

## تعیین مناسب‌ترین مدل کاهش جذب آب برنج هاشمی رشت (*Oryza sativa*) در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی

مریم نوابیان<sup>۱\*</sup>، محبوبه آقاجانی<sup>۲</sup> و مجتبی رضایی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۷)

### چکیده

پدیده جذب آب توسط ریشه در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی در خاک‌های غیراشباع به‌وسیله معادلات ریاضی در سه گروه جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مفهومی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در این تحقیق تلاش شده است که شش تابع کاهش جذب آب ون‌گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دیرکسن و آگوستین، ون‌دام و همکاران، اسکگز و همکاران و همایی تحت شرایط اعمال تنش هم‌زمان شوری و خشکی برای برنج رقم هاشمی رشت بررسی شود. به‌این‌منظور، براساس آزمایش‌های صحرایی برنج رقم هاشمی رشت در سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹، مدل شبیه‌ساز رشد و توسعه گیاه SWAP، به‌ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۹۷ و ۰/۹۵ و واسنجی و اعتبارسنجی شد. پارامترهای مدل‌های کاهش جذب آب استفاده از سری داده‌های شبیه‌سازی‌شده، از طریق نرم‌افزار آماری SAS تعیین گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در شوری‌های پایین مدل جمع‌پذیر ون‌گنوختن و مدل همایی به‌ترتیب با ضرایب تبیین ۸/۹ و ۹/۱ بهترین شبیه‌سازی را برای کاهش جذب آب ارائه نمودند. در حالی که در شوری‌های بالا، مدل‌های اسکگز و همایی و ضرب‌پذیر ون‌گنوختن بهترین برازش را با نتایج شبیه‌سازی SWAP نشان دادند. به‌طورکلی، به‌منظور پیش‌بینی کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری و خشکی برنج رقم هاشمی رشت، مدل همایی از قابلیت بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: برنج رقم هاشمی، تنش خشکی و شوری، مدل‌های کاهش جذب، مدل SWAP

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. موسسه تحقیقات برنج کشور

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Navabian@guilan.ac.ir

## مقدمه

آبیاری، به عنوان راهکاری برای تأمین آب مورد نیاز ریشه، از مهم ترین چالش های کشاورزی جهان است. روند فزاینده صنعتی شدن جهان، موجب کمبود منابع آبی، کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش آلودگی آب های موجود به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک شده است. در سال های اخیر بحران شوری و کم آبی به عنوان عوامل محدودکننده توسعه کشاورزی پایدار، امنیت غذایی جهان را به خطر انداخته است. باید توجه داشت که، گیاهان اغلب به طور هم زمان تحت تأثیر تنش شوری و خشکی قرار می گیرند. وجود توأمان این دو تنش، کاهش جذب آب را تشدید می کند. کاهش رطوبت خاک، غلظت نمک در ناحیه ریشه و خاک را افزایش می دهد (۱۰).

توسعه آبیاری پایدار بر پایه اصول علمی، مستلزم درکی بهتر از فیزیولوژی گیاه و فرآیندهای بیوفیزیولوژیکی جذب آب توسط ریشه است. پدیده جذب آب توسط ریشه به تعرق گیاه و پاسخ گیاه به پتانسیل های ماتریک و اسمزی وابسته است که نقش مهمی را در توزیع جریان آب و املاح در خاک به ویژه خاک های غیراشباع ایفا می کند. شناخت فرآیند جذب آب به وسیله ریشه و روش های حل معادلات حاکم بر آنها می تواند در تعیین مدیریت بهینه آبیاری و افزایش بهره وری آب مصرفی نقش مهمی را ایفا کند. در زمینه چگونگی واکنش گیاهان به تنش خشکی و شوری و نیز تأثیر آن در کاهش جذب آب، مدل های ریاضی پرشماری توسعه یافته اند (۱۱).

بر پایه نحوه به کارگیری جذب آب در معادله عمومی، مدل های جذب آب را به دو گروه مدل خرد (Microscopic) براساس جریان آب به سوی تک ریشه و مدل کلان (Macroscopic) بر پایه برداشت آب از طریق کل ریشه تقسیم بندی می کنند (۱۶). به طور کلی روش های کلان به جهت تسهیل در هندسه جریان و نیز سهولت فرآیند شبیه سازی جذب در کل ریشه، در میان محققان دارای برتری و مقبولیت بیشتری نسبت به مدل های خرد می باشد (۱۶). با مقایسه حساسیت روش های خرد و کلان نسبت به افزایش شوری و کاهش

