

ارزیابی مدل‌های تعرق و جذب آب درخت زیتون با استفاده از لایسیمتر

سینا بشارت^{۱*}، وحید رضاوردنژاد^۱، حجت احمدی^۱ و هیراد عبقری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۹)

چکیده

مدل‌های مختلفی برای جذب آب به وسیله ریشه ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق و درصد رطوبت خاک به دست آمده از لایسیمتر و داده‌های توزیع ریشه در خاک درخت زیتون، دقت مدل جذب ریشه در تخمین تغییرات درصد رطوبت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. عمق لایسیمتر ۱۲۰ سانتی‌متر و از نوع وزنی بود که از خاک لوم-رسی پر شد. در دوره آزمایش مقادیر ورود و خروج آب در لایسیمتر ثبت گردید و مقادیر دقیق تبخیر و تعرق ستون خاک محاسبه شد. تغییرات رطوبت خاک عمقی توسط دستگاه رطوبت سنج (TDR) نصب شده در لایسیمتر در دوره آزمایش به صورت کامل ثبت گردید. برای تعیین نقش توزیع ریشه در خاک، مدل فلدس با استفاده از تراکم طولی ریشه استفاده گردید. معادلات حرکت جریان به صورت عددی حل شد که در حل این معادلات داده‌های تبخیر و تعرق به صورت داده‌های ورودی استفاده شد و تغییرات رطوبت خاک شبیه‌سازی شده با تغییرات رطوبت خاک اندازه‌گیری شده جهت تأیید مدل جذب آب توسط ریشه مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسات نشان داد که متوسط خطای نسبی مدل فلدس ۱۰ درصد بود. براساس نتایج حاصل از این تحقیق، حدود ۹۰ درصد جذب ریشه درخت زیتون در عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، زیتون، مدل جذب آب توسط ریشه

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.besharat@urmia.ac.ir

مقدمه

مرز بین خاک و سیستم ریشه گیاه مهم‌ترین ارتباط هیدرولوژیکی است که ۵۰ درصد تبخیر و تعرق را شامل می‌شود. مطالعات کمی حرکت آب در سیستم ریشه-خاک، مهم‌ترین قسمت مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. مدل‌های جذب آب توسط ریشه به دو گروه دسته‌بندی می‌شوند. اولین گروه، مدل‌های میکروسکوپی هستند که جریان شعاعی آب را به ریشه منفرد دنبال می‌کنند. در این روش جذب به صورت یک استوانه بی‌نهایت طولانی و یکنواخت در نظر گرفته شده است. این روش میکروسکوپی در جهت فهم مراحل جذب آب ریشه به صورت وسیع مورد استفاده قرار گرفته است (۲۹). دومین گروه، مدل‌های ماکروسکوپی هستند که در آن سیستم ریشه به صورت یک واحد در برگیرنده اثر تمام ریشه‌های تکی است در نظر گرفته می‌شود. در این روش جذب آب تابعی از مکان، درصد رطوبت و زمان است. در عمل، روش ماکروسکوپی برتری معنی‌داری نسبت به روش میکروسکوپی دارد (۲۶). معادله یک بعدی حرکت آب در خاک (معادله ریچاردز)، با در نظر گرفتن شدت جذب ریشه به‌طور وسیعی در مدل‌های جریان آب در سیستم گیاه-خاک کاربرد دارد (۲، ۱۳، ۲۰، ۲۵، ۲۷ و ۳۰) که به صورت زیر است:

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

که در آن، θ درصد رطوبت حجمی، ϕ پتانسیل آب در خاک، K هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک، t زمان می‌باشد. بررسی وسیعی توسط محققین مختلف در مورد این مدل‌ها انجام شده است و در این بررسی‌ها، مدل‌ها در دو گروه تقسیم‌بندی شده‌اند. اولین گروه براساس شباهت به میدان الکتریکی شامل مدل‌های گاردنر (۸)، ویسلر و همکاران (۳۰)، فلدس و همکاران (۵)، هاگرلر اس و همکاران (۱۰) و روز و همکاران (۲۴) می‌باشد. این توابع در برگیرنده پارامترهایی چون پتانسیل آب ریشه گیاه، بار فشار بین ریشه-خاک و مقاومت هیدرولیکی ریشه و خاک در جریان آب هستند که اندازه‌گیری آنها مشکل و براساس سعی و خطا به کمک داده‌های مزرعه

انجام می‌گیرد. گروه دیگر توابع ترم جذب با فرض مساوی بودن شدت تعرق با مجموع مقدار جذب در پروفیل ریشه هستند که در آنها از تغییرات ذخیره آب در گیاه صرف‌نظر شده است. تحت چنین فرضی، ترم جذب را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$S(z, t) = C(z, t) T_r \quad [2]$$

که در آن T_r شدت تعرق و $C(z, t)$ فاکتور وزنی هستند که این فاکتور به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\int_0^{L_r} C(z, t) dz = 1 \quad [3]$$

که L_r حداکثر عمق ریشه است. فاکتور وزنی می‌تواند به صورت تابع تراکم طولی ریشه، درصد رطوبت خاک یا پتانسیل، هدایت هیدرولیکی خاک یا پخشیدگی و تابع کاهش فرمول‌بندی گردد. فلدس (۶) از یک تابع کاهش به‌عنوان فاکتور وزنی استفاده نمود تا تأثیر وضعیت آب بر روی جذب آب ریشه محاسبه شود. بر خلاف مدل‌های دیگر، می‌توان گفت که مدل فلدس تأثیر حالت آب در خاک روی جذب آب ریشه را واضح‌تر در نظر گرفته است (۳۴)، اگرچه نمی‌توان به‌طور واضح بیان کرد که تابع کاهش با چه وسعت و دقتی می‌تواند برای الگوی برداشت آب در خاکرخ استفاده می‌شود.

