

الگوی توزیع ریشه و جذب آب در خاک‌های مطبق

فرزانه زارعی^{۱*}، محمدرضا نوری امامزاده‌ای^۱، احمدرضا قاسمی دستگردی^۱ و علی شاهنظری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۰)

چکیده

الگوی توزیع ریشه در خاک‌های لایه‌ای یکی از موضوعات قابل توجه در محاسبه آب قابل نگهداری خاک و مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری به‌شمار می‌رود. هدف از پژوهش حاضر، تعیین الگوی توزیع ریشه گیاه سویا در نیمرخ خاک‌های مطبق و همچنین تأثیر آن بر جذب آب انجام شده است. پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تیمار مختلف متشکل از سه نوع بافت خاک (سبک، سنگین، متوسط) در چهار تکرار انجام گرفت. پایش الگوی توزیع ریشه توسط نمونه‌برداری از ستون‌های دارای ریشه در پایان دوره رشد گیاه سویا صورت گرفت. پس از مقایسه تیمارها از نظر رشد گیاه مشاهده شد که وجود لایه‌های خاک با بافت متوسط موجب توسعه و رشد بهتر گیاه شده است. در حالت کلی، چگالی طولی ریشه با افزایش عمق خاک کاهش می‌یافت، به‌جز در مواردی که لایه‌بندی خاک وجود داشت و چگالی طولی ریشه به‌ترتیب مقابل قرار گرفت: چگالی طولی ریشه متعلق به لایه‌های دارای بافت متوسط \leq بافت سنگین \leq بافت سبک بود. میزان سرعت جذب آب توسط ریشه در لایه‌های شنی بیشترین مقدار، در رس متوسط و در بافت لومی کمترین مقدار را دارا بود. همچنین سرعت جذب آب توسط ریشه در سه لایه موجود در تیمارها نیز، به‌صورت معناداری با افزایش عمق افزایش یافت. در نتیجه می‌توان گفت الگوی توزیع ریشه و رشد گیاه به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر بافت خاک و لایه‌بندی آن قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی توزیع ریشه، خاک مطبق، سویا، چگالی طولی ریشه، سرعت جذب آب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه ساری، ساری، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Zarei.farzaneh12@gmail.com

مقدمه

تأمین نیاز روزافزون بشر به آب در سال‌های اخیر به تدریج به یک بحران تبدیل شده و کشورها در قرن حاضر در اختیار داشتن آب را همانند دیگر منابع طبیعی به عنوان یک امتیاز برای جلوگیری از وابستگی و حفظ استقلال خود می‌دانند. بنابراین مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی به عنوان پرمصرف‌ترین بخش (از نظر مقدار مصرف آب) از اهمیت زیادی برخوردار است. لازمه اصلاح و بهینه کردن مصرف آب در بخش کشاورزی، اطلاع از قابلیت نگهداشت آب در خاک و الگوی توسعه ریشه در آن است. به هر میزان که الگوی توزیع ریشه دقیق‌تر شناخته شود به همان میزان می‌توان با دقت بیشتری آب قابل نگهداری در طول دوره رشد و به تبع آن آب مورد نیاز گیاه را تعیین کرد. این امر موجبات افزایش راندمان آبیاری را فراهم خواهد کرد (۱۱). تأمین رطوبت مورد نیاز با لحاظ کردن عمق توسعه ریشه گیاه، کاهش تلفات عمقی و به دنبال آن افزایش راندمان کاربرد را در موجب خواهد شد. بنابراین با توجه به نقش ریشه در جذب آب، نحوه توزیع و توسعه آن در خاک از اهمیت زیادی برخوردار است (۳).

ارائه مدلی کامل و منحصر به فرد برای بیان رشد و توسعه ریشه به دلیل تأثیرپذیری از عوامل متعدد و همچنین اثرات متقابل آنها، عملاً بسیار مشکل یا غیرممکن است (۲۲ و ۲۸). هر چند توزیع ریشه تا حد زیادی تحت کنترل عوامل ژنتیکی گیاه است (۳۵)، لکن مطالعات مختلف نشان می‌دهد علاوه بر عوامل ژنتیکی شرایط فیزیکی و هیدرولیکی خاک و نیز شرایط اقلیمی نقش مهمی در تعیین سیستم توزیع ریشه ایفا می‌کنند (۲، ۹، ۱۸ و ۳۴).

تنش ناشی از کمبود آب و املاح بر توزیع ریشه و به تبع آن بر نسبت ریشه به اندام سبز گیاه شناخته شده‌اند (۳، ۱۴ و ۳۰). احمد و همکاران (۱) در سال ۲۰۲۰ نشان دادند که رشد ریشه تحت تأثیر شرایط فیزیکی خاک در طول دوره رشد گیاه است، درحالی که پاپلئو و کاترر (۳۰) در سال ۲۰۱۷ به اثر معنی‌دار بافت خاک روی رشد ریشه اشاره کردند به گونه‌ای که شاخص نسبت ریشه به اندام سبز گیاه در خاک شنی در مقایسه با خاک

