# بررسی میزان جذب آب ریشه گیاه نخود در شرایط کم آبیاری با استفاده از مدل‌های مختلف

هادی دهقان[۱]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۱۵

## چکیده

برآورد دقیق جذب آب ریشه برای مدیریت آبیاری و پیش‌بینی عملکرد محصول ضروری است. در این پژوهش، اثر کم-آبیاری بر میزان جذب آب در دو مدل کلان (مدل‌های فدس و ون گنوختن) و یک مدل خرد (ون لایر) با استفاده از داده‌های گلخانه‌ای نخود مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ سطح آبیاری (۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) انجام شد. از تیمار ۱۲۰ درصد نیاز آبی برای محاسبه جذب آب ریشه پتانسیل استفاده گردید. از تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی برای واسنجی مدل‌ها و از تیمارهای ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی برای صحت‌سنجی مدل‌ها بهره گرفته شد. پارامترهای هیدرولیکی خاک و جذب آب ریشه برای هر کدام از مدل‌ها با استفاده از روش GLUE برآورد گردید. نتایج مرحله واسنجی نشان داد مدل ون‌گنوختن به خوبی توانسته است جذب آب ریشه را شبیه‌سازی کند، به طوری که آماره‌های ضریب تبیین ($R^2$)، ضریب کارایی نش- ساتکلیف (N.S)، میانگین مجذور مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، کارایی مدل‌سازی (ME) و شاخص توافق (d) به ترتیب ۰/۹۳۵، ۰/۹۱، ۵/۵۱، ۰/۴۲، ۰/۹۲، ۰/۹۵ به دست آمد. مقادیر شاخص‌های مذکور در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۸۷۲، ۰/۸۲، ۱۱/۷۳، ۰/۶، ۰/۸۲، ۰/۹ محاسبه گردید. همچنین نتایج نشان داد مدل خرد ارائه شده توسط ون لایر پایین‌ترین عملکرد را داشت که به نظر می‌رسد به دلیل فرضیات ساده‌کننده (ثابت فرض کردن قطر ریشه و در نظر نگرفتن مقاومت ریشه) در این مدل باشد.

**کلمات کلیدی: ریشه، فدس، ، نخود، ون گنوختن، ون لایر**

[۱] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۳۹۴۹۶۲۲۷، Dehghan63.ha@gmail.com
(نویسنده مسئول)

## مقدمه

برای تأمین غذای جمعیت رو به رشد دنیا، نیاز آبیاری در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. در این شرایط استفاده از شیوه‌های مناسب مدیریت آب کشاورزی به منظور افزایش راندمان آبیاری و بهره‌وری محصول در هر دو شرایط کمی و کیفی آب آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی آزمایش‌های صحرائی برای تعیین و تحلیل مدیریت‌های مختلف آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد گیاه مفید بوده اما پرهزینه و زمان‌بر می‌باشند، در صورتی که مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند پس از واسنجی برای گزینه‌های مختلف آبیاری با هزینه کم و زمان کوتاه مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌های مختلف از معادلات متفاوتی برای پیش‌بینی رابطه آب مصرف شده و عملکرد گیاه استفاده می‌کنند. به عنوان مثال مدل شبیه‌سازی SWAP که یکی از قوی‌ترین مدل‌ها در زمینه پیش‌بینی حرکت آب در خاک، شوری خاک و همچنین عملکرد گیاه می‌باشد، از مدل Doorenbos and Kassam, (1986) به صورت زیر استفاده می‌کند:

$$1-\left(\frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}}\right)=K_{y,k}\left(\frac{1-T_{a,k}}{T_{p,k}}\right) \qquad (۱)$$

در معادله فوق $K_{y,k}$ فاکتور واکنش گیاه به کم‌آبیاری در مرحله رشد $k$، $T_{p,k}$ تعرق پتانسیل، $T_{a,k}$ تعرق واقعی در طول دوره $k$ام می‌باشند. بنابراین پیش‌بینی شدت‌های تعرق واقعی ابزار مهمی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاه می‌باشد. تعرق واقعی از مجموع جذب آب توسط ریشه در لایه‌های مختلف خاک محاسبه می‌گردد. در نتیجه تخمین مقدار آب جذب شده توسط ریشه گیاهان برای پیش‌بینی چگونگی پاسخ محصولات زراعی به کمیت و کیفیت آبیاری بسیار مهم است. جذب آب توسط ریشه همچنین عامل مهمی در چگونگی توزیع جریان آب و املاح در خاک، بویژه در شرایط غیراشباع به شمار می‌رود. مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب ریشه از آن جهت اهمیت می‌یابند که اگر این مدل‌ها بتوانند مقدار جریان آب به سمت ریشه را به درستی پیش‌بینی کنند، بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های صحرایی می‌توان زمان آبیاری برای حداکثر رشد را با استفاده از خصوصیات فیزیکی آب و خاک و پارامترهای مشخص گیاهی تعیین کرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

مدل‌های زیادی در دهه‌های اخیر با هدف رسیدن به یک معادله کمی مناسب برای جذب رطوبت خاک توسط گیاه توسعه داده شده است. این مدل‌ها به طور گسترده در هدف، ساختمان و سطح جزئیات متفاوت هستند. مطالعات Green et al. (2006) نشان می‌دهد مدل‌های ریاضی جذب آب توسط ریشه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول مدل‌هایی هستند که جذب آب ریشه براساس معادله بیلان آب تعیین می‌گردد (Rose and Stern ,1967). به دلیل سختی اندازه‌گیری اجزای معادله بیلان آب مخصوصاً فلاکس رو به پایین عمودی آب در عمق خاص، معادله بیلان آب را نمی‌توان به آسانی به کار برد. دسته دوم مدل‌ها براساس معادله جریان آب در خاک استوار می‌باشند، که در آنها ترم جذب آب ریشه به عنوان ترم تخلیه در سمت راست معادله ریچاردز قرار می‌گیرد. براساس معادله جریان غیراشباع که معادله ریچاردز نامیده می‌شود، دو روش مختلف می‌توان برای مدل‌سازی جذب رطوبت خاک توسط گیاه در نظر گرفت. روش اول مدل‌های میکروسکوپی که جریان آب را به طرف تک‌ریشه مورد رسیدگی قرار می‌دهند و دسته دوم مدل‌های ماکروسکوپی که برداشت آب به وسیله کل ناحیه ریشه را بدون در نظر گرفتن تک ریشه‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند. محققین زیادی برای وارد کردن ترم جذب به معادله عمومی جریان از روش‌های میکروسکوپی استفاده کرده‌اند. مهمترین این مدل‌ها عبارتند از: مدل Philip (1957)، مدل Gardner (1960)، مدل Cowan (1965). در مدل‌های خرد اندازه‌گیری پارمترهای گیاهی مانند طول و قطر ریشه و مکش ماتریک ریشه وقت‌گیر و سخت است. جدیدترین مدل در این زمینه توسط Van Lier et al. (2008) مطرح شده است. این مدل نسبت به مدل‌های ارائه شده قبلی پارامترهای تجربی کمتری نیاز دارد. عملکرد نتایج تابع کاهشی آنها در مقایسه با آزمایشات طولانی مدت از آلمان و کانادا رضایت‌بخش بود. با این وجود

