

اثر تنش آبی بر فرآیند جذب آب توسط بخش‌های مختلف ریشه

* مهدی زاگری نیا^۱، تیمور سهرابی^۲، مهدی شهابی فر^۳، فریبرز عباسی^۴ و محمدرضا نیشابوری^۵

^۱ دانشجوی دوره دکتری گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب،
^۲ استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج،^۳ استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۵

چکیده

پدیده جذب آب توسط ریشه در مدل‌های هیدرولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق مشخص نمودن نقش بخش‌های مختلف ریشه در جذب آب در شرایط رطوبتی مختلف لایه‌های خاک می‌باشد. ۱۱ لایسی متر با قطر ۲۵ و ارتفاع ۱۰۰ سانتی متر انتخاب و به سه دسته تقسیم‌بندی شد. چهار لایسی متر در دسته اول قرار داشت که با استقرار لایه‌های شن هر کدام به چهار لایه مجزا تقسیم شده بود. دسته دوم و سوم نیز به ترتیب شامل چهار و سه لایسی متر بدون لایه‌بندی خاک در نظر گرفته شد. آبیاری لایه‌ها در لایسی مترهای دسته اول و دوم به طریق زیرسطحی و در دسته سوم به روش ثقلی انجام گردید. تنش رطوبتی در دسته اول و دوم با کاهش تعداد لایه‌های تحت آبیاری از بالای لایسی مترها صورت پذیرفت. در دسته سوم نیز به ترتیب آبیاری کامل، کم آبیاری‌های ۲۰ و ۴۰ درصد اعمال گردید. با اندازه‌گیری‌های انجام شده، نقش ریشه‌های لایه‌های تحتانی در جذب آب به هنگام وقوع تنش رطوبتی در لایه‌های فوقانی مشخص گردید. صرف نظر از چگالی طول ریشه کمتر در لایه‌های عمقی مرطوب، این توانایی در گیاه وجود داشت که با افزایش فعالیت ریشه و جذب بیشتر آب از آنها، با کمبود آب در لایه‌های فوقانی مقابله و نیاز آبی خود را جبران نماید. بررسی داده‌های جذب آب در دسته سوم نیز نشان داد که با شدت یافتن کم آبیاری، درصد جذب آب توسط لایه فوقانی که تحت آبیاری قرار می‌گیرد، بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، جذب آب توسط ریشه و لایه‌بندی

مقدمه

جذب آب توسط ریشه، با مدل‌های خرد^۱ و کلان^۲ کمی می‌گردد. مدل‌های کلان ساده‌تر بوده و برای شرایط مزرعه‌ای مناسب‌ترند. اساس مدل‌های کلان، پیشنهادهای مولز و رمسون (۱۹۷۰) و مولز و رمسون (۱۹۷۱) است که در آنها جذب آب توسط ریشه به صورت تعرق واقعی گیاه

بررسی پدیده جذب آب توسط ریشه در مدل‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی که در ارتباط مستقیم با گیاه قرار دارند، از اهمیت زیادی برخوردار است (فدس و راتس، ۲۰۰۴؛ کلیدون و هیمن، ۱۹۹۸؛ زنگ و همکاران، ۱۹۹۸).

* - مسئول مکاتبه: a_zakerinia@yahoo.com

نیز ارائه شده است. پراساد و همکاران (۱۹۸۸) به فرض تغییر خطی پتانسیل جذب آب با عمق بیان کردند که در خاک‌های مرطوب ریشه‌ها ترجیح می‌دهند که آب را از لایه‌های بالایی جذب نموده و میزان جذب در انتهای منطقه ریشه برابر صفر می‌باشد. یارویس (۱۹۸۹) تابع کاهش جذب آب را در لایه‌های مختلف متأثر از کسری از طول ریشه‌ها که در هر لایه قرار دارد، معرفی نمود. بنابراین علاوه بر شرایط رطوبتی حاکم بر خاک، تراکم طول ریشه در لایه‌ها نیز بر مقدار جذب آب در نظر گرفته شد. بهترین فاکتور برای در نظر گرفتن نقش ریشه‌ها در جذب آب، تابع توزیع چگالی طول ریشه (RLD)^۲ می‌باشد (طول ریشه موجود در واحد حجم خاک). تاکنون توابع چگالی طول ریشه مختلفی مانند تابع چگالی طول ریشه یکنواخت فلدس و همکاران (۱۹۷۸)، خطی پراساد (۱۹۸۸)، نمایی لی و همکاران (۱۹۹۹) و تابع بدون نشانه^۳ گال و گریال (۱۹۸۷) ارائه شده است. در برخی مدل‌ها، وجود ریشه‌های پرتراکم در قسمت‌های بالایی خاک، عامل عمده جذب آب برای گیاه در نظر گرفته شده و فرض شده است که در شرایط رطوبتی مناسب، ریشه‌ها قادرند آب را به سادگی از لایه‌های سطحی جذب نمایند و نقش ریشه‌های موجود در لایه‌های عمقی در جذب آب اندک است (گرین و کلوزیر، ۱۹۹۵ و هوانگ و همکاران، ۱۹۹۷). اما در طول فصل رشد ممکن است قسمت‌های فوقانی پروفیل خاک که تراکم ریشه در آن بیشتر است با خشکی مواجه شود، ولی با این وجود گیاه قادر است به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهد. بنابراین در این حالت بخش‌های تحتانی که تراکم ریشه در آنها کمتر ولی دارای رطوبت مناسبی هستند، مسئول جذب آب برای گیاه می‌باشند. به عبارت دیگر گیاه با تغییر الگوی حداکثر جذب آب به طرف ریشه‌های با تراکم کمتر (از طریق افزایش فعالیت آنها)، به رشد و نمو خود ادامه می‌دهد

مطرح می‌شود. در تمامی این مدل‌ها مقدار جذب آب توسط ریشه به صورت حجمی و با یک عبارت منفی که نمایانگر خروج آب است، در معادله ریچاردز (۱۹۳۱) قرار می‌گیرد.

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

که در آن، z عمق خاک (سانتی‌متر)، t زمان (روز)، θ رطوبت (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، h مکش ماتریک خاک (سانتی‌متر)، K هدایت هیدرولیکی خاک (سانتی‌متر بر روز) و S جذب آب توسط ریشه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب در روز) می‌باشد. محققان بسیاری بر مبنای فرضیات خاص خود به ارائه رابطه برای S پرداخته‌اند (فلدس و همکاران، ۱۹۷۸؛ پراساد، ۱۹۸۸ و همایی و همکاران ۲۰۰۲). اگر محدودیت رطوبتی در خاک وجود نداشته باشد، با فرض اینکه تعرق گیاه (T) برابر با جذب آب توسط ریشه (S) است، حداکثر جذب (S_{max}) وقوع خواهد یافت که متناسب با تعرق پتانسیل (T_p) خواهد بود. در صورت وجود تنش رطوبتی در خاک به اندازه $\alpha(h)$ از میزان تعرق حداکثر کاسته می‌شود.

$$S = \alpha(h) S_{max} \quad (2)$$

در این معادله $\alpha(h)$ نسبت جذب آب در حالت واقعی به جذب در حالت بدون تنش رطوبتی است ($0 < \alpha(h) \leq 1$).