لومی به طور معنی‌داری بیشتر گزارش شد. پژوهشگران دیگری در مطالعات خود به بررسی اثر ساختار خاک روی رشد گیاه پرداختند (۱۶، ۱۹ و ۲۴). به طور کلی تراکم بیشتر لایه‌های خاک، با افزایش ضخامت ریشه همراه است (۷). افزایش فشردگی لایه زیرین، به دلیل کمبود منافذ با قطر بیشتر از نوک ریشه، باعث افزایش تراکم ریشه‌ها در لایه‌های فوقانی می‌شود (۴، ۶، ۲۳ و ۳۶)، تراکم بیش از حد در نهایت می‌تواند منجر به مقاومت ظاهری مکانیکی (mechanical impedance) یا شرایط بی‌اکسیژنی هنگام مرطوب شدن خاک شود. تراکم طولی و جرمی ریشه از متغیرهای کارآمد برای آنالیز و شرح سیستم ریشه است (۵ و ۱۲). هر چند تراکم طولی ریشه عموماً به صورت نمایی با عمق خاک تغییر می‌کند، لکن خصوصیات فیزیکی خاک به خصوص وجود یک لایه با خصوصیات متفاوت، توزیع تراکم طولی ریشه را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. کمبود پژوهش در این زمینه و نحوه تأثیر آن بر چگونگی و چرایی این مسئله همچنان جای تحقیق بیشتری دارد. بر همین مبنا در این تحقیق به بررسی روند توسعه ریشه گیاه سویا در یک خاک مطابق پرداخته شده است تا شناخت دقیق‌تری در مدیریت داشت سامانه‌های زراعی این گیاه به کار گرفته شود. هدف از این مطالعه، تعیین الگوی توزیع ریشه گیاه سویا در نیمرخ خاک‌های مطبق و همچنین تأثیر آن بر جذب آب است. سویا مهم‌ترین گیاه لگوم با سطح زیرکشت سالانه بالغ بر ۶۰ هزار هکتار در ایران و ۱۳۶ میلیون هکتار در دنیا و با عملکرد ۱/۸۲ تن بر هکتار است (۱۳)، و گیاهان لگوم بعد از غلات دومین منبع غذایی انسان هستند (۲۶).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فاصله زمانی ۱ دی تا ۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. برای انجام پژوهش از میکرولاسی متر (سطح‌های پلاستیکی با قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) استفاده شد. برای پر کردن گلدان‌ها از خاک موجود در مزرعه تحقیقاتی

دانه‌های سویای (Glycine max) سه روز خیسانده شده در آب و جوانه زده، در ستون‌های خاک با تراکم ۳ گیاه در هر ستون خاک کاشته شد، که پس از استقرار گیاه و پیش از شروع داده‌برداری گیاهان تنک شده و با وجود یک گیاه در هر ستون از خاک داده‌برداری‌ها صورت گرفت. میزان رطوبت حجمی خاک با استفاده از سنسور رطوبت خاک مدل SM300 و روزنه‌ای بسیار کوچک (برابر قطر سنسورهای دستگاه حدود ۳ میلی‌متر) با درپوش مخروطی شکل پلاستیکی که در هر کدام از لایه‌های خاک در دیواره جانبی لایسیمترها ایجاد شده به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. سنسور رطوبت خاک مدل SM300 متشکل از یک بدنه پلاستیکی مهر و موم شده و دو میله سنجش ضد آب که به آن متصل شده بود. این میله‌ها به طور مستقیم برای خواندن رطوبت/دما وارد خاک می‌شوند. سنجش رطوبت/دما در این دستگاه بر اساس اختلاف ولتاژ در رسانایی یک جریان مستقیم (DC) بین دوشاخه دستگاه انجام می‌شود. این دستگاه پیش از استفاده باید مطابق دستورالعمل واسنجی شود. درصد خطای دستگاه در اندازه‌گیری رطوبت خاک $\pm 2/5$ و در سنجش دمای خاک $\pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد در دامنه دمایی $40-0$ درجه سانتی‌گراد است. قابلیت حمل آسان، حساسیت نسبت به شوری پایین، پایداری در واسنجی و به هم ریختگی حداقل در ساختمان خاک، نصب آسان در نقاط عمیق در سوراخ‌های بزرگ، اتصال ضد آب به IP68، مقاوم در برابر آب و هوا، قابل دفن بودن و ایمنی الکتریکی از دلایل انتخاب این دستگاه بود. نیاز آبیاری هر ستون (d_n) برای جلوگیری از تنش آبی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شد:

$$d_n = \sum_{i=1}^3 (\theta_{FC(i)} - \theta_{(i)}) \times V_{s(i)} \quad (2)$$

که در آن: i : شماره لایه، θ : رطوبت حجمی موجود هر لایه برحسب درصد، θ_{FC} : رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی برحسب درصد و V_s : حجم هر لایه از خاک (در اینجا 6359 cm^3) است.

واضح است که با تعقیب مستمر وضعیت رطوبت خاک در

دانشگاه به عنوان خاک سنگین و ساحل رودخانه زاینده‌رود به عنوان خاک سبک استفاده شد. طبق طبقه‌بندی بافت خاک USDA دو مورد خاک تهیه شده جز خاک‌های شنی و لومی رسی (جدول ۱) و از ترکیب دو نمونه خاک تهیه شده یک خاک متوسط با بافت لومی به وجود آمد. در طول این پژوهش (S) نمایانگر بافت شنی و (C) نمایانگر بافت رسی و (M) نمایانگر بافت متوسط و یا لومی است. پیش از پر کردن ستون‌های خاک، نمونه‌هایی از سه نوع بافت خاک، با استفاده از رینگ‌های فلزی (100 cm^3) به منظور محاسبه رطوبت حجمی تهیه شد. پس از توزین، نمونه‌های مذکور به مدت ۲۴ ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد خشک و دوباره توزین شدند و درصد رطوبت جرمی خاک با استفاده از وزن مرطوب و خشک شده خاک محاسبه شد. تمام لایه های خاک با چگالی ظاهری اصلی خود در منطقه برداشت شده (جدول ۱) در ستون‌های خاک به صورت لایه‌لایه و ایجاد تراکم لازم برای رسیدن به این چگالی در لایسیمترها ریخته شد. جرم خاک مورد نیاز برای پرکردن هر یک از لایه‌های سه‌گانه خاک موجود در لایسیمترها با چگالی ظاهری (ρ_b) مطابق با الگوی شکل ۱ با استفاده از (معادله ۱) محاسبه شد:

