

اثر زمان و میزان آب آبیاری بر الگوی توزیع ریشه و جذب آب در گیاه لوبیا قرمز

((Phaseolus vulgaris cv. Naz

مهدی قبادی نیا، عبدالرزاق دانش شهرکی، سیده سهیلا نوربخش، محمدرضا نوری امام زاده ای

چکیده

تأمین به موقع نیاز آبی گیاه با انتخاب دور و ساعت آبیاری مناسب می‌تواند بر میزان جذب ریشه و تولید محصول مؤثر باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر زمان و میزان آب آبیاری بر رشد ریشه گیاه لوبیا در سال ۱۳۹۱ در دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی، شامل چهار سطح زمان آبیاری (ساعت‌های ۶، ۸، ۱۴ و ۱۸) و دو سطح میزان آب آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری) در چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد آبیاری در ساعات مختلف روی جذب آب توسط ریشه تأثیر می‌گذارد، به طوری که آبیاری در ساعات‌های ۸، ۱۴ و ۱۸ باعث افزایش ۱/۷، ۸/۴ و ۴/۴ درصدی نسبت به متوسط جذب روزانه تیمار ساعت ۶ شد. بررسی الگوی توزیع وزنی ریشه در اعماق مختلف خاک نشان داد که در ۳ لایه اول، بیشترین درصد وزن خشک ریشه به تیمار آبیاری ۶ صبح و کمترین مقدار آن به تیمار آبیاری ساعت ۱۴ تعلق داشت. در لایه آخر نیز این پارامتر در تیمار آبیاری ساعت ۱۴ بیشترین مقدار و در تیمار آبیاری ۶ صبح کمترین مقدار را دارا بود.

واژه های کلیدی: ساعت آبیاری، کم‌آبیاری، رشد ریشه، جذب آب، لوبیا

مقدمه

نحوه توسعه ریشه گیاه یکی از ویژگی‌هایی است که به صورت طبیعی تحت تأثیر مدیریت بهینه آب قرار می‌گیرد. ولی ابعاد این تأثیر هنوز به طور کامل روشن نشده است. عملکرد قسمت‌های هوایی گیاهان بازتابی از توزیع و فعالیت سیستم ریشه‌ای است. بنابراین، چگونگی توسعه ریشه گیاهان کشت شده از نظر وضعیت، گسترش و فعالیت‌های منجر به جذب آب و عناصر غذایی در مراحل گوناگون رشد، در تولید محصول بسیار مهم می‌باشد (لابوسکی و همکاران^۱، ۱۹۹۸؛ منگل^۲، ۱۹۸۳). به همین دلیل تشخیص عوامل محدودکننده رشد و گسترش دهنده ریشه و بررسی نحوه تغییرات ریشه در پاسخ به تغییرات محیطی برای درک علمی تولید محصول ضروری است (لابوسکی و همکاران، ۱۹۹۸؛ مارتین و همکاران^۳، ۱۹۷۶). پژوهش راسل^۴ (۱۹۷۷) نشان داد که تحت شرایط مزرعه‌ای، تغییر در مقدار آب خاک عمده‌ترین دلیل توزیع

^۱ Laboski et al

^۲ Mengel

^۳ Martin et al

^۴ Russel

متفاوت ریشه‌ها است. لایوسکی و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند وقتی توزیع ریشه توسط عوامل دیگر محدود نشود، مقدار رطوبت خاک عمق ریشه دوانی را کنترل می‌کند. به عقیده این محققان مقدار کافی رطوبت در ناحیه ریشه، عامل مهمی برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی موجود به شمار می‌آید. ضیائی‌ان و ملکوتی (۱۳۸۰) نیز بیان کردند که زمان، روش و مقدار آب آبیاری کاربردی روی چگونگی توزیع ریشه مؤثر است. اگر روش آبیاری صحیح نباشد، همبستگی بین خصوصیات حاصلخیزی خاک با عملکرد، ضعیف خواهد بود. علت اصلی این مساله به الگوی توسعه ریشه در خاک، تحت شرایط متفاوت مدیریت آب بر می‌گردد.

