

تأثیر تردد گردشگر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک پارک جنگلی فندقلوی اردبیل

شکراه اصغری^{۱*}، سارا عبدالحسین زاده نمین^۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۲

۱-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shokrollah.asghari@gmail.com

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثرات تردد گردشگر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک در پارک جنگلی فندقلوی اردبیل انجام گرفت. طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار بدون تردد، تردد متوسط و تردد شدید گردشگر در پنج تکرار اجرا گردید. نفوذ آب به خاک در شرایط غیراشباع در مکش‌های ماتریک ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری با استفاده از نفوذسنج مکشی اندازه‌گیری شد. داده‌های نفوذ با استفاده از روش وودینگ مدل‌سازی گردید و سپس ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و طول درشت موئینگی (λ_c) با کاربرد معادله گاردنر محاسبه گردید. نتایج نشان داد سطوح تردد با این‌که نتوانست به‌طور معنی‌دار بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع و ضرایب جذبی خاک در مکش‌های مختلف، K_s و λ_c تأثیر بگذارد، اما تردد شدید گردشگر به‌صورت معنی‌دار موجب کاهش کربن آلی (۶۸/۶۲ درصد)، تخلخل کل (۲۵/۴۲ درصد)، رطوبت ظرفیت مزرعه (۴۶/۸۱ درصد)، رطوبت نقطه پژمردگی دائم (۵۱/۷۲ درصد) و سرعت نفوذ نهایی در مکش ۱۵ سانتی‌متر (۵۰ درصد) و افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری (۴۶/۰۷ درصد) و مقاومت فروری خاک (۷۵/۵۷ درصد) نسبت به تیمار بدون تردد شده، در نتیجه تردد شدید گردشگر باعث افت کیفیت فیزیکی و هیدرولیکی خاک جنگلی گردید.

واژه‌های کلیدی: تردد گردشگر، خاک جنگلی، مقاومت فروری، نفوذسنج مکشی، هدایت هیدرولیکی

Influence of Recreational Human Trampling on Some Soil Physical and Hydraulic Properties of Ardabil Fandoghloo Forest Park

Sh Asghari^{1*}, S Abdolhossainzadeh Namin²

Received: 24 September 2017 Accepted: 8 January 2019

1- Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci. and Eng, Faculty of Agriculture and Natural Res., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Iran

2- Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci. and Eng, Faculty of Agriculture and Natural Res., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Iran

* Corresponding Author, Email: shokrollah.asghari@gmail.com

Abstract

This research was carried out to consider the effects of recreational human trampling on some soil physical and hydraulic properties in Fandoghloo Forest Park of Ardabil. A completely randomized design was conducted with three treatments of no trampling, moderate trampling and intensive trampling at five replicates. Water infiltration into soil under unsaturated condition was measured at the matric suctions (h) of 2, 5, 10 and 15 cm using tension infiltrometer. The infiltration data was modeled using Wooding method and then saturated hydraulic conductivity (K_s) and macroscopic capillary length (λ_c) using Gardner equation were calculated. The results showed that although trampling levels could not significantly affect the unsaturated hydraulic conductivity and soil sorptivity at different levels h , K_s and λ_c , but intensive recreational human trampling significantly decreased organic carbon (68.62%), total porosity (25.42%), field capacity moisture (46.81%), permanent wilting point moisture (51.72%) and final infiltration rate at $h=15$ cm (50%) and increased bulk density (46.07%) and soil penetration resistance (75.57%) in relation to the no trampling treatment; as a result, intensive recreational human trampling reduced physical and hydraulic quality of the forest soil.

Keywords: Forest soil, Hydraulic conductivity, Penetration resistance, Recreational human trampling, Tension infiltrometer

مقدمه

گردیده و نهایتاً پدیده فرسایش خاک را تشدید می-کند (استارتسیو و مکناب ۲۰۰۰، کورکانج ۲۰۱۴).

بخشی و همکاران (۲۰۱۳) اثرات فعالیت‌های تفریحی بر جرم مخصوص ظاهری خاک پارک جنگلی نور را با در نظر گرفتن سه منطقه تفرج متمرکز، گسترده و شاهد به روش فازی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد با افزایش تعداد گردشگران و مدت اقامت آن‌ها در منطقه، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش و بیشترین فشردگی خاک زمانی رخ داد که تعداد گردشگران به ۲۰ نفر و مدت اقامت آن‌ها به یک ساعت در ماه رسید. نتایج پژوهش استارتسیو و مک نب (۲۰۰۰) در غرب منطقه