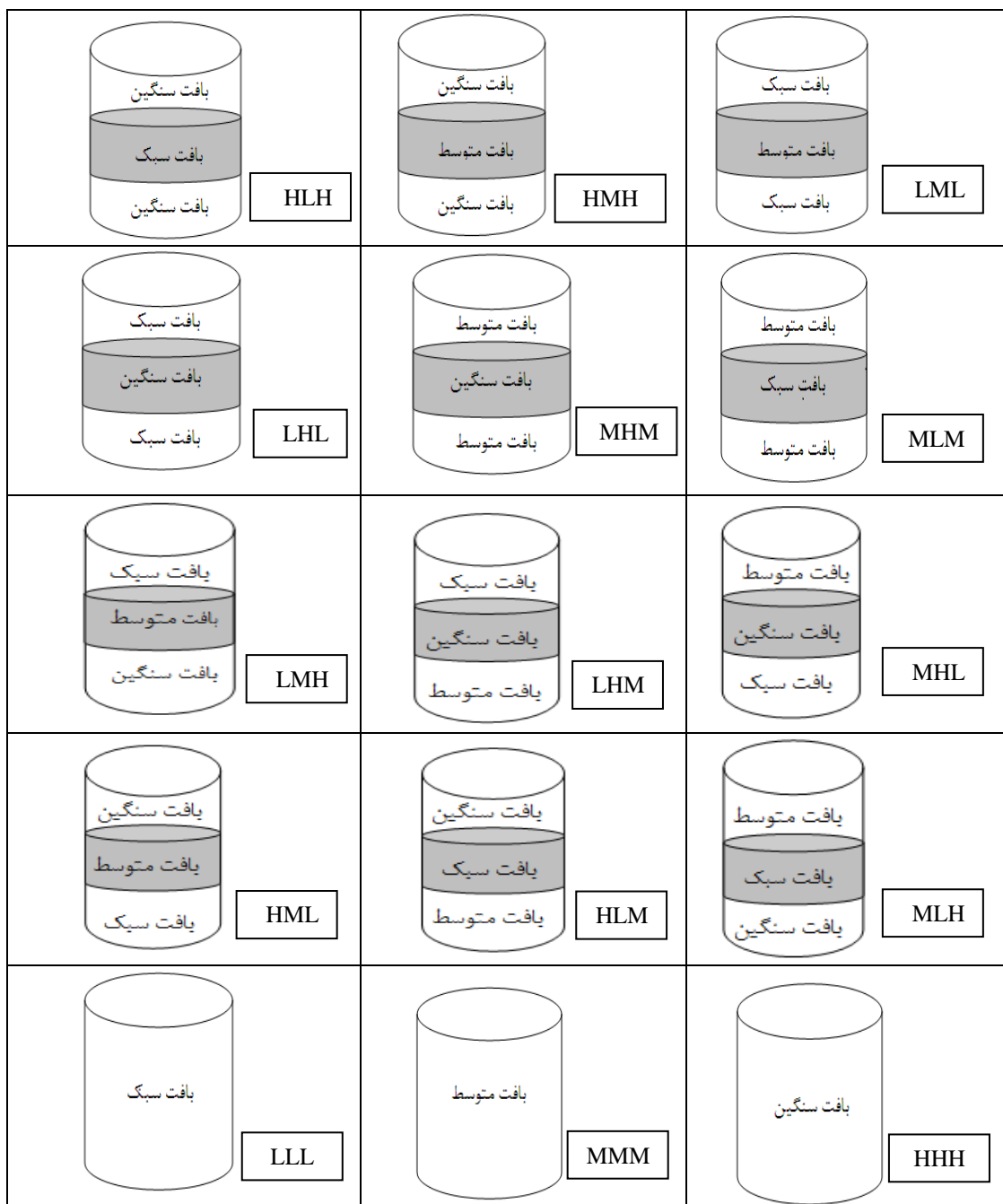
$$M = (\rho \times V) \times (1 + \text{SWC} \div 100) \quad (1)$$

که در آن M_p جرم خاک مرطوب برحسب گرم، ρ_b چگالی ظاهری مورد نظر برحسب kg m^{-3} رطوبت حجمی خاک برحسب درصد و V_s حجم یک لایه از خاک که با توجه به اینکه ارتفاع هر لایه از خاک موجود در لایسیمترها و قطر ستون خاک مورد نظر به ترتیب ۹ و ۳۰ سانتی‌متر است معادل 6359 سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد.

آزمایش با ۱۵ تیمار و ۴ تکرار در قالب بلوک کامل تصادفی اجرا شد. میکرو لایسیمترها به صورت مطبق با توجه به شکل ۱ از خاک پر شدند، برای به حداقل رساندن تبخیر سطح خاک از یک لایه ۲ سانتی‌متری سنگریزه روی سطح خاک استفاده شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی خاک استفاده شده در آزمایش

نقطه پژمردگی (درصد)	ظرفیت زراعی (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	بافت	محل تهیه نمونه
۹/۵	۲۱/۶۱	۲۶	۱۹	۵۵	لومی شنی	ساحل زاینده‌رود
۱۲/۳۴	۲۸/۳۹	۴۰	۳۳	۲۷	لومی رسی	مزرعه دانشگاه
۹/۳۳	۲۵/۵۷	۴۲	۲۱	۳۷	لوم	ترکیب دو نمونه



شکل ۱. الگوی بافت خاک تشکیل دهنده تیمارهای آزمایش و ستون‌های دارای بافت‌های سبک (L)، متوسط (M) و سنگین (H)

ریشه محاسبه شد:

$$RLD = \frac{R}{\text{Volume}_{\text{soil}}} \quad (4)$$

که در آن چگالی طولی ریشه، از تقسیم تعداد تقاطع رشته‌های ریشه با خطوط عمودی صفحه شطرنجی (R)، بر حجم خاک مربوط به آن نمونه ریشه به دست می‌آید.

پس از جمع کردن ریشه‌های خیس از روی صفحه شطرنجی، آنها را روی دستمال کاغذی قرار داده تا آب اضافی آنها جمع شود و برای محاسبه وزن مرطوب ریشه، توزین شدند. پس از توزین نمونه، ریشه‌ها را در ظرف‌های مخصوص قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و بدین ترتیب وزن خشک گیاه برحسب g محاسبه شد. با داشتن وزن خشک گیاه و ریشه، نسبت وزن قسمت سبز گیاه به قسمت ریشه (RSR) به دست آمد:

$$RSR = \frac{\text{Dry Weight}_{\text{root}}}{\text{Dry Weight}_{\text{shoot}}} \quad (5)$$

با محاسبه T_c به عنوان میزان جذب آب توسط ریشه با استفاده از فرمول بیلان آب (فرمول شماره ۳) می‌توان سرعت جذب آب توسط ریشه را با استفاده از فرمول استفاده شده توسط نوسالویچ و لپیک (۲۹) محاسبه کرد:

$$RWUR = \frac{T_c}{RL} \quad (6)$$

که در آن T_c میزان جذب آب توسط ریشه (برحسب $\text{cm}^3 \text{ day}^{-1}$)، RL طول ریشه (برحسب cm) و در نهایت RWUR سرعت جذب آب توسط ریشه برحسب ($\text{cm}^3 \text{ day}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) است.