رطوبت مشخص شد که مدل های خرد نمی توانند فرآیند جذب آب توسط ریشه را به خصوص در شرایط شوری به طور مناسب مدل سازی نمایند (۱۱). در منطقه گرگان، برای ارزیابی توابع کاهش عملکرد نسبی گندم در شرایط تنش شوری و کم آبی، پنج تابع کاهش جذب آب شامل توابع جمع پذیر و ضرب پذیر ون گنوختن، دیرکسن و همکاران، وان دام و همکاران و همایی مورد بررسی قرار گرفت (۵، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۱۹). نتایج این پژوهش نشان داد گرچه کاهش عملکرد به واسطه وجود توأمان شوری و خشکی در محیط جمع پذیر است، ولی اثر کمی هر کدام از این تنش ها بر عملکرد محصول یکسان نبوده و تأثیر هم زمان شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات هر یک از تنش های فوق است. در مجموع، مدل های پیشنهادی همایی و ضرب پذیر ون گنوختن براساس شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا که به ترتیب  $4/1$  و  $4/8$  گزارش شد، بهتر از سایر مدل ها کاهش عملکرد نسبی را تخمین زد (۵). در تحقیق دیگری، با بررسی سطوح مختلف شوری و خشکی بر روی گیاه گوجه فرنگی در قالب طرح کاملاً تصادفی نشان داده شد که در شوری های اندک ( $3/5$  دسی زیمنس بر متر) واکنش گیاهان به تنش هم زمان شوری و خشکی توسط مدل ون گنوختن جمع پذیر با شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا و قدرمطلق بیشینه خطاها به ترتیب  $7$  و  $0/16$  بهتر تخمین زده می شود. در حالی که در شوری های  $6$  و  $10$  دسی زیمنس بر متر، مدل های اسکگز و همکاران و همایی برآزش بهتری را نشان دادند. در این سطوح شوری، شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا در مدل همایی به ترتیب  $7/2$  و  $1/1$  و در مدل اسکگز و همکاران به ترتیب  $8/1$  و  $3/3$  برآورد شد. به طور کلی، از میان تمامی مدل های کاهش جذب آب، مدل مفهومی همایی و اسکگز و همکاران پیش بینی مطلوب تری را برای کاهش جذب آب ارائه کردند (۴). تعیین مدل بهینه جذب آب در سطوح مختلف تنش هم زمان شوری و خشکی توسط ارقام زراعی گندم در منطقه بیرجند (۳) نشان داد که مدل جمع پذیر ون گنوختن عملکرد نسبی را در بیشتر موارد کمتر از میزان واقعی برآورد می کند. به عبارت دیگر تأثیر تنش هم زمان

سفیدرود طی سال‌های ۸۸-۸۲، حداکثر شوری رودخانه در سال ۱۴۰۰ به حدود ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شد (۷). مقایسه مدیریت‌های آبیاری با آب شور نشان داده‌است که شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس باعث کاهش ۶۰ درصدی عملکرد محصول برنج می‌شود (۷). بنابراین تنش هم‌زمان شوری و خشکی بحرانی است که آبیاری اراضی شالیزاری منطقه گیلان را تهدید می‌کند. در این تحقیق، با توجه به روند فزاینده شوری و کم‌آبی رودخانه سفیدرود در استان گیلان، نقش کلیدی برنج در اقتصاد منطقه و حساسیت گیاه برنج به تنش شوری و خشکی، تلاش شده‌است که با بررسی واکنش گیاه برنج به تنش هم‌زمان شوری و خشکی، بهترین مدل کاهش جذب آب ریشه ارائه شود.

### مواد و روش‌ها

#### مدل‌های جذب آب توسط گیاه مورد استفاده در تحقیق

تأثیر توأمان تنش‌های شوری و خشکی بر میزان جذب آب توسط ریشه، تا حدی مبهم و بحث برانگیز است. در این زمینه مدل‌های مختلفی توسط دانشمندان علوم آب و خاک ارائه شده‌است که در زیر توضیحاتی در خصوص مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق آورده شده‌است.

#### الف) مدل جمع‌پذیر ون‌گنوختن (۱۹۸۷)

در مدل‌های جمع‌پذیر، تأثیر هم‌زمان تنش شوری و خشکی بر میزان مصرف آب را به مجموع پتانسیل اسمزی و ماتریک نسبت می‌دهند (رابطه ۳).

$$\alpha(h, \pi) = \frac{S_{max}}{1 + \left[ \frac{h + \pi_{\delta_0}}{h_{\delta_0}} \right]^p} \quad [3]$$

در این تابع  $S_{max}$  تعرق پتانسیل،  $\pi_{\delta_0}$  و  $h_{\delta_0}$  به ترتیب پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریکی که به‌ازای آن میزان جذب ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. پارامتر  $p$  در سطوح مختلف شوری تقریباً ۳ تخمین زده شده‌است (۱۹).