کاربرد فاکتور وزنی نیازمند تعیین تبخیر و تعرق، پروفیل رطوبت خاک، پروفیل تراکم طولی ریشه و پارامترهای هیدرولیکی خاک مانند پخشیدگی و یا هدایت هیدرولیکی است که باید با دقت مناسبی به‌دست آیند.

شدت تعرق، شدت تبخیر یا شدت تبخیر و تعرق اغلب از داده‌های هواشناسی برآورد می‌شوند (۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۲۷) یا از روش تعادل آبی به‌دست می‌آیند (۳، ۴، ۷ و ۲۸). در بعضی از تحقیقات از شدت تعرق ثابت نیز استفاده شده است (۲، ۲۵، ۲۹ و ۳۲). معادله ۲ نشان می‌دهد که شدت تعرق دقیقی در تأیید تخمین ظرفیت تابع ترم جذب مورد نیاز است. در غیر این صورت خطا در شدت تعرق روی مقدار شدت جذب تأثیر خواهد گذاشت. بنابراین تخمین دقیق پارامترهای آب و خاک با

مناسب قابل تعیین است (۱۹، ۲۲ و ۳۳). در نظر گرفتن دقت اندازه‌گیری‌های درصد رطوبت خاک در لایسیمتر توسعه مدل سیستم خاک-ریشه مورد نیاز است تا بتوان از آن در مدیریت آب در مزرعه استفاده نمود. در این تحقیق، مدل کردن جریان آب در خاک، با استفاده از معادلات ۴ تا ۶ صورت گرفت (۱، ۱۸ و ۳۴):

$$D_1 \frac{d\theta_1}{dt} = -E_s - Q_{1,2} - D_1 S_1 \quad [4]$$

$$D_i \frac{d\theta_i}{dt} = Q_{i-1,i} - Q_{i,i+1} - D_i S_i \quad [5]$$

$$D_N \frac{d\theta_N}{dt} = Q_{N-1,N} - Q_N - D_N S_N \quad [6]$$

که در آن $i=1, 2, 3, \dots, N$ و N تعداد کل لایه‌های خاک، D_i ضخامت، θ_i میانگین درصد رطوبت حجمی خاک برای لایه i ، $Q_{i,i+1}$ جریان آب در خاک بین لایه‌های i و $i+1$ ، Q_N زه‌کشی ثقلی از لایه پایینی S_i ، N شدت جذب آب ریشه در لایه i ، t زمان و E_s شدت تبخیر خاک است. جریان آب بین دو لایه مجاور به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q_{i,i+1} = -\tau K_{i,i+1} \frac{\psi_i - \psi_{i+1}}{D_i + D_{i+1}} + K_{i,i+1} \quad [7]$$

$$K_{i,i+1} = \frac{D_i K_i + D_{i+1} K_{i+1}}{D_i + D_{i+1}} \quad [8]$$

که در آن K_i هدایت هیدرولیک خاک در لایه i ، پتانسیل ماتریک لایه i می‌باشند. مدل جذب آب توسط ریشه مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است (۳۴):

$$S(z, t, h) = \gamma(z, h) T_{pot} a_c(z) \quad [9]$$

که در آن $S(z, t, h)$ نشان‌دهنده جذب ریشه در مکان مشخص از خاک براساس بار فشاری (h) در زمان t می‌باشد $[L^3 L^{-3} T^{-1}]$ ، $\gamma(z, h)$ تابع تنش آب، T_{pot} شدت تعرق پتانسیل گیاه در واحد طول $[L^3 T^{-1}]$ و $a_c(z)$ تابعی است که میزان فعالیت ریشه در نقطه مورد نظر را نشان می‌دهد $[L L^{-3}]$. تعرق پتانسیل T_{pot} به صورت تعرق حداکثر در حالتی که گیاه در شرایط بدون تنش آب باشد تعریف می‌گردد (۵).

$$T_{pot} = K_c E T_0 - E_s \quad [10]$$

استفاده از لایسیمتر به کاهش شک و تردید در داده‌های تعرق کمک خواهد کرد.

تراکم طولی ریشه با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرائی به دست می‌آید. در سال‌های گذشته، روش برش عرضی-خطی نیومن (۲۰) جهت اندازه‌گیری طول ریشه مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از این روش نه تنها کار پرزحمتی است بلکه از دقت پایینی نیز برخوردار می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری‌های نامطمئن طول ریشه بدون شک بر تابع ترم جذب تأثیر خواهد گذاشت. برای نشان دادن توابع جذب در معادلات پروفیل رطوبتی خاک نیز مورد نیاز است. داده‌های رطوبت پروفیل خاک در مزرعه اغلب توسط نوترن متر، TDR و بلوک‌های گچی اندازه‌گیری می‌شوند.

با کسب داده‌های دقیق لایسیمتر شامل شدت تبخیر و تعرق، تراکم طولی ریشه و پروفیل درصد رطوبت خاک، این تحقیق به دنبال جواب به این سوالات است که: آیا می‌توان با تشریح تراکم طولی ریشه در تابع ترم جذب فوس، دقت تخمین مدل را بالا برد؟ چگونه می‌توان کارایی پارامتر جذب در مدل را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری نشان داد؟

مواد و روش‌ها

ارزیابی رویکرد مدل‌های جذب آب ریشه

اندازه‌گیری مستقیم توزیع شدت جذب آب در کل خاکرخ مشکل است. دشواری این مسأله به علت دینامیکی بودن درصد رطوبت خاک است که به علت دو عامل جذب ریشه و گرادیان پتانسیل رطوبت خاک می‌باشد. بنابراین اغلب نیاز است که معادله ریچاردز را با تابع ترم جذب پیوند داد تا بتوان مدل‌های جذب ریشه را در مقابل داده‌های صحرائی محک زد (۳، ۸، ۱۶، ۲۵ و ۲۹). معادله ریچاردز پیوند داده شده با تابع ترم جذب عموماً با در نظر گرفتن شرایط مرزی و شرایط اولیه و به دو روش تفاضلات محدود (۲، ۹ و ۲۷) و المان‌های محدود (۱۲، ۱۴ و ۲۱) به صورت عددی حل می‌شود. اگر تخمین مدل به خوبی بر مشاهدات برازش داده شود، تابع ترم جذب به‌طور