به منظور مقایسه آماری تیمارها، از نظر چگالی طولی ریشه و RSR آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) برای هر لایه به صورت جداگانه به کار گرفته شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. آزمون توکی در مقایسه با سایر آزمون‌های مقایسه میانگین، کمترین احتمال برای خطای نوع اول را دارا است و از این منظر آزمون بسیار محافظه‌کاری است (۲۱).

قسمت‌های مختلف خاک می‌توان به نقش ریشه در جذب آب و میزان آب جذب شده با استفاده فرمول بیلان آب در لایسیمتر در لایه‌های مختلف خاک پی برد:

$$I = (T_c + D_d + R_o) \pm \Delta S \quad (3)$$

از آنجایی که به علت قرار دادن لایه ۲ سانتی‌متری گراول بر روی سطح لایسیمترها تبخیر از سطح تقریباً ناچیز و معادل صفر است، T_c نشان‌دهنده میزان جذب آب توسط ریشه، I عمق آب آبیاری، D_d میزان آب زهکشی شده از لایسیمترها، R_o میزان رواناب که معادل صفر در نظر گرفته شد و ΔS نشان‌دهنده تغییرات بین دو اندازه‌گیری متوالی رطوبت خاک در کل لایسیمتر (هر سه لایه خاک موجود) است.

تهیه نمونه‌های گیاهی و ریشه در انتهای مرحله رشد گیاه، تقریباً چهار ماه پس از کاشت انجام شد. برای تهیه نمونه‌های گیاهی، قسمت هوایی گیاه در محل طوقه از قسمت ریشه هر گلدان (تیمار) جدا شد و در نایلون‌های پلاستیکی جمع‌آوری شدند. نمونه‌های گیاهی تهیه شده پس از توزین به مدت ۴۸ ساعت در دمای 60°C آون خشک شد و برای محاسبه وزن خشک گیاه دوباره توزین شدند.

برای تهیه نمونه‌های ریشه از رینگ‌های فلزی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر استفاده شد و برای داشتن نمونه ریشه از هر لایه ۹ سانتی‌متری از خاک، نمونه‌های تهیه شده به سه قسمت مساوی تقسیم شدند. ریشه‌های مربوط به هر نمونه و هر لایه با استفاده از آب شیر در یک سینی شسته و ریشه‌های شناور در سینی توسط یک سبد استیل به قطر ۰/۲۵ میلی‌متر جدا شدند.

به منظور محاسبه چگالی طولی ریشه، ریشه‌های استخراج شده روی صفحه شبکه‌بندی شده یک سانتی‌متری شیشه‌ای به وسیله آب و صابون پخش شده و تعداد برخورد‌های رشته‌های آن با خطوط عمودی موجود روی صفحه با استفاده از ذره‌بین شمرده شدند. در نهایت با استفاده از فرمول زیر که توسط تنانت (۳۲) در سال ۱۹۷۵ و نیومن (۲۷) در سال ۱۹۶۶ ارائه شده بود چگالی طولی

نتایج و بحث

نحوه رشد گیاه در خاک مطبق

همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، جرم خشک گیاه به شدت تحت تأثیر بافت خاک و ترتیب قرار گرفتن لایه‌های خاک در ستون‌های خاک است. به‌گونه‌ای که حروف متفاوت نتایج آنالیز آماری نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار نتایج است. برای بررسی دقیق‌تر به مقایسه گروه به گروه مشاهدات پرداخته شده و به‌همین منظور تیمارها به دو گروه تقسیم شده‌اند.

گروه اول تیمارهایی که دارای دو یا سه لایه از بافت سبک، سنگین و یا متوسط هستند که جرم خشک گیاه در این تیمارها به ترتیب: $MHM \geq MLM \geq MMM \geq HMH \geq HLH \geq HHH$ $\geq LHL \geq LML \geq LLL$ کاهش یافته است، سه تیمار اول که دارای بیشترین مقدار وزن خشک گیاه بوده‌اند بیشتر لایه‌های آنها را بافت متوسط تشکیل داده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود لایه‌های خاک با بافت متوسط موجب توسعه و رشد بهتر گیاه شده است. پس از گروه با بافت متوسط، گروه با بافت سنگین و کمترین مقدار وزن خشک گیاه متعلق به گروه با بافت سبک است.

گروه دوم تیمارهایی که از هر سه نوع بافت خاک در آنها وجود داشته و جرم خشک گیاه در این تیمارها به ترتیب: $LMH \geq MLH \geq HLM \geq LHM \geq HML \geq MHL$ است، با مقایسه این نتایج می‌توان به این نتیجه رسید که تیمارهایی که در قسمت ته‌تانی ستون خاک دارای بافت سنگین هستند دارای رشد بهتری نسبت به تیمارهای دارای بافت متوسط و سبک در انتهای ستون خاک، هستند. در این راستا گیل و همکاران (۱۷) در سال ۲۰۰۰ گزارش کردند که جرم قسمت سبز گیاه در خاک‌های لومی بیشتر از خاک‌های شنی است. وزن خشک بیشتر گیاه در تیمارهای دارای خاک لومی، می‌تواند مربوط به ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی، زهکشی مناسب، نفوذ آب و هوا و زیستگاه مناسب برای میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، باشد (۳۷). بافت لومی به عنوان بهترین بافت خاک برای رشد گیاه شناخته شده است.