تأیید تجربی بیشتر مدل تحت شرایط متفاوت موجودیت آب در منطقه ریشه لازم است.

مدل ماکروسکوپی اولین بار توسط Feddes et al.(1978) ارائه شد و یکی از زیرمدل‌هایی است که به طور گسترده در مدل‌های شبیه‌سازی جریان آب و املاح در خاک مانند SWAP به کار برده شده است. یکی دیگر از معروف‌ترین معادلات جذب آب در شرایط خشکی تابع کاهش سیگموئیدی شکل Van Genuchten (1987) است.

اثر تنش خشکی بر جذب آب توسط ریشه گیاه معمولاً با توابع کاهش تنش که به پتانسیل ماتریک خاک مربوط می‌شوند، مشخص می‌گردد. پارامترهای تابع کاهش تنش خشکی تحت تأثیر عوامل زیادی هستند و به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند. این پارامترها اغلب از طریق اندازه‌گیری شدت تعرق واقعی تحت شرایط خشکی، شدت تعرق پتانسیل تحت شرایط بهینه و متوسط پتانسیل ماتریک خاک در کل منطقه ریشه بهینه‌سازی می‌شوند (Homaee et al. 2002a; Fujimaki et al. 2008). در این زمینه مطالعاتی به شرح ذیل انجام شده است.

Homaee et al. (2002 a) ضرایب کاهشی را از آزمایشات ستونی در شرایط گلخانه‌ای با گیاه یونجه به دست آوردند. آنها مقادیر پارامترهای چهار تابع تنش خشکی را با برازش رابطه بین متوسط پتانسیل ماتریک در منطقه ریشه و تعرق نسبی تعیین کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد تابع کاهش خطی نمی‌تواند به طور رضایت‌بخش بر روی داده‌ها مطابقت داده شود. بیشتر توابع غیرخطی موجود تنها با نیمی از داده‌ها مطابقت داشتند، در حالی که بهترین توافق با تابع کاهشی غیرخطی دو آستانه‌ای نشان داده شد. Dudley and Shani (2003) مقادیر پارامترهای بهینه‌سازی شده را با آزمون و خطا نشان دادند و مدل-های جذب آب ریشه را ارزیابی کردند. ( Dudley and Shani (2003 با فرض اینکه عملکرد متناسب با تعرق تجمعی می‌باشد، از تفاوت بین مقادیر عملکرد پیش-بینی شده و اندازه‌گیری شده برای بهینه‌سازی استفاده کردند. Skaggs et al. (2006) نیز برای به دست آوردن پارامترهای توابع کاهشی گیاهان تحت شرایط شوری فرض کردند که عملکرد نسبی معادل ضرایب کاهشی می‌باشد. این فرض با توجه به اینکه تعرق گیاه از روزی به روز دیگر متغیر است، با وجود اینکه تعرق در برداشت یکسان باشد، باعث عدم قطعیت‌های اضافی در محاسبه پارامترهای جذب می‌گردد.

مطالعات متعددی مقادیر پارامترها را با حداقل کردن باقیمانده‌های بین رطوبت خاک مشاهداتی و پیش‌بینی شده تعیین کردند ( e.g., Rasiah et al., 1992; al., 2002; Vrugt et al., 2001; Hupet et Skaggs et al., 2006). آنها تابع توزیع ریشه را به شکل توابع ساده به کار بردند و مقدار پارامترهای بهینه‌سازی شده توابع را به دست آوردند. Zuo and Zhang (2002) یک روش معکوس را برای برآورد توزیع تراکم ریشه ارائه کردند و نتایج آنها نشان داد مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده تطابق خوبی داشت (Zuo et al. 2004). آنها همچنین از داده‌های رطوبت خاک در تابع هدف استفاده کردند. همانطور که توسط Hupet et al. (2002) و ( Zuo et al. (2004 بیان شده است استفاده از روش‌های معکوس به خطا در ویژگی‌های هیدرولیکی خاک حساس است. Zuo et al. (2004) گزارش کردند که عدم قطعیت در ویژگیهای هیدرولیکی خاک خطای قابل قبولی در جذب آب ریشه تخمین زده شده ایجاد می‌کند. با این حال خطاها در ویژگیهای هیدرولیکی خاک اغلب بزرگتر از مقادیری است که فرض می‌شوند. علاوه بر این، به جای استفاده مستقیم از تعرق پتانسیل، آنها از یک فرمول ساده هواشناسی برای برآورد تعرق پتانسیل استفاده کردند که می‌تواند منبع خطای دیگری باشد. Wang et al. (2012) پارامترهای تابع کاهش تنش شوری را با استفاده از رابطه بین جذب آب ریشه و مقدار نیتروژن ریشه در گیاه گندم زمستانه بهینه‌سازی کردند. Fujimaki et al. (2008) مقادیر پارامترهای جذب آب را تحت شرایط شوری با استفاده از مقادیر تعرق اندازه‌گیری شده بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان داد انحراف در پارامترهای بهینه‌سازی شده برای سه ستون خاک تحت کشت سویا کم بود و استفاده از داده‌های تعرق به جای

