

ارزیابی مدل‌های کاهش جذب آب ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی اهواز

آرش شیرمحمدی^{۱*}، امیر سلطانی محمدی^۲، سعید برومند نسب^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۹

چکیده

جذب آب گیاه در شرایط تنش آبی را می‌توان با برخی مدل‌های ریاضی، به صورت کمی، شرح داد. مدل‌های جذب آب، در صورتی که بتوانند پیش‌بینی درستی از واکنش گیاه به تنش آبی ارائه دهند، ابزاری سودمند برای برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آب در مزرعه به شمار می‌آیند. در کل دو گروه گسترده از رویکردهای مدل‌سازی جذب آب، مدل‌های میکروسکوپی و مدل‌های ماکروسکوپی هستند که مدل‌های میکروسکوپی جریان آب را به طرف تک ریشه و مدل‌های ماکروسکوپی برداشت آب توسط کل ناحیه ریشه را بررسی می‌کنند. هدف این پژوهش ارزیابی برخی مدل‌های ماکروسکوپی در شرایط تنش آبی است. به همین منظور آزمایشی با سه تیمار آبیاری I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب معادل ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار روی گیاه ذرت تابستانه رقم (KSC-704) در شرایط اقلیمی اهواز در تابستان سال ۱۳۹۷ انجام گرفت و از سه تیمار بدون کشت نیز برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح خاک استفاده شد. برای ارزیابی مدل‌های ماکروسکوپی مورد استفاده شامل فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) از چهار شاخص آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای نرمال شده (NMSE) و میانگین درصد خطای نسبی (MRE) استفاده گردید. نتایج نشان داد که برای تیمارهای I_2 و I_3 مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۷) با شاخص‌های آماری ($RMSE=0.10$ و $R^2=0.58$)، برای تیمار I_2 مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۷) با شاخص‌های آماری ($R^2=0.35$ و $RMSE=0.10$) و برای تیمار I_3 مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۷) با شاخص‌های آماری ($RMSE=0.10$ و $R^2=0.51$) نسبت به سایر مدل‌ها دیگر بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، مدل‌های کاهش جذب آب، ذرت، اهواز

مقدمه

نیاز روزافزون به فرآورده‌های کشاورزی از یک سو و کمبود منابع آب در بیشتر نقاط کشور، به ویژه در مناطق خشک از سوی دیگر، سبب شده بهینه‌سازی مصرف آب سرلوحه کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد. مقدار آب برای تولید فرآورده‌های کشاورزی نقشی بارز دارد و کمیت و کیفیت محصول به کمیت و کیفیت آن وابسته است. با رشد جمعیت، رقابت بر سر منابع آب افزایش می‌یابد و پایداری این منابع به طور فزاینده تهدید می‌شود. بنابراین چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره‌برداری بهینه از آن یکی از چالش‌های

بسیار مهم قرن حاضر است (تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴). تخمین مقدار آب جذب شده گیاهان برای پیش‌بینی چگونگی پاسخ گیاهان به کمیت و کیفیت آب آبیاری بسیار مهم است. در زمان عدم محدودیت آب قابل دسترس برای گیاه در خاک، مقدار آب جذب شده توسط گیاهان معادل تعرق پتانسیل خواهد بود. اما در زمانی که گیاه تحت تنش آبی قرار می‌گیرد، مقدار آب جذب شده توسط گیاه کمتر از میزان تعرق پتانسیل خواهد بود (Feddes et al., 1978). برای دستیابی به کشاورزی پایدار و مدیریت زیست محیطی، نیاز مبرمی به شناخت مدل‌سازی ریاضی برای ارزیابی اثر سطوح مختلف نهاده‌های تولید شامل کمیت و کیفیت آب بر عملکرد محصول است. یکی از این نوع مدل‌ها در مقیاس مزرعه، مدل‌های جذب آب به وسیله گیاه می‌باشد (Kustas et al., 1996). مناسب‌ترین روش کمی کردن جذب آب توسط گیاهان استفاده از معادله کلی جریان یا معادله ریچاردز است که شکل معادله، پس از لحاظ کردن بخش جذب آب توسط گیاه به صورت رابطه (۱) خواهد بود (Homaei., 1999).

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

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
 - ۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
 - ۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
- *- نویسنده مسئول
(Email: Arash.scu@gmail.com)

مناسبی دارند. عزیزیان و همکاران در مطالعه خود به اصلاح مدل شبیه‌سازی ذرت تحت سطوح مختلف آب، نیتروژن و شوری پرداختند و از یک مدل شبیه‌ساز آب و نیتروژن (MSM) برای شرایط شوری استفاده کردند. در این پژوهش سه سطح آبیاری $I_1=ET_c+0.25ET_c$ ، $I_2=0.5I_1$ ، $I_3=0.75I_1$ ، سه سطح شوری ۰، ۰/۶ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر و کود نیتروژن به میزان ۰، ۱۵۰، ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار بکار برده شد. نتایج نشان داد که مدل همایی و فدس (۱۹۹۹) نسبت به سایر توابع جذب آب، برآورد بهتری داشت (Azizian et al., 2015). الهی‌کیا (۱۳۹۶) به منظور ارزیابی چهار مدل جذب آب ماکروسکوپی فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)، و همایی (۱۹۹۹) در شرایط تنش خشکی برای گیاه کاهو، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام دادند، نتایج نشان داد مدل همایی (۱۹۹۹)، با در نظر گرفتن دو حد آستانه برای مدل، برازش خوبی روی کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. ذرتی‌پور (۱۳۹۷) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران به ارزیابی مدل‌های کاهش جذب آب فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی (۱۹۹۹) برای کاهو برگی و عملکرد آن تحت تنش خشکی پرداختند. آزمایش با سه تیمار آبی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد در ارزیابی مدل‌های جذب آب، به ترتیب مدل همایی (۱۹۹۹)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن (۱۹۹۳) و فدس (۱۹۷۸) برازش بهتری روی کل محدوده داده‌های اندازه‌گیری شده داشت. کای^۶ و همکاران به ارزیابی و شبیه‌سازی مدل‌های جذب آب ریشه بر گندم زمستانه، با استفاده از مدل تجربی فدس-جارویس^۷ مبتنی بر مدل فیزیکی کاورپور^۸، در شرایط مختلف رطوبتی آب و بافت خاک پرداختند. نتایج نشان داد، در خاک سیلتی جذب آب ریشه شبیه‌سازی شده در همه تیمارها برابر جذب پتانسیل بود. همچنین پارامترهای هیدرولیکی مدل کاورپو محدود به داده‌های میدانی است در حالی که پارامترهای تنش آبی مدل فدس-جارویس محدودیتی ندارد، اما مدل کاورپور تعرق نسبی را در دو نوع خاک سنگین و سیلتی کمی بهتر از مدل فدس-جارویس پیش‌بینی کرد (Cai et al., 2018).

با توجه به بررسی منابع صورت گرفته، هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی چهار مدل کاهش جذب آب ماکروسکوپی فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) به منظور تعیین مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی کاهش جذب آب توسط گیاه ذرت دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی

θ : درصد رطوبت حجمی خاک، h : بار فشاری آب در خاک [L]، t : زمان [T]، z : عمق خاک [L]، K : هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک [LT^{-1}]، S : میزان جذب آب توسط ریشه گیاهان [T^{-1}] که تابعی از پتانسیل ماتریک، پتانسیل اسمزی، ویژگی‌های ریشه و شرایط آب و هوایی (همچون نیاز تبخیری) است.