چگونگی جذب آب توسط ریشه گیاه تا کنون مورد توجه دانشمندان بسیاری در زمینه‌های بیولوژی، زراعت، فیزیک خاک و محیط زیست قرار داشته و افراد بسیاری به مدل کردن این پدیده پرداخته و به کمک داده‌های واقعی مزرعه‌ای و آزمایشگاهی به صحت یابی و واسنجی مدل‌های حاصل پرداخته‌اند. بررسی پدیده جذب آب توسط ریشه در مدل‌های هیدرولوژیکی و حتی اقلیمی که در ارتباط مستقیم با گیاه قرار دارند، از اهمیت زیادی برخوردار است و مدل‌های هیدرولوژیکی و گیاهی نیازمند یک توصیف کمی از جذب آب توسط ریشه گیاه می‌باشند (فدس و راتس^۵، ۲۰۰۴). دانیلسون و همکاران (۱۹۶۷) اذعان داشتند که در شرایط رطوبتی مناسب خاک، اکثر گیاهان با توجه به کاهش تراکم ریشه‌ها نسبت به عمق، به ترتیب ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد آب مورد نیاز خود را از ربع‌های چهارگانه ریشه جذب می‌نمایند. فدس (۱۹۷۸) الگوی جذب آب در عمق‌های مختلف را در شرایط رطوبتی مناسب یکنواخت فرض نمود. اما پراساد (۱۹۸۸) آن را با عمق به صورت خطی کاهش داد و راتس (۱۹۷۴) نیز یک الگوی نمایی را برای جذب آب در برابر عمق فرض نمود. در شرایط تنش رطوبتی جذب آب توسط ریشه‌ها ممکن است به لایه‌های خاصی از خاک محدود شود (کلیپر و همکاران^۶، ۱۹۸۳؛ کلیپر، ۱۹۹۰ و کنگ و الرز^۷، ۱۹۹۶). ذاکری‌نیا (۱۳۸۷) مطابق بررسی‌های همایی (۱۹۹۹) لی و همکاران^۸ (۲۰۰۶)، سیمئونک و همکاران^۹ (۲۰۰۵)، براود و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۵) بیان نمود که گیاه با تغییر الگوی حداکثر جذب آب به طرف ریشه‌های با تراکم کمتر به رشد و نمو خود ادامه می‌دهد (ذاکری‌نیا، ۱۳۸۷). هدف از این پژوهش بررسی تاثیر ساعت آبیاری بر میزان جذب آب و نحوه توزیع ریشه در لایه‌های مختلف خاک است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی اثر ساعت آبیاری بر نحوه توزیع ریشه و جذب آب از لایه‌های مختلف خاک برای گیاه لوبیا قرمز رقم ناز^{۱۱} به صورت گلدانی در محل گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی، شامل چهار سطح زمان آبیاری (ساعت‌های ۶، ۸، ۱۴ و ۱۸) و دو سطح میزان آب آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری) در چهار تکرار انجام شد، در مجموع ۳۲ گلدان در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. زمان‌های آبیاری با توجه به نمودار دمای محیط در طول فصل رشد انتخاب شد. انتخاب زمان آبیاری بر اساس نمودار تغییرات دمایی روزانه بود. بدین گونه که هنگام وقوع کمترین دما (ساعت ۶ صبح)، زمانی که شیب نمودار دمای هوا در حال افزایش است (ساعت ۸ صبح) و زمانی که بیشینه دمای هوا رخ می‌دهد (ساعت ۱۴) و همچنین هنگامی که شیب نمودار دمای هوا در حال کاهش است (ساعت ۱۸)، جهت آبیاری انتخاب شدند.