مولز و رامسون (۱۹۷۰) با فرض مساوی بودن مقدار جذب آب توسط ریشه با تعرق واقعی، مقدار S در هر نقطه از خاک را متناسب با توزیع مکانی ریشه‌های گیاه در آن عمق معرفی نموده‌اند. همچنین مدل‌های جذب دیگری نظیر کاهش نمایی جذب آب نسبت به عمق (راتس، ۱۹۷۴)، تغییر خطی جذب آب با مقدار مکش ماتریک خاک (فلدس و همکاران، ۱۹۷۸) و تغییر سیگموئیدی جذب آب با مکش ماتریک خاک (ون گنوختن، ۱۹۸۷)

(یارویس، ۱۹۸۹؛ همایی، ۱۹۹۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و همکاران، ۲۰۰۶؛ سیمئونک و همکاران، ۲۰۰۵؛ براد و همکاران، ۲۰۰۵). بر این اساس در شرایط وقوع تنش رطوبتی در خاک، مدل‌هایی که تعرق گیاه را فقط به چگونگی توزیع ریشه نسبت می‌دهند، تخمین درستی از جذب آب نخواهند داشت (لی و همکاران، ۲۰۰۱) و در این شرایط این‌گونه مدل‌ها رطوبت خاک را در لایه‌های سطحی کمتر از حد و در اعماق بیشتر از حد تخمین می‌زنند. با توجه به این واقعیت لای و کاتول (۲۰۰۰) به‌هنگام کمبود رطوبت خاک، خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه در مقابله با کم‌آبی را از تراکم ریشه در لایه‌های مختلف برای جذب آب مهم‌تر برشمرده و اذعان نمودند با وقوع تنش در لایه‌های سطحی، ریشه‌های موجود در لایه‌های تحتانی در جذب آب، موثرتر و کاراتر می‌گردد.

با بررسی منابع مختلف، خلاء وجود آزمایشی که به‌صورت واقعی نقش ریشه‌های واقع در لایه‌های مختلف خاک را در جذب آب مشخص نماید، احساس شد. بر این اساس، هدف از این تحقیق بررسی جذب آب توسط ریشه گیاه در شرایط رطوبتی مختلف در لایه‌های خاک و نیز تعیین نقش واقعی ریشه‌های موجود در لایه‌های عمیق‌تر، به‌هنگام وقوع تنش رطوبتی در لایه‌های فوقانی در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

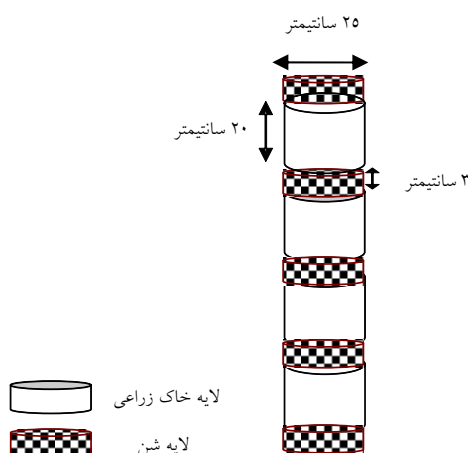
به‌منظور بررسی رفتار ریشه در بخش‌های مختلف آن تعداد ۲۲ عدد لایسی‌متر آزمایشی ساخته شد (۱۱ لایسی‌متر و یک تکرار از هر کدام). جنس لایسی‌مترها *PVC* و قطر و ارتفاع آنها به ترتیب ۲۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر بود. در تمامی لایسی‌مترها خاکی با بافت لوم رسی^۱ با چگالی ظاهری حدود ۱/۳ تا ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به شرحی که در زیر خواهد آمد، قرار داده شد. مشخصات فیزیکی خاک مذکور در جدول ۱ ارائه شده‌است. پوششی

از شن به ضخامت ۳ سانتی‌متر برای جلوگیری از تبخیر از سطح خاک و زه‌کشی بهتر در بالا و کف همه لایسی‌مترها اضافه شد. لایسی‌مترها به سه دسته تقسیم‌بندی شد که در دسته اول و دوم هر کدام چهار لایسی‌متر و در دسته سوم سه لایسی‌متر (از هر کدام دو تکرار و در مجموع ۲۲ لایسی‌متر) قرار داشت. به‌منظور نزدیک بودن شرایط خاک لایسی‌مترها به شرایط واقعی مزرعه با اضافه کردن آب با مقادیر مختلف بر روی نمونه‌های خاک که قبلاً خشک شده بود و انجام آزمایش تراکم بر روی آنها، مقدار تراکم خاک به ازای رطوبت‌های مختلف، محاسبه و مقایسه شد. بر این اساس رطوبت وزنی ۰/۱۲۵ برای رسیدن به تراکم خاک در مزرعه (۱/۳ تا ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به‌دست آمد و خاک تمامی لایسی‌مترها قبل از تراکم به این رطوبت ارتقاء یافت.

خاک لایسی‌مترهای دسته اول (لایسی‌متر ۱ تا ۴) با لایه‌های شن به ضخامت ۳ سانتی‌متر و قطر ذرات ۱/۳ تا ۲/۳ میلی‌متر (به جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی بین لایه‌ها) به چهار لایه ۲۰ سانتی‌متری تقسیم شد (شکل ۱). در خاک لایسی‌مترهای دسته دوم (لایسی‌متر ۵ تا ۸) و دسته سوم (لایسی‌متر ۹ تا ۱۱) لایه‌های شن قرار داده نشد. گیاه یونجه^۲ به‌عنوان یک گیاه با سیستم ریشه‌ای مناسب انتخاب و تعداد ۲۰ عدد بذر در هر لایسی‌متر کشت شد. بعد از ظهور جوانه‌ها و اطمینان از رشد آنها، تعداد بوته‌ها در همه لایسی‌مترها به ۱۰ عدد تقلیل یافت. تنش رطوبتی طبق الگویی که در ادامه به آن اشاره خواهد شد بعد از حدود ۵ ماه از کشت که ریشه‌ها توسعه مناسب یافته بودند (در دوره سوم رشد)، در لایه‌های مورد نظر اعمال گردید. با ادامه آزمایش در دوره رشد چهارم، اندازه‌گیری‌های جذب آب برای این دوره ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک براساس معادله ون گنوختن در مدل *ROSETTA*

پارامتر	توصیف	واحد
بافت	لوم رسی	-
رطوبت نقطه ظرفیت زراعی	۰/۳۲	سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب
رطوبت نقطه پژمردگی دائمی	۰/۱۲	سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب
رطوبت اشباع	۰/۴۲	سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب
هدایت آبی اشباع	۱۲/۴	سانتی متر بر روز
n	۱/۴۳	-
L	۰/۵	-
α	۰/۰۱۳	سانتی متر



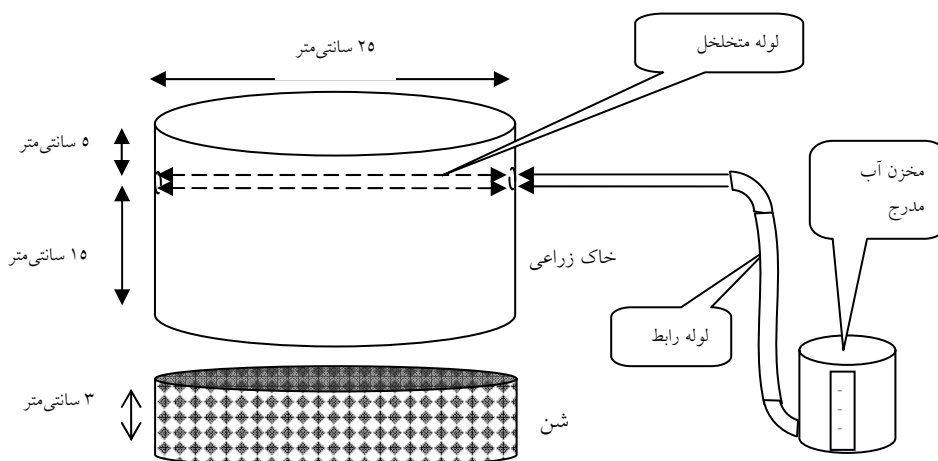
شکل ۱- لایه بندی خاک در لایسیمترهای دسته اول.