در کل دو گروه گسترده از رویکردهای مدل‌سازی جذب آب مدل‌های میکروسکوپی و مدل‌های ماکروسکوپی هستند که از داده‌های ریشه به روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. مدل‌های میکروسکوپی جریان آب را به طرف تک ریشه بررسی می‌کنند و مدل‌های ماکروسکوپی برداشت آب توسط کل ناحیه ریشه را بدون در نظر گرفتن تاثیر تک تک ریشه‌ها بررسی می‌کنند (Couvreur et al., 2012). از جمله مدل‌های ماکروسکوپی در شرایط تنش آبی می‌توان به مدل فدس^۱ و همکاران (۱۹۷۸)، مدل ون‌گنوختن^۲ (۱۹۸۷)، دایرکسن^۳ و همکاران (۱۹۹۳) و مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) اشاره کرد. تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته از آن جمله می‌توان به تحقیق حسینی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد که به ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری پرداختند و پنج تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی ون‌گنوختن (۱۹۸۷) (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر)، دایرکسن و آگوستیجن^۴ (۱۹۸۸)، وان‌دام^۵ و همکاران (۱۹۹۷) و همایی (۱۹۹۹) را با استفاده از داده‌های کشت گلدانی گیاه فلفل دلمه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. آزمایش با سه سطح شوری ۲/۵، ۴/۵، ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و سه سطح تخلیه رطوبتی ۵۰، ۶۰، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی انجام گردید. نتایج نشان داد که از میان مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل دایرکسن و آگوستیجن (۱۹۸۸) در سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نزدیکی بیشتری با نتایج اندازه‌گیری‌ها داشت. در سطح شوری بالاتر (۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، مدل همایی (۱۹۹۹) و مدل وان‌دام و همکاران (۱۹۹۷) برازش بهتری را با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان دادند. سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۴) برای ارزیابی برخی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش آبی روی گیاه ریحان، آزمایشی با چهار سطح مختلف آب آبیاری شامل ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی با سه تکرار انجام دادند. نتایج نشان داد در برآورد نسبی روزانه، مدل غیرخطی همایی و همکاران (۲۰۰۲) برازش بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها ارائه داد. همچنین مدل خطی فدس و همکاران (۱۹۸۷) و مدل‌های غیرخطی ون‌گنوختن (۱۹۸۷) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) در برآورد میزان جذب نسبی تجمعی طی فصل رشد دقت

- 1-Feddes
- 2-Van Genuchten
- 3-Dirksen
- 4- Augustijn
- 5- Van Dam

- 6- Cai
- 7- Jarvis
- 8- couvreur

شرایط تنش آبی است (Van Genuchten., 1987). مهمترین ایراد مدل سیگموئیدی ون گنوختن این است که براساس این مدل بیشترین مقدار جذب آب در رطوبت اشباع اتفاق می افتد. بدیهی است که این مدل به صورت فوق برای رطوبت های نزدیک به رطوبت اشباع فاقد اعتبار است.

ج) مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)

دایرکسن و همکاران معادله ون گنوختن را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش جذب (h^*) تعدیل و آن را به صورت رابطه زیر ارائه کردند:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{50}}\right)^p} \quad (۸)$$

نتایج تحقیقات پژوهشگران مختلف نشان می دهد پاسخ گیاهان به تنش آبی در پتانسیل ماتریک های کم خطی نیست. از طرف دیگر مدل دایرکسن و همکاران در پتانسیل ماتریک های نزدیک به صفر مقدار $\alpha(h)$ را زیاد برآورد می کند (Dirksen et al., 1993).

د) مدل همایی (۲۰۰۲)

همایی و همکاران برای برآورد تنش آبی رابطه (۹) را ارائه کردند:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + (1 - \alpha_0) / \alpha_0 \left[\frac{h^* - h}{h^* - h_{max}} \right]^p} \quad (۹)$$

کاهش مقدار α در تنش های آبی بیشتر از h^* ادامه می یابد تا به یک تنش آبی معین (h_{max}) برسد (Homae et al., 2002b). در پتانسیل های ماتریک بیشتر از h_{max} افزایش تنش آبی نمی تواند با همان روند قبلی در مقدار α کاهش ایجاد کند. این واقعیت نشان می دهد در $h > h_{max}$ گیاه هنوز زنده است و در سطحی بسیار اندک به فعالیت های حیاتی خود ادامه می دهد. سپس مقدار P با توجه به h_{max} به صورت رابطه (۱۰) تعریف شد (Homae et al., 2002a).

$$P = \frac{h_{max}}{h_{max} - h^*} \quad (۱۰)$$

مواد و روش ها

مشخصات محل مورد مطالعه

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی با ارتفاع حدود ۱۸ متر از سطح دریا انجام شد. در اواسط تیرماه سال ۹۷ زمین مزرعه با آب رودخانه کارون که متوسط شوری آن ۲/۹۳ دسی زیمنس بر متر بود سه مرتبه آبشویی شد. خاک مورد استفاده بافت لومی رسی و شامل ۲۹ درصد رس، ۳۶ درصد سیلت، ۳۵ درصد شن و همچنین شوری خاک کرت ها پس از آبشویی ۲ دسی زیمنس بر متر رسید، تا خاک مناسب برای رشد گیاه ذرت فراهم گردد.

می باشد. تا کنون برای گیاه ذرت در شرایط مزرعه ای کار نشده و تحقیقات انجام گرفته در حد گلخانه ای بوده و این پژوهش، اولین تحقیقی است که در سطح مزرعه انجام گرفته است.

تئوری مدل های استفاده شده

الف) مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸)

مدلی که فدس و همکاران در شرایط تنش آبی برای گیاهان ارائه کردند به صورت زیر است:

$$S = \alpha(h) \times S_{max} \quad (۲)$$

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

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

$\alpha(h)$: تابع بدون بعد پاسخ به تنش آبی است، S : میزان جذب آب گیاه $[T^{-1}]$ ، S_{max} : حداکثر میزان جذب آب گیاه $[T^{-1}]$ ، T_p : تعرق پتانسیل $[L]$ و Z_r : عمق توسعه ریشه $[L]$ می باشند، همچنین اعلام کردند ضریب تابع کاهش تنش آبی به صورت یک تابع خطی تکه ای است که با چهار مقدار مشخص پتانسیل ماتریک پارامتری می شود (رابطه ۵):

$$\alpha(h) = \begin{cases} \frac{h - h_4}{h_3 - h_4}, & h_3 > h > h_4 \\ 1, & h_2 \geq h \geq h_3 \\ \frac{h - h_1}{h_2 - h_1}, & h_1 > h > h_2 \\ 0, & h \leq h_4 \text{ or } h \geq h_1 \end{cases} \quad (۵)$$

مقدار جذب آب هنگامی که $h_2 \geq h \geq h_3$ باشد بیشینه و هنگامی که $h > h_2$ یا $h < h_3$ باشد به صورت خطی کاهش می یابد. همچنین، زمانی که $h \leq h_4$ یا $h \geq h_1$ باشد مقدار جذب صفر می شود. مقدار h_3 تابعی از نیاز تبخیری است (Feddes et al., 1978).