شوری و کم‌آبی کمتر از مجموع اثرات آنها است. 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 با ضریب تبیین ۰/۹۲ و جذر میانگین مربعات خطا ۰/۱۰۵، کاهش عملکرد نسبی دو رقم گندم را در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی می‌کند.

تقریباً تمامی مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک، براساس حل عددی معادله ریچاردز با در نظر گرفتن عبارت جذب آب برای جریان عمودی ایجاد شده‌اند (۱۱). پارامتر جذب آب توسط ریشه در معادله ریچاردز، به مقادیر تعرق، ارتفاع فشار آب در خاک، ارتفاع فشار اسمزی، خصوصیات ریشه و جذب حداکثری آب در شرایط عدم تنش خشکی وابسته است (۱۷). فرم عمومی مدل‌های کلان که برای اولین بار ارائه شده است در رابطه ۱ آمده‌است (۱۲).

$$S = \frac{T_p}{Z_r} \dots \dots \dots [1]$$

در این رابطه  $Z_r$  عمق توسعه ریشه،  $T_p$  تعرق بالقوه و  $S$  تعرق واقعی می‌باشد. در شرایطی که خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق ( $T_p$ ) فراهم نماید، به‌اندازه  $\alpha(h, \pi)$  که تابعی از پتانسیل ماتریک خاک در شرایط تنش شوری و خشکی است، از تعرق کاسته می‌شود (رابطه ۲).

$$S = \alpha(h, \pi) \frac{T_p}{Z_r} \quad [2]$$

در منطقه گیلان با آب و هوای معتدل خزری، غالب آب آبیاری برای برنج رقم هاشمی (*Oryza sativa*) از طریق رودخانه سفیدرود تأمین می‌شود. بررسی روند میانگین سالانه دبی رودخانه سفیدرود به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب آبیاری استان نشان از کاهش حدود ۵۰ درصدی طی سال‌های ۸۸-۸۲ دارد. خشکسالی‌های اخیر، توزیع زمانی نامناسب بارندگی و بهره‌برداری از سدهای مخزنی متعدد در بالادست رودخانه سفیدرود به‌عنوان عوامل کاهش دبی این رودخانه بیان شده‌است. براساس روندیابی حداکثر شوری رودخانه

(ب) مدل ضرب پذیر ون گنوختن (۱۹۸۷)

معادله عمومی (معادله ۴) به جای مدل جمع پذیر ارائه شد (۱۹). برتری این روش نسبت به شیوه جمع پذیری محاسبه جداگانه ضرایب کاهش جذب به صورت مقادیر کمی است.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{\phi_0}}\right)^{p_1} \times 1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{\phi_0}}\right)^{p_2}} \quad [4]$$

(ج) مدل دیرکسن و آگوستین (۱۹۸۵)

در این مدل، ضرایب پتانسیل ماتریک و اسمزی در معادله کاهش جذب ون گنوختن ضرب پذیر نسبت به مقادیر آستانه کاهش شوری ( $\pi^*$ ) و خشکی ( $h^*$ ) تعدیل شد و به صورت معادله ۵ ارائه گردید (۱۲).

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{(h-h^*)}{(h^*-h_{\phi_0})}\right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{(\pi-\pi^*)}{(\pi^*-\pi_{\phi_0})}\right]^{p_2}} \quad [5]$$

(د) مدل ون دام و همکاران (۱۹۹۷)

این محققان، با تلفیق شاخه نزولی تابع کاهش جذب فدس و همکاران برای تنش خشکی و تابع کاهش جذب ماس و هافمن برای تنش شوری، تابع کاهش زیر (معادله ۶) را برای شرایط وجود هم زمان تنش های شوری و خشکی ارائه کردند (۱۳ و ۱۵). در رابطه  $b$ ،  $h_p$  و  $h_f$  به ترتیب درصد کاهش محصول به ازای افزایش واحد شوری، نقطه پژمردگی و نقطه شروع تنش آبی هستند.

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

(ه) مدل اسکگز و همکاران

این محققان برای شبیه سازی جذب آب توسط مدل یک بعدی HYDRUS رابطه ۷ را که از تلفیق معادله ون گنوختن و مدل ماس و هافمن به دست آمد، مورد استفاده قرار دادند (۱۵، ۱۷ و ۱۹).

