اثر تراکم خاک بر رشد طولی ریشه گونه‌های مرتعی *Agropyron elongatum*، *Ferula gummosa*، *Medicago minima*، *Atriplex canescens* و *Atriplex lentiformis*

نفیسه گرایلو[۱]، ابوالفضل طهماسبی*[۲]، مجتبی قره محمودلو[۲] و اکبر فخیره[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

چکیده

فشردگی خاک باعث کاهش خلل و فرج خاک و درپی آن کوچک‌تر شدن قطر مجاری موئینه خاک می‌شود. این امر دسترسی گیاه به مواد معدنی و آب منفذی را محدود می‌سازد. از اینرو ارزیابی تراکم خاک به‌منظور بهبود روش‌های مدیریتی در مراتع و زمین‌های کشاورزی و همچنین کاهش مشکلات ناشی از تراکم در محیط زیست و تولید محصول ضروری است. در این پژوهش اثر تراکم خاک بر روی رشد ریشه پنج گونه مرتعی *Ferula gummosa*، *Agropyron elongatum*، *Medicago minima*، *Atriplex canescens* و *Atriplex lentiformis* در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد. ابتدا با استفاده از ضربات چکش سه سطح تراکم (تخلخل ۳۶، ۴۷ و ۵۶ درصد) در یک خاک لومی-رسی در مقیاس گلدانی تهیه شد. در مرحله بعد، از هر گونه مرتعی انتخاب شده سه عدد بذر در داخل هر گلدان با تکرار سه تایی کشت شد. پس از گذشت یک دوره ۶۰ روزه، طول ریشه‌های فرعی و اصلی برای هر کدام از نمونه‌ها اندازه‌گیری‌شد. به منظور آنالیز آماری داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده‌شد. نتایج این پژوهش نشان‌داد که بین میزان تراکم خاک و رشد ریشه‌های فرعی و اصلی تمامی گیاهان مرتعی مورد مطالعه یک رابطه خطی وجود دارد. به‌طوریکه با کاهش میزان تراکم، رشد ریشه‌های فرعی و اصلی افزایش یافته است. مقایسه رشد ریشه‌های اصلی و فرعی گیاهان مورد مطالعه نشان‌داد که رشد ریشه اصلی گیاه *A. canescens* در تمامی شدت‌های تراکم بیشتر از سایر گیاهان بوده‌است. علاوه بر این *A. canescens* تنها گیاهی است رشد ریشه‌های فرعی آن در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌دار با هم ندارد. همچنین در دو گیاه *M. minima* و *A. lentiformis* بین رشد ریشه‌های اصلی آنها در تمامی شدت‌های تراکم خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش میزان تراکم خاک، درصد فراوانی ریشه‌های فرعی افزایش یافته است. بیشترین درصد فراوانی اندازه‌گیری‌شده در تمامی گیاهان مربوط به ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر در تخلخل ۵۶ درصد می‌باشد. از این‌رو با افزایش میزان تخلخل و در پی آن افزایش خلل و فرج خاک، شرایط برای رشد طولی ریشه‌های گیاهان مرتعی فراهم‌تر می‌شود. اگرچه که نرخ تغییرات در ریشه‌های فرعی به مراتب بیشتر از ریشه اصلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان مرتعی، تراکم خاک، طول ریشه، ریشه اصلی، ریشه فرعی.

[۱]- کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

[۲]- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

*: نویسنده مسئول: ab_tahmasebi@yahoo.com

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

مقدمه

تراکم خاک غالباً به معنی تغییر ساختار خاک و ژئومتری سیستم خلل و فرج خاک در مقیاس توده و پروفایل به همراه مقیاس دانه‌بندی خاک است (۲۶ و۴۰). اصولاً در نتیجه کاهش اندازه فضاهای خالی بین ذرات خاک و همچنین کاهش قطر مجاری بین آنها (۳۴ و ۳۶) میزان نفوذ آب و جریان هوا را در خاک به طور ویژه کاهش می‌یابد. این امر موجب افزایش پتانسیل رواناب سطحی، فرسایش خاک و در نهایت اثرات نامطلوبی بر رشد گیاهان می‌شود (۸، ۲۳ و ۳۴). علاوه براین، درپی آن کوچک‌تر شدن قطر مجاری موئینه خاک میزان جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان کاهش چشمگیری می‌یابد (۶). افزایش مقاومت مکانیکی و تراکم خاک مانع از توسعه سیستم ریشه در اکثر گیاهان می‌شود (۲۱ و ۳۰). تراکم شدید خاک ممکن است اثرات مهمی بر روی رشد ریشه داشته باشد، هرچند اثرات اولیه آن همچون بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش رشد ساقه‌ها بلافاصله آشکار نیستند (۳۵). ریشه نقش مهمی در جذب مواد مغذی و رشد گیاه ایفا می‌کند (۲۹). توانایی نفوذ ریشه با تراکم خاک رابطه عکس دارد بدین معنی که با افزایش تراکم خاک، نفوذ ریشه به عمق خاک کاهش پیدا می‌کند و این مسئله ناشی از افزایش مقاومت خاک و کاهش تعداد خلل و فرج‌های ماکرو است (۱۴). عموماً، تراکم ریشه منجر به کاهش طول ریشه، نفوذ ریشه و عمق ریشه‌زنی می‌گردد (۲۵).