در سال‌های اخیر اهمیت جنگل‌ها برای استفاده‌های تفریحی افزایش یافته است. رشد فزاینده جمعیت از طریق پدیده طبیعت‌گردی (اکوتوریسم^۱) فشار زیادی را بر استفاده‌های تفریحی از جنگل‌های با دسترسی آزاد (پارک جنگلی) وارد نموده است (هگتسوایلر و همکاران ۲۰۰۹). لگدکوبی ناشی از فعالیت‌های گردشگری منجر به از بین رفتن پوشش علفی خاک سطحی جنگل می-شود؛ این مسأله از طریق افزایش فشردگی خاک موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی و کاهش سهم منافذ درشت و سرعت نفوذ آب در خاک

¹- Ecotourism

پذیری پدیده نفوذ آب به خاک هم‌زمان با برگشت‌پذیری جرم مخصوص ظاهری به اندازه کافی مطالعه نگردیده است. کمی‌سازی اثرات فشردگی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به‌ویژه در مقیاس مزرعه کاری وقت-گیر و پرهزینه می‌باشد. اخیراً دستگاه نفوذسنج دیسک مکشی^۱ به‌عنوان یک وسیله استاندارد مناسب به‌منظور اندازه‌گیری سریع، دقیق و سهل نفوذ غیراشباع آب به خاک پیشنهاد گردیده است. در روش نفوذسنج مکشی در مقایسه با روش‌های قدیمی اندازه‌گیری نفوذ (مثل استوانه‌های مضاعف)، مقدار آب مصرفی اندک بوده و جریان تقریباً ماندگار سریع‌تر حاصل می‌شود. استارتسیو و مک‌ناب (۲۰۰۰) شدت نفوذ غیراشباع خاک جنگلی آلبرتا را با استفاده از نفوذسنج مکشی در مکش ۱/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که ۱۲ بار تردد ماشین چوب‌کشی باعث کاهش ۲/۸ برابری شدت نفوذ نسبت به تیمار بدون چوب‌کشی شد. کلیشادی و همکاران (۲۰۱۴) اثرات سیستم‌های مدیریتی کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولیکی و نفوذ غیراشباع خاک در مکش‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر را در منطقه کوه‌رنگ زاگرس مرکزی مطالعه و نشان دادند که مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی و شدت جریان غیراشباع و ضریب جذبی خاک در کاربری مرتعی به‌دلیل ماده آلی کم و نیز فشردگی ناشی از چرای بی‌رویه دام به‌طور معنی‌دار کمتر از کاربری زراعی می‌باشد. همچنین پارامتر طول درشت موئینگی (λ_c) در کاربری بایر و مرتعی به‌طور معنی‌دار بیشتر از کاربری دیم‌کاری گزارش گردید.

جنگل فندقلوی اردبیل به‌صورت بالفعل یکی از مکان‌های گردشگری مهم در سطح استانی، منطقه‌ای و ملی به‌ویژه در فصول بهار و تابستان محسوب می‌شود و ورود میلیون‌ها گردشگر موجب وارد آوردن آسیب‌های سنگین به خاک منطقه گردیده است؛ بنابراین

جنگلی آلبرتای مرکزی کشور کانادا نشان داد که تردد ماشین‌های چوب‌کشی به‌طور معنی‌دار موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع و شدت نفوذ آب به خاک در مکش‌های ماتریک کمتر از ۱۵ کیلوپاسکال گردیده، اگرچه تأثیر عملیات چوب‌کشی بر ویژگی‌های مذکور در رطوبت‌های کمتر از ظرفیت مزرعه (مکش‌های ماتریک بیشتر از ۱۵ کیلوپاسکال) معنی‌دار نشد. راب (۲۰۰۴) گزارش کرد که عملیات چوب‌کشی در طی ۱۰ سال به‌طور معنی‌دار موجب کاهش ماده آلی (۴۱-۳۱ درصد) و تخلخل درشت (۶۰-۴۴ درصد) و افزایش جرم مخصوص ظاهری (۶۸-۲۲ درصد) پروفیل خاک گردید و تأثیر فشردگی بر ویژگی‌های خاک در لایه سطحی بیشتر از لایه زیرین بود. پیتولا و همکاران (۲۰۰۵) اثر تردد احشام را بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک رسی بررسی و در لایه سطحی خاک (۵-۰ سانتی‌متر)، بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خشک و کمترین مقدار تخلخل کل را در مکان تردد گزارش نمودند. منافذ درشت با افزایش شدت تردد در لایه ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک به کمترین مقدار کاهش یافته، در حالی‌که در لایه ۱۵-۲۰ سانتی‌متری خاک، کاهش منافذ درشت به میزان ۲ تا ۴ درصد مشاهده و در لایه ۳۵-۳۰ سانتی‌متری هیچ تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون تردد نشان نداد. میهتا و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر اختلالات وارد شده به جنگل (چراگاه، استخراج چوب و برپا کردن آتش) به این نتیجه رسیدند که میزان آب قابل استفاده (AWC) در مناطق تخریب شده (۹/۲ درصد) به‌طور معنی‌داری کمتر از مناطق محافظت شده (۱۱/۱ درصد) می‌باشد.