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{\phi_0}}\right)^{p_1}} \times \left[1 - \frac{b}{360}(\pi^* - \pi)\right] \quad [7]$$

(و) مدل همایی (۱۹۹۹)

در این مدل، معادله ضرب پذیر ون گنوختن به دلیل فقدان بنیان فیزیکی و عدم تمایز بین اجزای انرژی آب در خاک و تأثیر هر یک بر جذب آب توسط گیاه (۹) اصلاح شد. این روش مبتنی بر ترکیب معادلات خطی و غیرخطی وابسته به شوری است. همایی مدل خود را در شوری های بالا ۷-۸ و ۱۱-۹ دسی زیمنس بر متر با مدل های ضرب پذیر و جمع پذیر مقایسه کرد. نتایج حاکی از برتری مدل همایی در تطبیق با نتایج آزمایشگاهی داشت. معادله ۸ زمانی که  $(h_f - \pi) \leq h \leq h_p$  و  $\pi < \pi^*$  در محیط حاکم باشد، برقرار است.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_f - \pi)}{h_p - (h_f - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360}(\pi^* - \pi)\right] \quad [8]$$

شبیه سازی جذب آب تحت تنش های شوری و خشکی

توسط مدل SWAP

در این تحقیق، به منظور دستیابی به مناسب ترین مدل کاهش جذب آب برای برنج رقم هاشمی رشت، تحت تنش شوری و خشکی از مدل شبیه ساز SWAP (۱۸) استفاده شد. در این مدل به منظور شبیه سازی جریان آب در خاک های غیر اشباع از معادله ریچاردز استفاده می شود. داده های مورد نیاز مدل شبیه ساز SWAP به منظور شبیه سازی فرآیند رشد و توسعه گیاه برنج در زیر گروه های اطلاعات روزانه هواشناسی، خصوصیات فیزیکی و توابع هیدرولیکی خاک، شرایط مرزی پایین دست، داده های کمی و کیفی آبیاری و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه تقسیم می شوند.

در این مطالعه پارامترهای تابع هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و سایر پارامترهای معادله ون گنوختن از طریق مدل سازی معکوس براساس درصد اجزای تشکیل دهنده و مواد آلی خاک برآورد و در مدل SWAP به کار گرفته شد (۷). هم چنین برای شبیه سازی عملکرد واقعی محصول، از زیر مدل گیاهی ساده براساس معادله دورنباس و کرسام استفاده شده است. پارامترهای گیاهی مدل ساده شامل شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، عمق توسعه ریشه و ضریب واکنش عملکرد در مراحل مختلف رشد است که از داده های زراعی سال ۱۳۸۶ رقم هاشمی در مؤسسه

تناوب ۸ روز)، عملکرد برنج رقم هاشمی بررسی شد (۲). عمق آب آبیاری در مراحل مختلف رشد، براساس تحقیق مهدوی و پورعزیزی به‌مدل پیشنهاد شد (۶). در نهایت عملکرد گیاه در سطوح مختلف شوری و عمق آب آبیاری (۵ و ۶ سانتی‌متر در مرحله استقرار، ۲ و ۳ سانتی‌متر در مرحله پنجه‌زنی، ۲، ۳ و ۴ سانتی‌متر در مرحله رویشی و ۱ و ۲ سانتی‌متر در مرحله زایشی) در دوره‌های تناوبی عرف آبیاری اراضی شالیزاری در منطقه (۵ و ۸ روز) شبیه‌سازی شد (۶).

به‌جهت این‌که پارامترهای گیاهی در طی مراحل توسعه‌یافتگی در حال تغییر است، فرض ثابت بودن شاخص‌های گیاهی، با واقعیت علمی سازگاری ندارد. بنابراین تعیین پارامترهایی نظیر  $h_0$  برحسب دوره رشد ضروری به‌نظر می‌رسد. از آنجایی‌که گیاه برنج در مراحل استقرار و رسیدگی نسبت به تنش خشکی و شوری مقاوم و در مراحل پنجه‌زنی و زایشی دارای حساسیت بالایی به خشکی و شوری است، بنابراین پارامترهای گیاهی مدل‌های کاهش جذب آب برای حساس‌ترین مرحله برنج به تنش خشکی و شوری (دوره زایشی) مورد محاسبه قرار گرفت. به‌منظور تعیین دقیق پارامترهای مدل‌های کاهش جذب آب، از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. در نرم‌افزار SAS ابتدا ۷۰ درصد داده‌های تولیدی برای استخراج پارامترهای مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس ارزیابی معادلات حاصل از براساس ۳۰ درصد داده‌های باقی‌مانده استفاده شد. برای این هدف، ابتدا نرمال‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار Minitab صورت پذیرفت.