محدودیت رشد ریشه خصوصا ریشه‌های عمقی به دلیل افزایش تراکم خاک و درپی آن مقاومت مکانیکی خاک، یکی از وسیع‌ترین و شایع‌ترین چالش‌های ناشی از فشردگی خاک بر اثر عوامل مختلفی نظیر عملیات کشاورزی، چرای دام و.. می‌باشد (۱۶). در مراتع واقع در نواحی خشک و نیمه خشک و حتی در شرایط کشاورزی دیم، ریشه دوانی عمیق (طولی) برای گیاهان مرتعی و همچنین زراعی موجب افزایش میزان دسترسی گیاه به ذخیره آب و مواد غذایی موجود در خاک می‌شود.

تاکنون مطالعات فراوانی برای ارزیابی اثر تراکم بر روی اندام‌های هوایی و زمینی گیاهان صورت گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. بسیاری از بررسی‌ها نشان داده است که با افزایش درجه فشردگی خاک و درپی آن مقاومت مکانیکی خاک در مزارعه و همچنین در مراتع، میزان توسعه ریشه گیاهان کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. بطوریکه در لایه سطحی خاک انشعاب ریشه زیاد و در قسمت فشرده‌تر خاک، توسعه ریشه به شدت محدود می‌شود. بطورکلی ریشه‌ها به هنگام برخورد با لایه‌های فشرده خاک و توقف رشد طولی آنها اقدام به ایجاد ریشه‌های فرعی و سطحی می‌کند. تجمع ریشه‌ها در سطح خاک ممکن است باعث کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها گردد. در بسیاری از موارد، به‌ویژه در محیط‌های خشک، افزایش استرس رطوبتی گیاه به همراه کاهش رشد ریشه، به‌عنوان عوامل عمده محدودیت رشد و محصول دهی گیاه محسوب می‌شوند (۴، ۷ ، ۱۳ و ۳۰). یافته‌های برخی از محققین نشان داد که شوری و تراکم خاک باعث کاهش وزن خشک ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، میانگین قطر ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خاک می‌شود. همچنین شوری و تراکم خاک اثر منفی همدیگر را تشدید کرده و منجر به توقف رشد و توسعه ریشه می‌شوند (۲۲).

اگرچه مطالعات زیادی در سراسر جهان بر روی بررسی تأثیر تراکم خاک بر روی ویژگی‌های رویشی ریشه گیاهان صورت گرفته است. اما غالب مطالعات صورت گرفته بر روی گونه‌های زراعی و کشاورزی بوده و به ندرت در مطالعه‌ای اثرات تراکم خاک بر روی گونه‌های مرتعی مورد بررسی قرار گرفته‌است. از آنجائیکه تراکم خاک بعنوان یک عامل محدود کننده رشد و محصول دهی گیاهان به حساب می‌آید این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر تراکم خاک بر رشد ریشه‌های اصلی و فرعی پنج گونه شاخص مرتعی *A. elongatum*، *F. gummosa*، *M. minima*، *A. canescens* و *A. lentiformis* می‌باشد. گونه‌های انتخابی گیاهی در اکثر طرح‌های مرتعداری با اهداف افزایش علوفه و همچنین حفاظت آب و خاک در بیشتر مناطق خصوصا در مراتع شمال استان گلستان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

باتوجه به اینکه شدت تراکم خاک در سطح خاک بیشتر از قسمت‌های عمقی خاک است خاک مورد نیاز در این پژوهش از قسمت سطحی ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه دانشگاه گنبدکاووس تهیه شده‌است. پس از خشک

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

کردن خاک توسط آون، خاک خشک شده از الک ۲ میلی‌متری عبور داده‌شد. سپس به‌منظور بدست آوردن دانه‌بندی خاک عبوری از الک ۲ میلی‌متری از روش هیدرومتری استفاده شد. پس از بدست آوردن درصد سیلت، شن و رس با استفاده از مثلث بافت خاک، بافت خاک تعیین گردید. همچنین دو پارامتر pH و EC[1] خاک مورد استفاده در عصاره اشباع به ترتیب توسط pH متر و هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد.

برای بررسی اثر تراکم خاک بر روی رشد ریشه گونه‌های مختلف، سه سری گلدان (سه تیمار) تهیه گردید. در تیمار اول خاک جمع‌آوری شده بعد از عبور از الک و خشک شدن بدون هیچ گونه کوبش و فشردگی در داخل گلدان ریخته شد. در تیمار دوم، ابتدا خاک خشک بصورت لایه لایه در هر گلدان ریخته شده و بعد از هر لایه به منظور متراکم کردن خاک ضرباتی توسط یک چکش چوبی نسبتا سنگین و کمی کوچکتر از قطر گلدان به سطح خاک وارد آمد. جهت جلوگیری از لایه بندی خاک در ضخامت گلدان سطح هر لایه توسط یک چاقو خراش داده شد. در تیمار سوم برای افزایش میزان تراکم خاک (فشردگی)، ابتدا خاک خشک شده با درصد نسبتا کمی از آب مخلوط گردید. سپس مشابه روش تیمار دوم گلدان پر از خاک شد. در نهایت با استفاده از روابط وزنی-حجمی ارائه شده در زیر میزان تخلخل خاک گلدان در تیمار محاسبه گردید:

رابطه (۱)
$$\rho_b = \frac{M_t}{V_t}$$

در این رابطه M_t وزن خاک در داخل گلدان و V_t حجم خاک داخل گلدان می‌باشد.