علاوه بر آن دانه‌بندی مناسب ذرات این نوع بافت خاک، فضای مناسبی را برای جریان آب، نفوذ ریشه و تهویه مناسب فراهم می‌آورد. بافت لومی دارای ظرفیت نگهداری آب مناسب‌تری نسبت به بافت شنی و شرایط تهویه مناسب‌تری نسبت به خاک رسی است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار وزن خشک گیاه مربوط به تیماری که هر سه لایه آن را بافت شنی تشکیل داده‌اند است. که این نشان‌دهنده پاسخ واضح رشد گیاه به بافت خاک و نوع لایه‌بندی آن است. بافت شنی به‌علت زهکشی سریع خاک، آب و موادغذایی ضروری برای رشد، به سرعت از دسترس گیاه خارج شده و گیاه فرصت استفاده از آن را از دست می‌دهد (۸، ۲۵ و ۳۳).

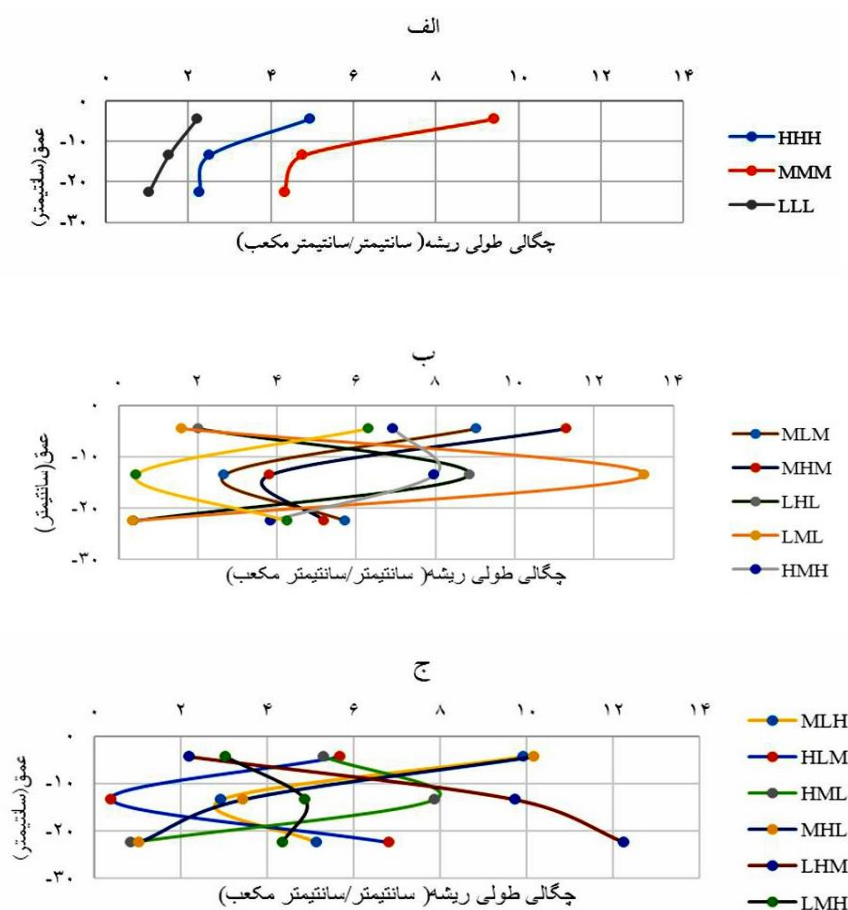
نحوه رشد و توزیع ریشه در خاک مطبق

برای نمایش بهتر نتایج، تیمارها به سه گروه تقسیم شدند (شکل ۲) گروه اول: تیمارهای دارای خاک همگن (الف)، گروه دوم: تیمارهایی که دو لایه خاک همسان دارند (ب) و گروه سوم: تیمارهایی که از هر سه نوع بافت خاک در آن حضور دارند (ج).

در حالت کلی، چگالی طولی ریشه با افزایش عمق کاهش می‌یابد، به‌جز در مواردی که لایه‌بندی خاک وجود دارد (شکل ۲)، که این نتایج منطبق با نتایج به‌دست آمده از پژوهش نوسالویچ و لپیک بر روی گیاه گندم (۲۹) در سال ۲۰۱۳ است. علاوه بر کاهش چگالی طولی ریشه با افزایش عمق خاک، صرف‌نظر از ترتیب لایه‌بندی می‌توان گفت لایه‌های دارای خاک با بافت متوسط دارای بیشترین مقادیر چگالی طولی ریشه و پس از آن لایه‌های دارای خاک با بافت رسی و کمترین مقادیر چگالی طولی ریشه مربوط به لایه‌های دارای خاک با بافت سبک است، این نتایج نیز منطبق با نتایج گیل و همکاران بر روی گیاه گندم (۱۷) در سال ۲۰۰۰ است که در پژوهش خود شاهد مقادیر بیشتری از وزن خشک ریشه در تیمار با بافت متوسط نسبت به تیمار با بافت سبک بودند. تأثیر بافت خاک بر روی رشد ریشه را می‌توان مرتبط با تفاوت در میزان هوای خاک، رطوبت خاک و نیروی چسبندگی بین ذرات بافت‌های مختلف

جدول ۲. متغیرهای گیاهی ستون‌های خاک دارای بافت‌های سبک (L)، متوسط (M) و سنگین (H) (حروف متفاوت موجود در جدول نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف، در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و اعداد موجود در پرانتز نشان‌دهنده میزان خطای استاندارد است).