رطوبت خاک در تابع هدف قابل اطمینان می‌باشد. مشابه مطالعه قبلی Yanagawa and Fujimaki (2013) مقادیر این پارامترها را تحت هر دو تنش خشکی و شوری در گیاه کلزا به دست آوردند. نتایج نشان داد که کلزا بیشتر به تنش خشکی حساس است. با توجه به مطالب فوق بیشتر مطالعات در مدل‌های کلان جذب آب ریشه انجام شده و در مدل‌های خرد مطالعات اندکی صورت گرفته است. هدف از این مطالعه ارزیابی مدل‌های مختلف جهت برآورد میزان جذب آب ریشه در شرایط کم‌آبیاری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### روند انجام آزمایشات گلدانی

این مطالعه با هدف مدل‌سازی واکنش گیاه به تنش خشکی با استفاده از روش‌های خرد و کلان به اجرا درآمد. آزمایشات در سال ۱۳۹۳ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. با توجه به اینکه در بین خانواده حبوبات نخود بیشترین سطح زیر کشت را در استان خراسان رضوی دارا بودند، لذا این گیاه به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در شرایط متغیر پتانسیل ماتریک، آزمایشی به صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و پنج تیمار اجرا شد.

برای کاشت گیاه از گلدان‌های پلاستیکی به قطر بالای ۳۰ سانتی‌متر و قطر پایین ۲۴ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر استفاده شد. در هر گلدان یک گیاه کاشته شد. برای حذف تبخیر از سطح گلدان‌ها، سطح آنها با لایه‌ای از گراول پوشانده شد. نیازهای کودی گیاهان با توجه به نتایج آزمایش خاک و نیازهای کودی گیاه اعمال شدند. تا مرحله گلدهی هیچ‌گونه تنشی به گیاه وارد نشد و آبیاری با دور زمانی سه روز انجام شد. روز قبل از آبیاری همه گلدان‌ها وزن شدند و مقدار آب آبیاری با توجه به ظرفیت گلدان در نقطه زراعی (FC) تعیین گردید. برای تعیین ظرفیت زراعی ابتدا گلدان‌ها اشباع شدند. همچنین سطح گلدان با پلاستیک پوشانده شد. برای تعیین وزن گلدان‌ها در ظرفیت زراعی مزرعه گلدان‌ها اشباع شده و اجازه داده شد تا ۴۸ ساعت زهکشی انجام شود. بعد از این مدت گلدان‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یکصدم گرم وزن شده و این وزن به عنوان وزن گلدان‌ها در FC در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری از مرحله گلدهی تا میوه‌دهی اعمال شد. از این مرحله به بعد وزن همهٔ گلدان‌ها هر روز (در یک ساعت مشخص، حدود ساعت ۲۱) با یک ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. تیمارهای اعمال شده شامل ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی می‌باشند. بافت خاک همه گلدان‌ها لومی شنی و وزن خاک مورد استفاده ۲۰/۸۶ کیلوگرم بود. برای تعیین وزن خاک خشک، مقدار مشخصی از خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در آون گذاشته و وزن خشک آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و بعد از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. وزن خاک خشک در گلدان‌ها با توجه به درصد رطوبت اولیه محاسبه گردید. رطوبت حجمی خاک، با استفاده از وزن گلدان‌ها، وزن خاک خشک، وزن گیاه و وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردید:

(۲)

$$\theta_v = \frac{(m_{wp} - m_p - m_b - m_s)}{m_s} \times \rho_b$$

که در آن $m_{wp}$ وزن مرطوب گلدان در هر روز، $m_p$ وزن گلدان خالی، $m_b$ وزن بوته، $m_s$ وزن خاک خشک و $\rho_b$ وزن مخصوص ظاهری خاک است. پس از اتمام فصل رشد، قسمت هوایی نهالها قطع و ریشه گیاه به صورت یک جا خارج شد. به علت غیرممکن بودن اندازه‌گیری وزن روزانه بوته‌ها (قابل صرف‌نظر بودن تغییرات روزانه وزن بوته‌ها بعد از مرحله گلدهی) برای هر گلدان وزن بوته در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد و در محاسبات رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفت. ریشه‌های هر گلدان پس از چندین بار شستشو از خاک جدا شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها از روش توزین با ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. برای این منظور ریشه‌ها درون پاکت قرار گرفتند و پاکتها با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن

ریشه‌های خشک به دست آمد. طول ریشه نیز برحسب سانتی‌متر معادل ۸۹ درصد وزن ریشه برحسب میلی-گرم تخمین زده شد (علیزاده، ۱۳۸۴). قطر ریشه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. مقدار جذب روزانه با استفاده از اختلاف وزن گلدان‌ها در دو روز متوالی محاسبه شد. از داده‌های اندازه‌گیری شده برای بهینه-سازی و ارزیابی مدل‌های جذب آب ریشه استفاده گردید.

**توصیف مدل‌ها**

در این مطالعه دو مدل جذب آب کلان (فدس و ون گنوختن) و یک مدل خرد (ون لایر) با استفاده از داده-های گلخانه‌ای نخود و گوجه فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

**مدل فدس**

$$S_a = \left(\frac{h-h_4}{h_3-h_4}\right)\times S_p \qquad (۳)$$

در این مدل، h بار فشاری آب خاک، $h_3$ مقدار آستانه بار فشاری آب خاک و $h_4$ بار فشاری آب خاک در نقطه پژمرگی می‌باشد. $S_a$ جذب آب ریشه واقعی و $S_p$ جذب آب ریشه پتانسیل می‌باشد. با در نظر گرفتن معادله Brooks and Corey (1964) برای توصیف رابطه بین بار فشاری آب خاک و مقادیر رطوبت به صورت ذیل:

$$\Theta = (\frac{h_b}{h})^{\lambda} \qquad (۴)$$

که در آن $h_b$ مکش ورود هوا ، $\lambda$ فاکتور شکل و $\Theta$ اشباع نسبی با رابطه ذیل می‌باشد:

$$\Theta = \frac{(\theta-\theta_r)}{(\theta_s-\theta_r)} \qquad (۵)$$

در معادله بالا $\theta$رطوبت حجمی خاک، $\theta_r$رطوبت باقی-مانده و $\theta_s$رطوبت اشباع می‌باشد. با ترکیب معادلات ۴ و ۵:

$$h = \frac{h_b}{(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r})^{\frac{1}{\lambda}}} \qquad (۶)$$

با ترکیب معادلات ۳ و ۶:

$$S_a = \left(\frac{\frac{h_b}{(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r})^{\frac{1}{\lambda}}}-h_4}{h_3-h_4}\right)\times S_p \qquad (۷)$$

**مدل ون گنوختن**

$$S_a = \frac{1}{\left(1+\left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p}\right)}\times S_p \qquad (۸)$$

در این معادله $h_{50}$ پتانسیل ماتریکی که به ازای آن میزان جذب آب ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و p پارامتری تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است.