جدول ۱. پارامترهای مشخصه‌های هیدرولیکی خاک

منحنی مشخصه خاک						عمق خاک (cm)
$K_s(\text{cm/day})$	$L(-)$	$n(-)$	$\alpha(1/\text{cm})$	$\theta_s(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	$\theta_r(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	
۲۴/۰۰	۰/۵۰	۱/۵۶	۰/۰۳۶	۰/۴۳	۰/۰۷۸	۰-۱۰۰

استفاده از رابطه ون گنوختن - معلم به دست آمدند:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad [16]$$

$$K(h) = K_s S_e^L \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad [17]$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - 1/n \quad [18]$$

که در آن θ_s درصد آب خاک اشباع $[L^3 L^{-3}]$ ، θ_r درصد آب خاک باقیمانده $[L^3 L^{-3}]$ ، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع $[L T^{-1}]$ ، α معکوس مقدار ورود هوا در حالت اشباع m و n پارامترهای وابسته به خاک هستند که با استفاده از داده‌های رطوبت و پتانسیل خاک به دست آمده در آزمایشگاه و برازش بر معادله مورد نظر به دست می‌آیند. مقادیر این پارامترها در (جدول ۱) ارائه شده است.

معادلات (۴) تا (۱۸) ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی به روش تفاضلات محدود به صورت تکرار حل شد و براساس آن مقادیر تغییرات رطوبت خاک به صورت مکانی و زمانی محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری اختلاف بین پروفیل رطوبتی خاک مشاهداتی و محاسباتی، یک شاخص به نام خطای نسبی به صورت زیر تعریف گردید.

$$\alpha_i = \frac{\theta'_i - \theta_i}{\theta_i} \times 100 \quad [19]$$

که در این رابطه θ'_i درصد رطوبت خاک تخمین زده شده در لایه i ، θ_i درصد رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در لایه i ، $i = 1, 2, \dots, N$ ، α_i شاخص خطای نسبی برای لایه i می‌باشند.

اندازه‌گیری‌های میدانی

آزمایش‌های میدانی در گلخانه و آزمایشگاه مطالعاتی دانشگاه

که K_c ضریب گیاهی $[-]$ ، ET_0 تبخیر و تعرق مرجع $[L^2 T^{-1}]$ و E_s بیانگر تبخیر از سطح خاک می‌باشد $[L^2 T^{-1}]$ و تابع $a_c(z)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$a_c(z) = \frac{\beta(z,t)}{\int_{L_r} \beta(z,t) dz} \quad [11]$$

که در آن $\beta(z,t)$ تابع توزیع تراکم ریشه $[L L^{-3}]$ ، t زمان مشخص $[T]$ ، z فاصله در عمق $[L]$ و L_r حداکثر عمق ریشه می‌باشد. $\beta(z,t)$ را می‌توان با استفاده از معادله‌های مختلف و براساس اندازه‌گیری‌های صحرائی به دست آورد. یکی از معادله‌های ارائه شده در این تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

$$\beta(z,t) = \beta_0 \exp(-\beta_1 z) \quad [12]$$

که β_0 و β_1 پارامترهای ثابت تجربی هستند. بنابراین براساس معادله‌های (۱۱) و (۱۲) می‌توان نوشت:

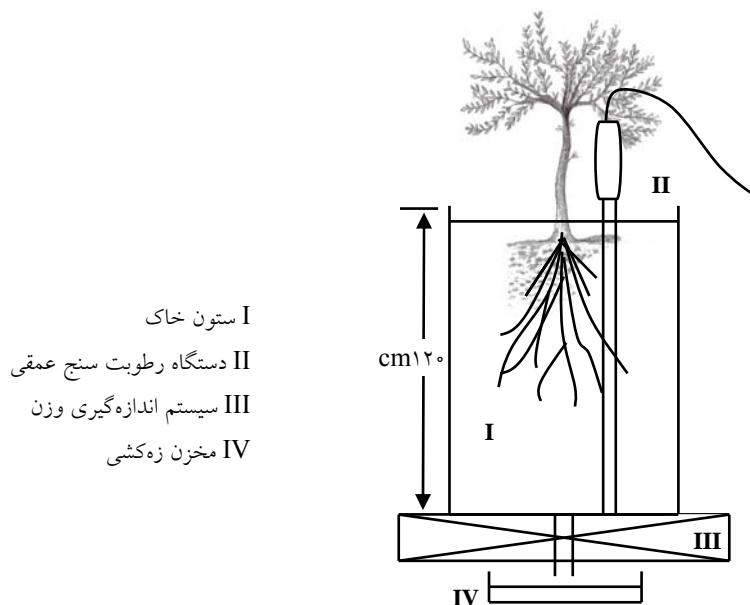
$$a_c(z) = \lambda \exp(-\beta_1 z) \quad [13]$$

$$\lambda = \frac{\beta_0}{[1 - \exp(-\beta_1 L_r)]} \quad [14]$$

پارامتر z_r رشد حداکثر ریشه در عمق z را نشان می‌دهد که با اندازه‌گیری‌های میدانی یا به صورت تخمینی، مشخص می‌گردند. برای کاربرد $S(z,t)$ در معادله ریچاردز، ضریب اصلاحی براساس تابع تنش آب $\gamma(r,z,h)$ که توسط فلدس ارائه شده است در نظر گرفته می‌شود (۵):

$$\gamma(r,z,h) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_{50}} \right)^p \right]} \quad [15]$$

که h بار فشار آب در خاک در مکان مشخص از خاک $[L]$ ، h_{50} بار فشار آب در خاک در شرایطی که جذب آب ریشه ۵۰ درصد کاهش یابد $[L]$ ، P پارامتر برازش $[-]$ که عموماً ۳ در نظر گرفته می‌شود (۳ و ۹).