^۵ Feddes and Raats

^۶ Klepper et al

^۷ Kage and Ehlers

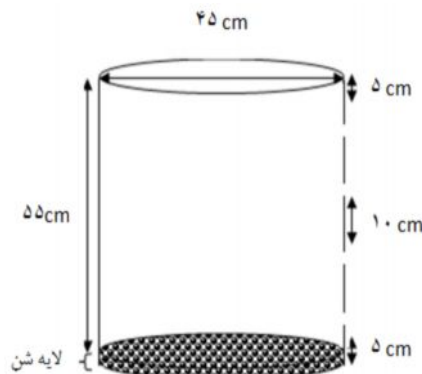
^۸ Li et al

^۹ Simunek et al

^{۱۰} Braud et al

^{۱۱} *Phaseolus vulgaris* cv. Naz

به منظور انجام آزمایش، ابتدا گلدان‌هایی به ارتفاع ۶۰ و قطر ۴۵ سانتی‌متر تهیه شد (شکل ۱). گلدان‌ها از خاک مزرعه پر شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. پس از پر کردن گلدان‌ها به منظور تحکیم خاک مورد استفاده، دو مرتبه آبیاری انجام شد. سپس بذره‌های لوبیا که قبل از کاشت جهت پیش‌گیری از توسعه بیماری‌های قارچی، با قارچ‌کش ویتاواکس به نسبت دو در هزار ضد عفونی شده بود به صورت هیرم کاری در خاک کشت گردید. تمام تیمارها تا زمان استقرار گیاه به طور کامل آبیاری شدند. چهار هفته پس از کاشت بذرها اعمال تیمارها آغاز شد. برای تعیین آب مورد نیاز، کل عمق خاک داخل گلدان به ۴ قسمت ۱۰ سانتی‌متری تقسیم شد و رطوبت خاک در عمق‌های مختلف با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج SM۳۰۰ ساخت شرکت دلتا-تی اندازه‌گیری و میزان کمبود آب تا رطوبت مزرعه بر اساس تیمار شاهد، محاسبه و آبیاری انجام می‌شد. میزان آب آبیاری برای تیمارهای کم‌آبیاری برابر با نصف میانگین میزان مورد نیاز تیمار با آبیاری کامل لحاظ شد.



شکل (۱): شمای کلی از گلدان مورد استفاده

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی خاک

بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری خاک	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی	pH عصاره اشباع خاک	EC عصاره اشباع خاک
	(gr/cm ³)	(درصد حجمی)	(درصد حجمی)		(dS/m)
لوم سیلتی	۱/۲۱	۳۷/۵	۱۸/۳	۷/۹۹	۰/۲۱

جدول (۲): خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	EC	pH
(mg/lit)					(dS/m)	
۱۲/۵۰	۹/۸۰	۰	۲۰۷	۷۷	۰/۳۵	۷/۹۳

در پایان فصل رشد و در مرحله‌ای که گیاه به حداکثر رشد خود رسیده بود، قسمت اندام هوایی بوته‌های هر گلدان به طور کامل برداشت شد. ریشه‌ها نیز پس از جداسازی از خاک به کمک شستشو با آب، به آزمایشگاه انتقال یافتند و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس هر کدام به صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و به مدت ۴۸-۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین گردیدند.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به هدف پژوهش و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش‌های انجام شده ریشه مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه در مورد آن بحث خواهد شد.