با ترکیب معادلات ۶ و ۸:

$$S_a = \frac{1}{\left(1+\left(\frac{\frac{h_b}{(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r})^{\frac{1}{\lambda}}}}{h_{50}}\right)^{p}\right)}\times S_p \qquad (۹)$$

**مدل ون لایر**

$$S = \rho\times(\overline{M}-M_o)\times W \qquad (۱۰)$$

در این معادله $\overline{M}$ متوسط پتانسیل فلاکس ماتریک خاک، $M_o$ پتانسیل فلاکس ماتریک در سطح ریشه، $W$ ضخامت لایه خاک و $\rho(m^{-2})$ فاکتور وزنی برای پتانسیل فلاکس ماتریک می‌باشد، که وابسته به جذب آب ریشه می‌باشد و تابعی از $a$، $r_o$ و $r_m$ با رابطه زیر است:

(۱۱)

$$\rho = \frac{4}{r_o^{\,2} - a^2 r_m^{\,2} + 2(r_m^{\,2} + r_o^{\,2}) \ln\left(\frac{a * r_m}{r_o}\right)}$$

در رابطه بالا $r_o$ و $r_m$ به ترتیب شعاع ریشه و شعاع ریزوسفر می‌باشند و $a$ نسبت بین فاصله ریشه از متوسط رطوبت حجمی خاک و $r_m$ می‌باشد که مقدار آن با توجه به آنالیزهای عددی و تحلیلی به طور تقریبی ۰/۵۳ ذکر شده است (Van Lier et al. 2008). مقدار $r_m$ با استفاده از رابطه زیر به تراکم طولی ریشه (R) مربوط می‌شود:

$$r_m = \sqrt{\frac{1}{\pi R}} \qquad (۱۲)$$

برای محاسبه متوسط پتانسیل فلاکس ماتریک خاک از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

(۱۳)

$$\overline{M}(h) = -\frac{K_s h_b}{1+3\lambda}\left[\left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right)^{\frac{1}{\lambda}+3} - \left(\frac{h_b}{h_w}\right)^{1+3\lambda}\right]$$

در این رابطه $K_s$ هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌باشد. برای محاسبه جذب آب ریشه ابتدا حداکثر میزان جذب آب ریشه با در نظر گرفتن Mo=0 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_m = \rho \times \overline{M} \times W \qquad (۱۴)$$

با مقایسه $S_m$ با $S_p$ (جذب آب ریشه پتانسیل)، جذب آب ریشه واقعی ($S_a$) را از یکی از رابطه‌های زیر محاسبه گردید. اگر $S_m$ بزرگتر یا مساوی $S_p$ باشد، در نتیجه تعرق با تقاضای اتمسفر محدود می‌شود و مقدار Mo بزرگتر از صفر می‌باشد و با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

(۱۵)

$$If\ \ S_m \geq S_p \rightarrow S_a = S_p \rightarrow M_o = \frac{S_m - S_p}{\rho \times w} \rightarrow S_a = \rho(\overline{M} - M_o) \times W$$

اگر Sm کوچکتر از Sp باشد، در نتیجه تعرق با شرایط خاک محدود می‌شود و مقدار Mo صفر می‌باشد و جذب آب ریشه با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

(۱۶)

$$If\ \ S_m \prec S_p \rightarrow S_a \prec S_p \rightarrow M_o = 0 \rightarrow S_a = \rho \times \overline{M} \times W$$

**روش GIUE در واسنجی**

الگوریتم GLUE یک روش مونت کارلو است که هدف آن تعیین مجموعه‌ای از مدل‌های رفتاری[1] در ترکیب-های ممکن مدل- پارامتر است و نخستین بار توسط Beven and Binley (1992) ارائه شده است. معمولاً برای بهینه‌سازی پارامترهای جذب آب ریشه از داده‌هایی نظیر رطوبت خاک، مکش خاک و تعرق واقعی در تابع هدف استفاده می‌شود. به عنوان مثال Vrugt et al. (2001 a, 2001 b) از داده‌های اندازه-گیری شده رطوبت خاک در تابع هدف و استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترها بهره بردند. Wang et al. (2014) جهت بهینه‌سازی پارامترها از داده‌های اندازه‌گیری شده ترکم طولی ریشه در مزرعه و الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. نتایج مطالعه Hupet et al. (2005) نشان داد که رطوبت و مکش اندازه‌گیری شده در خاک، اطلاعات کافی برای تخمین پارامترهای تنش آبی در معادله کلان را بهمراه نداشته و غیر منحصر به فرد بودن پارامترها در این روش اجتناب ناپذیر است. اما اندازه‌گیری و قرار دادن تعرق در تابع هدف، استخراج پارامترهای مذکور را ممکن ساخت. تخمین پارامترها به روش معکوس و نامطمئنی همراه آنها به میزان زیادی به نوع، کمیت و کیفیت اطلاعات موجود در تابع هدف بستگی داشته است. آنها در ادامه پیشنهاد نمودند که بهتر است پارامترهای تنش آبی در معادلات ماکرو به همراه پارامترهای دیگر مرتبط با آب و خاک نیز تخمین زده شود. با استناد به مطالعات انجام شده، در این پژوهش از داده‌های اندازه-

[1] Behavioral Models

گیری شده تعرق گیاه (جذب آب ریشه) برای بهینه-سازی همزمان پارامترهای هیدرولیکی و جذب آب ریشه با الگوریتم گلو استفاده شد. بدین ترتیب از تیمار ۱۲۰ درصد نیاز آبی برای محاسبه جذب ریشه پتانسیل، از تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی برای واسنجی پارامترها و از تیمارهای ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده گردید.