تیمار	جرم خشک گیاه (گرم)	نسبت ریشه به قسمت سبز گیاه	تیمار	جرم خشک گیاه (گرم)	نسبت ریشه به قسمت سبز گیاه
HLH	۲۷/۵۸ (۰/۳) ab	۰/۰۲ (۰/۰۰۲) fde	MHL	۲۳/۹۶ (۴/۹) ab	۰/۰۳ (۰/۰۰۱) ab
HMH	۲۸/۴۷ (۰/۶) ab	۰/۰۳ (۰/۰۰۵) a	HML	۲۱/۸۷ (۴/۲) b	۰/۰۲ (۰/۰۰۲) bcde
LML	۲۲/۵۸ (۴/۳) b	۰/۰۳ (۰/۰۰۱) ab	HLM	۳۱/۷۱ (۳/۱) ab	۰/۰۲ (۰/۰۰۰۳) fde
LHL	۲۴/۶۳ (۴/۹) ab	۰/۰۲ (۰/۰۰۲) bcde	MLH	۳۰/۳۲ (۴/۷) ab	۰/۰۳ (۰/۰۰۲) abc
MHM	۴۳/۸ (۳/۷) a	۰/۰۲ (۰/۰۰۳) bcde	LLL	۲۴/۹۵ (۱/۸) ab	۰/۰۱ (۰/۰۰۰۲) f
MLM	۳۱/۳۸ (۴/۰) ab	۰/۰۲ (۰/۰۰۲) abcd	MMM	۳۴/۳۴ (۴/۹) ab	۰/۰۲ (۰/۰۰۱) bcd
LMH	۳۱/۹۸ (۳/۳) ab	۰/۰۱ (۰/۰۰۰۵) fe	HHH	۲۳/۶۶ (۴/۴) b	۰/۰۲ (۰/۰۰۰۵) cdef
LHM	۲۶/۰۵ (۴/۳) ab	۰/۰۳ (۰/۰۰۱) ab			



شکل ۲. الگوی توزیع ریشه در ستون‌های خاک متشکل از بافت‌های سبک (L)، متوسط (M) و سنگین (H): الف) تیمارهای دارای خاک همگن، ب) تیمارهایی که دو لایه خاک همسان دارند و ج) تیمارهایی که از هر سه نوع بافت خاک در آن حضور دارند.

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس در قالب طرح کامل تصادفی تراکم طولی ریشه بین بافت‌های مختلف خاک در سه لایه موجود در تیمارها، صرف نظر از ترکیب لایه‌ها و با در نظر گرفتن تنها موقعیت هر کدام از بافت‌های خاک (لایه اول، دوم و سوم)

p-value	بافت شنی	بافت رسی	بافت لومی	
<۰/۰۰۰۰۱	۲/۲۲ (c)	۵/۸۴ (b)	۹/۹۷ (a)	لایه اول
<۰/۰۰۰۰۱	۱/۶ (b)	۵/۶۷ (a)	۷/۷۵ (a)	لایه دوم
<۰/۰۰۰۰۱	۰/۷۴ (c)	۳/۹۷ (b)	۶/۸۶ (a)	لایه سوم

حروف متفاوت موجود در جدول نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار سه نوع بافت، در لایه‌های مختلف و در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰۰۱ است.

دارد که نتیجه آن کاهش سرعت جذب آب است. که این نتایج منطبق با دیگر پژوهش‌ها (۱۵ و ۲۹) است، آنها مشاهده کردند، همبستگی معنی‌داری بین چگالی طولی ریشه و سرعت جذب آب توسط ریشه در پروفیل خاک وجود دارد. همچنین یکی از عوامل اساسی در توزیع غیریکنواخت جذب آب توسط ریشه، تفاوت گرادیان پتانسیل آب در خاک، در طول ریشه است (۱۰ و ۲۰).

نتیجه‌گیری کلی

در کل نتایج حاصل از این مطالعه اهمیت نقش بافت و لایه بندی خاک را در رشد گیاه و ریشه روشن می‌سازد. به گونه ای که تغییر بافت خاک و نوع لایه‌بندی آن، به صورت معناداری چگالی طولی ریشه و سرعت جذب آب توسط ریشه را تحت تأثیر قرار داد. در حالت کلی، چگالی طولی ریشه با افزایش عمق خاک کاهش یافت، به جز در مواردی که لایه‌بندی خاک وجود داشت. به گونه‌ای که لایه‌های با بافت متوسط به صورت معنی‌داری، دارای بیشترین (۹/۵۷) و پس از آن لایه‌های دارای بافت سنگین (۵/۸۴) و در نهایت لایه‌های دارای بافت سبک دارای کمترین مقدار (۲/۲۲) تراکم طولی ریشه بودند. سرعت جذب آب توسط ریشه در لایه‌های دارای بافت شنی بیشترین مقدار و پس از آن لایه‌های دارای بافت رسی و کمترین مقادیر سرعت جذب آب توسط ریشه مربوط به بافت لومی و متوسط بود.

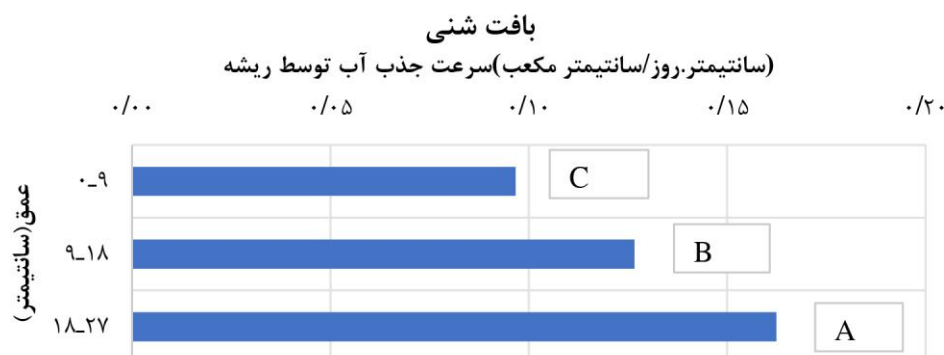
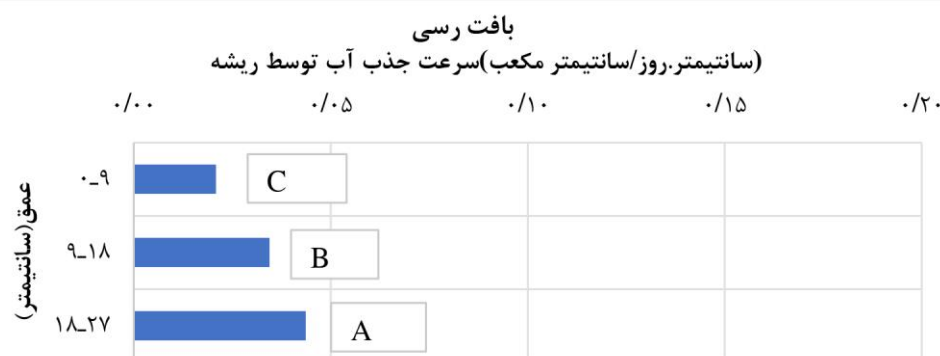
خاک دانست (۳۷). ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز توسط بافت خاک و مواد آلی کنترل می‌شود، به طوری که خاک‌های دارای ذرات ریزتر مانند سیلت و رس که دارای سطح ویژه بیشتر از خاک‌های سبک با ذرات بزرگ‌تر هستند، از ظرفیت نگهداری آب بیشتری برخوردارند. چگالی طولی ریشه در لایه‌های حاوی بافت متوسط به صورت معناداری دارای بیشترین مقادیر و پس از آن در لایه‌های دارای بافت سنگین و کمترین مقادیر چگالی طولی ریشه مربوط به بافت سبک بوده است (جدول ۳).