شکل ۱. شکل هندسی لایسیمتر وزنی استفاده شده در آزمایش‌ها

(IV) جمع‌آوری شد. با استفاده از ثبت تغییرات وزنی ستون خاک، نشت آب یا ورود آب به ستون خاک و مقدار آبیاری در مدت زمان مشخص، مقدار کل تبخیر و تعرق از لایسیمتر با روش تعادل آبی به‌دست آمد. عموماً، مشاهدات در ساعات ۸ تا ۱۸ در هر روز انجام می‌گرفتند.

تبخیر و تعرق

در این تحقیق از داده‌های به‌دست آمده از لایسیمتر مقدار تبخیر و تعرق به‌دست آمد که کل تبخیر و تعرق ۵۲ میلی‌متر بود. در (شکل ۲) مقادیر تبخیر و تعرق روزانه برای مدت ۱۴ روز ارائه شده است.

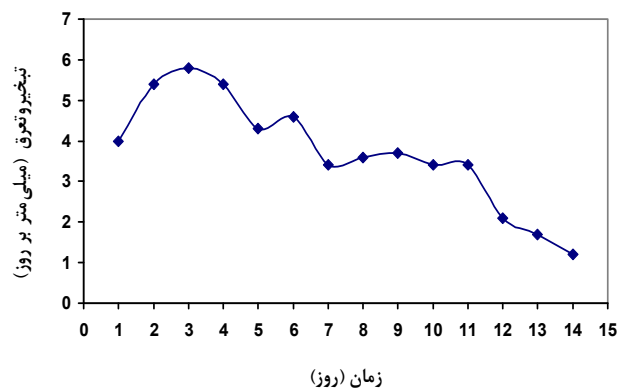
پروفیل درصد رطوبت خاک

درصد رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR برای لایه‌های مختلف خاک (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد. در طول این دوره و براساس اندازه‌گیرهای رطوبت خاک انجام شده، ذخیره رطوبت از ابتدا تا انتهای دوره آزمایش در خاک ۱ متری به میزان ۱۱۵ میلی‌متر کاهش یافت. براساس آبیاری اولیه و طبق مقادیر تبخیر و تعرق و داده‌های پروفیل

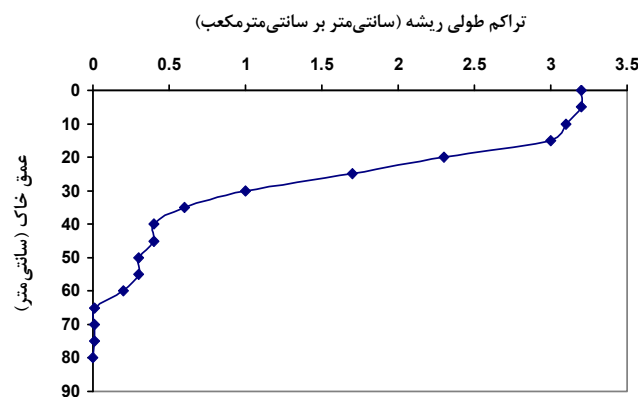
ارومیه در سال ۱۳۸۹ انجام شد. جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های فوق پارامترهایی تعیین شدند: ۱. شدت تبخیر و تعرق، ۲. پروفیل تراکم طولی ریشه، ۳. پروفیل رطوبتی خاک و ۴. پارامترهای دیگر خاک مانند نگهداشت آب خاک، هدایت هیدرولیکی غیراشباع و پخشیدگی. در ادامه نحوه تعیین پارامترها توضیح داده می‌شود.

لایسیمتر وزنی

عمق ریشه زیتون مورد آزمایش ۸۰ سانتی‌متر است که در لایسیمتر با بافت خاک لوم-رسی کاشته شد. برای شبیه‌سازی کشت در باغات زیتون، شرایط محیطی مناسب از نظر دما، رطوبت و بافت خاک در لایسیمتر فراهم گردید. اجزا اصلی لایسیمتر در (شکل ۱) نشان داده شده است. قسمت (I) سیلندر خاک با مساحت سطحی ۷۸۰۰ سانتی‌مترمربع و خاک‌رخ به عمق ۱۲۰ سانتی‌متر است. لوله برای سنسور رطوبت سنج (II) در ستون خاک نصب شد. ستون خاک روی سیستم توزین حساسی (III) قرار گرفته است که ظرفیت اندازه‌گیری جرمی با دقت ۱۰ گرم را دارد. مقدار آبی که وارد ستون خاک می‌شود یا خارج می‌شود اندازه‌گیری شد. زه‌کشی ثقلی توسط یک تانک زه‌کشی



شکل ۲. تأخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در لایسیمتر



شکل ۳. پروفیل تراکم ریشه اندازه‌گیری شده برای زیتون

حل معادلات جریان پیوسته

در معادله (۴) E_s براساس اندازه‌گیری تأخیر از سطح خاک به صورت میدانی با استفاده از یک میکرو لایسیمتر و به صورت رطوبت حجمی محاسبه گردید. در معادله (۶)، Q_N به طور ساده به صورت میانگین کل نشت (۲۳ میلی‌متر) در طول دوره در نظر گرفته شد. خطای اندازه‌گیری تخمین Q_N بسیار کم بود. پروفیل رطوبتی خاک در ساعت ۱۲ روز آبیاری به عنوان شرایط اولیه انتخاب شد.