ارزیابی‌های قبلی مربوط به برگشت‌پذیری خاک‌های جنگلی فشرده، عمدتاً براساس جرم مخصوص ظاهری و مقاومت فروروی خاک استوار بوده است (بخشی و همکاران ۲۰۱۳، جورغلامی و همکاران ۲۰۱۳، راب ۲۰۰۴، کورکانج ۲۰۱۴). این در حالی است که برگشت-

¹- Tension disk infiltrometer

در هر سطح تردد، نمونه برداری خاک، اندازه‌گیری مقاومت فروروی و نفوذ غیراشباع در پنج نقطه به صورت تصادفی در طول یک ترانسکت با فواصل حدود ۵۰ متر انجام گرفت. نمونه‌های خاک به‌طور دست‌خورده با بیلچه و دست‌نخورده با استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع پنج سانتی‌متر از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد. جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه (بلک و هارتگ ۱۹۸۶a)، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (بلک و هارتگ ۱۹۸۶b)، تخلخل کل به روش محاسبه از روی جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، توزیع اندازه ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری چهار زمانه (گی و اور ۲۰۰۲) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. رطوبت مزرعه به روش وزنی، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (رطوبت معادل مکش ۲۰ کیلوپاسکال) و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (رطوبت معادل مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) به روش صفحات فشاری و رطوبت قابل استفاده گیاه از اختلاف رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی به دست آمد (محمودی و حکیمیان ۲۰۰۷).

قبل از اجرای آزمایش نفوذ، در هر سطح تردد مقاومت فروروی خاک با استفاده از دستگاه فروسنج دستی مدل عقربه‌ای (ساخت شرکت اکجل کمپ هلند) در پنج نقطه با نه تکرار و در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. هم‌زمان نمونه خاک برای اندازه‌گیری رطوبت مزرعه نیز برداشته شد.

انجام آزمایش نفوذ

آزمایش نفوذ غیراشباع با استفاده از دستگاه نفوذسنج دیسک مکشی (ساخت شرکت فرخ پارس چهار محال بختیاری) در چهار مکش (۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) انجام گردید. بعد از شروع به‌کار کردن دستگاه، افت سطح آب در مخزن آب از شروع آزمایش تا ۱۰ دقیقه اول (که سرعت نفوذ و افت سطح آب زیاد است)

این پژوهش در پارک جنگلی فندقلوی اردبیل با اهداف بررسی اثرات تردد گردشگر بر ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی و پارامترهای نفوذ غیراشباع خاک جنگلی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پارک جنگلی فندقلو وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اردبیل در تابستان ۱۳۹۵ انجام گرفت. منطقه جنگلی فندقلو از شمال به راه قدیم اردبیل-آستارا و آبادی‌های آریاتپه، خانقاه علیا و سفلی، از جنوب به کوه معروف خان بلاغی و آبادی‌های نیارق و از غرب به ننه کران، آبی بیگلو، کریم‌کندی و از شرق به گردنه حیران محدود شده است. اقلیم منطقه معتدل و نیمه‌مرطوب با متوسط بارندگی و رطوبت نسبی سالیانه به ترتیب ۲۹۰/۴ میلی‌متر و ۷۰ درصد و نیز متوسط دمای سالیانه ۹/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جنگل فندقلو با حداقل ۱۹ گونه جنگلی و گونه‌های غالب فندق، ازگیل و بلوط به صورت نوار کم عرض باریکی به عنوان یک گردشگاه طبیعی مطرح است (یوسف‌پور و همکاران ۲۰۰۵).