نحوه جذب آب توسط گیاه در لایه‌های مختلف خاک

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، به صورت معنی‌داری میزان سرعت جذب آب توسط ریشه در لایه‌های دارای بافت شنی دارای بیشترین مقدار و پس از آن لایه‌های دارای بافت رسی و کمترین مقادیر سرعت جذب آب توسط ریشه مربوط به بافت لومی و متوسط است. همچنین با توجه به شکل ۴ میانگین سرعت جذب آب توسط ریشه در سه لایه موجود در تیمارها، به صورت معناداری با افزایش عمق افزایش یافته است. می‌توان علت این تفاوت را به تغییرات ویژگی هیدرولیکی ریشه و همچنین به این نکته که ریشه‌های موجود در لایه‌های سطحی دارای ریشه‌های مسن‌تر و در نتیجه هدایت هیدرولیکی پایین‌تر، نسبت داد (۳۱). همچنین در لایه‌های دارای مقادیر بیشتر ریشه (چگالی طولی ریشه بالاتر) رقابت بیشتری بر سر آب موجود وجود



شکل ۳. الگوی سرعت جذب آب توسط ریشه در لایه‌های خاک متشکل از بافت‌های سبک (Sand)، متوسط (Loam) و سنگین (Clay) مقادیر نشان‌دهنده میانگین سرعت جذب آب توسط ریشه در میان تمامی لایه‌های دارای بافت شنی، رسی و لومی (تنها پارامتر مورد بررسی بافت) است. (که حروف متفاوت موجود در نمودار نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح ۰۰۱٪ بافت‌های مختلف در میزان جذب آب است).



شکل ۴. الگوی سرعت جذب آب توسط ریشه در لایه‌های خاک (لایه اول، لایه دوم و لایه سوم) به گونه‌ای که علاوه بر نوع بافت، موقعیت قرارگیری بافت مذکور نیز مورد بررسی قرار گرفته است. (حروف متفاوت موجود در نمودار نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح ۰۰۱٪ لایه‌های مختلف در میزان جذب آب است).

نگهداشت آب در خاک و میزان تراکم ریشه در افق‌های مختلف آن لازمه تدوین دقیق برنامه آبیاری است. مطابق بودن خاک‌ها، هم تنوع ظرفیت نگهداشت آب در خاک و هم تغییر در توسعه طبیعی ریشه در عمق خاک و ناحیه ریشه را به دنبال خواهد داشت. لذا انجام اینگونه مطالعات به تدقیق برنامه آبیاری کمک می‌کند و لازمه ارزیابی صحیح سامانه‌های آبیاری است. نتایج حاصل از این مطالعه توانست دید وسیع‌تر و روشن‌تری را از نحوه رشد و توزیع ریشه در خاک مطبق و همچنین تعیین نیاز آبیاری فراهم آورد.

علاوه بر این میانگین سرعت جذب آب توسط ریشه در سه لایه موجود در تیمارها، به صورت معناداری با افزایش عمق افزایش یافت. همچنین بالاترین مقادیر وزنی قسمت سبز گیاه مربوط به تیمار شامل بافت متوسط - سنگین - متوسط (MHM) با مقدار ۴۳/۸ و پس از آن تیمار شامل بافت متوسط - متوسط - متوسط (MMM) با مقدار ۳۴/۳۴ بود، که قسمت عمده هر دو تیمار را بافت متوسط تشکیل می‌داد. بنابراین بهترین تیمار از لحاظ رشد گیاه، ریشه و جذب آب می‌توان تیمار با بافت متوسط معرفی کرد. اطلاع از ظرفیت

منابع مورد استفاده

- Ahmed, F., E. Arthur, H. Liu and M. N. Andersen. 2020. New rootsnap sensor reveals the ameliorating effect of biochar on in situ root growth dynamics of maize in sandy soil. *Frontiers in Plant Science* 11.
- Alameda, D. and R. Villar. 2012. Linking root traits to plant physiology and growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl. seedlings under soil compaction conditions. *Environmental and Experimental Botany* 79: 49-57.
- Alizade, A. 2008. Soil, Water, Plant Relationship. 1 st edition. Astan Ghods Razavi press, Mashhad.
- Andersen, M. N., L. J. Munkholm and A. L. Nielsen. 2013. Soil compaction limits root development, radiation-use efficiency and yield of three winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* 63: 409-419.
- Araki, H. and M. Iijima. 2005. Stable isotope analysis of water extraction from subsoil in upland rice (*Oryza sativa* L.) as affected by drought and soil compaction. *Plant and Soil* 270: 147-157.
- Bengough, A. G., B. McKenzie, P. Hallett and T. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62: 59-68.
- Birkás, M., M. Jolánkai and R. Schmidt. 2008. Environmentally-sound adaptable tillage-solutions from Hungary 191-194.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Chen, G. and R. R. Weil. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil and Tillage Research* 117: 17-27.
- Doussan, C., A. Pierret, E. Garrigues and L. Pagès. 2006. Water uptake by plant roots: II-modelling of water transfer in the soil root-system with explicit account of flow within the root system-comparison with experiments. *Plant and Soil* 283: 99-117.
- Ebrahimizade, M. A. and A. M. Hassanli. 2008. Investigation of corn root development and its effect on water saving in different irrigation methods using effluent in Korbal semiarid plain, Fars province. *Journal of Water and Soil Science* 12(44): 69-84.
- Fan, J., B. McConkey, H. Wang and H. Janzen. 2016. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research* 189: 68-74.
- FAO. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Accessed 30 APRIL 2022.
- Farooq, M., M. Hussain, A. Wakeel and K. H. M. Siddique. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 461-481.
- Feddes, R. and P. Raats. 2004. Parameterizing the soil-water-plant root system. Unsaturated-zone Modeling: *Progress, Challenges, Applications* 6: 95-141.
- Gao, W., L. Hodgkinson, K. Jin, C. W. Watts, R.W. Ashton, J. Shen, T. Ren, I. C. Dodd, A. Binley, A. L. Phillips, P. Hedden, M. J. Hawkesford and W. R. Whalley. 2016. Deep roots and soil structure. *Plant Cell Environ* 39: 1662-1668.
- Gill, J., K. Sivasithamparam and K. Smettem. 2000. Soil types with different texture affects development of Rhizoctonia root rot of wheat seedlings. *Plant and Soil* 221: 113-120.
- Haling, R. E., L. K. Brown, A. G. Bengough, T. A. Valentine, P. J. White, I. M. Young and T. S. George. 2014. Root hair length and rhizosheath mass depend on soil porosity, strength and water content in barley genotypes.