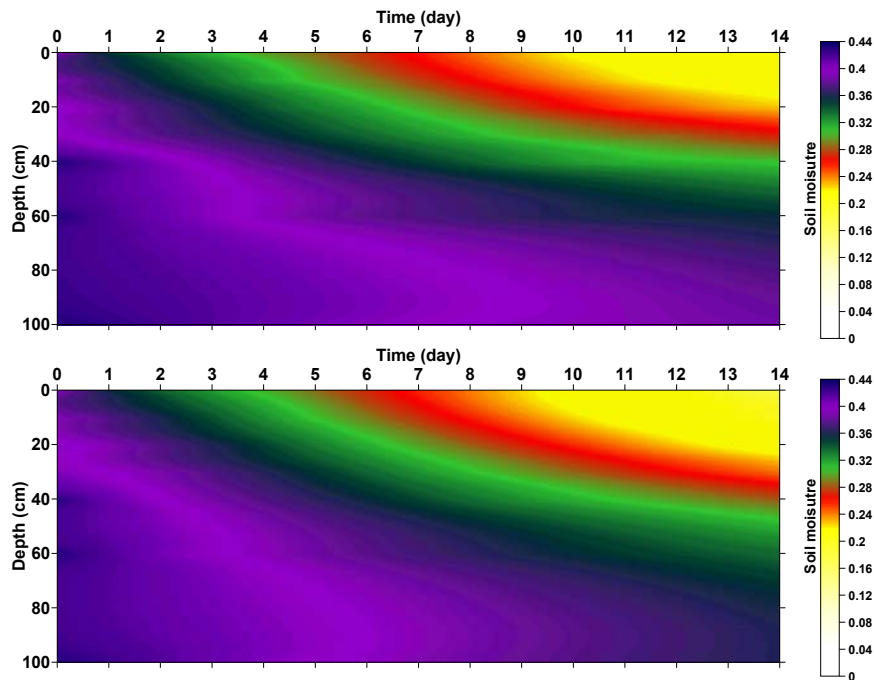
نتایج و بحث

(شکل ۴) شبیه‌سازی و اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات رطوبت حجمی خاک به صورت مکانی و زمانی ارائه شده است.

رطوبتی خاک، مقدار ۲۳ میلی‌متر نشت از عمق ۱ متری در این دوره وجود داشت.

تراکم طولی ریشه

جهت تعیین تراکم طولی ریشه، تا عمق ۱ متر، از هر ۱۰ سانتی‌متر نمونه خاک و ریشه برداشت شد و پس از شستشو توسط آب، اجزا خاک مورد بررسی قرار گرفت. تراکم طولی ریشه (طول ریشه در حجم واحد خاک، cm.cm^{-3}) از اندازه‌گیری‌های طول ریشه و حجم نمونه‌ها، به دست آمد. پروفیل تراکم طولی ریشه به دست آمده در (شکل ۳) نشان داده شده است. از نظر آماری، در لایه‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، طول ریشه به ترتیب شامل ۷۵٪، ۹۳٪ و ۹۹٪ پروفیل کل را در بر گرفته بودند.



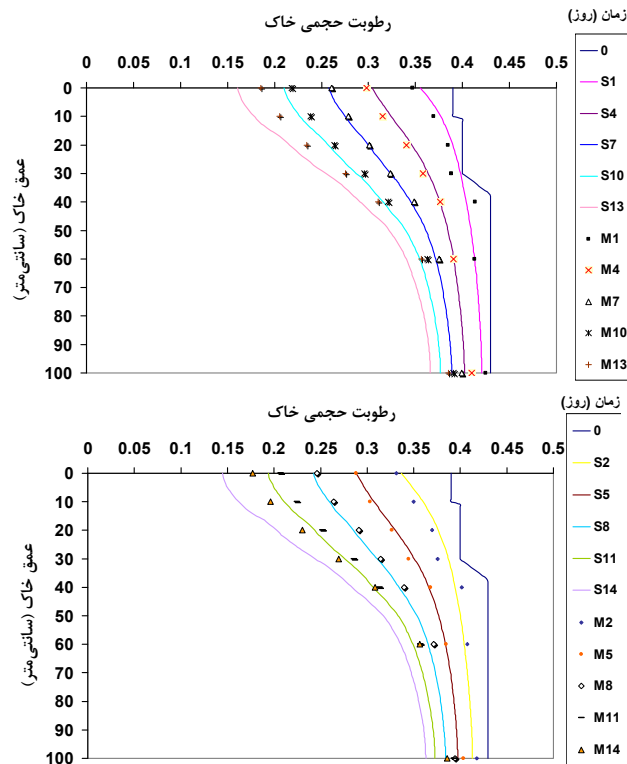
شکل ۴. پروفیل رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده (a) و شبیه‌سازی شده (b) برای روزه‌های مختلف در طول دوره آزمایش

مربوط به داده‌های اندازه‌گیری (Measured) و خطوط، نشان‌دهنده مقادیر شبیه‌سازی (Simulated) است که به ترتیب با M و S مشخص می‌باشند. در شکل a رطوبت خاک اولین روز دوره آزمایش پس از شرایط اولیه رسم گردید و خطوط بعدی فواصل ۳ روز را از روز اول نشان می‌دهند و در شکل b شروع دوره، روز دوم می‌باشد و خطوط بعدی فواصل ۳ روز از روز دوم را نشان می‌دهند. با بررسی شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده از همبستگی خوبی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری برخوردار است. در عمق ۱۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری تخمین درصد رطوبت خاک بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است و کمترین اختلاف در لایه ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر افتاده است. در (شکل ۵) مشخص است که در هر دو دوره، در روزهای انتهایی دوره شبیه‌سازی‌ها از خطای بیشتری نسبت به اول دوره برخوردار می‌باشد.