ب) مدل ون گنوختن (۱۹۸۷)

یکی دیگر از مدل های معروف، که برای تعیین ضریب کاهش جذب در هنگام تنش آبی وجود دارد، تابع کاهش سیگموئیدی^۱ شکلی است که ون گنوختن پیشنهاد کرده است رابطه (۶):

$$\alpha(h) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^p} \quad (۶)$$

h_{50} : پتانسیل ماتریکی است که به ازای آن عملکرد ۵۰ درصد کاهش می یابد و معمولاً از طریق آزمون و خطا به دست می آید و P یک ضریب تجربی است که معمولاً مقدار آن ۳ در نظر گرفته می شود. ضریب تجربی P را می توان به کمک رابطه (۷) محاسبه کرد:

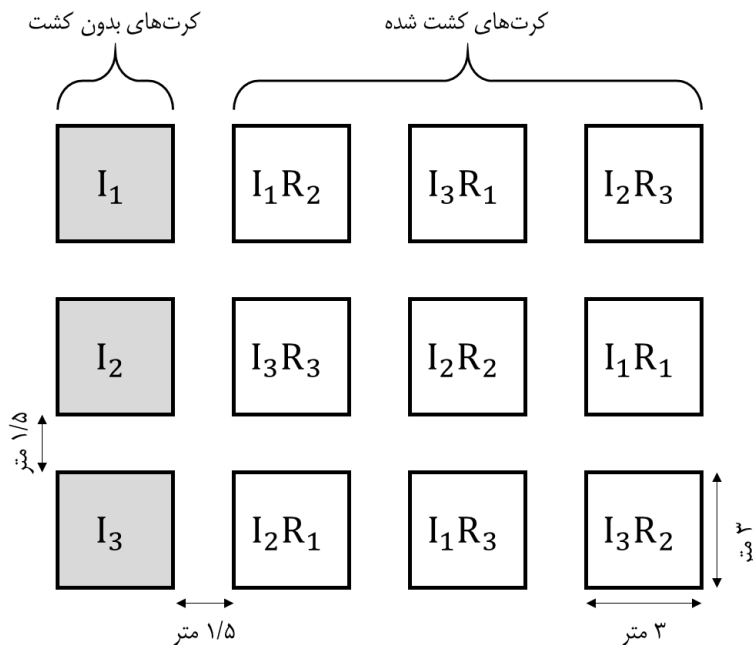
$$P = \frac{h_{50}}{h_{50} - h^*} \quad (۷)$$

h^* : پتانسیل ماتریک در حد آستانه کاهش عملکرد محصول در

1 - Sigmoid function

برای این کار از روش وزنی استفاده گردید. رطوبت در کرت‌های کشت شده برای محاسبه تبخیر و تعرق و رطوبت در کرت‌های بدون کشت برای محاسبه تبخیر از سطح خاک مورد استفاده قرار گرفت و همچنین میزان تعرق، از تفاضل تبخیر و تعرق (رطوبت در کرت‌های کشت شده) از تبخیر (رطوبت در کرت‌های بدون کشت) به دست آمد. در نهایت با تقسیم تعرق روزانه تیمارهای ۶۰ درصد و ۸۰ درصد بر تعرق روزانه تیمار شاهد (۱۰۰ درصد آبیاری) میزان تعرق نسبی یا ضریب کاهش جذب واقعی $\alpha(h)$ بدست آمد. که برای بررسی مدل‌های جذب آب در شرایط تنش خشکی گیاه ذرت مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید. زمان کاشت مرداد ماه ۱۳۹۷ و کشت به صورت مستقیم درون کرت‌هایی به ابعاد ۳*۳ متر مربع در هر کرت ۴ جویچه که فواصل جویچه‌ها از همدیگر ۰/۷۵ متر و فاصله کرت‌ها از همدیگر ۱/۵ متر بود. رقم مورد استفاده ۷۰۴ و دوره رشد ۱۲۰ روز می‌باشد. اعمال تیمارها پس از چهاربرگی شدن انجام شد. آزمایش با سه تیمار آبی ($I_1=100\%$, $I_2=80\%$ و $I_3=60\%$ نیاز آبی گیاه) در سه تکرار و در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در مجموع تعداد کرت‌ها ۱۲ کرت، که ۳ کرت آن بدون کشت برای محاسبه تبخیر از سطح خاک بود (شکل ۱). به منظور تعیین ضریب کاهش جذب، هر روز رطوبت خاک منطقه ریشه در کرت‌های کشت شده و کرت‌های بدون کشت اندازه‌گیری شد که



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایشی

جدول ۱- مشخصات شکل ۱

تکرار اول	R_1	۱۰۰ درصد نیاز آبی	I_1
تکرار دوم	R_2	۸۰ درصد نیاز آبی	I_2
تکرار سوم	R_3	۶۰ درصد نیاز آبی	I_3

نظر گرفتن ضرایب ۰/۶ و ۰/۸، برای دو تیمار دیگر (۶۰ درصد و ۸۰ درصد) لحاظ گردید.

برای برنامه‌ریزی و تعیین زمان آبیاری، با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش خشکی، از پارامتر رطوبت خاک استفاده شد. بدین منظور، رطوبت خاک منطقه ریشه به صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شد. بسته

آبیاری به روش جویچه‌ای و به کمک کنتور حجمی دقیق انجام شد و در طول فصل رشد، ۱۴ بار آبیاری صورت گرفت. حجم آب مصرفی برای تیمارهای I_1 , I_2 , I_3 به ترتیب ۵۸۰۰، ۵۰۰۰ و ۴۲۰۰ مترمکعب در هکتار بدست آمد، که این مقادیر با توجه به نیاز آبی گیاه در هر مرحله از رشد گیاه برای تیمار شاهد (نیاز آبی ۱۰۰ درصد) و در

آنیون‌ها میلی اکوی والان بر لیتر و واحد کل مواد جامد محلول (TDS) برابر میلی گرم بر لیتر می‌باشد.

مقدار حجم آب مصرفی و زمان آبیاری تیمارها محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. بدیهی است در ابتدای فصل رشد میزان آب مصرفی کمتر بوده و همزمان با رشد گیاه و توسعه حجم و عمق ریشه نیاز آبی افزایش یافته است. طبق جدول ۳ مقدار آب مصرفی در کل طول دوره رشد، برای تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۵۸۰۰، ۵۰۰۰ و ۴۲۰۰ متر مکعب در هکتار به دست آمد. از تاریخ ۹۷/۶/۲۴ اعمال تیمار انجام شد.

منحنی رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و وارد کردن درصد رطوبت حجمی خاک به ازای نقاط پتانسیل ماتریک مهم، در نرم افزار RETC حاصل گردید (شکل ۲).