۱۱ با کم آبیاری (۴۰ درصد). در طول دوره آزمایش رطوبت لایه های مختلف هر لایسی متر با دستگاه انعکاس سنجی زمانی (*TDR*) مدل تریس^۱ اندازه گیری شد. الگوی آبیاری لایسی مترهای دسته اول (۱ تا ۴) و دسته دوم (۵ تا ۸) به ترتیب شامل آبیاری زیرسطحی هر چهار لایه a ، b ، c و d در لایسی مترهای ۱ و ۵، آبیاری زیرسطحی لایه b ، c و d در لایسی مترهای ۲ و ۶، آبیاری زیرسطحی لایه c و d در لایسی مترهای ۳ و ۷ و آبیاری زیر سطحی لایه d برای لایسی مترهای ۴ و ۸ بود. در دسته اول و دوم آب از مخزن متناظر با هر لایه، تحت تأثیر مکش به آن لایه منتقل می شد و با اندازه گیری شاخص

آبیاری لایه های مورد نظر در لایسی مترهای دسته اول و دوم از طریق یک لوله متخلخل (آبیاری زیرسطحی) انجام می شد و هر لوله متخلخل به یک مخزن آب مدرج متصل بود (شکل ۲). در همه لایه های تحت آبیاری دسته اول و دوم، رطوبت در حد رطوبت سهل الوصول و در حالت غیراشباع حفظ می شد، این حالت با قرار دادن مخازن آبیاری در رقومی کمتر از کف هر لایه ایجاد شد. در لایه های تحت آبیاری، آب از طریق مکشی که خاک حاوی ریشه هر لایه به لوله متخلخل و از آنجا به مخزن آب وارد می نمود، به مصرف می رسید. لایسی مترهای دسته سوم به روش ثقلی آبیاری می شدند (لایسی متر ۹ آبیاری کامل تا رسیدن رطوبت خاک به حالت ظرفیت زراعی، لایسی متر ۱۰ با کم آبیاری ۲۰ درصد و لایسی متر

نصب شده روی هر مخزن در زمان‌های مختلف حجم آب مصرفی توسط هر لایه محاسبه می‌شد (شکل ۲). لوله‌های متخلخل در یک سوم بالایی لایه‌ی تحت آبیاری نصب شد این امر به منظور توزیع رطوبت بهتر در کل لایه صورت گرفت. زمان آبیاری در لایه‌ی مترهای دسته سوم

نیز با توجه به اندازه‌گیری‌های رطوبت در لایه‌ی متر ۹ تعیین می‌شد. بنابراین کل آب مصرفی توسط هر لایه در دوره‌های زمانی مختلف از روی تغییرات رطوبت خاک و مقدار مصرف آب در مخزن متناظر محاسبه گردید.

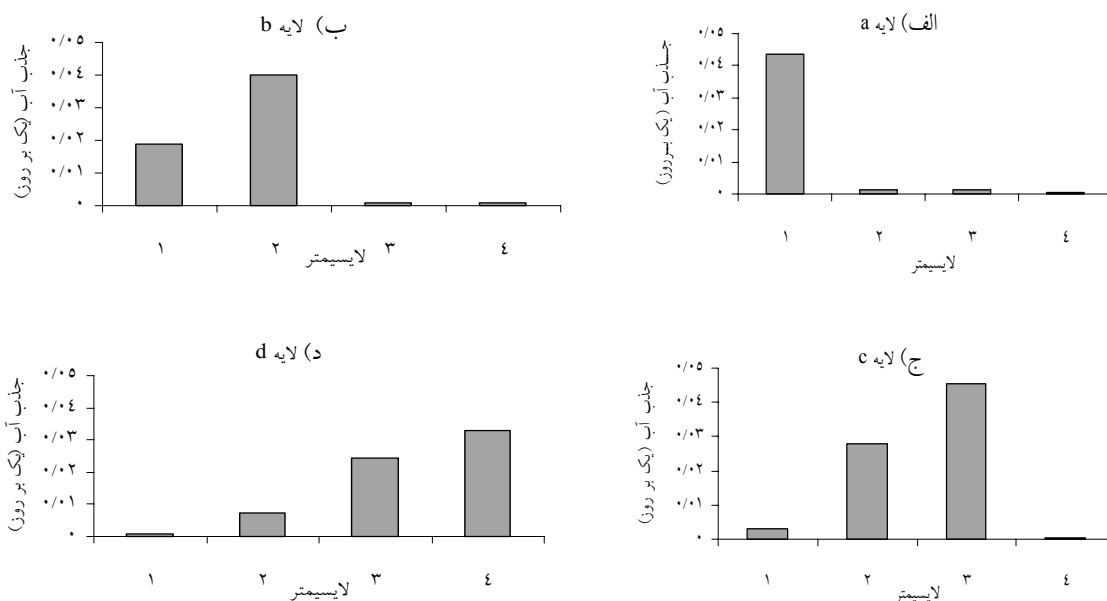


شکل ۲- موقعیت لوله متخلخل در هر لایه تحت آبیاری زیرسطحی لایه‌ی مترهای دسته اول.

نتایج و بحث

با در نظر گرفتن تغییرات رطوبت در لایه‌های تحت تنش و نیز تغییرات رطوبت و تغییرات ارتفاع آب مخازن متصل به لایه‌های تحت آبیاری در زمان‌های مختلف دوره چهارم رشد بوته‌ها، مقدار جذب آب بر حسب واحد حجم آب مصرفی در هر روز در واحد حجم خاک، محاسبه و با واحد یک بر روز^۱ ارائه شده است. مقدار جذب آب در لایه‌های مختلف لایه‌ی مترهای دسته اول در شکل ۳ ارائه شده است. قبل از اعمال تنش آبی شرایط رطوبتی همه لایه‌ی مترها یکسان بود. اما در ادامه با اعمال تنش، لایه‌های بدون لوله متخلخل، رطوبت خود را در دوره سوم رشد بوته‌ها از دست داده و این لایه‌ها در آغاز رشد بوته‌ها در دوره چهارم در دوره جدید رطوبت کمی داشتند. به طوری که این رطوبت برای ریشه‌های موجود در آن لایه‌ها قابل جذب نبود. لذا در لایه‌ی متر ۲ لایه a ، در لایه‌ی متر ۳ لایه‌های a و b و در لایه‌ی متر ۴ لایه‌های a ، b و c رطوبت کمی داشته و به این دلیل نقش کوچکی را