باتوجه به محاسبه وزن مخصوص ظاهری خاک و دانستن وزن مخصوص حقیقی[2] که معادل ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مربع بوده (۳۲) تخلخل خاک از رابطه ۲ محاسبه گردید (۹):

رابطه (۲)
$$n = [1 - (\frac{\rho_b}{G_s})] \times 100$$

در رابطه ۲، n تخلخل خاک، ρ_b وزن مخصوص ظاهری، G_s وزن مخصوص حقیقی

در مرحله بعد بذرهای مربوط به گیاهان مرتعی انتخابی در این پژوهش در عمق ۲ سانتی‌متری از خاک گلدان‌های تهیه شده کشت گردید. از هرکدام از گونه‌های مورد نظر تعداد ۳ بذر در داخل هر گلدان با ۳ تکرار کشت شد. پس از گذشت یک دوره ۶۰ روزه ریشه‌های گیاهان از خاک گلدان‌های

مختلف استخراج شد و طول ریشه‌های فرعی و اصلی برای هر کدام از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش آزمون تجزیه واریانس داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام‌شد. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن تحلیل آماری انجام شد. همچنین از آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین تراکم خاک و رشد ریشه اصلی و فرعی استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از مطالعات خاکشناسی نشان داد که خاک استفاده شده دارای بافت سیلتی لومی است. همچنین pH خاک استفاده شده در این پژوهش در حد خنثی و خاک گلدان‌ها براساس میزان EC در رده خاک کم شور تقسیم‌بندی شد.

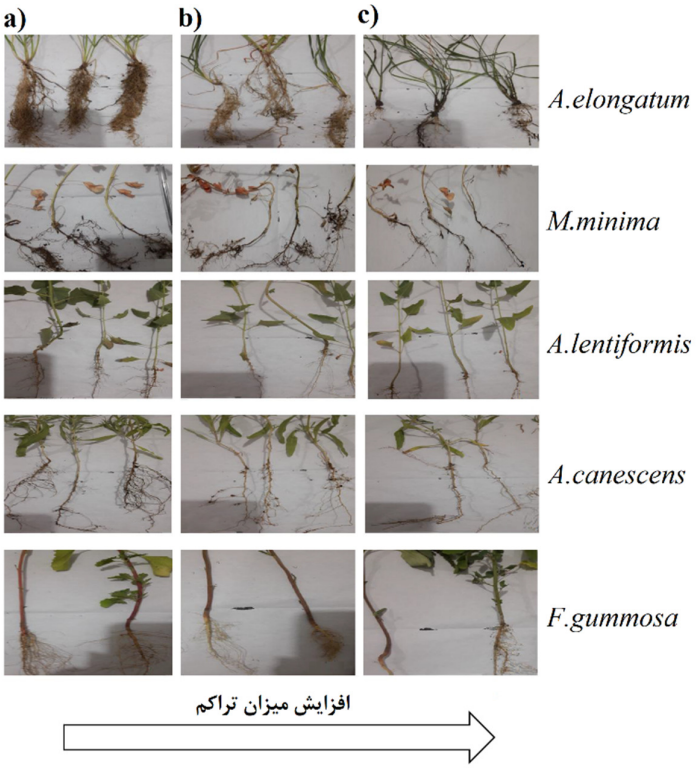
براساس نتایج اولیه با افزایش میزان تراکم و یا کاهش میزان تخلخل رشد سیستم ریشه گیاهان مرتعی کاهش چشمگیری داشته‌است (شکل ۱). نتایج حاصل از آنالیز واریانس برای مقایسه تاثیر تخلخل‌های مختلف خاک بر رشد ریشه فرعی و اصلی *M. minima* در جدول (۱) ارائه شده‌است. نتایج نشان‌داد که مقدار *p-value* برای رشد ریشه‌های فرعی در سطوح مختلف تخلخل کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد. از این رو رشد ریشه‌های فرعی گیاه *M. minima* در سطوح مختلف تخلخل اختلاف معنی‌داری دارد. در مقابل مقدار p-value برای رشد ریشه‌های اصلی در سطوح مختلف تخلخل بیش از ۰/۰۵ می‌باشد. این امر بیانگر آن است که افزایش میزان تخلخل خاک بر رشد ریشه‌های اصلی گیاه *M. minima* تاثیر معنی‌داری ندارد.

[1]- Electrical conductivity

[2]- Particle density

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]



شکل ۱: مقایسه رشد ریشه گیاهان مرتعی در سه سطح تخلخل. a، b و c به ترتیب تخلخل۵۶، ۴۷ و ۳۶ درصد

همانند گیاه *M. minima*، مقدار p-value برای رشد ریشه‌های فرعی گیاه *A. elongatum* در سطوح مختلف تخلخل، کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد (جدول ۱). این امر نیز بیانگر معنی‌دار بودن رشد ریشه‌های فرعی این گیاه در تخلخل‌های مختلف است. برخلاف ریشه‌های فرعی، مقدار p-value رشد ریشه‌های اصلی گیاه *A. elongatum* در سه سطح تخلخل متفاوت خاک کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. این امر نشانگر اختلاف معنی‌دار رشد ریشه‌های اصلی گیاه *A. elongatum* در سه سطح تخلخل متفاوت خاک می‌باشد.

بررسی نتایج حاصل از آنالیز واریانس تاثیر سطوح متفاوت تخلخل خاک بر رشد ریشه فرعی و اصلی گیاه *A. canescens* در جداول (۱) ارائه شده است. در میان تمامی گیاهان استفاده شده در این پژوهش، *A. canescens* تنها گیاهی است که مقدار p-value رشد ریشه‌های فرعی آن بیش از ۰/۰۵ می‌باشد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که رشد ریشه‌های فرعی گیاه *A. canescens* در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌دار با هم ندارد. اگرچه رشد ریشه‌های اصلی گیاه *A. canescens* در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌دار دارند.

نتایج حاصل از آزمایشات گیاه *A. lentiformis* نشان‌داد که رشد ریشه‌های فرعی گیاه در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با هم دارند به طوری که مقادیر به‌دست آمده p-value در تخلخل‌های مختلف کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد (جداول ۱). باتوجه به میزان ۰/۰۵ >p-value، رشد ریشه‌های اصلی گیاه *A. lentiformis* در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌دار با هم ندارد. در گیاه آتریپلکس *A. lentiformis* یک رابطه خطی بین تغییرات میزان تخلخل و طول ریشه‌های فرعی و اصلی آن وجود دارد بطوریکه با افزایش میزان تخلخل طول ریشه‌ها نیز افزایش می‌یابد. اگرچه که نرخ تغییرات در ریشه‌های فرعی به مراتب بیشتر از اصلی می‌باشد.

همانند بیشتر گیاهان مطالعه شده در این تحقیق، رشد ریشه‌های فرعی گیاه *F. gummosa* در سه سطح مختلف تخلخل خاک اختلاف معنی‌داری از خود نشان

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

می‌دهند (p-value> ۰/۰۱). اما رشد ریشه‌های اصلی گیاه *F. gummosa* در تخلخل‌های مختلف اختلاف معنی‌دار با هم ندارد.

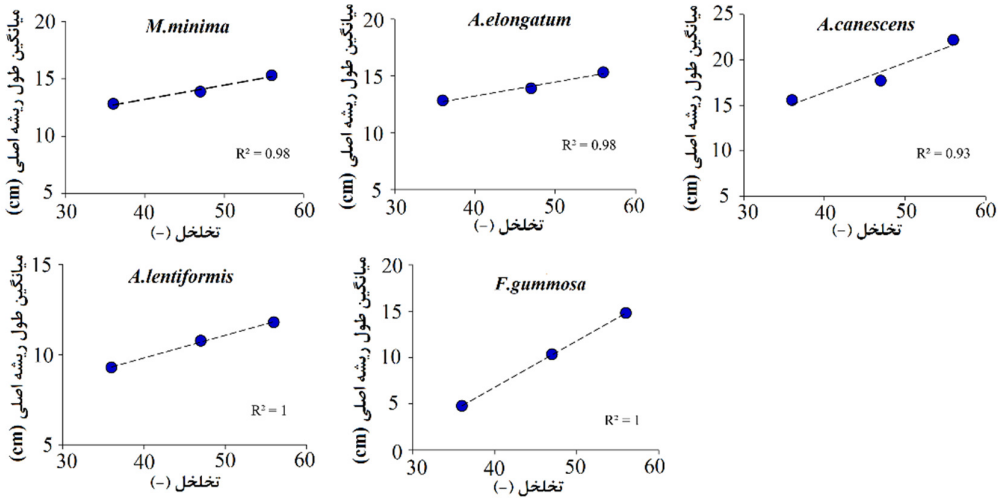
جدول ۱: نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثر سه سطح تخلخل بر رشد ریشه گیاهان مرتعی

نوع گیاه	نوع ریشه	منبع تغییرات	درجه آزادی	F	p-value
M. minima	فرعی	تیمار	۲	۱۰/۷۵۰	<۰/۰۰۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
	اصلی	تیمار	۲	۰/۹۷۸	۰/۳۹۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
A. elongatum	فرعی	تیمار	۲	۱۲/۷۰۴	<۰/۰۰۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
	اصلی	تیمار	۲	۴/۵۷۲	۰/۰۲۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
A. canescens	فرعی	تیمار	۲	۰/۸۷۷	۰/۴۲۹
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
	اصلی	تیمار	۲	۴/۹۵۵	۰/۰۱۶
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
A. lentiformis	فرعی	تیمار	۲	۴۹/۹۸۷	<۰/۰۰۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
	اصلی	تیمار	۲	۰/۸۳۴	۰/۴۴۷
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
F. gummosa	فرعی	تیمار	۲	۱۲/۴۹۰	<۰/۰۰۱
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		
	اصلی	تیمار	۲	۲/۷۶۲	۰/۰۸۳
		خطا	۲۴		
		کل	۲۶		

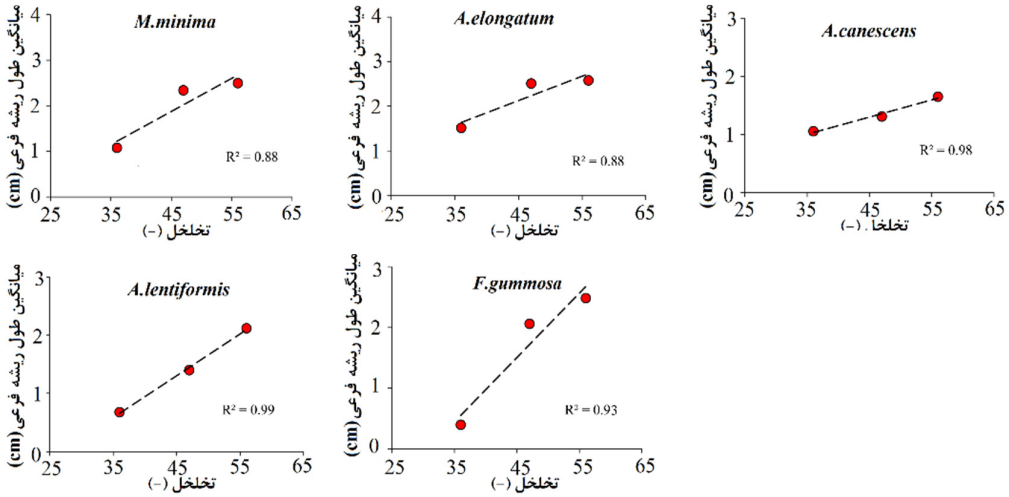
به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای تخلخل و رشد ریشه‌های اصلی (طولی) و فرعی، نمودارهای دو متغیره ترسیم شد (شکل‌های ۲ و ۳). نتایج این نمودارهای نشان داد که بین افزایش میزان تخلخل خاک (کاهش تراکم) و رشد ریشه طولی و فرعی هر پنج گیاه مرتعی رابطه خطی با ضریب تعیین بالا وجود دارد. اگرچه تغییرات ریشه در تخلخل‌های مختلف در گیاه *F. gummosa* به مراتب بیشتر از دیگر گیاهان می‌باشد. به‌طوریکه با تغییرات جزئی تخلخل تغییرات شدیدی در ریشه‌های فرعی و اصلی این گونه دیده شده‌است (شکل‌های ۲ و ۳). این امر نشانگر حساسیت بالای ریشه اصلی نسبت به تغییرات تخلخل خاک است.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]