در (جدول ۲) خلاصه نتایج آماری ارائه شده است. همان‌طور که در جدول آمده است حداکثر خطای نسبی در لایه‌های صفر تا ۱۰ سانتی‌متر به ۱۸ درصد رسید. در لایه‌های ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری مجموع اختلافات نسبی بسیار کم بود. با

به این صورت که تغییرات رطوبت خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک در روزه‌های مختلف برای ۱۴ روز نشان داده شده است. شکل a مربوط به نتایج اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول دوره آزمایش می‌باشد که مقدار رطوبت خاک با رنگ در کنار شکل مشخص می‌باشد. شکل b مربوط به نتایج شبیه‌سازی مدل بوده که در همان دوره ۱۴ روزه ارائه گردیده است. شبیه‌سازی‌های الگوی توزیع رطوبت خاک با استفاده از مدل ارائه شده همخوانی قابل قبولی با داده‌های مشاهداتی دارد ($R^2=0.92$). شکل هم‌چنین نشان می‌دهد که اختلافاتی بین پروفیل اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده وجود دارد و با توجه به شکل می‌توان دریافت که در انتهای دوره آزمایش، کاهش رطوبت خاک شبیه‌سازی شده در اعماق ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بوده است.

(شکل ۵) نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری رطوبت خاک را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. در این شکل ۲ دوره مشخص از طول کل دوره انتخاب گردید که با a و b نشان داده شده است. زمان صفر در هر دو شکل شرایط اولیه رطوبت خاک اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. نقاط در (شکل ۵)



شکل ۵. پروفیل رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده (نقاط-M) و شبیه‌سازی شده (خطوط-S)، (a) برای دوره اول (شروع از روز اول دوره) و (b) دوره دوم (شروع از روز دوم دوره)

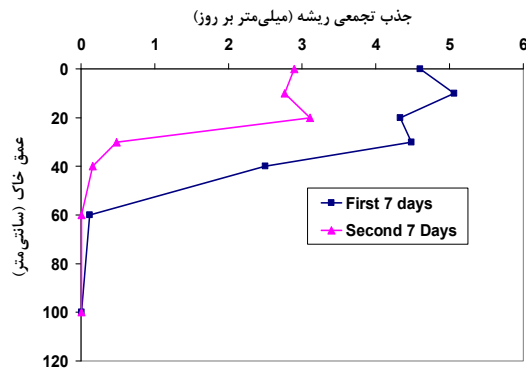
جدول ۲. خطای نسبی رطوبت خاک شبیه‌سازی شده براساس مدل نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده

زمان (روز)														α_i
۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
-۱۸/۵۶	-۱۳/۲۶	-۹/۷۶	-۶/۱۹	-۳/۷۵	-۳/۰۸	-۱/۵۸	-۱/۲۳	-۱/۱۶	۰/۰۰	۱/۹۸	۲/۱۴	۱/۶۹	۲/۳۱	۰
-۱۷/۵۸	-۱۳/۲۴	-۱۰/۲۵	-۶/۰۷	-۴/۹۰	-۲/۶۸	-۱/۷۴	-۱/۲۲	-۰/۸۲	۱/۳۵	۲/۸۲	۱/۷۵	۲/۸۳	۲/۰۶	۱۰
-۱۱/۹۰	-۷/۷۶	-۶/۹۳	-۳/۴۹	-۲/۴۳	-۱/۶۷	-۲/۱۶	-۰/۴۳	-۱/۰۴	۱/۱۰	۱/۶۱	۱/۳۷	۱/۷۶	۱/۳۵	۲۰
-۹/۵۳	-۷/۵۱	-۷/۶۰	-۳/۲۹	-۲/۸۸	-۱/۲۲	-۱/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۸۰	۱/۵۱	۲/۲۰	۳/۰۳	۲/۴۷	۳۰
-۸/۰۱	-۶/۱۳	-۴/۴۱	-۲/۰۸	-۱/۶۲	-۱/۴۰	-۱/۶۸	-۱/۰۳	-۰/۸۹	-۰/۴۹	۰/۰۰	-۱/۶۱	-۱/۷۴	-۲/۲۷	۴۰
-۵/۷۵	-۴/۴۷	-۴/۰۴	-۲/۲۷	-۲/۲۶	-۱/۱۸	-۱/۶۹	-۱/۰۱	۰/۰۰	-۰/۲۳	۰/۰۰	-۰/۷۰	-۰/۸۸	۰/۰۰	۶۰
-۵/۹۸	-۴/۹۶	-۴/۸۲	-۵/۲۱	-۳/۵۱	-۲/۷۹	-۲/۶۱	-۲/۷۰	-۱/۱۹	-۱/۵۴	-۱/۸۶	-۱/۶۲	-۱/۱۲	-۱/۰۴	۱۰۰

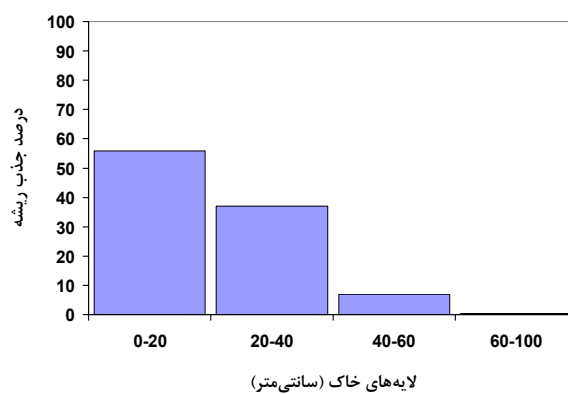
داده شده است. در این شکل جذب ریشه در دو دوره ۷ روزه اول و دوم ارائه شده است. پتانسیل آب در خاک و توزیع تراکم ریشه اصلی‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر جذب می‌باشد. مقدار جذب ریشه در منطقه‌ای که تراکم طولی ریشه بیشتر است، بالا می‌باشد. به علت مقدار رطوبت بالا مقدار جذب ریشه در هفت

توجه به جدول می‌توان نتیجه گرفت که در ۱۰ روز ابتدایی، شبیه‌سازی همبستگی بسیار بالایی را نسبت به ۴ روز بعدی نشان می‌دهد.