در جذب آب توسط گیاه داشتند، بنابراین گیاه ترجیح می‌داد آب را از لایه‌های دیگری که رطوبت بیشتری داشتند، جذب نماید. (شکل ۴). در این لایه‌ها به دلیل شکستن نیروی کاپیلاری توسط لایه‌های شن، امکان دریافت رطوبت از لایه‌های مرطوب تحتانی وجود نداشت. از سویی دیگر لایه‌هایی که به دلیل اتصال به مخازن آب از طریق لوله متخلخل، آب کافی دریافت می‌کردند، نقش جذب آب مورد نیاز را برای گیاه برعهده داشتند. وجود لایه شن مانعی برای حرکت ثقلی رطوبت از لایه‌های فوقانی به لایه‌های تحتانی نیز بود. زیرا تا زمانی که یک لایه خاک سنگین که بر روی لایه شن قرار دارد، به حالت اشباع نرسد، هیچ‌گونه آبی در اثر حرکت کاپیلاری به طرف اعماق حرکت نخواهد کرد. بعد از آنکه خاک سنگین فوقانی به حالت اشباع برسد، در اثر نیروی ثقل آب از دست داده و لایه شنی مرطوب می‌گردد. از آنجا که همواره تمامی لایه‌های تحت آبیاری دسته اول و دوم در شرایط غیراشباع قرار داشتند، بنابراین در اثر حرکت ثقلی، رطوبتی بین لایه‌ها مبادله نشد.



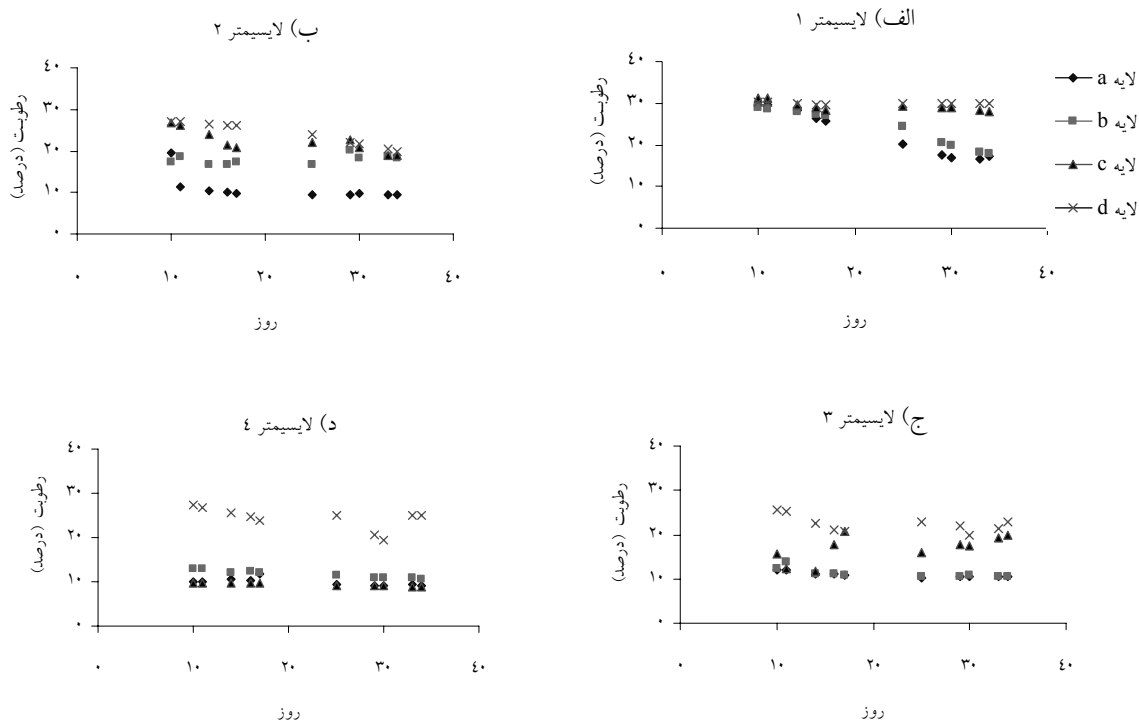
شکل ۳ - الگوی مصرف آب توسط مقاطع مختلف ریشه در لایسی‌مترهای دسته اول (خاک لایه‌بندی شده).

لایسی‌متر ۱، لایه *b* در لایسی‌متر ۲، لایه *c* در لایسی‌متر ۳ و لایه *d* در لایسی‌متر ۴ (در شکل ۳). با توجه به توابع توزیع ریشه گیاه ارائه شده از جمله تابع خطی (پراساد، ۱۹۸۸)، نمایی (لی و همکاران، ۱۹۹۹) مقدار چگالی طول ریشه^۱ از بالا به پایین کاهش می‌یابد، از سویی جذب آب به هنگام وقوع تنش آبی، غالباً از اولین لایه‌ای که رطوبت در آن مناسب بود (صرف‌نظر از *RLD* در آن) صورت پذیرفته است. این امر در لایه‌های تحتانی (با *RLD* کمتر)، از طریق افزایش فعالیت ریشه‌ها در جذب آب امکان‌پذیر شده است. با توجه به عدم تبادل رطوبت بین لایه‌ها، جذب آب در لایه *d* در لایسی‌متر ۴ تقریباً تأمین‌کننده اکثر آب مصرف شده توسط گیاه (حدود ۹۰ درصد) بوده است (شکل ۵). این درحالی است که این لایه در جذب آب برای لایسی‌مترهای ۳ و ۲ نسبت به لایه *c* نقش کمتری (به‌ترتیب در حدود ۳۵ و ۱۰ درصد) را داشته است. زیرا گیاه با در اختیار داشتن رطوبت در لایه‌های بالاتر، با صرف انرژی کمتری آب را از طریق ریشه‌های پرتراکم در آنجا جذب نمود. مقادیر رطوبت خاک در لایه‌های *a* و *b* در لایسی‌متر ۱ (شکل ۴) در

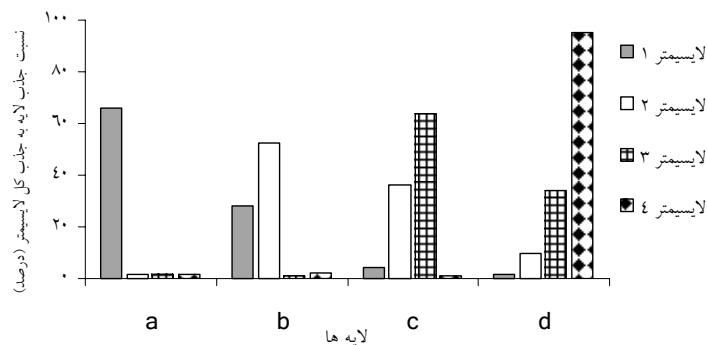
در این شرایط فقط امکان حرکت صعودی آب به‌صورت بخار به‌سمت لایه‌های خشک شده فوقانی وجود داشت که مقدار آن ناچیز بود، اندازه‌گیری رطوبت با *TDR* تأیید‌کننده موارد فوق‌الذکر بود. بر این اساس کل مقادیر آب وارد شده به هر لایه از طریق مخازن آبیاری و نیز تغییرات رطوبت در هر لایه در لایسی‌مترهای دسته اول، فقط در همان لایه مصرف یا ذخیره شده است. در لایسی‌متر ۱، بیشترین مقدار جذب آب به‌ترتیب در لایه‌های *a* و *b* صورت گرفته است (شکل ۵). زیرا علاوه بر آنکه در لایه‌های مذکور به‌دلیل آبیاری زیرسطحی رطوبت در دوره مناسب بوده، مقدار *RLD* نیز بیشتر است. به‌علت‌های ذکر شده، این لایه‌ها سهم زیادی از نیاز آبی مورد مصرف گیاه را تأمین نموده‌اند. در لایسی‌متر ۲، سهم جذب آب توسط لایه *b* و *c* به‌دلیل خشکی لایه فوقانی بیشتر است (۵۲ و ۳۷ درصد). در لایسی‌متر ۳ نیز حداکثر آب جذب شده به‌ترتیب از لایه‌های *c* و *d* صورت گرفته است. در لایسی‌متر ۴ نیز حداکثر جذب آب در لایه *d* صورت گرفته بود. بنابراین حداکثر مقادیر آب جذب شده در لایسی‌مترهای دسته اول در بالاترین لایه‌ی تحت آبیاری، مشاهده شده است (به‌ترتیب لایه *a* در