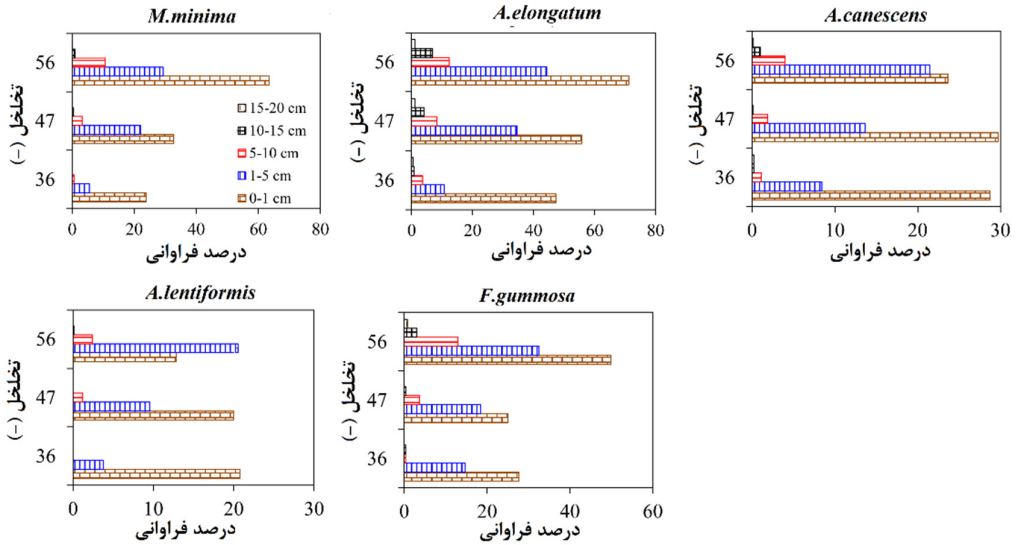
شکل ۲: تغییرات میانگین طول ریشه‌های اصلی گیاهان مرتعی در سه سطح تخلخل



شکل ۳: تغییرات میانگین طول ریشه‌های فرعی گیاهان مرتعی در سه سطح تخلخل

با توجه به نتایج درصد فراوانی ریشه‌های فرعی در تخلخل‌های مختلف، مشابه ریشه‌های اصلی گیاهان با افزایش میزان تخلخل خاک، درصد فراوانی ریشه‌های فرعی نیز افزایش یافته است (شکل ۴). بیشترین درصد فراوانی اندازه‌گیری‌شده در گیاهان مرتعی مربوط است به ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر در تخلخل ۵۶ درصد می‌باشد. گیاه *A. elongatum* با میزان فراوانی در حدود ۷۰ درصد، بیشترین فراوانی را در بین گیاهان مرتعی دارا می‌باشد. درحالیکه گیاه *A. lentiformis* کمترین درصد فرانی ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر در تخلخل ۵۶ درصد را دارا می‌باشد.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]



شکل ۴: میزان تغیرات درصد فراوانی ریشه‌های فرعی پنج گیاهان مرتعی با درجات مختلف تخلخل‌های خاک

نتایج نشان داد که با کاهش میزان تخلخل خاک درصد فراوانی ریشه‌های فرعی در گیاهان مرتعی کاهش یافته است. به‌طوریکه در گیاه *A. elongatum* درصد فراوانی ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر از حدود ۷۰ درصد در تخلخل ۵۶ درصد به کمتر از ۵۰ درصد در تخلخل ۵۶ درصد در تخلخل ۳۶ درصد کاهش یافته است. اما در میان پنج گیاهان مرتعی استفاده شده در این تحقیق، بیشترین تغییرات مربوط به گیاه *M. minima* می‌باشد. بطوریکه درصد فراوانی ریشه‌های فرعی ۱-۰ سانتی‌متر آن از حدود ۶۵ درصد به کمتر از ۲۵ درصد کاهش یافته است.

نتایج همچنین نشان داد که در دو گیاه *A. lentiformis* و *A. canescens*، با کاهش میزان تخلخل خاک تنها درصد فراوانی ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر برخلاف دیگر گیاهان افزایش یافته است. در بقیه اندازه‌ها ریشه فرعی درصد فراوانی کاهش یافته است.