الگوی توزیع وزنی ریشه در اعماق مختلف خاک

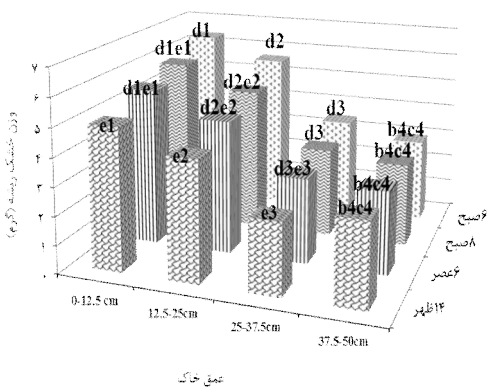
وزن خشک ریشه تا عمق ۵۰ سانتیمتری خاک و در فواصل ۱۲/۵ سانتیمتری، در زمان خروج ریشه‌ها از خاک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس در مورد وزن خشک ریشه در اعماق مذکور، نشان داد که در همه تیمارها از نظر وزن خشک ریشه در اعماق مشخص شده، تحت تأثیر زمان آبیاری، تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). در شکل ۲ و ۳ نمودار وزن خشک ریشه در اعماق مختلف خاک، تحت تیمارهای متفاوت نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین وزن خشک داده‌ها مطابق شکل‌های ۲ و ۳ در اعماق مذکور نشان داد که در اعماق (۰-۱۲/۵)، (۱۲/۵-۲۵)، (۲۵-۳۷/۵) و (۳۷/۵-۵۰) سانتیمتری بین تیمارها از نظر میانگین وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین وزن خشک ریشه‌ها مربوط به لایه‌های سطحی خاک است و با فاصله گرفتن از لایه سطحی خاک این میزان کاهش می‌یابد. در سه لایه اول، بیشترین وزن خشک ریشه به تیمار آبیاری ۶ صبح (آبیاری کامل) و کمترین وزن خشک به تیمار آبیاری ۱۴ (کم‌آبیاری) اختصاص داشت.

جدول (۳): تجزیه واریانس وزن خشک ریشه در چهار لایه

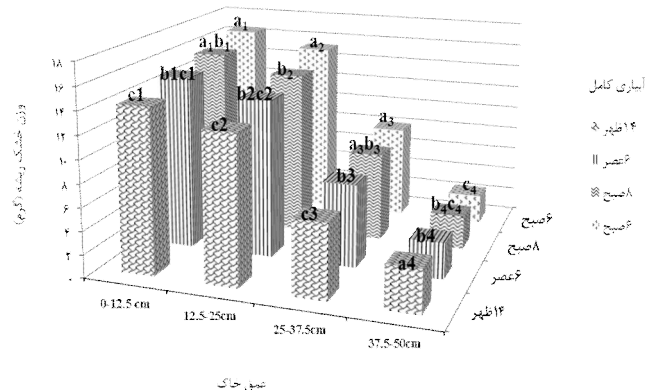
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک لایه اول	وزن خشک لایه دوم	وزن خشک لایه سوم	وزن خشک لایه چهارم
زمان آبیاری	۳	۴/۷۷**	۵/۲۲**	۲/۴۴**	۰/۵۲۸*
میزان آبیاری	۱	۷۵۳/۸۸**	۶۶۸/۵۹**	۱۵۱/۱۶**	۰/۲۰۳ ^{ns}
زمان آبیاری*میزان آبیاری	۳	۰/۲۸۹ ^{ns}	۰/۳۵۹ ^{ns}	۰/۶۸۸ ^{ns}	۰/۵۴۷*
خطا	۲۴	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۱۲۵	۰/۱۱۹
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۲۹	۷/۳۴	۶/۸۱	۱۱/۵

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

در مورد میانگین وزن خشک ریشه در عمق (۳۷/۵-۵۰) سانتیمتر، بیشترین وزن ریشه در این عمق مربوط به تیمار ۱۴ ظهر (کم‌آبیاری) و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۶ صبح (آبیاری کامل) بود. دلیل این افزایش وزن پیشروی و رشد بیشتر ریشه‌ها در این لایه بود. همانطور که مشخص است در ۳ لایه اول، بیشترین وزن خشک ریشه به تیمار آبیاری ۶ صبح و کمترین مقدار آن به تیمار آبیاری ۱۴ صبح تعلق داشت. در عمق ۳۷/۵-۵۰ سانتیمتری خاک، این پارامتر در تیمار آبیاری ۱۴ ساعت بیشترین مقدار و در تیمار آبیاری ۶ صبح کمترین مقدار را دارا بود.