رطوبت در این لایه‌ها نسبت به لایه‌های مشابه لایسی‌مترهای دیگر بیشتر است. مقادیر جذب آب توسط لایه‌های مختلف لایسی‌مترهای ۵ تا ۸ (دسته دوم بدون لایه‌بندی خاک)، در شکل ۶ نمایش داده شده است.

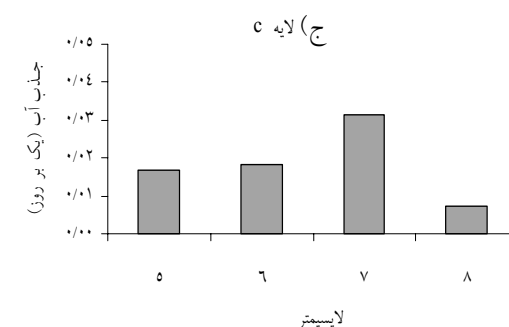
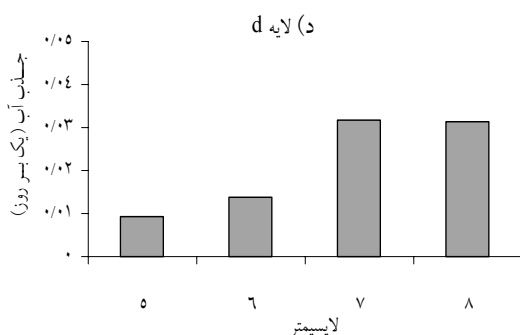
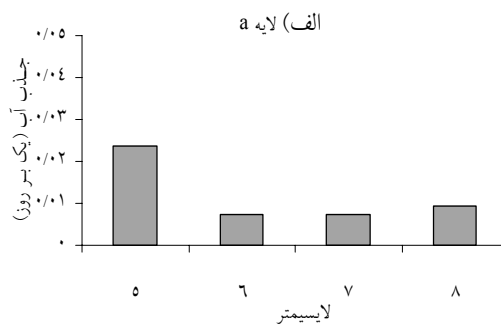
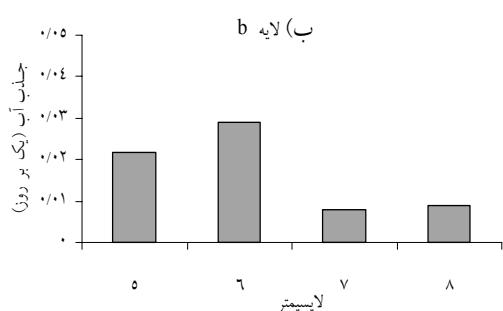
اواخر دوره با وجود اتصال لوله متخلخل در این لایه‌ها به مخازن آب کاهش یافته است. این امر به دلیل مصرف زیاد آب در این لایه‌ها به خاطر چگالی طول ریشه بیشتر در آنها است. از آنجا که به علت وجود لایه شن بین لایه‌ها امکان توزیع رطوبت از اعماق نیز وجود نداشته است، کاهش



شکل ۴- تغییرات رطوبت لایه‌های *a*، *b*، *c* و *d* در لایسی‌مترهای دسته اول (خاک لایه‌بندی شده) در طول دوره رشد.



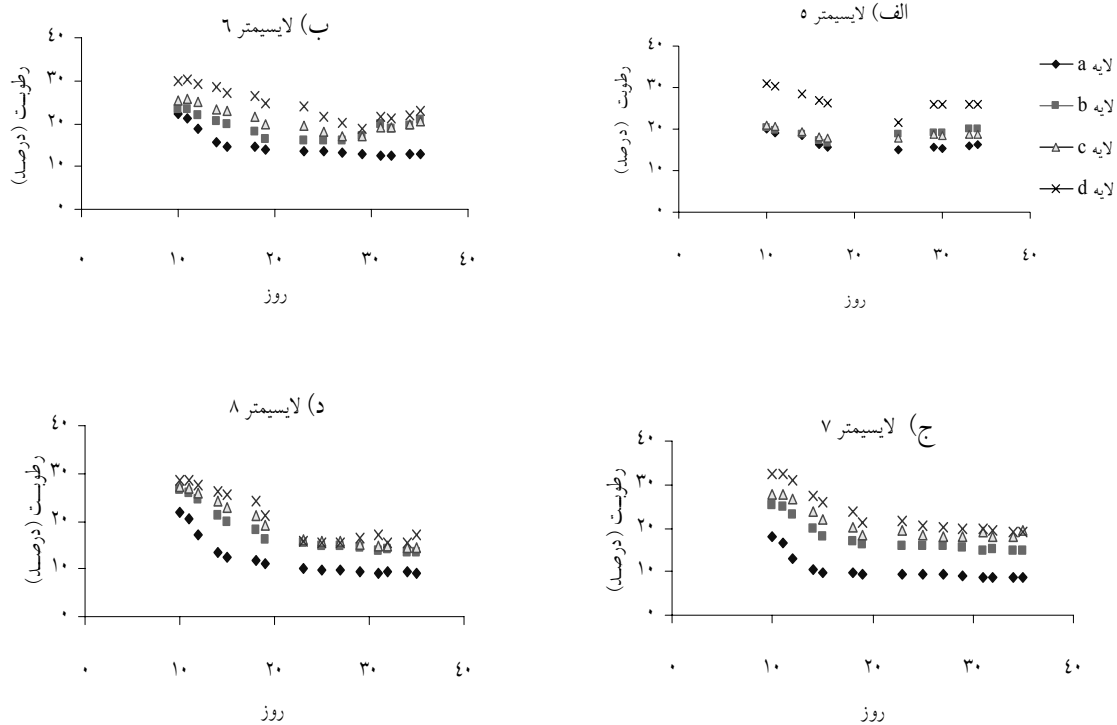
شکل ۵- نسبت جذب آب در هر لایه به کل آب جذب شده در لایسی‌مترهای دسته اول.



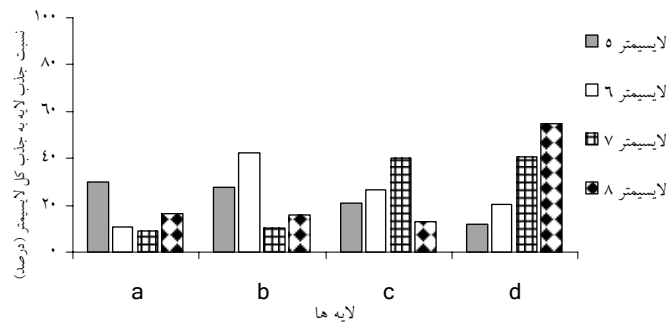
شکل ۶- الگوی مصرف آب توسط مقاطع مختلف ریشه لایسی مترهای دسته دوم (خاک بدون لایه بندی).

