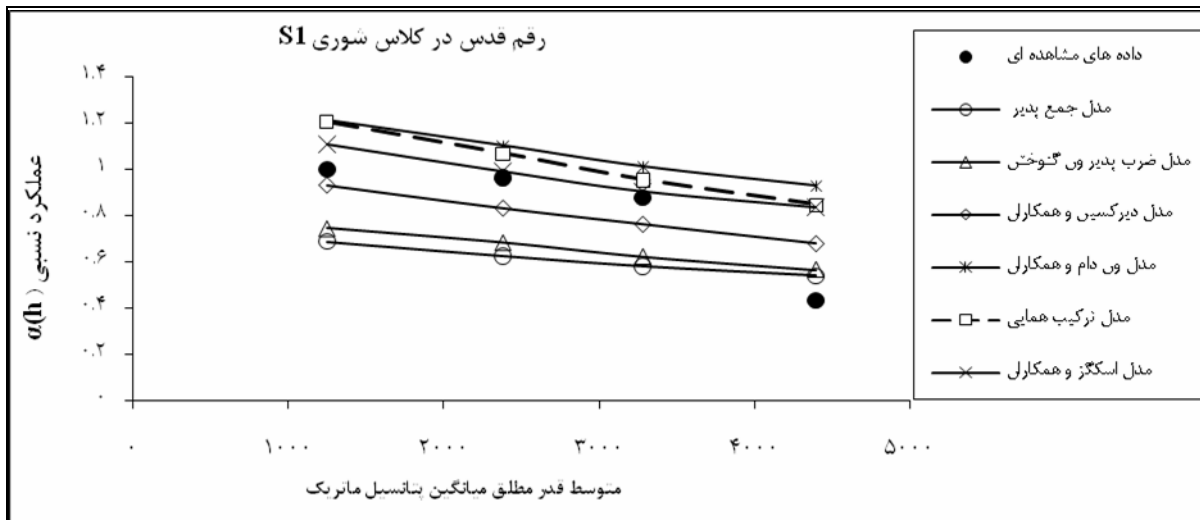
مقایسه مقادیر میانگین ME برای گندم قدس و گندم روشن نشان می‌دهد میانگین ME برای گندم قدس (۰/۳۶) بزرگتر از میانگین ME برای گندم روشن (۰/۲۴۶) است و یا به عبارتی کارایی مدل‌ها در شبیه‌سازی جذب آب برای گندم روشن بهتر از گندم قدس می‌باشد.

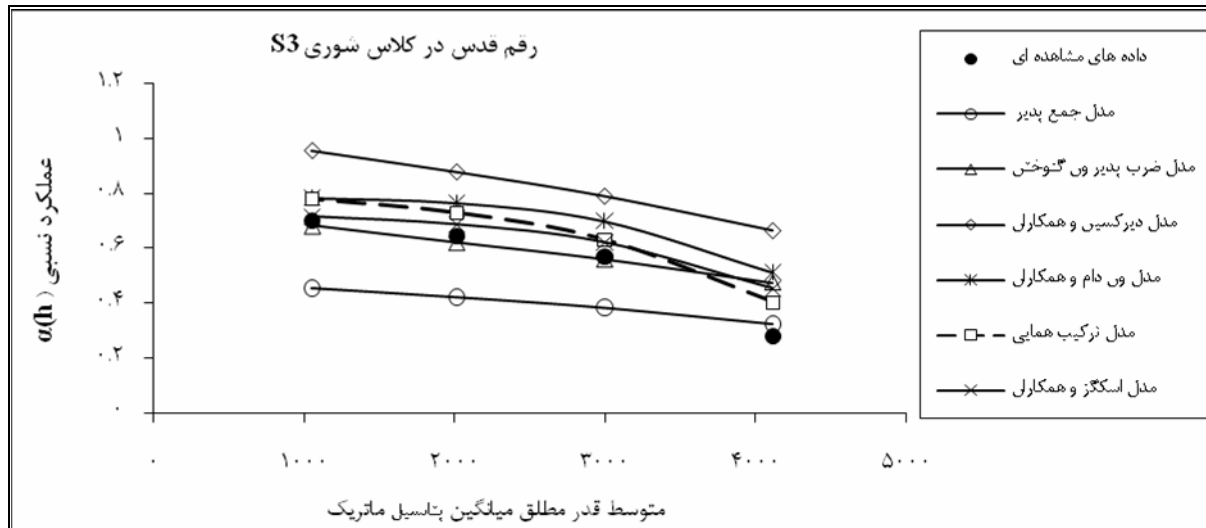
با توجه به نتایج جدول ۵ و ۶ برای کلیه تیمارهای دو رقم گندم مدل جمع‌پذیر و گنوختن و همکاران برای پیش‌بینی تابع کاهنده به هنگام وجود توام شوری و کم آبی پایین‌ترین مرتبه را دارد.