سه سطح تردد چسپیده به هم شامل منطقه بدون تردد (شاهد)، منطقه تردد متوسط و منطقه تردد شدید در پارک جنگلی فندقلو انتخاب گردید. سطح بدون تردد در محدوده داخلی جنگل قرار گرفته که عبور و مرور انسان در آن به دلیل تراکم بالای درختان، به سختی امکان‌پذیر است و آثار تردد انسان و دام در آن مشهود نمی‌باشد، در حالی که سطح با تردد شدید در ورودی پارک جنگلی قرار دارد و شواهد مربوط به اتراق و روشن کردن اجاق و تردد انسان و ماشین و موتورسیکلت در آن کاملاً مشهود بود. در سطح با تردد متوسط به دلیل تراکم کم درختان، فقط امکان تردد محدود انسان و موتورسیکلت وجود داشت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

لگاریتمی است. در سمت راست رابطه (۲) عبارت اول نقش نیروی ثقل و عبارت دوم نقش نیروی موئینگی را در فرآیند نفوذ آب به خاک نشان می‌دهد. وودینگ (۱۹۶۸) خاک را یکنواخت، همگن و غیرمنبسط شونده فرض کرد که مدل نمایی هدایت هیدرولیکی گاردنر (۱۹۵۸) برای آن صادق باشد:

$$K(h) = K_s \exp\left(-\frac{h}{\lambda_c}\right) \quad [3]$$

که در این رابطه h پتانسیل ماتریک (cm) و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع (cm min^{-1}) خاک است.

آنکنی و همکاران (۱۹۹۱) به روش غیرمستقیم $K(h)$ را به دست آوردند. اساس کار در این روش رابطه وودینگ (رابطه ۲) و مدل نمایی گاردنر (رابطه ۳) است. با قرار دادن دو مکش ماتریک h_1 و h_2 در مدل گاردنر، $K(h_1)$ و $K(h_2)$ به دست می‌آید و با قرار دادن مدل گاردنر در رابطه وودینگ دو شدت جریان $q(h_1)$ و $q(h_2)$ محاسبه می‌شوند:

$$q(h_1) = K_s \exp\left[\frac{h_1}{\lambda_c}\right] \left[1 + \frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \quad [4]$$

$$q(h_2) = K_s \exp\left[\frac{h_2}{\lambda_c}\right] \left[1 + \frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \quad [5]$$

با تقسیم رابطه‌ی (۵) به (۴) خواهیم داشت:

$$\lambda_c = \frac{h_2 - h_1}{\ln\left[\frac{q(h_2)}{q(h_1)}\right]} \quad [6]$$

با داشتن مکش‌های h_1 و h_2 و اندازه‌گیری شدت جریان ماندگار نظیر این مکش‌ها یعنی $q(h_1)$ و $q(h_2)$ و λ_c به دست می‌آید. با داشتن λ_c می‌توان از هر کدام از روابط (۴) و (۵) را محاسبه کرد. با داشتن λ_c و K_s نیز می‌توان از رابطه ۳ هدایت هیدرولیکی غیراشباع را در هر مکش ماتریک به دست آورد.

طرح آماری آزمایش

آزمایش به صورت طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تیمار سطوح تردد گردشگر (بدون تردد، تردد متوسط و تردد شدید) در پنج تکرار اجرا شد. تجزیه

هر ۳۰ ثانیه یکبار، از دقیقه ۱۰ تا ۱۵ هر یک دقیقه یکبار و از دقیقه ۱۵ تا انتهای آزمایش هر پنج دقیقه یکبار یادداشت گردید. قرائت آزمایش‌ها تا زمانی ادامه یافت که طی چندین قرائت متوالی (حداقل سه قرائت) شدت نفوذ ثابت شده باشد یعنی جریان نفوذ آب در خاک به حالت تقریباً ماندگار رسیده باشد (آنکنی و همکاران ۱۹۹۱). رطوبت‌های اولیه (قبل از آزمایش نفوذ) و نهایی (پایان آزمایش نفوذ) خاک نقاط مورد آزمایش در هر سطح تردد در مکش‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

برای تعیین هدایت هیدرولیکی غیراشباع از داده‌های نفوذسنج دیسک مکشی، معادله وودینگ (۱۹۶۸) و معادله نمایی گاردنر (۱۹۵۸) استفاده گردید. به منظور برآورد ضریب جذبی خاک در زمان‌های اولیه، داده‌های نفوذ به معادله یک‌جمله‌ای فیلیپ (۱۹۶۹) برازش داده شد که آن تنها اثر نیروی ماتریک و نفوذ یک بعدی را بررسی می‌کند:

$$I = St^{0.5} \quad [7]$$

که در آن I نفوذ تجمعی (cm)، t زمان (min) و S ضریب جذبی ($\text{cm min}^{-0.5}$) که برابر با شیب رابطه بین I و $t^{0.5}$ برای زمان‌های اولیه است. داده‌های نفوذ در ۲۰۰ ثانیه اول هر مکش اعمال شده به دستگاه نفوذسنج برای محاسبه ضریب جذبی استفاده شد (کلیشادی و همکاران ۲۰۱۴).