به منظور بررسی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش خشکی، از تعلق نسبی (ضریب کاهش جذب آب واقعی) استفاده گردید. شکل ۳ الف نمودار تعلق نسبی $\alpha(h) = (Ta/Tp)$ در برابر رطوبت حجمی روزانه، مربوط به تیمارهای تحت تنش، از زمان اعمال تیمار تا پایان آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳ الف) با برآزش خطی بر داده‌ها شیب خط از رطوبت حجمی ۲۲ درصد کاهش پیدا می‌کند، همچنین با داشتن درصد رطوبت حجمی برای تیمارها و با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک، میزان پتانسیل ماتریک متناظر با رطوبت حجمی برای تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی از طریق درون‌یابی تعیین شد. بنابراین با داشتن مقادیر ضریب کاهش جذب آب (تعلق نسبی) و پتانسیل ماتریک برای تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، می‌توان نمودار ضریب کاهش جذب آب را تحت تنش آبی رسم نمود و توابع کاهش جذب آب را براساس آن‌ها ارزیابی و مقایسه کرد. شکل (۳ ب)، نشان می‌دهد که رابطه غیر خطی بین مقادیر تعلق نسبی (Ta/Tp) اندازه‌گیری شده و قدر مطلق پتانسیل ماتریک وجود دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین پراکنش داده‌ها در محدوده $4000 < |h| < 9500$ سانتی‌متر قرار گرفته است. حد آستانه h (جایی که قدر مطلق پتانسیل ماتریک به یکباره کاهش یافته است)، حدود ۱۰۰۰- سانتی‌متر است.

با توجه به شکل (۱ الف و ب)، پارامترهای لازم برای محاسبه هر چهار مدل مورد استفاده تحت شرایط تنش کم‌آبی تخمین و چندین مقدار برای هر کدام از پارامترها پیشنهاد گردید به صورتی که برای مدل فلدس و همکاران (۱۹۷۸) پنج مدل تحت عنوان فلدس و همکاران (۱۹۸۷) (a, b, c, d, e) ارائه شد و برای مدل ون گنوختن (۱۹۸۷) شش مدل، برای مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) شش مدل و برای مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) هفت مدل ارائه شد که با استفاده از شاخص‌های آماری R^2 ، NMSE، RMSE و MRE بهترین مدل انتخاب شد. در این تحقیق به دلیل تعداد زیاد مدل‌ها

به عمق ریشه در طول مراحل مختلف رشد گیاه ذرت، نمونه برداری در اعماق ۲۰-، ۴۰-، ۶۰-، ۴۰- سانتی‌متر و در فاصله ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری گیاه با استفاده از آگر صورت گرفت و زمانی که میانگین رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز برای ذرت (۵۰ درصد) رسید، با معیار تامین نیاز آبی گیاه به میزان ۱۰۰ درصد، اقدام به آبیاری بعدی گردید. برای اعمال رژیم‌های مختلف آب، براساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش خشکی و اعمال ضریب هر تیمار، از رابطه زیر استفاده شد:

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times D_{rz} \times f \quad (11)$$

در معادله فوق SMD: کمبود رطوبتی خاک (cm)، θ_{fc} : درصد رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی، θ_i : درصد رطوبت حجمی موجود در خاک، D_{rz} : عمق توسعه ریشه (cm) و f : ضریب هر تیمار (%) می‌باشد.

با محاسبه کمبود رطوبتی خاک (SMD) طبق رابطه (۱۱) و ضرب در مساحت کرت‌ها، حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی تعیین گردید و همانطور که گفته شد، با ضرب در ضرایب ۰/۶ و ۰/۸ حجم آب آبیاری برای سه سطح ۶۰ و ۸۰ درصد نیز محاسبه شد. تا قبل از اعمال تیمار، آبیاری تمام کرت‌ها به طور کامل و براساس نیاز آبی ۱۰۰ درصد انجام شد، و پس از چهار برگی شدن اعمال تیمار صورت گرفت. برای محاسبه حجم آبیاری از رابطه (۱۲) استفاده می‌شد:

$$v_{gi} = \frac{SMD \times A}{Ea} \quad (12)$$

که v_{gi} : حجم آب آبیاری، A: مساحت کرت‌ها و Ea : راندمان کاربرد است که در این تحقیق با توجه به شرایط مزرعه و کرت‌ها، ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک، ابتدا منحنی مشخصه رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و نرم‌افزار RETC^۱ تعیین و سپس با جایگزینی مقادیر رطوبت‌های روزانه اندازه‌گیری شده در منحنی مشخصه رطوبتی خاک قدرمطلق پتانسیل ماتریک تعیین شد. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق نرم‌افزار RETC و مجموعه آفیس بود و برای ارزیابی مدل‌های مورد استفاده از چهار شاخص آماری ضریب ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، نرمال میانگین مربعات خطای نرمال شده (NMSE) و میانگین درصد خطای نسبی (MRE) استفاده گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات آب آبیاری مزرعه در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول واحد هدایت الکتریکی دسی‌زیمنس بر متر، واحد کاتیون‌ها و

فقط بهترین مدل‌های جذب آب ارائه می‌شود.

مدل در جدول ۴ ارائه شده است. به عنوان مثال در معادله فدس و همکاران (۱۹۷۸)، مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸) با در نظر گرفتن h_3 برابر با ۱۰۰۰- سانتی متر و h_4 برابر با ۲۴۰۰۰- سانتی متر، به عنوان بهترین پارامترهای مدل شناخته شدند و در جدول ۵ نتایج بهترین مدل‌های جذب آب تحت تیمارهای I_2 و I_3 ارائه شده است.

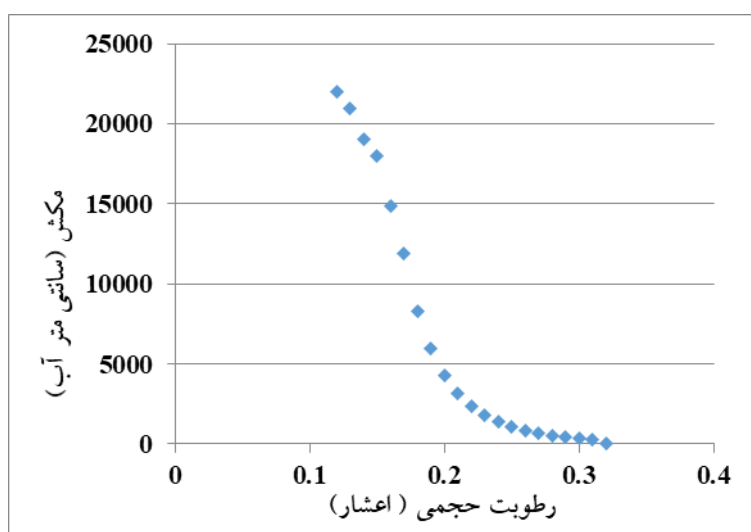
نتایج بهترین مدل‌های جذب آب تحت تیمارهای I_2 و I_3
با توجه به نتایج دریافتی از بررسی داده‌های آزمایشی و مدل‌های پیشنهاد شده، مقادیر مربوط به پارامترهای بهترین برازش، برای هر

جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری

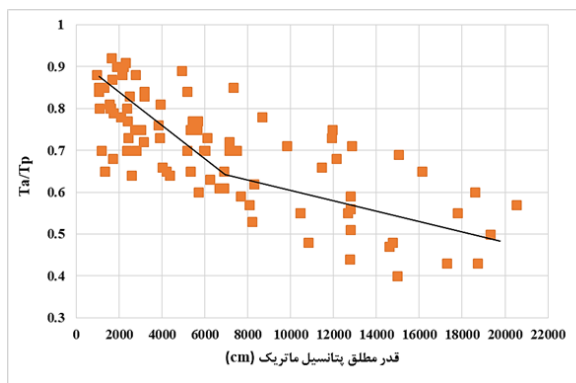
SAR	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	TDS	pH	EC (dS/m)
۸/۲۵	۳/۸۱	۱/۱۴	۸/۵۰	۲۰/۰۷	۵/۰۱	۱۸/۲۸	۵/۰۶	۱۸۹۵/۸۰	۸/۱۴	۲/۹۳

جدول ۳- میزان حجم و زمان آبیاری تیمارها

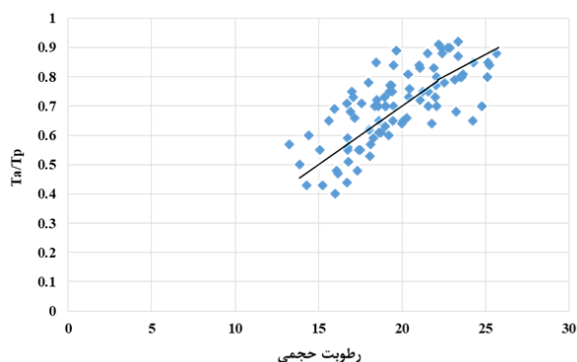
حجم آب آبیاری (لیتر)			زمان آبیاری
%۶۰	%۸۰	%۱۰۰	
۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۹۷/۵/۲۲
۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۹۷/۵/۲۶
۲۷۸	۲۷۸	۲۷۸	۹۷/۵/۳۱
۲۷۸	۲۷۸	۲۷۸	۹۷/۶/۵
۳۳۳	۳۳۳	۳۳۳	۹۷/۶/۱۱
۳۵۶	۳۵۶	۳۵۶	۹۷/۶/۱۸
۲۵۶	۳۴۴	۴۲۲	۹۷/۶/۲۴
۲۶۷	۳۵۶	۴۴۴	۹۷/۶/۳۰
۲۶۷	۳۵۶	۴۴۴	۹۷/۷/۴
۳۳۳	۴۴۴	۵۵۶	۹۷/۷/۹
۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۹۷/۷/۱۴
۳۶۷	۴۸۹	۶۱۱	۹۷/۷/۲۱
۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۹۷/۷/۲۸
۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۹۷/۸/۱۴
۲۳۹۰	۳۱۸۹	۳۹۷۷	کل آب مصرفی بعد از اعمال تیمار (لیتر)
۴۲۰۰	۵۰۰۰	۵۸۰۰	کل آب مصرفی بعد از اعمال تیمار (متر مکعب در هکتار)



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبتی خاک



ب



الف

شکل ۳- الف- تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر رطوبت حجمی روزانه مربوط به تیمارهای تحت تنش ب- تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر قدر مطلق پتانسیل ماتریک مربوط به تیمارهای تحت تنش

جدول ۴- بهترین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمارهای I_2 و I_3

مدل‌ها	a_0	p	h_{max} (cm)	h_{50} (cm)	h_4 (cm)	h_3 or h (cm)
فدس و همکاران (۱۹۷۸) b	...	...	...	...	-۲۴۰۰۰	-۱۰۰۰
ون گنوختن (۱۹۸۷) a	...	۱/۰۱	...	-۱۵۰۰۰	...	...
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) d	...	۱/۱	...	-۱۳۰۰۰	...	-۱۵۰۰
همایی و همکاران (۲۰۰۲) d	۰/۵۳	۱/۵	-۱۲۰۰۰	...	...	-۸۰۰

جدول ۵- بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمارهای I_2 و I_3

مدل‌ها	MRE	RMSE(mm)	NMSE	R^2	میانگین رتبه	رتبه نهایی
فدس و همکاران (۱۹۷۸) b	(۴) ۲۰/۴۲	(۴) ۰/۱۶	(۴) ۱/۶۲	(۲) ۰/۵۶	۳/۵	۴
ون گنوختن (۱۹۸۷) a	(۱) ۱۲/۲۶	(۱) ۰/۱۰	(۱) ۰/۶۳	(۱) ۰/۵۸	۱	۱
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) d	(۳) ۱۵/۸۶	(۳) ۰/۱۳	(۳) ۱/۰۷	(۱) ۰/۵۸	۲/۵	۳
همایی و همکاران (۲۰۰۲) d	(۲) ۱۴/۲۳	(۲) ۰/۱۲	(۲) ۰/۹۲	(۱) ۰/۵۸	۱/۷۵	۲

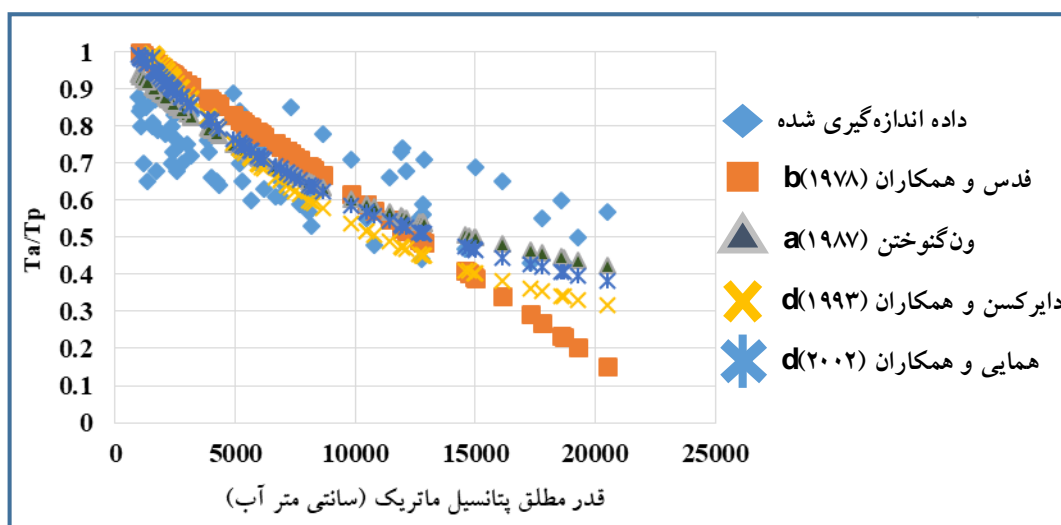
نوع خاک، نوع گیاه، شرایط کشت و نیاز آبی گیاه دانست. نتایج تعیین بهترین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های کاهش جذب آب تحت تنش خشکی حاصل از پژوهش همایی (۱۹۹۹) برای گیاه یونجه، سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۴) برای گیاه ریحان، الهی کیا (۱۳۹۶) برای گیاه کاهو پیچ اهوازی و ذرتی‌پور (۱۳۹۷) برای گیاه کاهو در جدول (۶) ارائه شده است.