### استخراج ضرایب مدل‌های جذب آب با نرم‌افزارهای آماری SAS و Minitab

از پارامترهای پتانسیل مکش و تعرق‌های روزانه واقعی و بالقوه طی دوره زایشی (خروجی مدل SWAP) برای استخراج ضرایب معادله جذب استفاده شد. به‌منظور نرمال‌سازی و هم‌راستایی متغیرهای یاد شده، از نرم‌افزار آماری Minitab استفاده شد. برای استخراج پارامترهای مجهول توابع کاهش

تحقیقات برنج رشت استفاده گردید (۲، ۷ و ۸). در این زیر مدل، مقدار آستانه شوری گیاه برنج، که حد بالای شوری بدون کاهش عملکرد محصول می‌باشد،  $2/86$  دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط (درصد کاهش عملکرد محصول نسبی به ازاء هر واحد افزایش شوری خاک)  $12$  دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد (۷). در این تحقیق، پارامترهای شاخص سطح برگ، وزن ماده خشک در مراحل مختلف رشد و ارتفاع گیاه در مزرعه مورد مطالعه در سال زراعی  $86-85$  اندازه‌گیری شدند (۲). دمای تجمعی در مراحل مختلف رشد گیاه برنج و عمق توسعه ریشه محاسبه شدند (۸).

واسنجی مدل SWAP براساس داده‌های اقلیمی، پارامترهای گیاهی و خصوصیات آب و خاک و عمق سطح آب زیرزمینی در سال زراعی  $1386$  انجام شد (۲). برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی، گزینه اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز بررسی گردید. به‌منظور ارزیابی نتایج مدل شبیه‌سازی، از داده‌های تحقیقاتی سال  $1389$  رقم هاشمی در رشت استفاده شد (۱). جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در بخش اعتبارسنجی از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (RMSE-N) از معادله‌های ۹ و ۱۰ استفاده شد (۶).

$$R^2 = \frac{SSR}{SSY} = 1 - \frac{SSD}{SSY} \quad [9]$$

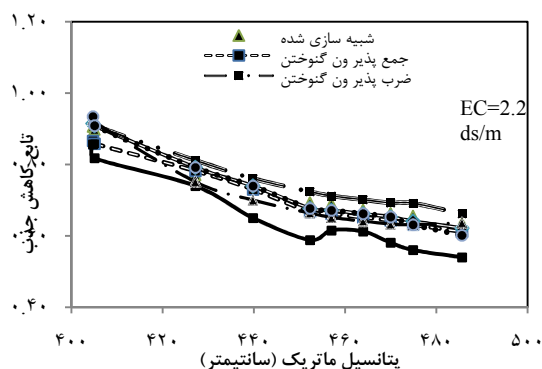
$$RMSE - N = 100 \cdot \left( \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2 / n \right)^{1/2} / \bar{o} \quad [10]$$

که در این معادلات  $p_i$  مقدار شبیه‌سازی مدل،  $o_i$  مقدار اندازه‌گیری واقعی،  $n$  تعداد اندازه‌گیری واقعی،  $\bar{o}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری،  $SSR$  مجموع مربعات رگرسیون،  $SSD$  مجموع مربعات مانده و  $SSY$  مجموع مربعات کل می‌باشند.

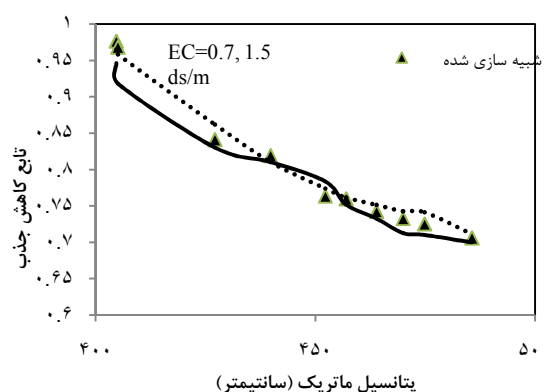
پس از حصول اطمینان از نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل، پارامترهای مدل‌های کاهش جذب آب محاسبه شدند. بدین‌منظور تیمارهای مختلف شوری (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) در مدیریت‌های مختلف آبیاری نظیر غرقاب دائم، اشباع، ظرفیت زراعی، ۹۰٪ ظرفیت زراعی و ۸۰٪ ظرفیت زراعی (معادل دوره

جدول ۱. معرفی متغیرهای مستقل و وابسته مدل‌های کاهش جذب آب

متغیر مستقل		متغیر وابسته											مدل جذب
b	p	p <sub>2</sub>	p <sub>1</sub>	$\pi_{50}$	$\pi^*$	$\pi$	h <sub>4</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>50</sub>	h*	h	$\alpha(h, \pi)$	
-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	جمع‌پذیر و ن‌گن‌وختن
-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	ضرب‌پذیر و ن‌گن‌وختن
-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	دیرکسن و همکاران
+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	ون دام و همکاران
+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	اسکگز و همکاران
+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	همایی