شکل (۳): وزن خشک ریشه در اعماق مختلف خاک



شکل (۲): وزن خشک ریشه در اعماق مختلف خاک

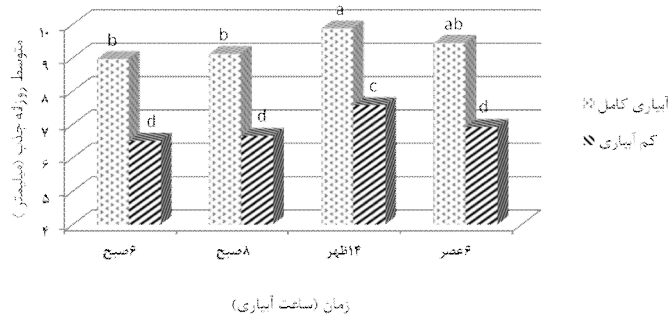
متوسط روزانه جذب در هر یک از تیمارها

مطابق جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس متوسط روزانه جذب آب توسط ریشه در تیمارهای آبیاری، نشان داد که از نظر جذب آب توسط ریشه، در بین تیمارها تفاوت بسیار معنی داری وجود دارد. شکل (۴) متوسط روزانه جذب را در طول دوره رشد نشان می‌دهد. با استفاده از داده‌های هواشناسی و ضریب گیاهی لوبیا، میانگین تبخیر و تعرق گیاه برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۹/۸۶، ۱۱/۵۳ و ۱۰/۱ میلی‌متر بر روز بدست آمد. همانطور که مشخص است بیشترین میزان متوسط جذب مربوط به تیمار آبیاری ساعت ۱۴ است. که تقریباً با میزان تبخیر و تعرق بدست آمده از داده‌های هواشناسی مطابقت دارد. متوسط میزان جذب آب در تیمارهای آبیاری ساعت ۸، ۱۴ و ۱۸ به ترتیب ۱/۷، ۸/۴ و ۴/۴ درصد نسبت به متوسط جذب روزانه تیمار ساعت ۶ افزایش یافت. همچنین در تیمارهای کم‌آبیاری به دلیل کاهش میزان آب داده شده به گیاه نسبت به تیمارهای آبیاری کامل، متوسط جذب آب در آن‌ها کمتر از میزان جذب آب در تیمارهای آبیاری کامل است.

جدول (۴): تجزیه واریانس متوسط جذب آب از همه لایه‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
زمان آبیاری	۳	۱/۵۴**
میزان آبیاری	۱	۵۴/۹۴**
زمان آبیاری*میزان آبیاری	۳	۰/۰۶۲**
خطا	۲۴	۰/۰۹۹
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۹

NS، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل (۴): میزان متوسط روزانه جذب در هر یک از تیمارها

مطابق جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس جذب آب توسط ریشه در لایه های چهارگانه خاک، نشان داد در یک لایه مشخص تیمارها از نظر جذب آب توسط ریشه با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند. مقایسه میانگین جذب آب در لایه‌ها نشان داد، در لایه اول، دوم و سوم بیشترین میزان جذب مربوط به تیمارهای آبیاری کامل و حداقل مقدار جذب مربوط به تیمارهای کم‌آبیاری بود. در لایه چهارم حداکثر مقدار جذب به تیمارهای کم‌آبیاری و کمترین مقدار جذب به تیمارهای آبیاری کامل تعلق داشت. مقایسه متوسط جذب آب به تفکیک لایه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. بررسی متوسط روزانه جذب آب در لایه‌های مختلف خاک نشان داد، با وجود آن که میزان آب داده شده به گیاه در هر یک از تیمارها متفاوت بود، در همه آن‌ها حداکثر جذب در لایه‌های سطحی که تراکم ریشه در آن‌ها بیشتر است، صورت گرفت. همچنین بررسی‌ها نشان داد آبیاری در ساعت ۱۴ باعث افزایش میزان جذب آب نسبت به سایر تیمارها گردید.