### شاخص‌های آماری

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی، شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش شاخص‌های ضریب تعیین ($R^2$) ، میانگین مجذور مربعات خطای نرمال (NRMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) ، کارایی مدل‌سازی (ME) و شاخص توافق (d) و شاخص کارایی نش- ساتکلیف (N.S) به کارگرفته شده است.

## نتایج و بحث

به طور کلی مدل‌های جذب آب ریشه در دو بحث مهم نقش خود را نشان می‌دهد. بحث اول در شبیه‌سازی رطوبت در پروفیل خاک با استفاده از معادله ریچاردز است که هر چه قدر بتوان این پارامتر را به دقت پیش-بینی کرد، به همان میزان در پیش‌بینی صحیح رطوبت و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری مؤثر است. زیرا از روی تغییرات رطوبت خاک به خوبی می‌توان زمان و میزان آب آبیاری را تشخیص داد.

کاربرد مهم دیگر مدل‌های جذب آب ریشه، در پیش-بینی عملکرد محصول در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری است. با توجه به تعدد پارامترهای هیدرولیکی خاک و جذب آب ریشه برای هر کدام از مدل‌ها اقدام به واسنجی متغیرهای مورد نظر گردید. از آنجا که الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند روش سیمپلکس[1] یا لونبرگ- مارکوارت[2] فقط برای تشخیص تعداد محدودی از پارامترهای منحصر به فرد کاربرد دارند، در نتیجه یک روش جایگزین برای بهینه‌سازی تعداد بیشتری از پارامترها در این مطالعه مورد نیاز بود. نتایج مطالعات نشان داده است که اگر تعداد پارامترهای بهینه‌سازی شده زیاد باشند، روش عمومی عدم قطعیت تشابهات[3] ابزار قوی برای شناسایی پارامترها است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). Ji et al. (2014) نیز جهت واسنجی مدل CERES-Wheat در پیش‌بینی عملکرد گندم زمستانه در چین از روش GLUE استفاده کردند. با استناد به مطالعات انجام شده و تأیید کارآمدی روشGLUE (Ji et al. 2014 ; شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳ ; خوشخو و همکاران، ۱۳۹۲) در پژوهش حاضر جهت واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک و جذب آب ریشه از این روش استفاده شده است. اولین گام برای کاربرد روش GLUE، تعیین محدوده‌ی تغییرات پارامترهای واسنجی مدل می‌باشد. در این پژوهش، برای تعیین دامنه اولیه پارامترهای هیدرولیکی خاک از اطلاعات ارائه شده توسط Rawls et al. (1982) از Rawls et al. (1982) بهره برده شد. از داده‌های حدود ۱۳۲۳ نمونه خاک، پارامترهای معادله Brooks and Corey (1964) را برای ۱۱ کلاس بافتی مختلف ارائه کردند. برای تعیین دامنه هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) از اطلاعات ارائه شده توسط Sadeghi et al. (2011) استفاده شد. دامنه بارهای فشاری مورد استفاده ($h_3$ و $h_4$) در مدل فدس از بانک اطلاعاتی Taylor and Ashcroft (1972) استفاده گردید. برای تعیین دامنه P و $h_{50}$ در معادله ون گنوختن نیز داده‌های ارائه شده توسط Homaee et al. (2002 b) به کار گرفته شد. در جدول ۱ دامنه پارامترهای هیدرولیکی خاک ارائه شده است. در جدول ۲ دامنه پارامترهای مدل‌های جذب آب ریشه نشان داده شده است. با توجه به روش کار ارائه شده ، در این پژوهش ۱۰۰،۰۰۰ نمونه یا به عبارتی مجموعه پارامتر تولید شده است.

## نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها

در این بخش نتایج پارامترهای واسنجی شده و همچنین نتایج صحت‌سنجی مدل‌ها ارائه شده است. نتایج واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک و جذب

[1] Simplex
[2] Levenberg-Marquardt
[3] Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

آب ریشه برای مدل‌های فدس، ون لایر و ون گنوختن در جدول ۳ ارائه شده است.

مقدار پارامترهای هیدرولیکی خاک برای مدل‌های مختلف جذب آب ریشه متغیر است، که در واقع اثر جذب آب ریشه بر این پارامترها را نشان می‌دهد. اثر مدل‌های جذب آب ریشه بر پارامترهای $\theta_s$ و $\lambda$ مشهودتر است که به دلیل حساسیت بیشتر مدل‌ها نسبت به این پارامترها را نشان می‌دهد. به طور کلی نتایج نشان داد از بین مدل‌های مختلف جذب آب ریشه، مدل ون گنوختن بالاترین دقت را داشت. به طوری مقدار ضریب تبیین و شاخص N.S این مدل به ترتیب ۰/۸۷۲ و ۰/۹۱ محاسبه گردید. در مدل فدس مقدار شاخص‌های ضریب تبیین و N.S به ترتیب ۰/۸۲۱ و ۰/۷۵ می‌باشد. با توجه به شاخص‌های محاسبه شده معادله فدس در جایگاه دوم قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد مدل‌های فدس و ون‌گنوختن از نظر عملکرد نسبتاً مشابه هستند. مدل ون لایر از نظر دقت در جایگاه آخر قرار گرفت، به طوری که مقدار ضریب تعیین و شاخص N.S این مدل، به ترتیب ۰/۴۳۹ و ۰/۳- محاسبه گردید.