آبی لایسی مترهای دسته دوم (در اوایل دوره)، در این لایسی مترها رطوبت نسبت به لایه‌های متناظر در لایسی مترهای دسته اول، کاهش بیشتری یافته است. روند کلی جذب آب در لایسی مترهای ۵ تا ۸ تقریباً مشابه لایسی مترهای ۱ تا ۴ می‌باشد، با این تفاوت که حداکثر مقادیر جذب آب از لایه‌ها در آنها تعدیل شده است. به‌طور مثال نسبت جذب آب در لایه *d* در لایسی متر ۸ نسبت به مقدار آن در لایسی متر ۴ حدود ۴۰ درصد کمتر است (شکل ۵ و ۸). این تفاوت به دلیل نقش لایه *c* در جذب آب برای لایسی متر ۸ بوده است. مقایسه کلی جذب آب توسط لایسی مترهای دسته اول و دوم مبین آن است که وجود رطوبت مناسب عامل اصلی جذب آب توسط ریشه‌های هر لایه برای گیاه می‌باشد.

نحوه آبیاری این لایه‌ها و نیز چگونگی اعمال تنش در آنها مشابه با لایسی مترهای دسته اول بود. مقدار رطوبت در لایه *a* در لایسی مترهای ۶ تا ۸ در شروع دوره نسبت به رطوبت در همین لایه در لایسی مترهای متناظر در دسته اول بیشتر بود (مقایسه شکل ۴ و ۷). زیرا در طول دوره سوم رشد هم‌زمان با اعمال تنش، امکان توزیع رطوبت در اثر جریان کاپیلاری به لایه‌های فوقانی و افزایش رطوبت در آنها وجود داشت. این امر باعث بیشتر بودن رطوبت لایه‌های مذکور در ابتدای دوره چهارم گشت (شکل ۷). به همین دلیل مقادیر جذب آب در لایه *a* در لایسی مترهای ۶ تا ۸ نسبت به مقدار جذب در همین لایه در لایسی مترهای ۲ تا ۴ بیشتر بود. با توجه به مناسب بودن رطوبت برای جذب در لایه‌های تحت تنش



شکل ۷- تغییرات رطوبت لایه‌های *a*، *b*، *c* و *d* در لایسی‌مترهای دسته دوم در طول دوره رشد.



شکل ۸- نسبت جذب آب در هر لایه به کل آب جذب شده در لایسی‌مترهای دسته دوم.

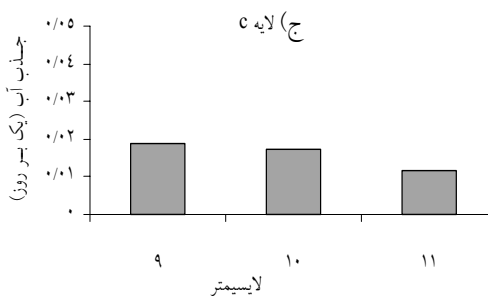
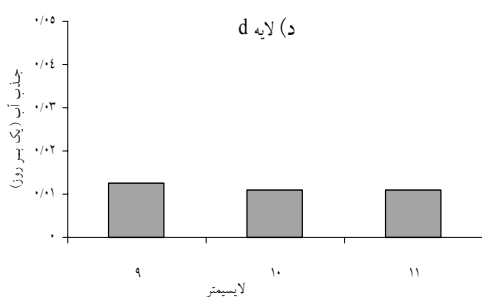
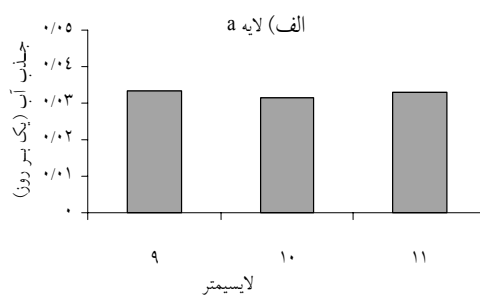
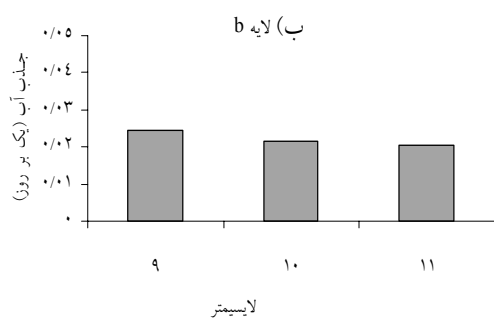
نموده و نقش ریشه‌های لایه‌های تحتانی در مقایسه با لایسی‌مترهای دسته اول و دوم کمتر شد. به شکلی که سهم لایه *c* در جذب آب برای لایسی‌متر ۱۱ به ترتیب نسبت به لایسی‌متر ۱۰ و لایسی‌متر ۹ کمتر بوده است (شکل ۱۱). لایه *a* در لایسی‌متر ۱۱ سهم بیشتری از کل آب جذب شده در این لایسی‌متر را در مقایسه با لایه *a* در لایسی‌مترهای ۱۰ و ۹ داشته است، در این لایسی‌متر گیاه از حداکثر ظرفیت خود برای جذب آب از این لایه استفاده نموده است. به دلیل حجم کمتر آب آبیاری ورودی به این لایسی‌متر در مقایسه با لایسی‌مترهای ۹ و ۱۰،

مقادیر آب جذب شده توسط لایه‌های مختلف لایسی‌مترهای دسته سوم شامل آبیاری ثقلی کامل، کم‌آبیاری ۲۰ درصد و کم‌آبیاری ۴۰ درصد (به ترتیب لایسی‌متر ۹ تا ۱۱) در شکل ۹ نشان داده شده است. در این دسته به علت آبیاری ثقلی از بالای لایسی‌مترها، توزیع رطوبت در لایه‌ها (برخلاف توزیع رطوبت در لایه‌های لایسی‌مترهای دسته دوم) غالباً از بالا به پایین بوده است. حداکثر جذب در هر سه لایسی‌متر در لایه *a* صورت پذیرفته است زیرا با شدت یافتن کم‌آبیاری، گیاه به طور غالب از ریشه‌های فوقانی خود برای جذب آب استفاده