لیکن مدل‌های وان گنوختن (۱۷) و وان دام و همکاران (۱۶) نیز نتایج نسبتاً قابل قبولی ارائه داده‌اند. اساساً ساختار مدل‌های همایی (۱۱) و وان دام و همکاران (۱۶) یکسان بوده ولی در نگرش تحلیلی به h_4 متفاوت هستند. مدل وان دام و همکاران (۱۶) مقدار h_4 را در هر شرایطی (شور و غیر شور) ثابت در نظر می‌گیرد، در حالیکه مدل همایی و همکاران (۱۱) مقدار h_4 را ثابت ندانسته و به گونه‌ای محاسبه می‌شود که با افزایش شوری مقدار آن در فشار کمتری رخ می‌دهد.

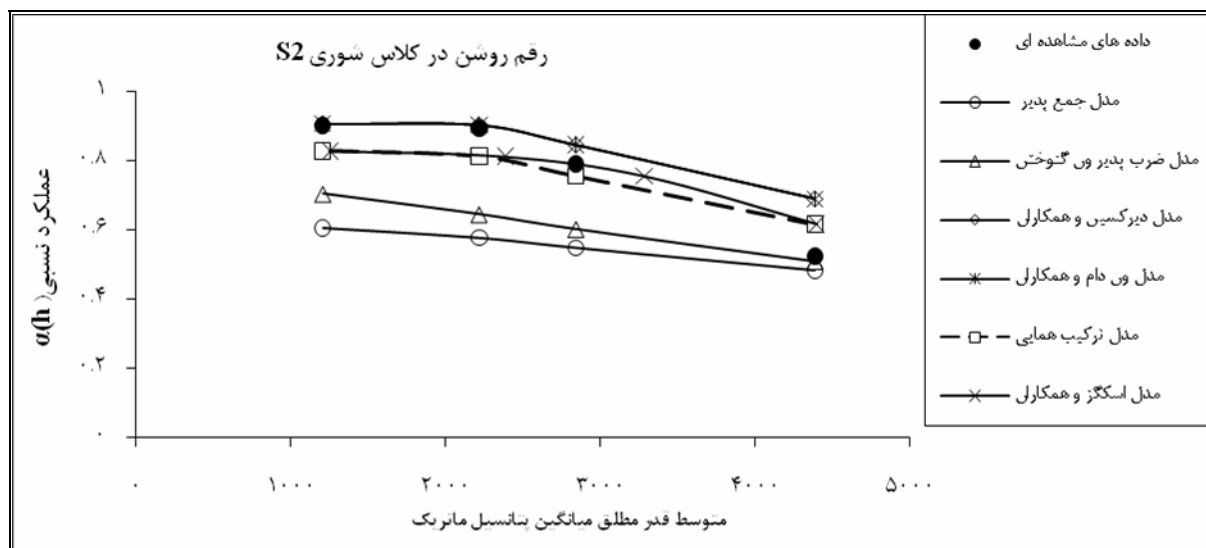
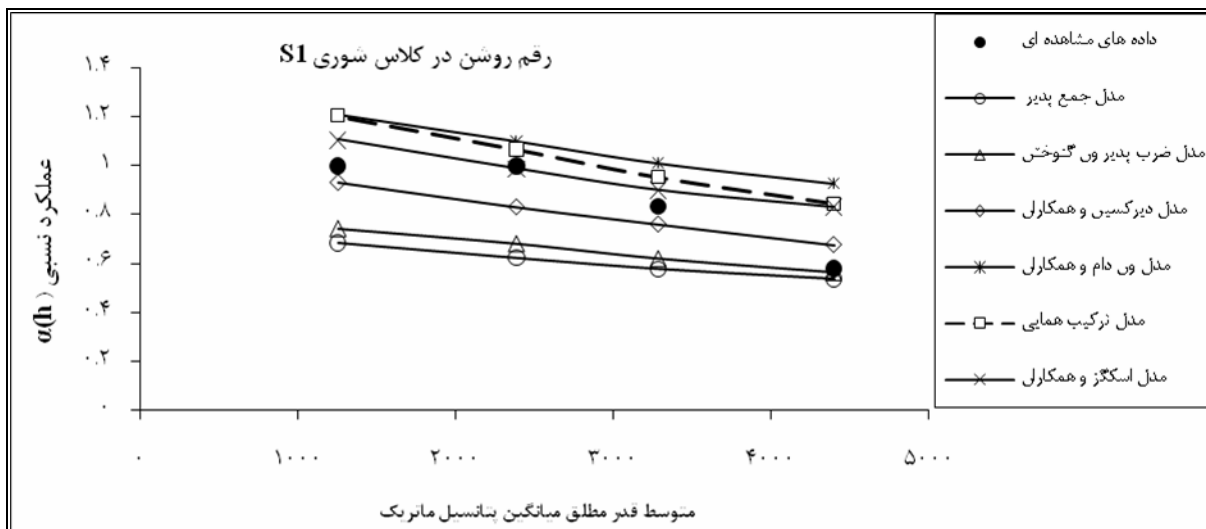
این مدل اثر همزمان تنش شوری و خشکی را بسیار کمتر از مقدار واقعی پیش برآورد می‌کند. مدل ضرب پذیر و گنوختن (۱۷) و مدل وان دام و همکاران (۱۶) نیز در شوری‌های بیشتر عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. این نتایج با نتایج کاردون و لتی مبنی بر اینکه که در شوری‌های زیاد پاسخ گیاهان به شوری بیشتر ضرب پذیر است، مطابقت دارد (۳).