برای مدت زمان طولانی وودینگ (۱۹۶۸) تخمین زیر را برای جریان ماندگار آب که از یک منبع تغذیه دایره‌ای با شعاع r_0 وارد خاک می‌شود ارائه کرد:

$$q = K(h) \left[1 + \frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \quad [2]$$

که در آن q شدت جریان (cm min^{-1})، r_0 شعاع دیسک نفوذسنج (cm)، $K(h)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع متناظر با مکش اعمال شده توسط دستگاه (cm min^{-1}) و λ_c طول درشت موئینگی (cm) می‌باشد. پارامتر λ_c با α ارتباط عکس دارد که α شیب منحنی تغییرات هدایت هیدرولیکی با مکش ماتریک خاک در مقیاس نیمه-

تأثیر فعالیت‌های تفریحی بر ماده آلی خاک در یک راستا است. کلاس بافت خاک منطقه مورد مطالعه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در تیمارهای بدون تردد (دارای ۶۰/۵۷ درصد شن و ۸/۵۸ درصد رس)، تردد متوسط (دارای ۴۵/۰۸ درصد شن و ۱۷/۱۸ درصد رس) و تردد شدید (دارای ۴۰/۸۴ درصد شن و ۲۳/۳۷ درصد رس) در محدوده لوم تا لوم شنی قرار گرفت. جدول ۱ نشان می‌دهد کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری (0.89 g cm^{-3}) و بیشترین مقدار تخلخل کل (cm^3) (0.59 cm^{-3}) مربوط به تیمار بدون تردد بود و فعالیت‌های گردشگری در سطح شدید موجب افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری به میزان ۶۷/۰۷ درصد و کاهش معنی‌دار تخلخل کل به میزان ۲۵/۴۲ درصد در مقایسه با سطح بدون تردد گردید، ولی تأثیر تردد متوسط بر ویژگی‌های مذکور معنی‌دار نبود. نتایج مشابهی در خصوص تأثیر تردد انسان (بخشی و همکاران ۲۰۱۳)، احشام (پیتولا و همکاران ۲۰۰۵) و ماشین‌های چوب‌کشی (استارتسیو و مک نب ۲۰۰۰) بر جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل خاک گزارش گردیده است.

واریانس ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) و نیز مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS انجام گردید، رسم اشکال در نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین‌های اثرات تردد گردشگر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۱ آورده شده است. کربن آلی اگرچه یک ویژگی شیمیایی خاک تلقی می‌گردد ولی تأثیرپذیری آن از سیستم‌های مدیریت اراضی و ارتباط قوی آن با ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک غیرقابل انکار است. فعالیت‌های گردشگری موجب کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک به میزان ۳۷/۱ و ۶۸/۶۲ درصد به ترتیب در سطح تردد متوسط و شدید نسبت به تیمار بدون تردد در پارک جنگلی فندقلو گردید (جدول ۱). لگدکوبی بقایای گیاهی در اثر تردد انسان، ماشین و موتورسیکلت و نیز سوزانده شدن بقایا توسط گردشگران می‌تواند از دلایل این مسأله باشد. این یافته با نتایج پژوهش راب (۲۰۰۴) و کورکانج (۲۰۱۴) درباره