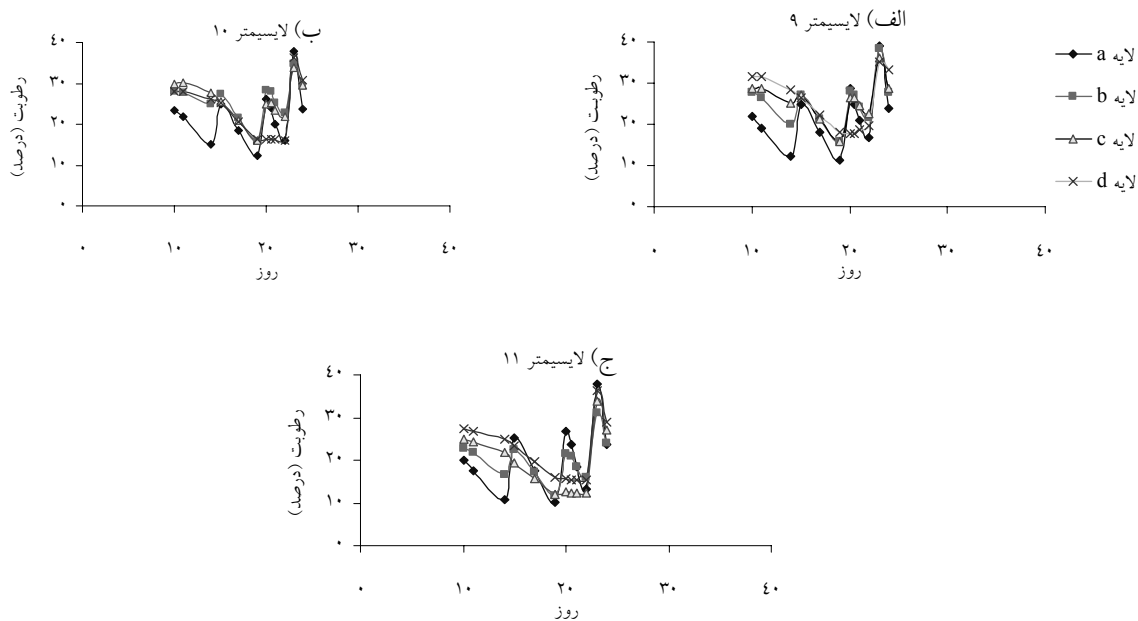
لایسی مترهای دسته سوم به ترتیب از لایه *a* تا لایه *d* کاهش یافته است.

تغییرات رطوبت خاک را در طول دوره برای لایسی مترهای ۹ تا ۱۱ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. وجود نوسانات رطوبتی در روزهای مختلف به دلیل آبیاری های ثقلی صورت گرفته در دوره می باشد.

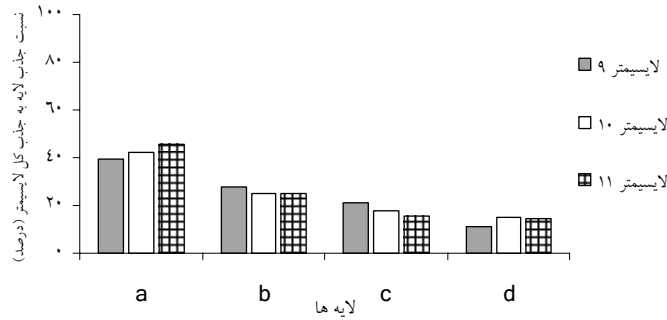
حجم آب کمتری نیز به اعماق این لایسی متر نفوذ نموده و در نتیجه جذب آب کمتری در لایه های *b*، *c* و *d* در لایسی متر ۱۱ مشاهده شده است. رطوبت بیشتر در لایه *a* (در اثر آبیاری از بالا)، نیز باعث شد که گیاه با صرف حداقل انرژی آب را در قسمت های مرطوب جذب نماید. از این رو به طور کلی درصد جذب آب در همه



شکل ۹- الگوی مصرف آب توسط مقاطع مختلف ریشه لایسی مترهای دسته سوم (خاک بدون لایه بندی).



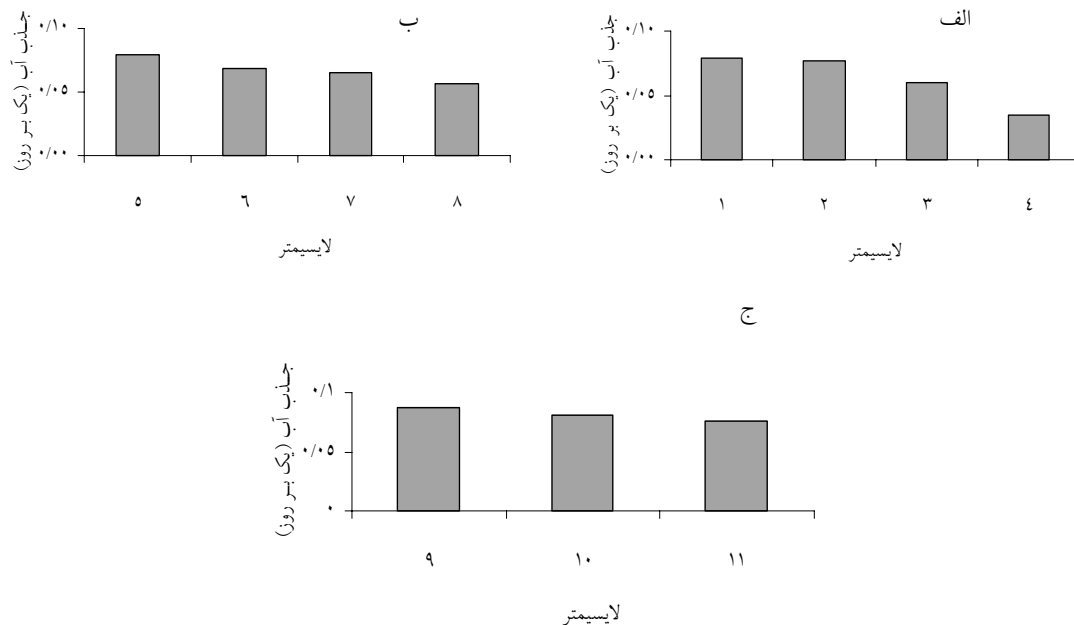
شکل ۱۰- تغییرات رطوبت لایه های *a*، *b*، *c* و *d* در لایسی مترهای دسته سوم در طول دوره رشد.



شکل ۱۱- نسبت جذب آب در هر لایه به کل آب جذب شده در لایسی مترهای دسته سوم.

لایسی متر ۸ بود. به همین دلیل مقدار آب کمتری از مخزن آب متناظر با آن مکش یافته و در اختیار ریشه‌ها قرار گرفته است. این در حالی است که در لایسی متر ۸ به علت عدم وجود لایه شن، امکان توزیع رطوبت به لایه‌های فوقانی وجود داشته، مقدار آب بیشتری نیز از مخزن متناظر با لایه d دریافت شده و به مصرف رسیده است. کل آب مصرفی در لایسی متر ۹ تا ۱۱ نیز بر اساس الگوی کم‌آبیاری، به صورت نزولی بوده و مصرف آب در لایسی متر ۱۰ و ۱۱ به ترتیب $7/8$ و $13/5$ درصد نسبت به لایسی متر ۹ کمتر بوده است.

مقادیر کلی جذب آب در لایسی مترهای مختلف برای دوره چهارم رشد در شکل ۱۲ نشان داده شده است. کل مصرف آب در لایسی مترهای ۱ تا ۳ در مقایسه با مقدار مصرف آب در لایسی مترهای متناظر با آنها در دسته دوم (لایسی مترهای ۵ تا ۷) حدود ۱۰ درصد کمتر بود. اما مقدار مصرف آب در لایسی متر ۴ در دسته اول نسبت به مقدار مصرف آب در لایسی متر ۸ حدود ۳۰ درصد کمتر بود. علت آن بود که در لایسی متر ۴ به دلیل اینکه توزیع رطوبت از لایه d به لایه‌های تحت تنش فوقانی، امکان ندارد مکش خاک کمتر از مقدار مکش در لایه d در



شکل ۱۲- مقادیر کلی جذب آب (الف- لایسی مترهای دسته اول، ب- لایسی مترهای دسته دوم و ج- لایسی مترهای دسته سوم).