شکل ۲. نمودار کاهش جذب آب در برنج رقم هاشمی در شرایط تنش خشکی و شوری ۲/۲۰ دسی زمینس بر متر



شکل ۱. نمودار کاهش جذب آب در برنج رقم هاشمی در شرایط عدم تنش شوری

برگ در میزان تعرق از این پارامتر در واسنجی مدل استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل SWAP توانسته است که شاخص سطح برگ برنج هاشمی را با دقت بالایی شبیه‌سازی نماید. بنابراین می‌توان به داده‌های تولیدی این مدل در زمینه شبیه‌سازی اجزای بیلان آب، نیز با ضریب اطمینان بالایی استناد نمود.

### نتایج مدل‌های جذب آب

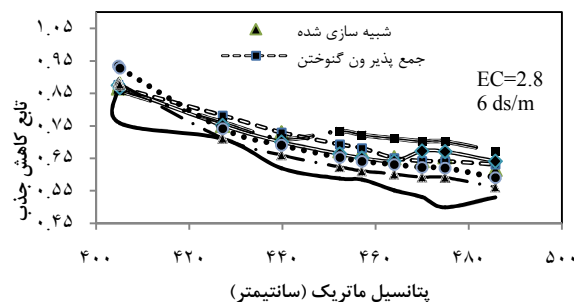
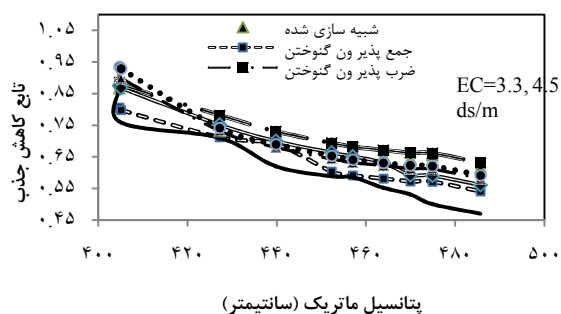
برازش مدل‌های دیرکسن و ون‌گن‌وختن نسبت به داده‌های شبیه‌سازی شده، در شرایط بدون تنش شوری در شکل ۱ نشان داده شده‌است. شاخص‌های آماری مدل‌های ون‌گن‌وختن و دیرکسن براساس نمودار شماره ۱ نشان داد که گزاره‌های آماری ضریب همبستگی به ترتیب ۵/۱ و ۸/۹ و جذر میانگین خطای

جذب کاهش آب از نرم‌افزار SAS استفاده شد. متغیرهای وابسته و مستقل در برنامه SAS در جدول (۱) آمده‌است. ارزیابی صحت و درستی مقادیر پارامترهای معادلات با استفاده از گزاره‌های آماری ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده انجام شد.

### نتایج و بحث

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز SWAP

واسنجی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز SWAP، به ترتیب نسبت به مقادیر مشاهدات صحرایی اراضی شالیزاری رشت در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ به صورت شاخص‌های آماره‌های ضریب همبستگی ۰/۹۷۴ و ۰/۹۵۸ و جذر میانگین خطای نرمال شده ۰/۱۹ و ۰/۲۶ برآورد گردید. به دلیل تأثیرگذاری شاخص سطح



شکل ۳. نمودار کاهش جذب آب در برنج رقم هاشمی در شرایط تنش خشکی و شوری ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر

شکل ۴. نمودار کاهش جذب آب در برنج رقم هاشمی در شرایط تنش خشکی و شوری‌های ۳/۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر

جدول ۲. ارزیابی شاخص‌های آماری در مدل‌های مختلف توابع کاهش جذب (در شرایط شوری‌های ۲/۲ و ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر)

شوری ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر		شوری ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر		مدل
R <sup>2</sup>	RMSE-N(%)	R <sup>2</sup>	RMSE-N(%)	
۰/۶۳	۱۹/۷	۰/۸۳	۸/۹	جمع‌پذیر ون‌گنوختن
۰/۸۰	۹/۸	۰/۶۹	۱۶/۱	ضرب‌پذیر ون‌گنوختن
۰/۵۱	۲۹/۱	۰/۶۴	۲۰/۸	دیرکسن و همکاران
۰/۷۸	۱۰/۴	۰/۷۷	۱۲/۳	ون دام و همکاران
۰/۷۷	۱۱/۳	۰/۷۵	۱۲/۶	اسکگز و همکاران
۰/۷۹	۹/۵	۰/۸۰	۹/۱	همایی