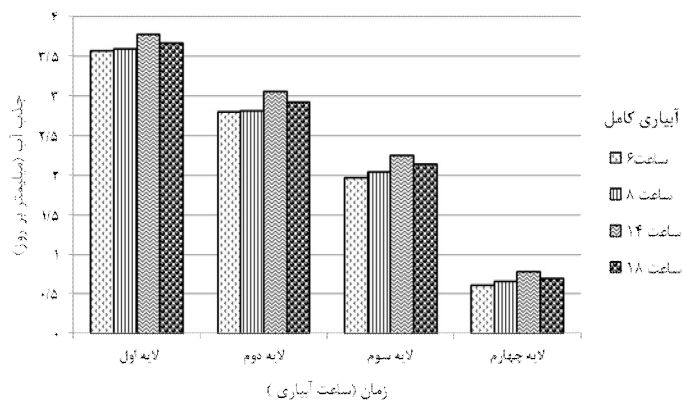
جدول (۵): تجزیه واریانس جذب آب توسط ریشه در لایه‌های چهارگانه خاک

منابع تغییرات	درجه	جذب از	جذب از	جذب از	جذب از
---------------	------	--------	--------	--------	--------

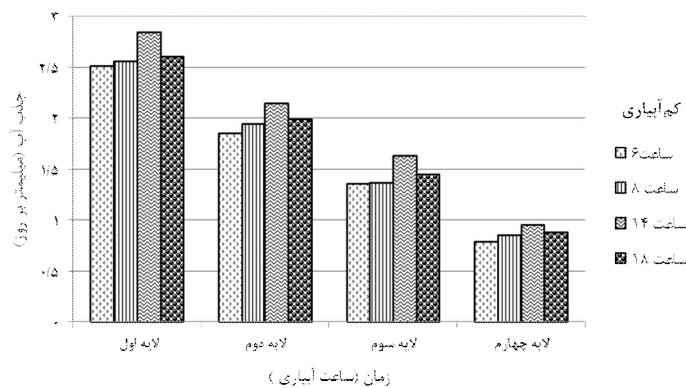
آزادی	لایه اول	لایه دوم	لایه سوم	لایه چهارم
میانگین مربعات				
زمان آبیاری	۰/۱۳**	۰/۱۱*	۰/۱۲**	۰/۰۳۶**
میزان آبیاری	۱۲/۱۴**	۶/۷۵**	۳/۳۹**	۰/۶۴۶**
زمان آبیاری*میزان آبیاری	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
خطا	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (درصد)	۴/۱۳	۶/۶۳	۷/۴۲	۱۰/۴۶

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

شکل‌های (۵) و (۶) متوسط جذب آب در هر یک از لایه‌های خاک، تحت تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهند. اگرچه کل جذب در شرایط کم آبی کاهش یافته است، ولی در همه تیمارها حداکثر جذب در لایه اول و دوم صورت گرفته است. تغییرات جذب در عمق خاک به وجود یا عدم وجود ریشه در عمق خاک، شرایط رطوبتی خاک در عمق خاک و دیگر خصوصیات خاک که به نوعی بر مقاومت در برابر حرکت آب به سمت ریشه‌ها مؤثرند، وابسته می‌باشد. مطابق با شکل، بیشترین و کمترین میزان جذب در تمامی لایه‌ها در تیمار ساعت ۱۴ و ساعت ۶ مشاهده شد.