بحث و نتیجه گیری

پدیده تراکم خاک که به عنوان یک شاخص تخریبی برای گیاهان زاعی و مرتعی مطرح می‌باشد که ناشی از روش‌های سنتی کشاورزی و دامداری (۳، ۳۸)؛ عوامل طبیعی همچون ماهیت سنگ بستر، میزان رس خاک، نوع مواد معدنی، میزان ماده آلی خاک (۲۰) و رطوبت خاک وابسته است. به طور کلی، تراکم خاک موجب کاهش خلل و فرج بزرگ، تخلخل‌پذیری کل، افزایش خلل و فرج ریز و اتصال خلل و فرج و توازن در جریان گاز و آب را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (۳۳ و ۴۲).

نتایج اولیه این پژوهش نشان داد که تراکم خاک نقش مهمی بر توسعه سیستم رشته پنج گیاه مرتعی *M. minima*، *A. elongatum*، *A. canescens*، *A. lentiformis* و *F. gummosa* داشته‌است. بطوریکه با افزایش میزان تراکم خاک طول ریشه‌های اصلی و فرعی و همچنین تعداد ریشه‌های فرعی تغییر می‌کند نتایج این پژوهش با یافته‌های مختاری اصل و همکاران (۲۰۰۷)، چن[1] و همکاران (۲۰۱۴)، قربانی و همکاران (۲۰۱۵)، حسن‌پور و همکاران (۲۰۱۷)، بکت[2] و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که رابطه خطی بین افزایش تراکم (کاهش تخلخل) خاک و کاهش رشد گیاه وجود دارد. به‌طوریکه در اثر تراکم خاک، مقاومت مکانیکی خاک افزایش و تهویه خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اصولا ریشه گیاه برای نفوذ در خاک باید نیروئی اعمال کند تا ذرات خاک را جابه‌جا نماید. چنانچه این نیرو از نیروی مقاومت مکانیکی خاک کمتر باشد ریشه قادر به جابه‌جا کردن ذرات

[1]- Chen

[2]- Beckett

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

خاک نخواهد بود و در نتیجه در نفوذ به داخل خاک دچار مشکل خواهد شد. این امر در نهایت منجر به کاهش یا توقف رشد ریشه گیاه خواهد شد. در واقع ریشه برای نفوذ در خاک باید حفره‌ای به اندازه حجم خود در خاک ایجاد نماید. نیرویی که ریشه گیاه اعمال می‌کند بسته به نوع گیاه بین ۰/۲۴ تا ۱/۴۵ مگاپاسکال متفاوت است (۴، ۱۹ و ۲۸).

نتایج حاصل از تغییرات طول ریشه اصلی گیاهان *M. minima*، *A. elongatum*، *A. canescens*، *A. lentiformis* و *F. gummosa* در سطوح مختلف تراکم خاک (۳۶، ۴۷ و ۵۶ درصد) نشان‌داد که تنها در دو گیاه *A. elongatum* و *A. canescens* طول ریشه اصلی گیاه در سطوح مختلف تراکم اختلاف معنی‌داری را از خود نشان داده‌است و در بقیه گیاهان بین رشد طول ریشه اصلی سطوح مختلف تراکم اختلاف معنی‌داری ندارد. در حالی‌که مقایسه طول ریشه‌های فرعی پنج نشان داد، که در تمامی موارد به جز *A. canescens*، بین سطوح مختلف تراکم خاک و طول ریشه‌های فرعی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از اینرو گیاه *A.canescen* تنها گیاهی مرتعی در این پژوهش می‌باشد که بین هر دو ریشه فرعی و اصلی آن و سطوح تراکم اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. باتوجه به این که تمامی شرایط محیطی (نوع خاک، میزان رطوبت، درجه حرات محیط و ...) برای تمامی گیاهان یکسان بوده، این امر می‌تواند به نوع گیاه، سیستم ریشه و ... مربوط باشد.

نتایج درصد فراوانی ریشه‌های فرعی در تخلخل‌های مختلف، مشابه رشد طولی ریشه‌های اصلی گیاهان با افزایش میزان تخلخل خاک درصد فراوانی ریشه‌های فرعی نیز افزایش یافته است. بیشترین درصد فراوانی اندازه‌گیری شده در گیاهان مرتعی انتخاب شده مربوط است به ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر در تخلخل ۵۶ درصد می‌باشد. گیاه *A. elongatum* با میزان فراوانی در حدود ۷۰ درصد، بیشترین فراوانی را در بین گیاهان مراتعی دارا می‌باشد. در حالی‌که گیاه *A. lentiformis* کمترین درصد فراوانی ریشه‌های فرعی بین ۱-۰ سانتی‌متر در تخلخل ۵۶ درصد را دارا می‌باشد. باتوجه به سیستم (معماری) ریشه که در *A. elongatum* افشان‌تر بوده این امر بدیهی بنظر می رسد. اصولا ریشه‌های فرعی در تراکم پایین خاک رشد خوبی از خود نشان می‌دهند اما با افزایش تراکم خاک ریشه‌های فرعی از قدرت نفوذی کافی در خاک برخوردار نیستند لذا تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف تراکمی به لحاظ رشد طول ریشه فرعی وجود دارد اما در خصوص ریشه‌های اصلی موضوع می‌تواند برعکس باشد. این ریشه‌ها به دلیل قدرت نفوذی بالاتر جهت دستیابی به منابع، می‌توانند در تراکم‌های بالاتر نیز تا حدودی گسترش داشته باشند اما همانطور که نتایج در تمامی بخش‌ها نشان داد، مابین افزایش تراکم و کاهش طول ریشه‌های فرعی و اصلی رابطه مستقیمی وجود دارد (۳۹). در بیشتر گیاهان، رابطه معکوس غیرخطی بین درجه افزایش طولی ریشه و استحکام خاک وجود دارد (۲ و ۵).