در (شکل ۶) توزیع تراکم جذب ریشه در خاک‌رخ با استفاده از مدل فدس و اندازه‌گیری‌های میدانی در دوره آزمایش نشان



شکل ۶. توزیع مقدار تجمعی جذب آب ریشه در ۲ دوره ۷ روزه از ابتدای دوره آزمایش



شکل ۷. درصد جذب آب ریشه درخت زیتون برای لایه‌های مختلف خاک

فدس نشان داد که شدت جذب آب ریشه توسط دو پارامتر تراکم طولی ریشه و درصد آب خاک به دست می‌آید (۲۳) و (۲۶). نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق ورات و همکاران (۲۹) که بر روی درخت بادام انجام گرفته، همبستگی خوبی را نشان می‌دهد. با توجه به (جدول ۲) در لایه بالای ۳۰ سانتی‌متر این مدل جذب ریشه را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده است که این نتیجه با تحقیق یلو و همکاران (۳۴) کاملاً متفاوت بوده و آنها تخمین بیشتری را از مقدار واقعی جذب در این لایه به دست آورده‌اند و این اختلاف مستقیماً متأثر از مدل جذب استفاده شده در معادله حرکت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

رطوبت لایه ۲۰ سانتی‌متری برای جذب آب گیاه به علت وجود تراکم ریشه بالا در این عمق بسیار اهمیت دارد. این تحقیق به

روز اول بیشتر از هفت روز بعدی است. درصد رطوبت خاک مقدار جذب را در سطح خاک محدود می‌کند. براساس شکل، حداکثر جذب در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر اتفاق افتاده است. (شکل ۷) درصد جذب را برای لایه‌های مختلف برای دوره ۱۴ روزه نشان می‌دهد. در این شکل، ۵۶ درصد جذب در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد که بیشتر تراکم ریشه نیز در این منطقه اتفاق می‌افتد. درصد جذب در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر ۳۷ درصد کل جذب را نشان می‌دهد که با این نتایج می‌توان چنین بیان کرد که تقریباً کل جذب در لایه صفر تا ۴۰ سانتی‌متری اتفاق می‌افتد. با مقایسه نتایج جذب با قانون ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ می‌توان بیان نمود که در نتایج به دست آمده، لایه اول ۱۶ درصد و لایه دوم ۷ درصد جذب بیشتری را نسبت به قانون ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ نشان می‌دهد و لایه سوم و چهارم به مراتب جذب کمتری را شامل شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی از مدل

مدل موجود با خطا همراه است. خطای نسبی میانگین شبیه‌سازی شده مدل فدس (۶) در حدود ۱۰ درصد بوده است که با اصلاح ضریب کاهش مدل (معادله ۱۵) که به پتانسیل خاک بستگی دارد، می‌توان این مقدار خطا را کاهش داد. براساس نتایج، بیشترین جذب آب توسط ریشه درخت زیتون در خاک لوم-رسی در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر اتفاق می‌افتاد که مقدار حداکثر جذب در دوره آزمایش به‌طور متوسط $0.084 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ محاسبه گردید.

یک دوره ۱۴ روزه محدود شد که در این مدت تراکم ریشه به‌صورت استاتیکی در نظر گرفته شد. به نظر می‌رسد که کار مشابهی برای کل فصل کشت برای بررسی جامع انتقال رطوبت و جذب ریشه باید انجام گیرد. با استفاده از داده‌های لایسیمتر و اندازه‌گیری‌های میدانی مدل جذب ریشه فدس (۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه پروفیل رطوبتی خاک تخمین زده شده با استفاده از معادله حرکت آب در خاک همراه با پارامتر جذب آب ریشه با اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک، نشان داد که