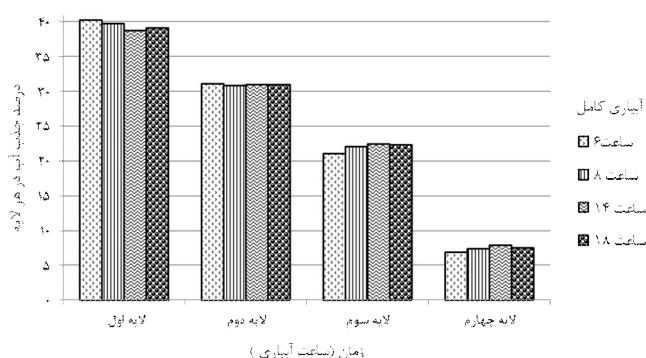


شکل (۵): متوسط جذب آب در هر لایه خاک در تیمارهای آبیاری کامل

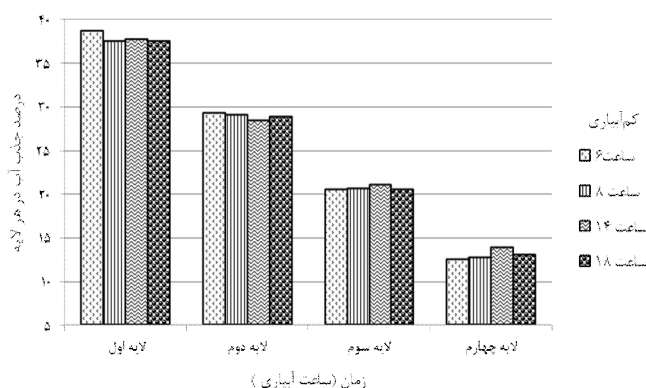


شکل (۶): متوسط جذب آب در هر لایه خاک در تیمارهای کم آبیاری

در شکل‌های (۷) و (۸) نسبت جذب آب از لایه‌های مختلف به کل جذب آب در هر یک از تیمارها، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که سهم جذب آب در هر لایه به شرایط رطوبتی خاک و وجود ریشه و تراکم آن، بستگی دارد. در همه تیمارها جذب آب از لایه اول و دوم بیشتر است. مقایسه جذب آب در لایه چهارم تیمارها، نشان داد که با ورود و رشد بیشتر ریشه، سهم آن در تأمین آب مورد نیاز گیاه افزایش می‌یابد، ولی در کل سهم لایه‌های بالاتر در تأمین آب بیشتر است. نتایج بررسی‌ها نشان داد در صورتی که رطوبت در پروفیل خاک کافی باشد، ریشه‌ها قادرند آب را به سادگی از لایه‌های سطحی جذب نمایند. در واقع تا زمانی که رطوبت لایه اول بیشتر از رطوبت در نقطه θ_a باشد، گیاه مایل است آب را از لایه اول با تراکم ریشه بیشتر، جذب نماید. این نتیجه با نتایج گرین و کلوتیر^{۱۲} (۱۹۹۵)، ذاکری‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) و علیاری (۱۳۸۹) مطابقت داشت.



شکل (۷): درصد جذب آب در هر لایه به کل آب جذب در تیمارهای آبیاری کامل



شکل (۸): درصد جذب آب در هر لایه به کل آب جذب در تیمارهای کم آبیاری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش زمان و مقدار آب آبیاری کاربردی روی الگوی توزیع وزنی ریشه و میزان جذب مؤثر بود، نتایج آزمایش نشان داد که در ۳ لایه اول، بیشترین درصد وزن خشک ریشه به تیمار آبیاری ۶ صبح و کمترین مقدار آن به تیمار آبیاری ۱۴ صبح تعلق داشت. در لایه آخر نیز این پارامتر در تیمار آبیاری ۱۴ بیشترین مقدار و در تیمار آبیاری ۶ صبح کمترین مقدار را دارا بود. همچنین بررسی متوسط روزانه جذب آب در لایه‌های مختلف خاک نشان داد، با وجود آن که میزان آب داده شده به گیاه در هر یک از تیمارها متفاوت بود، در همه آن‌ها حداکثر جذب در لایه‌های سطحی که تراکم ریشه در آن‌ها بیشتر است، صورت گرفت. همچنین بررسی‌ها نشان داد آبیاری در ساعت ۱۴ باعث افزایش میزان جذب آب نسبت به سایر تیمارها گردید.