ارائه بهترین مدل‌های جذب آب تحت تیمار I_2

پارامترهای که برای هر مدل، در تیمارهای I_2 و I_3 در جدول ۴ استفاده شده است، برای تیمار I_2 هم اعمال می‌شود. در جدول ۷ شاخص‌های آماری مربوط به بهترین مدل‌های جذب آب در تیمار I_2 ارائه شده است.

با توجه به جدول ۵ مدل ون گنوختن (۱۹۸۷) با مقدار RMSE, R^2 و MRE به ترتیب برابر ۰/۵۸، ۰/۶۳، ۰/۱۰ میلی‌متر و ۱۲/۲۶ به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. همانطور که در شکل (۴) برآزش بهترین مدل‌های شبیه‌سازی شده جذب آب در شرایط تنش آبی مشاهده می‌شود، مدل ون گنوختن (۱۹۸۷) با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی روزانه در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک، بر داده‌های ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بهترین برآزش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته است.

مقادیر در نظر گرفته شده در این تحقیق برای h_3 یا h^* -۸۰۰ سانتی متر تا -۲۰۰۰ سانتی متر می‌باشند. همانطور که همایی، مقدار h_3 یا h^* را -۸۰۰ و -۱۰۰۰ سانتی متر برای گیاه یونجه در نظر گرفت و بنا به گفته همایی، هر دو پارامتر h^* و h_{50} وابسته به خصوصیات خاک هستند (Homaei., 1999). علت اختلاف بین کلیه مقادیر در نظر گرفته شده توسط همایی و تحقیق حاضر را می‌توان تفاوت در



شکل ۴- برازش غیر خطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده (Ta/Tp) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک |h| برای بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمارهای I₂ و I₃

جدول ۶- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر کارهای مشابه

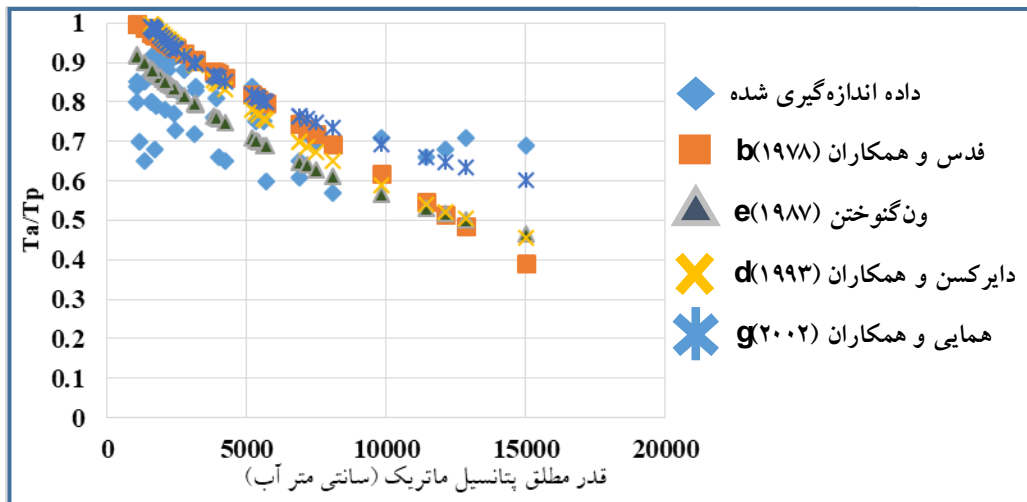
معادله	h_3 or h (cm)	h_4 (cm)	h_{50} (cm)	h_{max} (cm)	p	a_0
فدس و همکاران (۱۹۷۸)	-۸۰۰	-۳۵۰۰	....	....	....	....
ون گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)	....	....	-۱۸۰۰	....	۱/۱۵	....
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)	-۸۰۰	....	-۱۶۰۰	....	۱/۲۵	....
همایی (۱۹۹۹)	-۱۰۰۰	....	....	-۷۰۰۰	۱/۱۵	۰/۱۷
فدس و همکاران (۱۹۷۸)	-۵۰۰	-۳۱۸۴	....	....	....	....
ون گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)	....	....	-۱۸۴۵	....	۲/۴	....
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)	-۵۰۰	....	-۱۸۴۵	....	۲/۴	....
همایی (۱۹۹۹)	-۵۰۰	....	....	-۳۶۰۰	۱/۳۵	۰/۲۴
فدس و همکاران (۱۹۷۸)	-۵۰۰	-۳۵۰۰	....	....	....	....
ون گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)	-۷۵۰	....	-۲۰۰۰	....	۱/۶	....
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)	-۵۰۰	....	-۲۰۰۰	....	۱/۱۵	....
همایی (۱۹۹۹)	-۵۰۰	....	....	-۸۰۰۰	۰/۶۲	۰/۴۶
فدس و همکاران (۱۹۷۸)	-۱۰۰۰	-۱۷۰۰۰	....	....	....	....
ون گنوختن و همکاران (۱۹۸۷)	....	....	-۱۲۰۰۰	....	۰/۹	....
دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳)	-۸۰۰	....	-۱۰۰۰۰	....	۱/۰۸	....
همایی (۱۹۹۹)	-۸۰۰	....	....	-۱۳۰۰۰	۰/۵۶	۰/۵۳

جدول ۷- بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمار I₂

رتبه نهایی	میانگین رتبه	R ²	NMSE	RMSE(mm)	MRE	مدل‌ها
۴	۴	۰/۳۱ (۴)	۲/۸ (۴)	۰/۱۵ (۴)	۱۸/۰۴ (۴)	فدس و همکاران (۱۹۷۸) b
۱	۱/۵	۰/۳۵ (۳)	۱/۲۵ (۱)	۰/۱۰ (۱)	۱۱/۵۳ (۱)	ون گنوختن (۱۹۸۷) e
۳	۲/۵	۰/۴۴ (۱)	۲/۱۵ (۳)	۰/۱۴ (۳)	۱۵/۲۸ (۳)	دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) d
۲	۲	۰/۴۳ (۲)	۱/۸۲ (۲)	۰/۱۳ (۲)	۱۴/۴۵ (۲)	همایی و همکاران (۲۰۰۲) g

شکل ۵ برآزش بهترین مدل‌های شبیه‌سازی شده جذب آب در شرایط تنش آبی را با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی روزانه در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک، بر داده‌های ۸۰ درصد نیاز آبی را نشان می‌دهد که مدل ون‌گنوختن e(۱۹۸۷) بهترین برآزش را بر داده‌های اندازه‌گیری شده دارد.

با توجه به جدول ۷ مدل فدس و همکاران b(۱۹۷۸) عملکرد ضعیفی در شبیه‌سازی داشته و مدل‌های دایرکسن و همکاران d(۱۹۹۳) و همایی و همکاران g(۲۰۰۲) به ترتیب مقدار R^2 بالاتری نسبت به دو مدل دیگر داشته‌اند. اما مدل ون‌گنوختن e(۱۹۸۷) شاخص‌های آماری RMSE, NMSE و MRE کمتری به ترتیب به مقدار ۰/۱۰، ۱/۲۵، ۱۱/۵۳ نسبت به سایر مدل‌ها دارد. در نهایت مدل ون‌گنوختن e(۱۹۸۷) به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد.



شکل ۵- برآزش غیر خطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده (Ta/Tp) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک |h| برای بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمار I₂

آب تحت تیمار I₃ ارائه شده است.