منابع مورد استفاده

1. Acs, F. 1994. A coupled soil-vegetation scheme: Description, parameters, validation, and sensitivity studies. *J. Appl. Meteorol.* 33(2): 268-284.
2. Chang, Y. and M.Y. Corapcioglu. 1997. Effect of roots on water flow in unsaturated soils. *J. Irrig. and Drain. Eng.* 123(3): 202-209.
3. Coelho, F.E. and D. Or. 1996. A parametric model for two-dimensional water uptake intensity by corn roots under drip irrigation. *SSSA J.* 60: 1039-1049.
4. De Jong, R. and P. Kabat. 1990. Modeling water balance and grass production. *SSSA J.* 54: 1725-1732.
5. Feddes, R.A., P.J. Kowalik, K. Kolinska-Malinka and H. Zaradny. 1976. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function. *J. Hydrol.* 31: 13-26.
6. Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Centre for Agric. Pub. and Documentation., The Netherlands, Wageningen.
7. Feng, S.Y., Z.L. Huo and S.Z. Kang. 2007. ANN model for simulating dynamic variation of groundwater under the condition of natural-human activity in arid-inland area. *J. Hydraul. Eng.* 38(7): 873-878.
8. Gardner, W.R. 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron. J.* 56: 41-45.
9. Gong, D.Z., S.Z. Kang, L. Zhang, T.S. Du and L.M. Yao. 2006. A two-dimensional model of root water uptake for single apple trees and its verification with sap flow and soil water content measurements. *Agric. Water Manage.* 83(1-2): 119-129.
10. Hakerlath, W.N., E.E. Miller and W.R. Gardner. 1977. Water uptake by plants: 1. Divided root experiments. *SSSA J.* 41: 1033-1038.
11. Heidmann, T., C. Tofteng, P. Abrahamsen, F. Plauborg, S. Hansen, A. Battilani, J. Coutinho, F. Dolezal, W. Mazurczyk, J.D.C. Ruiz and J. Takac. 2008. Calibration procedure for a potato crop growth model using information from across Europe. *Ecol. Modell.* 211: 209-223.
12. Hu, H. 1995. A study of moisture and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum. PhD. Thesis, Submitted to Department of Civil Eng., University of Tokyo, Tokyo, Japan.
13. Iskandar, I.K. and H.M. Selimm. 1981. Modeling nitrogen transport and transformations in soils: 1. Validation. *Soil Sci.* 131(5): 303-312.
14. Lafolie, F., L. Bruckler and F. Tardieu. 1991. Modeling root water potential and soil-root water transport: I. Model presentation. *SSSA J.* 55: 1203-1212.
15. Lei, Z., S. Yang and S. Xie. 1988. *Soil Water Dynamics*. Tsinghua University Press., Beijing, China.
16. Marino, M.A. and J.C. Tracy. 1988. Flow of water through root-soil environment. *J. Irrig. and Drain. Eng.* 114: 588-604.
17. Mathur, S. and S. Rao. 1999. Modeling water uptake by plant roots. *J. Irrig. and Drain. Eng.* 125(3): 159-165.
18. Mihailovi, D.T., R.A. Pielke, B. Rajkovi, T.J. Lee and M. Jefti. 1993. A resistance representation of schemes for evaporation from bare and partly plant-covered surfaces for use in atmospheric models. *J. Appl. Meteorol.* 32(6): 1038-1054.
19. Musters, P.A.D. and W. Bouten. 2000. A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root water uptake model. *J. Hydrol.* 227(1-4): 273-286.
20. Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3: 139-145.

21. Omary, M. and J.T. Ligon. 1992. Three-dimensional movement of water and pesticide from trickle irrigation: Finite element model. *Trans. ASAE* 35(3): 811-821.
22. Patterson, D. E. and M.W. Smith. 1981. The measurement of unfrozen water content by time domain reflectometry: Results from laboratory tests. *Can. Geotechnol. J.* 18: 131-144.
23. Qiao, D.M., H.B. Shi, H.B. Pang, X.B. Qi and F. Plauborg. 2010. Estimating plant root water uptake using a neural network approach. *Agric. Water Manage.* 98: 251-260.
24. Rowse, H.R., D.A. Stone and A. Gerwitz. 1978. Simulation of the water distribution in soil: 2. The model for the cropped soil and its comparison with experiment. *Plant Soil* 49: 534-550.
25. Selim, H.M. and I.K. Iskandar. 1978. Nitrogen behavior in land treatment of wastewater: A simplified model. In *State of 10 TRANSACTIONS OF THE ASAE*.
26. Skaggs, T.H., M.T. van Genuchten, P.J. Shouse and J.A. Poss. 2006. Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. *Agric. Water Manage.* 86(1-2): 140-149.
27. Singh, R. and J. Singh. 1996. Irrigation planning in cotton through simulation modeling. *Irrig. Sci.* 17: 31-36.
28. Topp, G.C., J.L. Davis and A.P. Annan. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16: 574-582.
29. Vrugt, J.A., J.W. Hopmans and J. Simunek. 2001. Calibration of a two-dimensional root water uptake model. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65: 1027-1037.
30. Wallach, R. 1990. Soil water distribution in a non-uniformly irrigated field with root extraction. *J. Hydrol.* 119: 137-150.
31. Whisler, F.D., A. Klute and R.J. Millington. 1968. Analysis of steady-state evapotranspiration from a soil column. *SSSA Proc.* 32: 167-174.
32. Wraith, J.M. and J.M. Baker. 1991. High-resolution measurement of root water uptake using automated time-domain reflectometry. *SSSA J.* 55: 928-932.
33. Wu, Q. 1993. An investigation of numerical simulation for water movement and heat transfer under field evapotranspiration. PhD. Thesis, Submitted to Department of Hydraul. Eng., Tsinghua University, Beijing, China.
34. Yiluo, L., Z. OuYang, G. Yuan, D. Tang and X. Xie. 2003. Evaluation of Macroscopic Root Water Uptake Model Using Lysimeter data. *Soil & Water Division, ASAE* 46(3): 625-634.

Evaluation of Transpiration and Water Uptake Models in Olive Tree Using Lysimeter

S. Besharat^{1*}, V. Rezaverdinejad¹, H. Ahmadi¹
and H. Abghari²

(Received : May 20-2011 ; Accepted : Jan. 29 -2012)

Abstract

Different root water uptake models have recently been used. In this article, we use evapotranspiration data and soil water content data obtained from lysimeter measurements and root distribution in soil data obtained from olive tree to evaluate the accuracy of root water uptake models in predicting the soil water content profiles. Depth of lysimeter was 120 cm which was filled with clay-loam. Lysimeter recorded values of input and output of water and accurate value of evapotranspiration was also calculated. Soil water content distribution was measured using a TDR probe in lysimeter during the experiment. Feddes model with the root length density was used to account for the role of root distribution in soil. The flow equations were solved numerically with the measured evapotranspiration data as input, and the predicted soil water content profiles were compared with the measured profiles to evaluate the validity of the root water uptake models. The comparison showed that the average of relative error index for Feddes model was 10 %. Based on the results, about 90% of root uptake in olive tree happened at the depth of 40 centimeter.

Keywords: Evapotranspiration, Olive, Root water uptake models, Soil water.

1. Dept. of Water Eng., College of Agric., Urmia Univ., Urmia, Iran.

2. Dept. of Range & Watershed Manage., College of Natur. Sci., Urmia Univ., Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: s.besharat@urmia.ac.ir