**جدول (۱): مقدار متوسط و دامنه اولیه پارامترهای هیدرولیکی خاک بر مبنای مدل بروکز و کوری ***

| پارامتر | $\theta_r(cmcm^{-1})$ | $\theta_s(cmcm^{-1})$ | $\lambda(-)$ | $h_b(m)$ | $K_s(m/d)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **حد پایین** | ۰ | ۰/۲۸۳ | ۰/۱۴ | -۰/۶۴۰۱ | ۰/۲۴۹۶ |
| **حد بالا** | ۰/۱۰۶ | ۰/۵۴۱ | ۰/۶۱۶ | ۰ | ۳/۵۰۲ |

* $\theta_r$: رطوبت باقی‌مانده، $\theta_s$: رطوبت اشباع، $\lambda$ : فاکتور شکل، $h_b$: مکش ورود هوا، Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

**جدول (۲): دامنه پارامترهای مدل‌های جذب آب ریشه ***

| پارامتر | حد پایین | حد بالا |
|---|---|---|
| **$h_3$ (m)** | -۲۰ | -۷/۵ |
| **$h_w$ یا $h_4$ (m)** | -۱۵۰ | -۵۰ |
| **P** | ۱ | ۳ |
| **$h_{50}$** | -۲۰ | -۱۲ |

* $h_3$: مقدار آستانه بار فشاری آب خاک، $h_4$ یا $h_w$: بار فشاری آب خاک در نقطه پژمردگی، p: پارامتر تجربی، $h_{50}$: پتانسیل ماتریک به ازای کاهش ۵۰ درصدی جذب آب

**جدول (۳): مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک و جذب آب ریشه در مدل‌های مختلف ***

| مدل | پارامترهای واسنجی شده | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فدس | $\theta_r(cmcm^{-1})$ | $\theta_s(cmcm^{-1})$ | $\lambda(-)$ | $h_b(m)$ | $h_3(m)$ | $h_4(m)$ | |
| | ۰/۰۰۵۹ | ۰/۵۳۴۱ | ۰/۴۳۶۱ | -۰/۵۰۸۱ | -۷/۶۳ | -۱۳۸/۹۹ | |
| ون لایر | $\theta_r(cmcm^{-1})$ | $\theta_s(cmcm^{-1})$ | $\lambda(-)$ | $h_b(m)$ | $K_s(m/d)$ | $h_w(m)$ | |
| | ۰/۰۱۲۹ | ۰/۴۷۰۵ | ۰/۶۰۹۴ | -۰/۰۳۰۷ | ۰/۶۰۵۷ | -۷۲/۴۳ | |
| ون گنوختن | $\theta_r(cmcm^{-1})$ | $\theta_s(cmcm^{-1})$ | $\lambda(-)$ | $h_b(m)$ | $P(-)$ | $h_{50}(m)$ | |
| | ۰/۰۰۳۷ | ۰/۴۱۰۱ | ۰/۵۸۸۸ | -۰/۲۰۶ | ۱/۱۳ | -۱۳/۶۴ | |

*$\theta_r$: رطوبت باقی‌مانده، $\theta_s$: رطوبت اشباع، $\lambda$: فاکتور شکل، $h_b$: مکش ورود هوا، $h_3$: مقدار آستانه بار فشاری آب خاک، $h_4$: بار فشاری آب خاک در نقطه پژمردگی، Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، $h_w$: بار فشاری آب خاک در نقطه پژمردگی، p: پارامتر تجربی، $h_{50}$: پتانسیل ماتریک به ازای کاهش ۵۰ درصدی جذب آب

در جدول ۴ شاخص‌های آماری محاسبه شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی برای مدل‌های مختلف ارائه شده است. توانایی یک مدل جذب آب ریشه در شرایط مختلف رطوبتی یکی از ویژگی‌های مهم آن است که در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مانند برنامه‌ریزی آبیاری بسیار کارآمد خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، مدل ون‌گنوختن با ضریب تعیین بالاتر نسبت به سایر مدل‌ها ($R^2$=0.872) مقدار جذب آب ریشه را به خوبی شبیه‌سازی کرده است همچنین مقادیر شاخص‌های آماری نیز مؤید این نکته است. به طور کلی عملکرد مدل‌ها با توجه به شاخص‌های آماری در دوره صحت‌سنجی نسبت به دوره واسنجی کاهش یافته است. با این حال عملکرد مدل‌های فدس و ون-گنوختن مانند دوره واسنجی نسبتاً مشابه است. نتایج سایر محققین از جمله Homaee et al. (2002 b) نیز نشان داد در دوره صحت‌سنجی عملکرد مدل‌ها کاهش یافته است. همچنین نتایج محاسبه شاخص NRMSE نشان می‌دهد عملکرد مدل فدس در دوره واسنجی عالی و در دوره صحت‌سنجی خوب بوده است. مدل ون‌گنوختن مشابه با مدل فدس با کمی دقت بالاتر بود، اما عملکرد مدل ون لایر در واسنجی خوب و در صحت‌سنجی ضعیف می‌باشد.

**جدول (۴): شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی جذب آب ریشه در طول مراحل واسنجی و صحت‌سنجی**

| مدل | تیمار | $R^2$ | N.S | NRMSE | MAE | ME | d |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **فدس** | واسنجی | ۰/۸۸۹ | ۰/۸ | ۸/۵۶ | ۰/۶۷ | ۰/۸ | ۰/۹ |
| | صحت‌سنجی | ۰/۸۲۱ | ۰/۷۵ | ۱۳/۹۷ | ۰/۷۲ | ۰/۷۵ | ۰/۸۶ |
| **ون لایر** | واسنجی | ۰/۵۵۳ | ۰/۳۹ | ۱۵/۰۷ | ۱/۰۸ | ۰/۳۹ | ۰/۷۶ |
| | صحت‌سنجی | ۰/۴۳۹ | -۰/۳ | ۳۱/۷ | ۱/۶ | -۰/۳ | ۰/۶۴ |
| **ون گنوختن** | واسنجی | ۰/۹۳۵ | ۰/۹۱ | ۵/۵۱ | ۰/۴۲ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ |
| | صحت‌سنجی | ۰/۸۷۲ | ۰/۸۲ | ۱۱/۷۳ | ۰/۶ | ۰/۸۲ | ۰/۹ |

* $R^2$: ضریب تعیین، N.S: شاخص کارایی نش- ساتکلیف، NRMSE: میانگین مجذور مربعات خطای نرمال، MAE: میانگین مطلق خطا، ME: کارایی مدل‌سازی، d: شخص توافق