نیز ون‌گنوختن جمع‌پذیر، همایی و ون دام هم‌گرایی بهتری را نشان دادند. به‌طورکلی مدل‌های همایی و جمع‌پذیر با ضرایب همبستگی بالاتری، کاهش جذب آب توسط ریشه را پیش‌بینی نمودند (جدول ۲). درحالی‌که مدل‌های دیرکسن و ضرب‌پذیر ون‌گنوختن نتوانستند برازش خوبی را با نتایج شبیه‌سازی انجام دهند. در شوری حد آستانه ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر نتایج بررسی نشان داد که در مکش‌های بالا و پایین ون‌گنوختن ضرب‌پذیر و همایی بهترین هم‌پوشانی را داشتند (شکل ۳). در این سطح شوری در شرایط اعمال تنش خشکی، مدل‌های دیرکسن و جمع‌پذیر ون‌گنوختن نتوانستند با دقت بالایی کاهش جذب آب ریشه را تخمین بزنند (جدول ۲). ارزیابی نتایج شاخص‌های آماری در جدول ۳ برای شوری ۳/۶ و ۴/۵

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، مدل ون‌گنوختن در مکش‌های رطوبتی پایین هم‌خوانی بهتری با مقادیر شبیه‌سازی شده از خود نشان داد. درحالی‌که مدل دیرکسن در پتانسیل ماتریک بالا توانست با داده‌های شبیه‌سازی مدل SWAP برازش بهتری را داشته باشد. بررسی شکل نشان می‌دهد که هر دو مدل ون‌گنوختن و دیرکسن از شکل غیرخطی برخوردار هستند. شکل ۲ برازش مدل‌های مختلف تنش شوری و خشکی را براساس گزاره‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مجذور خطای نرمال‌شده در سطح شوری ۲/۲ نشان می‌دهد. نمودار نتایج بیان‌گر آن است که در شرایط تنش شوری ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر، در مکش‌های پایین همایی و ون‌دام هم‌خوانی مناسبی با نتایج شبیه‌سازی داشتند و در مکش‌های بالا

جدول ۳. ارزیابی شاخص‌های آماری در مدل‌های مختلف توابع کاهش جذب (در شرایط شور ۳/۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر)

مدل	RMSE-N(%)	R <sup>2</sup>
جمع‌پذیر و ن‌گنوختن	۲۱/۹	۰/۵۷
ضرب‌پذیر و ن‌گنوختن	۱۰/۸	۰/۷۵
دیرکسن و همکاران	۳۲/۴	۰/۴۶
ون دام و همکاران	۱۰/۵	۰/۷۷
اسکگز و همکاران	۹/۳	۰/۸۲
همایی	۹/۴	۰/۸۰

مدل‌های اسکگز و همایی و ضرب‌پذیر و ن‌گنوختن بهترین برآزش را با نتایج شبیه‌سازی SWAP نشان دادند. در تمام سطوح شوری مورد بررسی، مدل دیرکسن نتوانست هم‌خوانی مناسبی را با داده‌های شبیه‌سازی ایجاد نماید. به‌طورکلی مدل همایی به دلیل این‌که در تمامی سطوح شوری نتایج قابل قبولی ارائه نمود و از طرفی از بنیان فیزیکی مناسبی برخوردار است، برای تعیین کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری و خشکی برنج رقم هاشمی رشت توصیه می‌شود.

به‌طورکلی با افزایش تنش شوری پراکندگی در پیش‌بینی کاهش جذب توسط مدل‌های مختلف مشهودتر است. به‌گونه‌ای که در شوری‌های پایین اختلاف زیادی میان نتایج آماری مدل‌های مختلف وجود ندارند. درحالی‌که با افزایش تنش شوری تفاوت بین گزاره‌های آماری در مدل‌های گوناگون بیشتر به چشم می‌خورد. هم‌چنین تنش شوری سبب تغییرات زیادی در نتایج مدل‌های کاهش جذب آب می‌شود و عامل تأثیرگذارتری نسبت به تنش خشکی محسوب می‌شود. در شوری‌های پایین به‌دلیل این‌که خاصیت جمع‌پذیری میان اجزای پتانسیل خاک برقرار است از مدل جمع‌پذیر تبعیت می‌کند. اما در شوری‌های بالاتر به‌دلیل محاسبه ضرایب کاهش جذب تنش شوری و خشکی و اعمال فرآیند ضرب بر روی آنها مدل‌های ضرب‌پذیری نظیر همایی و اسکگز جواب مطلوب‌تری را ارائه می‌نمایند.

دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که در تمامی مکش‌های پایین و بالا همایی و اسکگز بهترین نتایج را به‌دنبال داشتند. در این سطح شوری بدترین برآزش هم به‌طورکلی به دیرکسن و جمع‌پذیر و ن‌گنوختن اختصاص داشت. با افزایش سطح شوری به جهت عدم پاسخ یکسان گیاه به افزایش شوری و کاهش رطوبت از کارایی مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن نیز کاسته شده است. درحالی‌که در سطوح شوری پایین مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن هم‌خوانی خوبی با نتایج شبیه‌سازی داشت (شکل ۴). عزیزاده و همکاران، برای گیاه گوجه‌فرنگی در تنش‌های شوری پایین مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن و در شوری‌های بالاتر از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر مدل‌های ضرب‌پذیر همایی و اسکگز را مناسب ارزیابی کردند (۴). شهیدی و همکاران، نیز اسکگز را برای سطوح مختلف شوری مناسب ارزیابی کردند (۳). کیانی و همکاران، برای تنش‌های مختلف شوری و خشکی گیاه زراعی گندم مدل‌های همایی و ضرب‌پذیر و ن‌گنوختن را مطلوب توصیف کردند (۵).

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی برای برنج رقم هاشمی رشت، در شوری‌های پایین مدل جمع‌پذیر و ن‌گنوختن و مدل همایی بهترین شبیه‌سازی را برای کاهش جذب آب ارائه نمودند. درحالی‌که در شوری‌های بالا،



## منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی راد، ح.، ف. عارف، م. رضایی و م. خالدیان. ۱۳۸۹. بررسی اثرات شوری آب آبیاری در دوره‌های مختلف رشد بر عملکرد برنج رقم هاشمی. اولین همایش مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. ۱۷ و ۱۸ آذر ماه. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲. رضایی، م. ۱۳۸۷. گزارش نهایی طرح بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود ازته بر عملکرد برنج رقم محلی هاشمی. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور.
۳. شهیدی، ع.، م. ج. نحوی‌نیا و م. پارس‌نژاد. ۱۳۸۹. تعیین مدل جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی توسط ارقام زراعی گندم (*Triticum aestivum*) در منطقه بیرجند. ۱۳۸۹. مجله آب و خاک. جلد ۲۴ (۳): ۵۴۴-۵۳۴.
۴. علیزاده، ح.، ع. لیاقت و م. نوری محمدیه. ۱۳۸۸. ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط گوجه‌فرنگی در شرایط تنش هم‌زمان شوری و خشکی. نشریه آب و خاک (علوم صنایع کشاورزی). جلد ۲۳ (۳): ۹۷-۸۸.
۵. کیانی، ع.، م. همایی و م. میرلطیفی. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم‌آبی. مجله علوم خاک و آب. جلد ۲۰ (۱): ۸۳-۷۳.
۶. مهدوی، ف و م. پورعزیزی. ۱۳۸۲. مصرف بهینه آب در برنج. سایت برنج. [www.berenge.com](http://www.berenge.com)
۷. نوایان، م.، م. آقاجانی، م. وظیفه‌دوست و م. رضایی. ۱۳۹۰. ارائه رژیم بهینه آبیاری برنج تحت تنش شوری با استفاده از مدل SWAP. نشریه آب و خاک. جلد ۲۵ (۶): ۱۴۲۰-۱۴۱۳.
۸. نوایان، م و م. آقاجانی. ۱۳۹۱. مقایسه برخی از شاخص‌های بهره‌وری آب در آبیاری تناوبی اراضی شالیزاری رشت. نشریه آب و خاک. جلد ۲۶ (۵): ۱۲۸۸-۱۲۷۷.
۹. همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران.
10. Brown, C. E., S. R. Pezeshki and R. D. DeLaune. 2006. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina Alterniflora* in a simulated tidal system. *Environmental and Experimental Botany* 58: 140–148.
11. Cardon, G.E. and J. Letey. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32: 1876–1880.
12. Dirksen, C. and D.C. Augustijn. 1985. Root water uptake function for no uniform pressure and osmotic potentials. *Agric. Abstracts* 188. p.
13. Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Prudoc, Wageningen, 189 p.
14. Homaei, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Thesis, Wageningen Agricultural University, 173 p.
15. Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1997. Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drain Div. Proc. Am. Soc Civil Eng.* 103:115-134.
16. Nimah, M.N. and R.J. Hanks. 1973. Model for estimating soil water, plant, and atmospheric interrelations. I. Description and sensitivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 522–527.
17. Skaggs T.H., M.Th. Van Genuchten, P.J. Shouse and J.A. Poss. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. *Agric. Water Manage.* 86: 140–179.
18. Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. Van Walsum, P. Groenendijk and C.A. Van Diepen. 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.
19. 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.