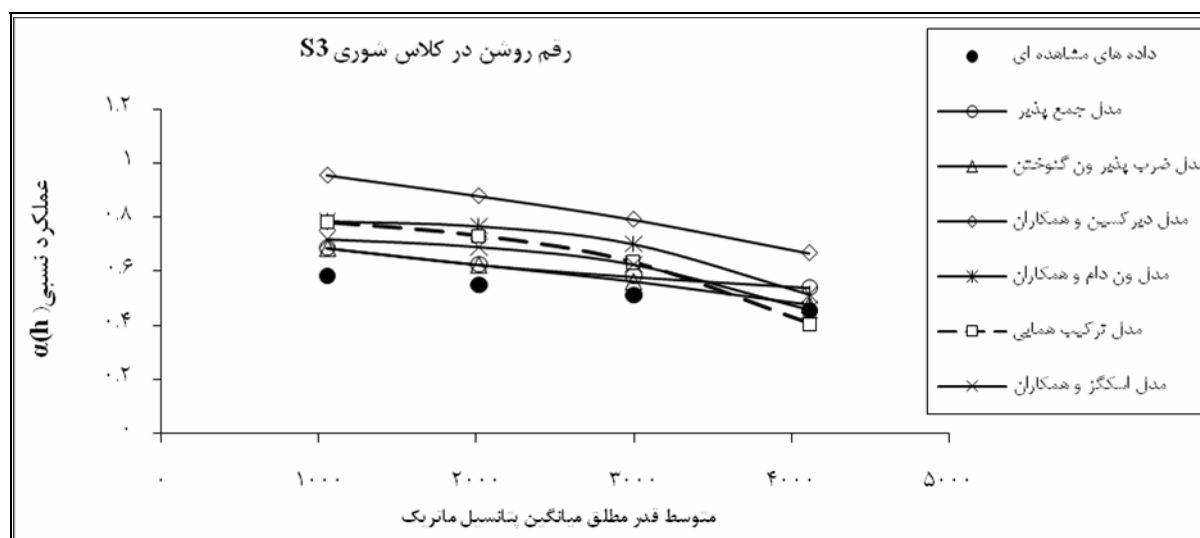
اگر چه نتایج کلی ارزیابی حکایت از برتری مدل‌های اسکگز و همکاران (۱۵) و همایی و همکاران (۱۱) نسبت به سایر مدل‌ها دارد،





شکل ۶- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل های جذب و مشاهده ای در شرایط شوری مختلف برای گندم قدس





شکل ۷- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل های جذب و مشاهده ای در شرایط شوری مختلف برای گندم روشن

ماتریک یکسان نیست. بنابراین در شوری های زیاد پاسخ گیاهان به شوری جمع پذیر نیست (۳). مقایسه مدل های ریاضی ارائه شده نشان داد که در بیشتر موارد مدل اسکگز و همکاران (۱۵) کاهش عملکرد نسبی ارقام گندم در منطقه خراسان جنوبی در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی بهتر از سایر مدل ها پیش بینی می کنند، هر چند که مدل همایی (۱۱) نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. در مجموع استفاده از مدل اسکگز و همکاران (۱۵) به علت دقت بیشتر، سادگی کاربرد و نیاز به پارامترهای ورودی کمتر نسبت به مدل همایی (۱۱) به عنوان مدل بهینه جذب در منطقه خراسان جنوبی توصیه می شود. از آنجا که گیاه پویا و در حال رشد می باشد، ثابت در نظر گرفتن عواملی که به نحوی به گیاه مرتبط است نظیر h_0 یا h_{50} با واقعیت سازگاری ندارد. بنابراین ضروری است چنین عواملی به صورت پارامترهای وابسته به رشد تعیین گردند. لازم است مدل های جذب آب، برای سایر گیاهان بومی منطقه تناوب کشت نیز مورد ارزیابی قرار گیرند تا بتوان از نتایج آن در برنامه ریزی تناوب کشت منطقه نیز استفاده نمود.