Homaee et al. (2002 b)در مطالعه‌ای مدل‌های مختلف جذب آب ریشه را با گیاه یونجه ارزیابی کردند. مقادیر پارامترهای جذب آب ریشه ابتدا به روش کمترین مربعات خطا بهینه‌سازی گردید و بعداً با توجه به تیمار واسنجی اصلاح گردیدند. نتایج نشان داد عملکرد معادلات مختلف تقریباً یکسان بود. Luo et al. (2003) مدل‌های ماکروسکوپی جذب آب ریشه را با استفاده از داده‌های لایسیمتری ارزیابی کردند. با مقایسه رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل‌های مولز و رامسون، فدس و سلیم و ایسکندر نتایج نشان داد همه این معادلات خطای بالایی دارند. نتایج نشان داد اصلاح مدل فدس با در نظر گرفتن تراکم طولی ریشه، پیش‌بینی‌های رطوبت خاک بهبود پیدا می‌کند. Krounbi, L. (2011) مدل-های جذب آب ریشه را در شرایط کم‌آبیاری واسنجی و مقایسه کردند. این مدل‌ها شامل مدل فدس، ون-گنوختن و نیما و هنکس بودند. گیاهان شامل ۳ گیاه گندم، گوجه فرنگی و سورگورم و دو بافت خاک متفاوت (شنی و رسی) بودند. نتایج نشان داد برای همه گیاهان مدل ون‌گنوختن در پیش‌بینی جذب آب ریشه دقت بالاتری داشته است. مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با سایر مطالعات همخوانی دارد. در بین مدل-های استفاده شده در این مطالعه مدل ون لایر پایین-ترین عملکرد را داشت. یکی از دلایل عملکرد پایین این مدل فرضیاتی است که در مدل به کار رفته است. Van Lier et al. (2008) فرض کردند که ریشه‌ها به طور همگن در خاک توزیع شده باشند. به عنوان مثال ریشه به طول L از حجم خاکی معادل حجم یک سیلندر با شعاع $r_m$ و ارتفاع L آب را استخراج می‌کند. با این حال آنها هیچ‌گونه تفاوتی در ویژگیهای تک ریشه، پتانسیل آب ریشه و همچنین مقاومت داخلی و شعاعی ریشه‌ها در نظر نگرفتند و همه این خصوصیات را در همه ریشه‌ها یکسان فرض کردند. همچنین سطح تماس ریشه با خاک به صورت عالی[1] فرض شد (Faria et al. 2010). نتایج مطالعات Casaroli et al. (2010) و Faria et al. (2010) نشان داد به دلیل این فرضیات جذب آب در یک ریشه واقعی از یک سیستم ریشه فرضی که توضیح داده شد، متفاوت می‌باشند. نتایج نشان داد در موقعیت‌های مختلف، انتشار آب از ریشه‌ها به خاک در طول آزمایشات مشاهده شد. نتایج مطالعه Durigon et al. (2012) نشان داد در مدل خرد ارائه شده توسط ون لایر بایستی مقاومت ریشه در نظر گرفته شود و در نظر گرفته نشدن این پارامتر در مدل باعث پیش‌بینی اشتباه در جذب آب ریشه می‌گردد.

[1] - perfect

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد با توجه به اعمال تنش در مرحله گلدهی، تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات ریشه و اندام هوایی نخود نداشته است. نتایج صحت‌سنجی مدل‌های مختلف نشان می‌دهد عملکرد مدل فدس در دوره واسنجی عالی و در دوره صحت‌سنجی خوب بوده است. مدل ون‌گنوختن مشابه با مدل فدس با کمی دقت بالاتر بود، اما عملکرد مدل ون لایر در واسنجی خوب و در صحت‌سنجی ضعیف می‌باشد. یکی از دلایل عملکرد پایین مدل ون لایر فرضیات ساده‌کننده‌ای (در نظر نگرفتن مقاومت ریشه و ثابت فرض کردن قطر ریشه) است که در مدل به کار رفته است. از نتایج جنبی این پژوهش می‌توان به کاربرد پارامترهای جذب آب ریشه در مدل‌های شبیه-سازی برای اهداف مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری در مقیاس مزرعه نام برد. با توجه به محدودیت امکانات برای اعمال تنش خشکی در شرایط مزرعه و انجام دقیق نمونه‌برداری از ریشه گیاه (حذف رقابت سیستم-های ریشه)، این مطالعه در گلخانه انجام شد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به کمبود منابع آب و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری این آزمایش در شرایط مزرعه نیز انجام گردد.

## منابع

خوشخو، ی.، ایران نژاد، پ.، خلیلی، ع.، رحیمی، ح.، لیاقت، ع و پ. جانسن. ۱۳۹۲. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل COUP برای شبیه‌سازی دمای خاک در ایستگاه سینوپتیک همدان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال بیست و هفتم، شماره ۵، ص ۹۳۹- ۹۲۸.

شفیعی، م.، قهرمان، ب.، ثقفیان، ب.، داوری، ک و م. وظیفه‌دوست. ۱۳۹۳. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAP با استفاده از روش GLUE. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، سال بیست و هشتم، شماره ۲، ص ۴۸۸- ۴۷۷.

علیزاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه (چاپ پنجم). انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۲۲۲ صفحه.

علیزاده، ح. ع.، لیاقت، ع.، و م. نوری محمدیه. ۱۳۸۸. ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط گوجه فرنگی در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال بیست و سوم، شماره ۳، ص ۹۷-۸۸.

Beven, K. and A. Binley. 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. Hydrological Processes, 6(3): 279-298.

Brooks, R., and T. Corey.1964. Hydraulic properties of porous media. In: Hydrology. Colo. State University, Fort Collins, 27 p.

Casaroli, D., van Lier, Q. D. J., and D. D. Neto. 2010. Validation of a root water uptake model to estimate transpiration constraints. Agricultural water management, 97(9): 1382-1388.

Cowan, I.R. 1965. Transport of water in the soil plant atmosphere system. J. Appl. Ecol. 2: 221–239.

De Jong Van Lier, Q., Van Dam, J.C., Metselaar, K., De Jong, R. and W.H.M. Duijnisveld. 2008. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. Vadose Zone Journal, 7(3): 1065-1078.

Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, p.257.