در خاک‌هایی با تراکم زیاد، به‌دلیل مقاومت زیاد خاک، کوچک‌تر شدن فضاهای خالی خاک که منجرب به کاهش میزان تخلخل و محدودشدن اکسیژن و آب در خاک می‌شود، توانایی نفوذ ریشه به خاک و جذب مواد مغذی و آب کاهش چشمگیری می‌یابد که این امر رشد ریشه در خاک را مختل می‌سازد (۱۸ و ۲۴). در همین راستا مطالعه قربانی و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با تاثیر چرای دام که یکی از عوامل ایجاد تراکم در مراتع می‌باشد بر خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک نشان‌داد که با افزایش شدت چرا از میزان تخلخل خاک که از عوامل مهم بر میزان نفوذپذیری است کاسته و همچنین مواد آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرند. بطورکلی با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و همچنین مقاومت مکانیکی خاک در اثر فشردگی لایه‌های آن، تراکم ریشه‌دوانی گیاهان کاهش پیدا می‌کند (۱ و ۴۱). رشد ریشه نهال هنگامی که غلظت گاز اکسیژن زیر محدوده ۶ تا ۱۰ درصد باشد، کاهش می‌یابد، بنابراین باید تخلخل به منظور حفظ انتشار هوای خوب، فعالیت‌های میکروبی و توسعه ریشه دست‌کم ۱۰ درصد باشد (۱۰). شایان ذکر است که اثر تراکم خاک بر رشد گونه‌ها نیز متفاوت است (۱۷). با این حال اثر تراکم بر رشد و بقا دارای ابهام است و به نوع خاک، رژیم آب و گونه بستگی دارد (۱۱). محدودیت رشد ریشه به دلیل استحکام زیاد در خاک‌های کوبیده‌شده نیز ممکن است سبب کمبود آب گیاه شود. به طورکلی، فرض بر این است که فشردگی خاک، با توجه به افزایش مقاومت بستر نفوذ، بر رشد ریشه اثر منفی دارد (۱۷). تراکم خاک اندازه

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

توزیع خلل و فرج خاک، هندسه و طرز قرارگیری ذرات، جریان گاز و آب و در پی آن رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۷) و (۱۲).

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش میزان تراکم خاک براثر عواملی نظیر عبور ماشین آلات‌کشاورزی و سایل نقلیه و همچنین چرای بی‌رویه دام، می‌تواند نقش مهمی در کاهش رشد و توسعه ریشه‌های گیاهان مرتعی داشته باشد. باتوجه به اینکه رشد ریشه‌های عمقی در مناطق خشک و نیمه خشک نقش مهمی در تامین آب و مواد معدنی از اعماق زیاد برای گیاهان مرتعی را دارد درنتیجه عدم توسعه مناسب ریشه، علاوه بر محدود نمودن رشد و محصول‌دهی گیاهان مرتعی، می‌تواند تاب‌آوری گیاهان در مقابل تنش‌های خشکی به شدت کاهش دهد.

References

1. Arshad, M.A., B. Lowery & B. Grossman, 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America Journal, 49: 123-143.
2. Bassett, I.E., R.C. Simcock & N.D. Mitchell, 2005. Consequences of soil compaction for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration, Australian Ecology, 30: 827-833.
3. Batey, T., 2009. Soil compaction and soil management-a review. Soil use and management, 25(4): 335-345.
4. Beckett, C.T.S., D. Glenn, K. Bradley, A.L. Guzzomi, D. Merritt & A.B. Fourie, 2017. Compaction conditions greatly affect growth during early plant establishment. Ecological Engineering, 106: 471-481.
5. Bejarano, M.D., R. Villar, A.M. Murillo & J.L. Quero, 2010. Effects of soil compaction and light on growth of Quercus pyrenaica Willd. (Fagaceae) seedlings, Soil and Tillage Research, 110: 108-114.
6. Bulmer, C.E. & D.G.Simpson, 2005. Soil compaction and water content as factors affecting the growth of lodgepole pine seedlings on sandy clay loam soil. Canadian Journal of Soil Science, 85(5): 667-679.
7. Chen, Y.L., J. Palta, J. Clements, B. Buirchell, K.H. Siddique & Z. Rengel, 2014. Root architecture alteration of narrow-leafed lupin and wheat in response to soil compaction. Field Crops Research, 165: 61-70.
8. Czyż, E.A., 2004. Effects of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. Soil and Tillage Research, 79(2): 153-166.
9. Danielson, R.E., P.L. Sutherland & A. Klut, 1986. Method of soil analysis, part Phisicaland mineralogical method .part one. American Society of Agronomy, INC. Soil Science Society of America, INC. Madison Wisconsin USA. 377-381".
10. De Bruycker, P., 1984. Invloed van de betreding op bodem en doorworteling in het Zoniënbos. In: Langohr, R., Joris, S., (Eds.) Journée à thème de la société belge de Pédologie. Brussels, Belgium.
11. Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120: 201-214.
12. Dexter, A.R., E.A. Czyz, G. Richard & A. Reszkowska, 2008. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pores spaces in soil. Geoderma, 143: 243–253.
13. Ehsani, S., G. Heshmati & R. Tamartash, 2016. Investigating the effects of topographical factors and LFA indices diversity (case study: summer at the valuye of kiyasar). Rangeland, 9(3): 255-267. (In Persian)
14. Gerard, C.J., P. Sexton & G. Shaw, 1982. Physical Factors Influencing Soil Strength and Root Growth 1. Agronomy Journal, 74(5): 875-879.
15. Ghorbani, J., K. Sefidi, F. Keyvan Behjo, M. Moameri & A. Soltani Tolarood, 2016. Effects of different grazing intensities on some soil physical and chemical properties in southeastern rangelands of Sabalan mountain. Rangeland, 9(4): 353-366. (In Persian)
16. Ghorbani, J., K. Sefidi, F. Keyvan Behjo, M. Moameri & A. Soltani Tolarood, 2016. Predicting the soil fragmentation caused by grazing using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Journal of Range and Watershed Management, 72(2): 557-568. (In Persian)
17. Godefroid, S. & N. Koedam, 2004. Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. Biological Conservation, 119: 207-219.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