ارائه بهترین مدل‌های جذب آب تحت تیمار I₃

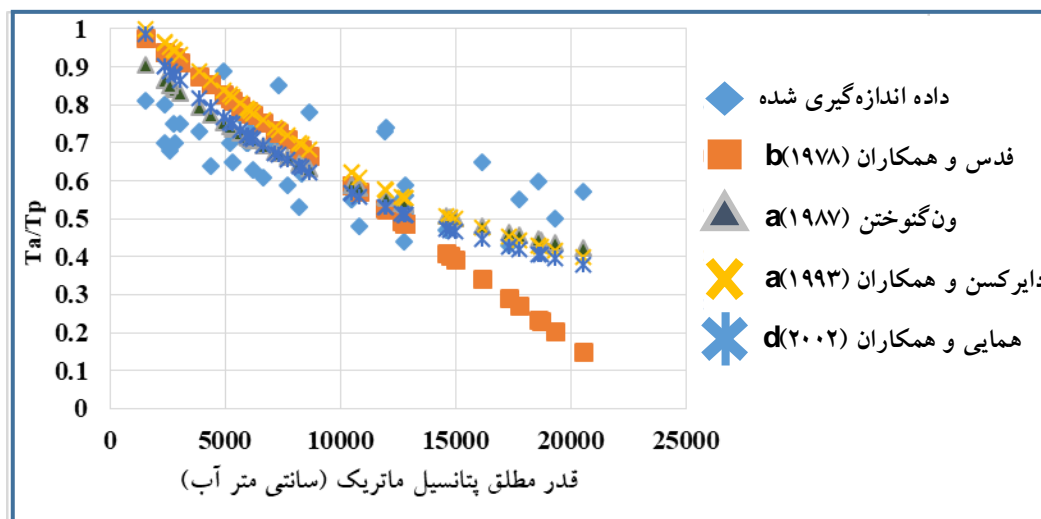
در جدول ۸ شاخص‌های آماری مربوط به بهترین مدل‌های جذب

جدول ۸- بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمار I₃

رتبه نهایی	میانگین رتبه	R ²	NMSE	RMSE(mm)	MRE	مدل‌ها
۴	۳/۵	۰/۵۰ (۲)	۱/۹۸ (۴)	۰/۱۷ (۴)	۲۲/۹۶ (۴)	فدس و همکاران b(۱۹۷۸)
۱	۱	۰/۵۱ (۱)	۰/۶۸ (۱)	۰/۱۰ (۱)	۱۳/۱۶ (۱)	ون‌گنوختن a(۱۹۸۷)
۳	۲/۵	۰/۵۱ (۱)	۱/۱۵ (۳)	۰/۱۳ (۳)	۱۶/۲۴ (۳)	دایرکسن و همکاران a(۱۹۹۳)
۲	۱/۷۵	۰/۵۱ (۱)	۰/۹۲ (۲)	۰/۱۲ (۲)	۱۴/۳۹ (۲)	همایی و همکاران d(۲۰۰۲)

مدل‌ها دارد. در نهایت مدل ون‌گنوختن a(۱۹۸۷) به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌شود. شکل ۶ برآزش بهترین مدل‌های شبیه‌سازی شده جذب آب در شرایط تنش آبی را با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی روزانه در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک، بر تیمار I₃ را نشان می‌دهد که مدل ون‌گنوختن a(۱۹۸۷) بهترین برآزش را روی داده‌های اندازه‌گیری شده داشته است.

مطابق آنچه که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، مدل فدس و همکاران b(۱۹۷۸) عملکرد ضعیفی در شبیه‌سازی داشته است. مقدار R^2 مدل‌های ون‌گنوختن a(۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران a(۱۹۹۳) و همایی و همکاران d(۲۰۰۲) برابر ۰/۵۱ است. اما مدل ون‌گنوختن a(۱۹۸۷) شاخص‌های آماری RMSE, NMSE و MRE کمتری به ترتیب به مقدار ۰/۱۰، ۱/۲۵، ۱۱/۵۳ نسبت به سایر



شکل ۶- برازش غیر خطی بر داده‌های تعرق نسبی اندازه‌گیری شده (Ta/Tp) در مقابل قدر مطلق پتانسیل ماتریک |h| برای بهترین مدل‌های کاهش جذب آب تحت تیمار I₃

جدول ۹- بهترین مدل‌های کاهش جذب آب در هر سه حالت

حالت	رتبه نهایی	رتبه میانگین	R ²	NMSE	RMSE(mm)	MRE	مدل‌ها
I ₂ و I ₃	۴	۳/۵	۰/۵۶ (۲)	۱/۶۲ (۴)	-۰/۱۶ (۴)	۲۰/۴۲ (۴)	فدس و همکاران b(۱۹۷۸)
	۱	۱	۰/۵۸ (۱)	۰/۶۳ (۱)	-۰/۱۰ (۱)	۱۲/۲۶ (۱)	ون‌گنوختن a(۱۹۸۷)
	۳	۲/۵	۰/۵۸ (۱)	۱/۰۷ (۳)	-۰/۱۳ (۳)	۱۵/ ۸۶(۳)	دایرکسن و همکاران d(۱۹۹۳)
I ₂	۲	۱/۷۵	۰/۵۸ (۱)	۰/۹۲ (۲)	-۰/۱۲ (۲)	۱۴/۲۳ (۲)	همایی و همکاران d(۲۰۰۲)
	۴	۴	۰/۳۱ (۴)	۲/۸۰ (۴)	-۰/۱۵ (۴)	۱۸/۰۴ (۴)	فدس و همکاران b(۱۹۷۸)
	۱	۱/۵	۰/۳۵ (۳)	۱/۲۵ (۱)	-۰/۱۰ (۱)	۱۱/۵۳ (۱)	ون‌گنوختن e(۱۹۸۷)
	۳	۲/۵	۰/۴۴ (۱)	۲/۱۵ (۳)	-۰/۱۴ (۳)	۱۵/۲۸ (۳)	دایرکسن و همکاران d(۱۹۹۳)
I ₃	۲	۲	۰/۴۳ (۲)	۱/۸۲ (۲)	-۰/۱۳ (۲)	۱۴/۴۵ (۲)	همایی و همکاران g(۲۰۰۲)
	۴	۳/۵	۰/۵۰ (۲)	۱/۹۸ (۴)	-۰/۱۷ (۴)	۲۲/۹۶ (۴)	فدس و همکاران b(۱۹۷۸)
	۱	۱	۰/۵۱ (۱)	۰/۶۸ (۱)	-۰/۱۰ (۱)	۱۳/۱۶ (۱)	ون‌گنوختن a(۱۹۸۷)
	۳	۲/۵	۰/۵۱(۱)	۱/۱۵ (۳)	-۰/۱۳ (۳)	۱۶/۲۴ (۳)	دایرکسن و همکاران a(۱۹۹۳)
	۲	۱/۷۵	۰/۵۱(۱)	۰/۹۲ (۲)	-۰/۱۲ (۲)	۱۴/۳۹ (۲)	همایی و همکاران d(۲۰۰۲)