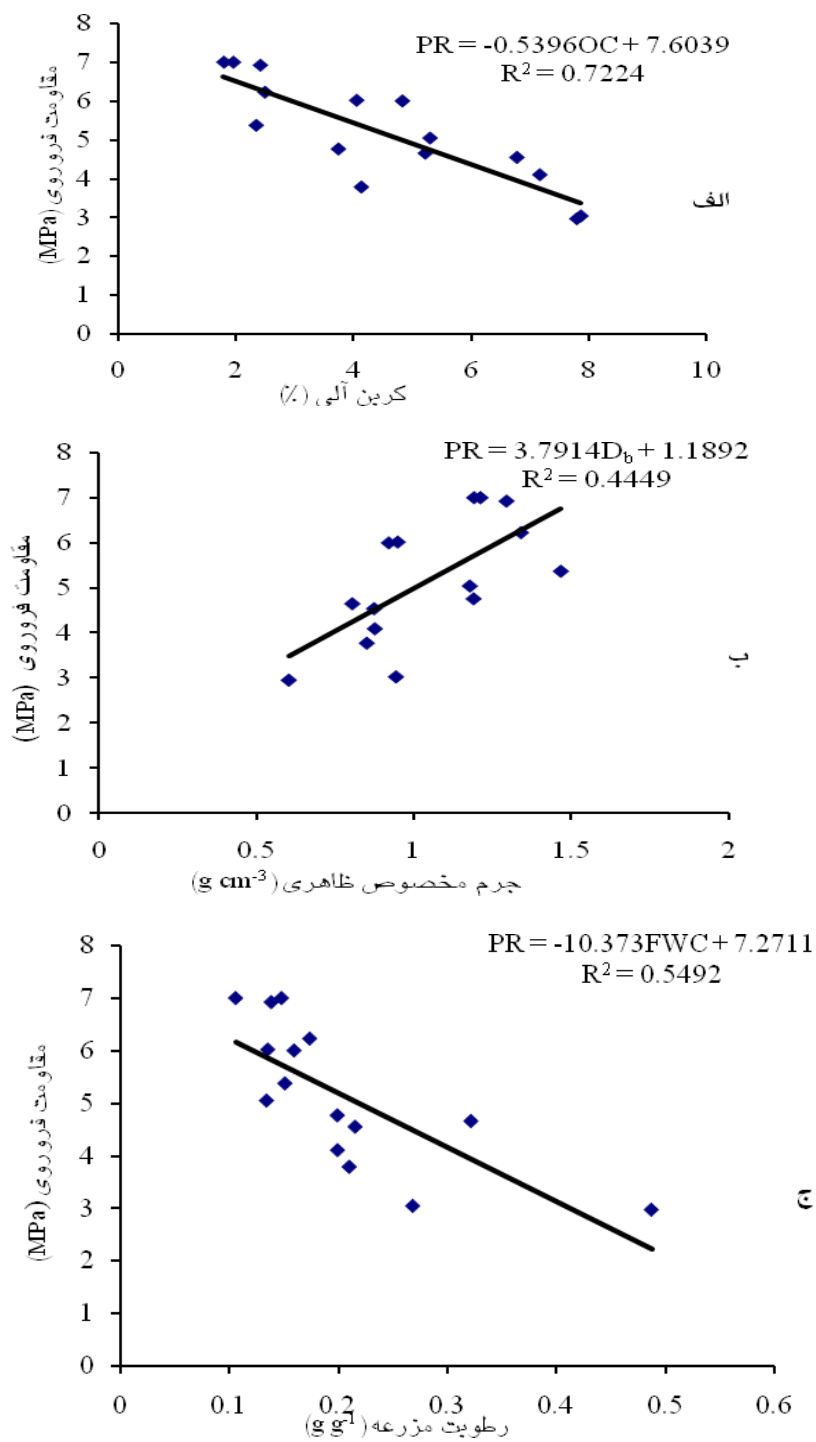
جدول ۱- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های خاک در سطوح مختلف تردد گردشگر.

ویژگی	واحد	بدون تردد	تردد متوسط	تردد شدید	آماره F	سطح معنی‌داری (P)
OC	%	۶/۹۸ ^a	۴/۳۹ ^b	۲/۱۹ ^c	۵۵/۳۳	۰/۰۰۰
D _b	g cm^{-3}	۰/۸۹ ^b	۰/۹۴ ^{ab}	۱/۳۰ ^a	۹/۶۳	۰/۰۰۳
D _p	g cm^{-3}	۲/۱۹ ^a	۲/۳۲ ^a	۲/۳۴ ^a	۲/۷۶	۰/۱۰۳
n	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	۰/۵۹ ^a	۰/۵۹ ^a	۰/۴۴ ^b	۹/۴۹	۰/۰۰۳
PR	MPa	۳/۹۳ ^b	۵/۰۴ ^{ab}	۶/۹۰ ^a	۱۰/۹۳	۰/۰۰۲

OC: کربن آلی، D_b: جرم مخصوص ظاهری، D_p: جرم مخصوص حقیقی، n: تخلخل کل، PR: مقاومت فروری. میانگین‌های با حروف غیر یکسان در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن).

موجب افزایش مقاومت فروری از ۳/۷۸ در تیمار شاهد به ۵/۱۷ و 6.06 kg cm^{-2} به ترتیب در تیمار ۲۰۰ و ۵۰۰ بار تردد گردید. جورغلامی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را در خصوص اثرات تردد ماشین‌های چوب-کشی بر مقاومت فروری خاک جنگلی به دست آوردند.

فعالیت‌های تفریحی گردشگران باعث افزایش مقاومت فروری خاک از ۳/۹۳ مگاپاسکال در سطح بدون تردد به ۵/۰۴ و ۶/۹۰ مگاپاسکال به ترتیب در سطح تردد متوسط و شدید گردید که این افزایش در تیمار تردد شدید معنی‌دار بود. نتایج پژوهش کورکانج (۲۰۱۴) در پارک طبیعی آلاداغ ترکیه نشان داد فعالیت‌های تفریحی



شکل ۱- رابطه همبستگی خطی بین مقاومت فروری خاک (PR) با الف) کربن آلی (OC)، ب) جرم مخصوص ظاهری (D_b) و ج) رطوبت مزرعه (FWC) در سطوح مختلف تردد گردشگر.