- Planta* 239: 643-651.
19. Jin, K., P. J. White, W. R. Whalley, J. Shen and L. Shi. 2017. Shaping an Optimal Soil by Root-Soil Interaction. *Trends Plant Sci* 22: 823-829.
 20. Javaux, M., T. Schröder, J. Vanderborght and H. Vereecken. 2008. Use of a three-dimensional detailed modeling approach for predicting root water uptake. *Vadose Zone Journal* 7: 1079-1088.
 21. Kaps, M. and W. Lamberson. 2017. Biostatistics for animal science. Cabi
 22. Lungley, D. R. 1973. The growth of root system - a numerical computer simulation model. *Plant Soil* 38: 145-151.
 23. Lipiec, J., R. Horn, J. Pietrusiewicz and A. Sicze. 2012. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. *Soil and Tillage Research* 121: 74-81.
 24. Manschadi A. M., G. L. Hammer, J. T. Christopher and P. deVoil. 2007. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil* 303: 115-129.
 25. McCauley A., C. Jones and J. Jacobsen. 2005. Basic soil properties. *Soil and Water Management Module* 1: 1-12.
 26. Nair, R. M., R. Y. Yang, W. J. Easdown, D. Thavarajah, P. Thavarajah, J. D. A. Hughes and J. D. H. Keatinge. 2013. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93(8): 1805-1813.
 27. Newman, E. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology* 139-145.
 28. Nickel, S. E., R. Kent Crookston and M. P. Russelle. 1995. Root growth and distribution are affected by cornsoybean cropping sequence. *Agronomy Journal* 87: 895-902.
 29. Nosalewicz, A. and J. Lipiec. 2013. The effect of compacted soil layers on vertical root distribution and water uptake by wheat. *Plant and Soil* 375: 229-240.
 30. Poeplau, C. and T. Katterer. 2017. Is soil texture a major controlling factor of root:shoot ratio in cereals? *European Journal of Soil Science* 68: 964-970.
 31. Sanderson, J., F. C. Whitbread and D. Clarkson. 1988. Persistent xylem cross-walls reduce the axial hydraulic conductivity in the apical 20 cm of barley seminal root axes: implications for the driving force for water movement. *Plant, Cell & Environment* 11: 247-256
 32. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *The Journal of Ecology* 995-1001.
 33. Tsoar, H. 2005. Sand Dunes. Encyclopedia of Soils in the Environment. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 357(1): 50-56.
 34. Wang, E. and C. J. Smith. 2004. Modelling the growth and water uptake function of plant root systems: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 55: 501-523.
 35. Warren, J. M., P. J. Hanson, C. M. Iversen, J. Kumsar, A. P. Walker and S. D. Wullschleger. 2015. Root structural and functional dynamics in terrestrial biosphere models--evaluation and recommendations. *New Phytol* 205: 59-78.
 36. Whalley, W., J. Lipiec, W. Stepniewski and F. Tardieu. 2000. Control and Measurement of the Physical Environment in Root Growth Experiments. *Root Methods*. Springer.
 37. Zou, C., C. Penfold, R. Sands, R. Misra and I. Hudson. 2001. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant and Soil* 236: 105-115.

The Pattern of Root Distribution and Water Absorption in Layered Soil

F. Zarei¹, M. R. Nouri Emamzadehei¹, A. R. Ghasemi Dastgerdi¹ and
A. Shahnazari²

(Received: September 6-2021; Accepted: May 10-2022)

Abstract

The pattern of root distribution in layered soils is one of the significant issues in the calculations of soil water and irrigation management and planning. The objective of this study was to determine the pattern of root distribution of soybean in layered soils and its effect on water uptake. The research was conducted in a completely randomized design with 15 treatments consisting of three different textures of soil (light, heavy, and medium) in four replications. The pattern of root distribution was monitored by the sampling of columns at the end of the growth period of the soybean. It was observed that the presence of the layer with medium texture has led to better plant development and growth after comparing the treatments in terms of plant growth. In general, root length density decreased with increasing soil depth, except in cases where there were different layers of soil, and root length density takes place in the following order: root length density in layers with medium texture \geq heavy texture \geq light texture. The rate of root water uptake rate was highest in the sandy layers, intermediate in clay, and lowest in loamy texture. Also, the rate of root water uptake rate increased significantly with increasing depth regardless of treatments. It can be concluded that the pattern of root distribution and plant growth is significantly affected by soil texture and its stratification.

Keywords: The pattern of root distribution, Layered soil, Soybean, Root length density, Root water uptake rate.

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Sari, Sari, Iran.

*: Corresponding author, Email: Zarei.Farzaneh12@gmail.com