نتیجه گیری

جداسازی لایه‌های خاک لایسی متهای دسته اول و مقایسه مقادیر جذب آب در این دسته با مقادیر جذب آب در دسته دوم (بدون لایه‌بندی خاک) مشخص نمود که گیاه صرفاً با افزایش فعالیت ریشه‌های تحتانی، آب مورد نیاز خود را از طریق آنها جذب می‌نماید. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که حتی با وقوع تنش آبی در ۵۰ درصد بالایی منطقه ریشه، گیاه یونجه قادر است با جذب آب از بقیه ظرفیت ریشه‌های خود، تنش آبی لایه‌های فوقانی را با جذب بیشتر در لایه‌های تحتانی جبران نماید. با آنکه تراکم ریشه در جذب آب نقش مستقیمی دارد اما به‌هنگام وقوع تنش آبی در لایه‌های سطحی، فعالیت ریشه‌های کم‌تراکم عمقی در جذب آب افزایش و منطقه حداکثر جذب به اعماق منتقل شد. تحقیق حاضر به‌منظور

اثبات واقعیت توانایی و انعطاف گیاه در کنترل و جبران تنش آبی انجام شده‌است. از نتایج آن می‌توان برای مدیریت مصرف آب به‌خصوص در شرایط آبیاری زیرسطحی و کم‌آبیاری استفاده نمود. همچنین نتایج به‌دست آمده در لایسی متهای دسته اول در محیط‌هایی نظیر گلخانه که امکان انجام جداسازی لایه‌های خاک وجود دارد نیز جهت صرفه‌جویی در مصرف آب قابل استفاده است.

سپاسگزاری

از همکاری موسسه تحقیقات خاک و آب جهت در اختیار دادن امکانات اندازه‌گیری و همچنین از آقای غالبی به‌جهت همکاری سپاسگزاری و قدردانی می‌نمائیم.

منابع

1. Braud, I., Varado, N., and Olioso, A. 2005. Comparison of root-water-uptake modules using either the surface energy balance or potential transpiration. *J. Hydrol.* 301: 267–286.
2. Feddes, R.A., Kowalik, P.J., and Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield, Pudoc, Wageningen. p:189.
3. Feddes, R.A., and Raats, P.A.C. 2004. Parameterising the soil–water–plant–root system. In: Feddes, R.A. et al. (eds), *Unsaturated zone modeling: Progress, challenges and applications*. Wageningen Frontis Series. 6:95–141.
4. Gale, M.R., and Grigal, D.F. 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. *Can. J. For. Res.* 17:829–834.
5. Green, S.R., and Clothier, B.E. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant. Soil.* 173:317–328.
6. Homae, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress, Ph.D. thesis. Agricultural University Wageningen. Netherlands.
7. Homae, M., Feddes, R.A., and Dirksen, C. 2002. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. *Agric. Water Manage.* 57:111–126.
8. Hoogland, J.C., Feddes, R.A., and Belmans, C. 1981. Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate. *Acta. Hort.* 119:123–136.
9. Huang, B., Duncan, R.R., and Carrow, R.N. 1997. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turf grasses under surface soil drying: II. Root Aspects. *Crop. Sci.* 37:1863–69.
10. Jarvis, N.J., 1989. A simple empirical model of root water uptake. *J. Hydrol.* 107: 57–72.
11. Lai, C.T., and Katul, G. 2000. The dynamic role of root-water uptake in coupling potential to actual transpiration. *Adv. Water. Resour.* 23:427–439.
12. Li, K.Y., Boisvert, J.B., and Jong, R.D. 1999. An exponential root-water-uptake model. *Can. J. Soil Sci.* 79:333–343.
13. Li, K.Y., Jong, R.D., and Boisvert, J.B. 2001. An exponential root water- uptake model with water stress compensation. *J. Hydrol.* 252:189–204.
14. Li, K.Y., Jong, R.D., Coe, M.T., and Ramankutty, N. 2006. Root-Water-Uptake based upon a new water stress reduction and an asymptotic root distribution function. *Earth. Interactions.* 10:No.14.
15. Kleidon, A., and Heimann, M. 1998. Optimized rooting depth and its impacts on the simulated climate of an atmospheric general circulation model. *Geophys. Res. Lett.* 25(3):345–348.

16. Molz, F.J., and Remson, I. 1970. Extraction term models of soil Moisture use by transpiring plants. *Water. Resour. Res.* 6: 1346–1356.
17. Molz, F.J., Remson, I. 1971. Application of an extraction term model to the study of moisture flow to plant roots. *Agron. J.* 63:72–77.
18. Prasad, R.A. 1988. Linear root water uptake model. *J. Hydrol.* 99:297-306.
19. Raats, P.A.C. 1974. Steady flows of water and salt in uniform soil profiles with plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 717–722.
20. Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics.* 1:318-333.
Scott, H.D., 2000: *Soil Physics-Agricultural and Environmental Application.* Iowa State University Press. 421.
21. Simunek, J., Hopmans, J.W., Jarvis, N. 2005. Modeling compensated root water and solute uptake, American Geophysical Union. Fall Meeting.
22. Van Genuchten, M.T.H. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. *Research Rep.* 121. U.S. Salinity Laboratory. USDA. ARS. Riverside. CA. 61.
23. Zeng, X., Dai, Y.J., Dickinson, R.E., and Shaikh, M. 1998. The role of root distribution for climate simulation over land. *Geophys. Res. Lett.* 25 (24):4533-6.

The role of water stress on water uptake in different root depths

***M. Zakerinia¹, T. Sohrabi², M. Shahabifar³, F. Abbasi⁴ and M.R. Neyshaboori⁵**

¹Ph.D. student, Dept. of Irrigation and Drainage Reclamation, Tehran University, Iran, ²Professor, Dept. of Irrigation and Drainage Reclamation, Tehran University, Iran, ³Assistant Prof., of Soil and Water Institute of Iran, ⁴Assistant Prof., of Agriculture Technique and Engineering Institute of Iran-Karaj, ⁵Professor, Dept. of Soil Sciences, Tabriz University, Iran

Abstract

Root water uptake is very important in hydrological models. The main subject of this study was characterization the role of different part of root system in crop water requirement during water stress conditions. 11 cylindrical lysimeters with 25 cm diameter and 100 cm height were filled with clay-loam soil. In the first group, soil columns were separated to 4 layers with 3 cm sand layers. In the second and third groups, there were 4 and 3 lysimeters, respectively. The first and second group, lysimeters were irrigated with subsurface method. Water stress was applied with decreasing the number of under subsurface irrigation layers. In the third group gravitational irrigation was applied on lysimeter 9 and 20 and 40 percent deficit irrigation on lysimeters 10 and 11 respectively. Sand layers in the first group (which were preventing soil moisture exchange) were used to characterize the real role of each layer's root in water uptake when surface layers been under water stress. Although the Root Length Density (RLD) in deep layers was lower than RLD in upper layers, Crop could increase its root activity in wet layers to uptake water and compensated water stress in dried parts of soil. Root water uptake in third group also showed that with increasing water stress because of deficit irrigation, the percentage of root water uptake from top layers was increased.

Keywords: layer construction; Root water uptake; Water stress