مزرعه‌ای گردیده است؛ همچنین تردد شدید گردشگر از طریق کاهش ۶۸/۶۲ درصدی کربن آلی (جدول ۱) موجب کاهش سطح ویژه کل خاک و در نتیجه رطوبت نگهداری شده در نقطه پژمردگی دائم شده که نتایج مشابهی نیز توسط کورکانج (۲۰۱۴) گزارش گردیده است. در این مطالعه، تردد گردشگر باعث کاهش نسبی رطوبت قابل استفاده خاک گردید (جدول ۲) ولی برخلاف پژوهش میهتا و همکاران (۲۰۰۸) این کاهش معنی‌دار نبود؛ درحقیقت، اثر کاهشی شدت تردد بر اختلاف رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم در اندازه‌ای نبوده است که بتواند رطوبت قابل استفاده خاک را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دهد.

مقایسه میانگین‌های اثرات تردد گردشگر بر برخی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود به‌غیر از رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم، سایر ویژگی‌های هیدرولیکی به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر فعالیت‌های تفریحی گردشگران قرار نگرفتند. تردد گردشگر تنها در سطح شدید باعث کاهش معنی‌دار رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب به میزان ۵۱/۷۲ و ۴۶/۸۱ درصد نسبت به سطح بدون تردد گردید. به‌نظر می‌رسد تردد شدید گردشگر به‌دلیل کاهش ۲۵/۴۲ درصدی تخلخل کل (جدول ۱) در مقایسه با شاهد (بدون تردد)، موجب کاهش حجم کل منافذ خاک و در نتیجه رطوبت نگهداری شده در نقطه ظرفیت

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در سطوح مختلف تردد گردشگر.

ویژگی	واحد	بدون تردد	تردد متوسط	تردد شدید	آماره F	سطح معنی‌داری (P)
FC	cm ³ cm ⁻³	۰/۴۷ ^a	۰/۳۴ ^b	۰/۲۵ ^b	۱۸/۸۸	۰/۰۰۰
PWP	cm ³ cm ⁻³	۰/۲۹ ^a	۰/۲۱ ^{ab}	۰/۱۴ ^b	۵/۲۴	۰/۰۲۳
AWC	cm ³ cm ⁻³	۰/۱۸ ^a	۰/۱۳ ^a	۰/۱۱ ^a	۱/۵۳	۰/۲۵۶
K _s	cm min ⁻¹	۰/۰۳۴ ^a	۰/۰۲۸ ^a	۰/۰۲۶ ^a	۱/۲۱	۰/۳۳
K ₂	cm min ⁻¹	۰/۰۳۳۶ ^a	۰/۰۲۶۶ ^a	۰/۰۲۳۳ ^a	۲/۲۹	۰/۱۴۴
K ₅	cm min ⁻¹	۰/۰۱۷۴ ^a	۰/۰۱۶۳ ^a	۰/۰۱۲۷ ^a	۱/۸۶	۰/۱۹۸
K ₁₀	cm min ⁻¹	۰/۰۱۱۶ ^a	۰/۰۰۸۱ ^a	۰/۰۰۹۸ ^a	۱/۳۵	۰/۲۹۶
K ₁₅	cm min ⁻¹	۰/۰۱۱۵ ^a	۰/۰۰۷۵ ^a	۰/۰۰۶۴ ^a	۲/۷۴	۰/۱۰۵
S ₂	cm min ^{-0.5}	۰/۱۸۶۴ ^a	۰/۱۵۸۳ ^a	۰/۱۵۸۵ ^a	۰/۳۷۳	۰/۱۹۶
S ₅	cm min ^{-0.5}	۰/۱۴۱۵ ^a	۰/۱۲۶۵ ^a	۰/۱۲۹۱ ^a	۰/۲۵	۰/۷۸
S ₁₀	cm min ^{-0.5}	۰/۱۱۵۹ ^a	۰/۰۹۹۹ ^a	۰/۱۰۵۱ ^a	۰/۲۶	۰/۷۷
S ₁₅	cm min ^{-0.5}	۰/۰۴۴۸ ^a	۰/۰۴۰۴ ^a	۰/۰۶۶۳ ^a	۱/۲۷	۰/۳۲
λ _c	cm	۱۰/۹۵ ^a	۱۱/۳۹ ^a	۱۰/۲۳ ^a	۱/۷۵	۰/۲۲