Dudley, L. M., and U. Shani. 2003. Modeling plant response to drought and salt stress. Vadose Zone Journal, 2(4): 751-758.

Durigon, A., Alex dos Santos, M., de Jong van Lier, Q. and K. Metselaar. 2012. Pressure heads and simulated water uptake patterns for a severely stressed bean crop. Vadose Zone Journal, 11(3).

Faria, L.N., Da Rocha, M. G., Van Lier, Q.D.J. and D. Casaroli. 2010. A split-pot experiment with sorghum to test a root water uptake partitioning model. Plant and soil, 331(1-2): 299-311.

Feddes, R. A. , P. J. Kowalik, H. Zaradny. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

Fujimaki, H., Ando, Y., Cui, Y. and M. Inoue. 2008. Parameter estimation of a root water uptake model under salinity stress. Vadose Zone Journal, 7(1): 31-38.

Gardner, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. Soil science, 89(2): 63-73.

Green, S.R., Kirkham, M.B. and B. E. Clothier. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. agricultural water management, 86(1-2): 165-176.

Homaee, M., Dirksen, C., and R. A. Feddes. 2002 a. 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 C. Dirksen. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management, 57 (2): 111-126.

Hupet, F., Lambot, S., Javaux, M. and M. Vanclooster. 2002. On the identification of macroscopic root water uptake parameters from soil water content observations. Water resources research, 38(12): 1–14.

Hupet, F., Trought, M.C.T., Greven, M., Green, S.R., Clothier, B.E. (2005). Data requirements for identifying macroscopic water stress parameters: a study on grapevines. Water resources research, 41: 1–15.

Ji, J., Cai, H., He, J. and H. Wang. 2014. Performance evaluation of CERES-Wheat model in guanzhong plain of Northwest China. Agricultural water management, 144:1-10.

Krounbi, L. (2011). Root water uptake under deficit irrigation: Model calibration and comparison (Doctoral dissertation, Ben-Gurion University of the Negev).

Luo, Y., Ouyang, Z., Yuan, G., Tang, D., and X. Xie. 2003. Evaluation of macroscopic root water uptake models using lysimeter data. Transactions of the ASAE, 46(3): 625-634.

Philip, J.R. 1957. The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle. p. 125–154. In Proc. Congr. Int. Comm. on Irrigation and Drainage, 8th. 3rd ed. ICID, San Francisco, CA.

Rasiah, V., G.C. Carison, and R.A. Kohl. 1992. Assessment of functions and parameter estimation methods in root water uptake simulation. Soil Science Society of America Journal, 56(4): 1267-1271.

Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Saxton, K.E., 1982. Estimation of soil water properties.Trans. ASAE 25, 1316–1320.

Sadeghi, M., Ghahraman, B., Davary, K., Hasheminia, S.M. and K. Reichardt. 2011. Scaling to generalize a single solution of Richards' equation for soil water redistribution. Scientia Agricola, 68(5): 582-591.

Skaggs, T.H., P.J. Shouse, and J.A. Poss. 2006. Irrigation of forage crops with saline drainage waters: 2. Modeling root uptake and drainage. Vadose Zone J. 5:824–837.

Taylor, S.A. and G. L. Ashcroft. 1972. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils.

Van Genuchten, M. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Res. Rep. 121. US Salinity Lab., Riverside, CA. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Res. Rep. 121. US Salinity Lab., Riverside, CA.

Vrugt, J.A., J.W. Hopmans, and J. Simunek. 2001a. Calibration of a two-dimensional root water uptake model. Soil Science Society of America Journal, 65(4): 1027-1037.

Vrugt, J.A., Wijk, M.V., Hopmans, J.W. and J. Šimunek. 2001b. One-, two-, and three-dimensional root water uptake functions from transient modeling. Water Resources Research, 37(10): 2457-2470.

Wang, J., Huang, G., Zhan, H., Mohanty, B.P., Zheng, J., Huang, Q. and X. Xu. 2014. Evaluation of soil water dynamics and crop yield under furrow irrigation with a two-dimensional flow and crop growth coupled model. Agricultural water management, (141) : 10-22.

Wang, L., Shi, J., Zuo, Q., Zheng, W. and X. Zhu. 2012. Optimizing parameters of salinity stress reduction function using the relationship between root-water-uptake and root nitrogen mass of winter wheat. Agricultural water management, (104): 142-152.

Yanagawa, A. and H. Fujimaki. 2013. Tolerance of canola to drought and salinity stresses in terms of root water uptake model parameters. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 61(1): 73-80.

Zuo, Q. and R. Zhang. 2002. Estimating root-water-uptake using an inverse method. Soil Science, 167(9): 561-571.

Zuo, Q., Meng, L. and R. Zhang. 2004. Simulating soil water flow with root-water-uptake applying an inverse method. Soil science, 169(1): 13-24.

# Investigating root water uptake amount in chickpea under deficit irrigation conditions using different models

**Hadi Dehghan**[1]

**Abstract**

Accurate estimation of root water uptake is essential for irrigation management and yield prediction. In this study, impact of deficit irrigation on water uptake amount was studied in two macro models (Feddes; Van Genuchten) and one micro model (Van Lier) using greenhouse data of chickpea. Irrigation treatments included five irrigation levels of 120, 100, 80, 60, and 40 percent of water requirement. To estimate potential water uptake, 120% treatment was used. Also 100% and 80% treatments were used for calibration of the models and 60% and 40% treatments for validation of the models. Hydraulic parameters of soil and root water uptake for each of the models were estimated utilizing GLUE method. The results of calibration stage indicated Van Genuchten model is able to simulate root water uptake well, as the parameters of $R^2$, NS, NRMSE, MAE, ME, and dare 0.935, 0.91, 5.51, 0.42, 0.92, 0.95, respectively. The values in validation stage are 0.872, 0.82, 11.73, 0.6, 0.82, 0.9, respectively. The findings also showed the micro model presented by Van Lier has the weakest function due to very simplifying assumptions (considering fixed root diameter and disregarding root tolerance).

**Keywords: Root, Feddes, Chickpea, Van Genuchten, Van Lier**.

[1]Assistant Professor, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
Dehghan63.ha@gmail.com