با افزایش شوری در نیمرخ خاک، جذب گیاه نسبت به شرایط غیر شور کمتر بوده، در نتیجه رطوبت بیشتری در محیط باقی می ماند. به همین دلیل، مبنای تحلیل مدل همایی و همکاران (۱۶) برای h_4 با واقعیت سازگارتر است.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر یک واحد پتانسیل ماتریک بر عملکرد با اثر یک واحد پتانسیل اسمزی برابر نیست. سهم تنش خشکی در کاهش عملکرد گندم از سهم تنش شوری بیشتر است و ثروا شوری و کم آبی کمتر از مجموع هر یک از تنش هاست. در تبیین این موضوع می توان گفت که با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک و به تبع آن میزان جذب آب توسط گیاه کاهش می یابد. هنگامی که گیاه تحت تأثیر تنش شوری قرار می گیرد می تواند خود را تا حدی با املاح محلول سازگار کند و یا اینکه در شوری های بالاتر، با افزایش نفوذپذیری ریشه ها نسبت به آب شور، شرایط جذب آب بیشتر را فراهم کند. در این شرایط، پاسخ گیاه به افزایش یک سانتیمتر فشار اسمزی با کاهش یک سانتیمتر مکش

منابع

- ۱- شهیدی ع. ۱۳۸۷. اثر برهم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم با تعیین تابع تولید آب- شوری در منطقه بیرجند. پایان نامه دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۳۶۵ص.
- ۲- کیانی ع، همایی م. و میرلطیفی م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توام شوری و کم آبی، مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحه ۷۳ تا ۸۳.
- 3- Cardon G.E., and Letey J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Sci. Soc. Am. J. 32, 1876-1880.

- 4- Dirksen C. and Augustijn D.C. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. *Agric. Abstracts*, pp. 188.
- 5- Dudley L.M., and Shani U. 2003. Modeling Plant Response to Drought and Salt Stress: Reformulation of the Root-Sink Term *Vadose Zone Journal* 2:751-758.
- 6- 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.
- 7- Feddes R.A., Kowalik P.J. and Zaradny H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Prudoc, Wageningen, 189 P
- 8- Feng G.L., Meiri A. and Letey j. 2003. Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions: I. Effects of plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*67: 71-76.
- 9- 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.
- 10- Homaee M, Dirksen C. and Feddes R.A. 2002. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agric. Water Manage.* 57: 89 -109.
- 11- Homaee M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. Thesis , Wageningen Agricultural University, 173 P.
- 12- League K. and Green R.E. 1999. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application, *J. Contaminant Hydrology*,7: 51-73.
- 13- Maas, E.V., and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 103:115–134.
- 14- Sepaskhah, A.R. and L. Boersma, 1979, Shoot and root growth exposed to several levels of matric potential and NAACL induced osmotic potential of soil water, *Agronomy Journal*, 71:746-752.
- 15- Skaggs T.H., van Genuchten M. Th., Shouse P.J., and Poss J.A. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. *Agric. Water Manage.* 86, 140–179.
- 16- An 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.
- 17- 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.
- 18- Van Genuchten M.Th., and Gupta S.K. 1993. A reassessment of the crop salt tolerance response function. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 41, 730–737.

Determination of Optimum Model of Water Uptake under Conjunctive Salinity and Water Stress Conditions in Wheat Cultivars

(Case Study: Birjand)

A. Shahidi¹ - M.J. Nahvinia^{2*} - M. Parsinejad³ - A. Liaghat⁴

Abstract

Various mathematical water uptake models have been introduced for plants response to combined drought and salinity stress. The reduction functions are classified as additive, multiplicative and conceptual models. In this study six different macroscopic reduction functions, namely; Van Genuchten (additive and multiplicative), Dirksen et al., Van Dam et al, Skaggs et al and Homaei were evaluated. The experiment was carried out at Research farm of Birjand University in a factorial split plot design with 3 replicates. The treatments consisted of four levels of irrigation (50, 75, 100 and 120% of crop water requirement), and three water qualities (1.4, 4.5, 9.6 dS/m) and two wheat cultivars. The results indicated that the additive model estimates relative yield less than the actual amount. In other word, the effect of combined stresses on wheat yield was less than the summation of separate effects due to salinity and water stress. The effect of drought stress on yield reduction was more than salinity stress. The results also revealed that reduction function of Skaggs et al and Homaei's models agreed well with the measured data when compared with other functions.

Keywords: Salinity stress, Drought stress, Reduction function, Wheat, Birjand

1- Assistant prof., Dept. of Irrigation Engineering and Reclamation, University of Birjand

2,3,4- Msc Student, Assistant Prof. and Associate Prof., Dept. of Irrigation Engineering and Reclamation, Tehran University, Respectively

(* - Corresponding author Email: mnahvinia@ut.ac.ir)