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی چهار مدل کاهش جذب آب ماکروسکوپی فدس و همکاران (۱۹۷۸)، ون‌گنوختن (۱۹۸۷)، دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و همایی و همکاران (۲۰۰۲) به منظور تعیین مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی کاهش جذب آب توسط گیاه ذرت دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی انجام گرفت که تا کنون برای گیاه ذرت در شرایط مزرعه‌ای کار نشده است. ابتدا پارامترهای لازم برای محاسبه هر چهار مدل مورد استفاده تحت شرایط تنش کم‌آبی با توجه به نمودارهای تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر رطوبت حجمی روزانه و تعرق نسبی اندازه‌گیری شده در برابر قدر مطلق پتانسیل ماتریک تخمین و چندین مقدار برای هر کدام از پارامترها

در جدول ۹ مقایسه آماری نتایج حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده تعرق نسبی و داده‌های حاصل از بهترین مدل‌های مختلف کاهش جذب، در شرایط تنش آبی ارائه شده است. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از شکل‌های ۴ تا ۶ و جدول ۹ می‌توان پی برد که مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۷) با مقدار پارامترهای مشخص (p=1.01 و h₅₀=15000 (cm)) بهترین برازش را در هر سه حالت {I₂, I₃}، I₂، I₃ را دارد. بعد از آن مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲)، در رتبه دوم قرار می‌گیرد سپس مدل دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) و در نهایت مدل فدس و همکاران (۱۹۷۸) در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. ضمن اینکه در مکش‌های کوچکتر از ۱۰۰۰۰ سانتی متر مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) و دایرکسن و همکاران (۱۹۹۳) برازش بسیار خوب و نزدیکی نسبت به هم از خود نشان دادند.

- 2470.
- C Couvreur, V., Vanderborght, J. and Javaux, M. 2012. A simple three-dimensional macroscopic root water uptake model based on the hydraulic architecture approach. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16.8:2957-2971.
- Dirksen, C. and Augustijn, D.C.M. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. In *Agronomy Abstracts* (p. 182).
- Dirksen, C., Kool, J.B., Koorevaar, P. and Van Genuchten, M.T. 1993. HYSWASOR—simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In *Water flow and solute transport in soils*. 99-122. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Feddes, R.A., Kowalik, P. and Zarandy, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen. The Netherlands saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. *Agricultural Water Management*. 78 :122-127.
- Homaee, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002a. Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*. 57.2:89-109.
- Homaee, M., Feddes, R.A. and Dirksen, C. 2002b. Simulation of root water uptake: II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. *Agricultural water management*. 57.2:111-126.
- Homaee, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. *Homaee*.
- Kustas, W.P., Humes, K.S., Norman, J.M. and Moran, M.S. 1996. Single-and dual-source modeling of surface energy fluxes with radiometric surface temperature. *Journal of Applied Meteorology*. 35.1:110-121.
- 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 2.0; Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment (No. 71). DLO Winand Staring Centre.
- Van Genuchten, M.T. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone in Research Report. US Salinity Laboratory USDA-ARS, Riverside, CA.
- پیشنهاد گردید. نتایج حاصل از بررسی مدل‌های کاهش جذب آب تحت تنش آبی و تجزیه تحلیل آماری برای تیمارهای I_2 و I_3 ، مدل و گنوختن (۱۹۸۷) a با مقدار پارامترهای مشخص (cm) $h_{50}=15000$ و $p=1.01$ و شاخص‌های آماری $R^2=0.58$ و $RMSE=0.10$ ، برای تیمارهای I_2 ، مدل و گنوختن (۱۹۸۷) e با پارامترهای مشخص (cm) $h_{50}=15000$ و $p=1.01$ و شاخص‌های آماری معلوم $R^2=0.35$ و $RMSE=0.10$ ، برای تیمارهای I_3 ، مدل و گنوختن (۱۹۸۷) a با پارامترهای مشخص (cm) $h_{50}=15000$ و $p=1.01$ و شاخص‌های آماری معلوم $R^2=0.51$ و $RMSE=0.10$ نسبت به سایر مدل‌ها دقت بهتری داشته و بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق برای پیش‌بینی کاهش جذب آب توسط گیاه ذرت دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی اول مدل و گنوختن و همکاران (۱۹۸۷) و بعد از آن مدل همایی و همکاران (۲۰۰۲) پیشنهاد می‌شود.

منابع

الهی کیا، ه. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل‌های جذب در شرایط تنش آبی برای گیاه کاهو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

سرائی تبریزی، م.، همایی، م.، بابازاده، ح.، کاوه، ف.، و پارسی‌نژاد، م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی پاسخ گیاه ریحان به تنش آبی در سطوح متفاوت رطوبتی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۲۰۴۶: ۱۶۳-۱۷۱.

حسینی، ی.، بابازاده، ح.، و خاکپور عربلو، ب. ۱۳۹۴. ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه لفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۴۰۲۹: ۵۰۹-۵۲۳.

ذرتی‌پور، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط کاهو و بازار پسندی آن در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Azizian, A., Sepaskhah, AR. and Zand-Parsa, S. 2015. Modification of a Maize Simulation Model under Different Water, Nitrogen and Salinity Levels. *International Journal of Plant Production*. 9.4:609-632.

Cai, G., Vanderborght, J., Langensiepen, M., Schnepf, A., Hüging, H. and Vereecken, H. 2018. Root growth, water uptake, and sap flow of winter wheat in response to different soil water conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*. 22.4:2449-

Evaluation of Reduced Grain Water Absorption Models in Ahwaz Climatic Conditions

A. Shirmohammadi^{1*}, A. Soltani Mohammadi², S. Broumand Nasab³

Received: Feb.04, 2020

Accepted: Mar.28, 2020

Abstract

Plant water uptake under water stress conditions can be described quantitatively by some mathematical models. Water absorption models are useful tools for irrigation planning and optimal water management if they can provide accurate predictions of plant response to water stress. In general, two broad categories of water absorption modeling approaches, models are microscopic and macroscopic models. Microscopic models of water flow to the single root and macroscopic models of water harvesting by the whole root area. The purpose of this study was to evaluate some macroscopic models under water stress conditions. For this purpose, experiment with three irrigation treatments I_1 , I_2 , I_3 , 100, 80, 60% water requirement, respectively, in a completely randomized design with three replications on summer maize cultivar (KSC-704) in Ahwaz climatic conditions in summer 2018. Also treatments without cultivation were used to measure evaporation from the soil surface. To evaluate the models used (Fedes et al. 1978, van Genuchten 1987, Dierksen et al. 1993 and Homay 1999) from four statistical indices of coefficient of explanation (R^2), root mean square error (RMSE), normalized error (NMSE) and mean relative error percentage (MRE) were used. The results showed that for I_2 and I_3 treatments, Van Genuchten (1987) model with statistical indices ($R^2 = 0.58$, RMSE = 0.10), for I_2 treatments, Van Genuchten & Co (1987) model with Statistical analysis ($R^2 = 0.35$ and RMSE = 0.10) and for the I_3 treatment, van Genuchten's (1987) model with $R^2 = 0.51$ and RMSE = 0.10 compared to other models had the best fit with the measured data.

Keywords: Water stress, Water absorption reduction models, Corn, Ahwaz

1- Postgraduate of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

2- Associate Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

3- Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: arash.scu@gmail.com)