منابع

^{۱۲}Green and Clothier

۱. ذاکری‌نیا، م.، سهرابی، ت.، شهبابی‌فر، م.، عباسی، ف.، نیشابوری، م. ۱۳۸۷. اثر تنش آبی بر فرآیند جذب آب توسط بخش‌های مختلف ریشه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۵ (۱۵)، صص ۱۷۶-۱۶۶.
۲. ضیائیان، ع. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۰. ضرورت اعمال بهینه کود در راستای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت ذرت. نشریه فنی شماره ۲۰۲ ایران، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران. ۲۱ ص.
۳. علیزاده، ا. ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵۳ صفحه.
۴. علیاری، ح. ۱۳۸۹. تأثیر تنش آبی بر الگوی توزیع ریشه در خاک و جذب آب توسط گیاه لوبیا. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۵. Braud, I., Varado, N. and Olioso, A. ۲۰۰۵. Comparison of root-water-uptake modules using either the surface energy balance or potential transpiration. *J. Hydrol.* ۳۰۱: ۲۶۷-۲۸۶.
۶. Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H. ۱۹۷۸. Simulation of field water use and crop yield. PUDOC Wageningen. p: ۱۸۹.
۷. Feddes, R.A. and Raats, PAC. ۲۰۰۴. Parameterizing the soil-water-plant root system. In *Unsaturated Zone Modeling: Progress, Challenges and Applications*. Wageningen Frontis Series ۶: ۹۵-۱۴۱.
۸. Green, S.R. and Clothier, B.E. ۱۹۹۵. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant Soil*. ۱۷۳: ۳۱۷-۳۲۸.
۹. Homae, M. ۱۹۹۹. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. Ph.D. thesis. Agricultural University Wageningen. Netherlands.
۱۰. Klepper, B.R., Rickman, R.W., Simpson, H.M. ۱۹۸۳. Farm management and the function of field crop root system. In: Willis W.O. (Ed.) *Plant Production and Management under Drought Conditions*. Elsevier Amsterdam. pp ۱۱۵-۱۴۱.
۱۱. Klepper, B.R. ۱۹۹۰. Root growth and water uptake. *Madison Wisconsin*. pp. ۲۸۱-۳۲۲.
۱۲. Kage, H., Ehlers, W. ۱۹۹۶. Does transport of water to roots limit water uptake of field crops? *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. ۱۵۹: ۵۸۳-۵۹۰. ۵۳.
۱۳. Laboski, C.A., Dowdy, R. H., Allmars, R.R. and Lamb, J.A. ۱۹۹۸. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant and Soil*, ۲۰۳: ۲۳۹-۲۴۷.
۱۴. Li, K.Y., Jong, R.D., Coe, M.T. and Ramankutty N. ۲۰۰۶. Root water uptake based upon a new water stress reduction and an asymptotic root distribution function. *Earth Interactions*. ۱۴: ۱-۲۲.
۱۵. Mengel, D. ۱۹۸۳. Roots, growth and nutrient uptake. Department of Agronomy publication. Agry-۹۵-۰۸ (Rev. May-۹۵).
۱۶. Russel, R. Scott. ۱۹۷۷. *Plant root systems (the function and interaction with the soil)*, McGraw-Hill, New York, London, ۲۹۸ p.
۱۷. Martin, J. H., Leonard, W. H. and Stamp D. C. ۱۹۷۶. *Principles of field crops production*. ۳rd ed. Macmillan, New York.
۱۸. Prasad, R.A. ۱۹۸۸. Linear root water uptake model. *J. Hydrol.* ۹۹: ۲۹۷-۳۰۶.
۱۹. Simunek, J., Hopmans, J.W., Jarvis, N. ۲۰۰۵. Modeling compensated root water and solute uptake. American Geophysical Union. Fall Meeting.