18. Greacen, E. & R. Sands, 1980. Compaction of forest soils. A review. Aust J Soil Res 18: 163-189.
19. Greacen, E.L., 1986. Root response to soil mechanical properties.Trans. 13th Int Cong. Soil Science, 20-47.
20. Gregory, P.J., 2006. Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils. Blackwell, Oxford 2006.
21. Grzesiak, S., M.T. Grzesiak, T. Hura, I. Marcinska & A. Rzepka, 2013. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedling affected by soil compaction. Environmental and Experimental Botany, 88: 2-10.
22. Hassanpour, R., M.R. Neyshabouri & D. Zarehaghi, 2017. Response of corn (Zea mays L.) root growth to soil salinity and compaction under greenhouse conditions, Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center, 7(4): 41-50. (In Persian)
23. Horn, R., J.J.H. Van den Akker & J. Arvidsson, 2000. Subsoil compaction: distribution, processes and consequences (No. 32). Catena Verlag.
24. Kolowski, T.T., 1999. Soil Compaction and Growth of Woody Plants. Scandinavian Journal of Forest Research, 14(6): 596-619.
25. Kristoffersen, A. & H. Riley, 2005. Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 72(2): 135-146.
26. Larink, O., D. Werner, M. Langmaack & S. Schrader, 2001. Regeneration of compacted soil aggregates by earthworm activity. Biology and Fertility of Soils, 33(5): 395-401.
27. Lipiec, J. & R. Hatano, 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, 116(1-2): 107-136.
28. Lorzadeh, Sh., H. Nadian, A. Bakhshandeh, G. Nour-Mohamadi & F. Darvish, 2002, Effects of different levels of soil compaction on yield, yield components and sucrose in sugarcane cv. CP 48-103, in Khuzestan, Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 2(1): 36-47. (In Persian)
29. Marschner, H., 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic, London.
30. Mokhtari Asl, A., M. Mesdaghi & M. Sadeghimanesh, 2007. Factors affecting establishment and distribution of four halophytic species in Eastern Azarbayjan- Marand Gherkhelar rangelands. Rangeland, 1(2): 116- 128. (In Persian)
31. Raghavan, G.S.V., E. McKyes & M. Ghasse. 1976. Soil compaction patterns caused by off-road vehicles I Eastern Canadian agricultural soils. J. Terramechanics, 13: 107-115.
32. Rasmussen, P.E. & C.R. Rode, 1988. Stubble Burning Effects on Winter Wheat Yield and Nitrogen Utilization under Semiarid Conditions. Agronomy Journal, 80: 940-942.
33. Reszkowska, A., J. Kru¨ mmelbein, L. Gan, S. Peth & R. Horn, 2011. Influence of grazing on soil water and gas fluxes of two inner Mongolian steppe ecosystems. Soil & Tillage Research, 111: 180-189.
34. Richard, G., I. Cousin, J.F. Sillon, A. Bruand & J. Guérif, 2001. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. European Journal of Soil Science, 52(1): 49-58.
35. Roberts, J.A., A. Hussain, I.B. Taylor & C.R. Black, 2002. Use of mutants to study long-distance signalling in response to compacted soil. Journal of Experimental Botany, 53:45-50.
36. Schaffer, B., M. Stauber, T.L. Mueller, R. Muller & R. Schulin, 2008. Soil and macropores under uniaxial compression. I. Mechanical stability of repacked soil and deformation of different types of macro-pores. Geoderma, 146: 183-191.
37. SheikhZadeh, A., H. MatinKhah., H. Bashari., M. Tarkesh & M. Soleimani, 2015. Investigation effect of invoronmental and management on distribution of plants in Chadghan region in Isfahan. Rangeland, 9(1): 76-90. (In Persian)
38. Tracy, S.R., C.R. Black, J.A. Roberts, & S.J. Mooney, 2011. Soil compaction: a review of past and present techniques for investigating effects on root growth. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(9): 1528-1537.
39. Unger, P.W., & T.C. Kaspar, 1994. Soil compaction and root growth: a review. Agronomy Journal, 86(5): 759-766.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]

40. Werner, D. & B. Werner, 2001. Verdichtung und Regeneration des Gefüges eines schluffigen Tonbodens(Tschernosem):Bodenphysikalische,computertomographischeund rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 164(1): 79-90.
41. Whalley, W.R., E. Dumitru & A.R. Dexter, 1995. Biological effects of soil compaction. Soil and Tillage Research, 35: 53-68.
42. Wojciga, A., K. Bolte, R. Horn, W. Stepniewski & E. Bajuk, 2009. Surface shear resistance of soils on the micro- to mesoscale. International Agrophysics, 23: 391-398.

[Downloaded from mail.rangelandsrm.ir on 2026-05-28]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.6.0]