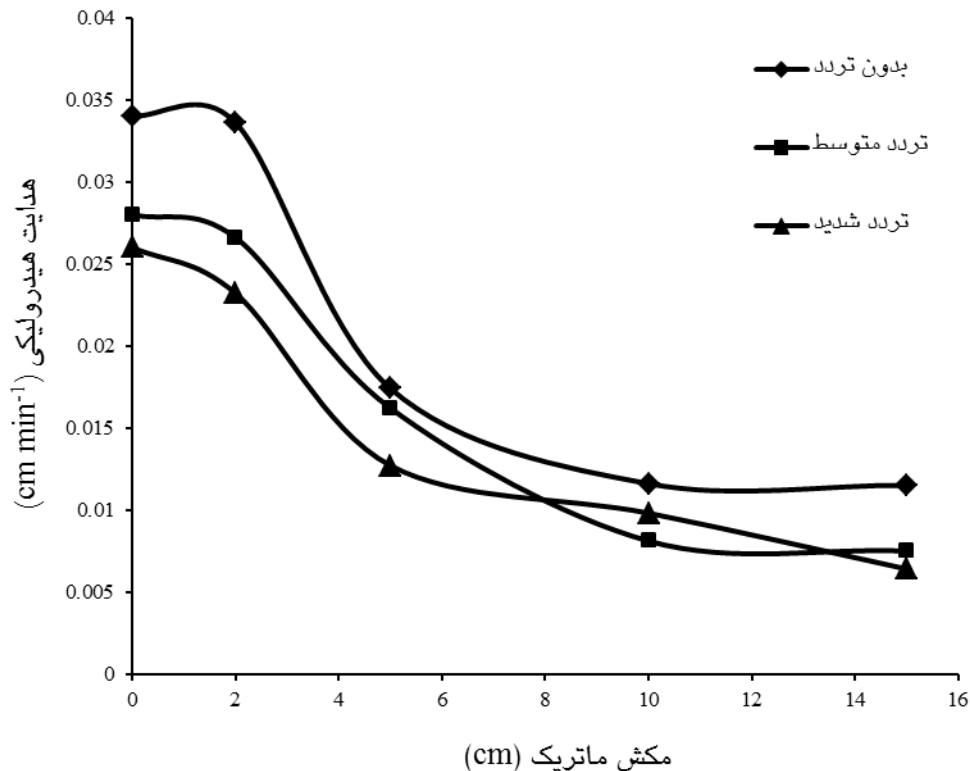
FC: رطوبت ظرفیت مزرعه، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم، AWC: آب قابل استفاده، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع، K₁₅، K₁₀، K₅، K₂: به ترتیب هدایت هیدرولیکی غیراشباع متناظر با مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۵، ۲ سانتی‌متر، S₁₅، S₁₀، S₅، S₂: ضریب جذبی خاک در مکش‌های ۱۵، ۱۰، ۵ و ۲ سانتی‌متر، λ: طول درشت موئینگی. میانگین‌های با حروف غیر یکسان در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن).

دفعات تردد گردشگر از ۲۵ به ۵۰۰ بار، هدایت هیدرولیکی اشباع روند کاهشی نشان داده است. هدایت هیدرولیکی غیراشباع تقریباً در مکش‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر با افزایش شدت تردد روند

هدایت هیدرولیکی اشباع از ۰/۰۳۴ در سطح بدون تردد به‌ترتیب به ۰/۰۲۸ و ۰/۰۲۶ cm min⁻¹ در سطوح تردد متوسط و شدید کاهش یافت (جدول ۲). نتایج کورکانج (۲۰۱۴) نیز بیانگر آن است که با افزایش

از اراضی کشت آبی، کشت دیم و بایر بوده و آن‌ها این موضوع را به فشردگی اراضی مرتعی در اثر چرای بی- رویه دام‌ها نسبت دادند. روند تقریباً مشابهی در خصوص کاهش ضریب جذبی با افزایش شدت تردد مشاهده گردید و با افزایش مکش اعمال شده به دستگاه نفوذسنج مکشی، به علت کاهش شدت جریان ورودی به خاک، ضریب جذبی خاک در هر سه سطح تردد کاهش نشان داد. موسوی و سپاسخواه (۲۰۱۲) گزارش کردند با افزایش مقدار مکش ماتریک، ضریب جذبی خاک کاهش یافت.

کاهش نشان داد (جدول ۲). شکل ۲ نیز نشان می‌دهد موقعیت منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع- ماتریک $K(h-h)$ در تیمارهای تردد شدید و متوسط پایین‌تر از تیمار بدون تردد قرار دارد که شدت این اختلاف در مکش‌های ماتریک نزدیک صفر بیشتر مشهود است. به عبارت دیگر، تأثیر شدت تردد گردشگر و فشردگی خاک بر کاهش هدایت هیدرولیکی غیراشباع در رطوبت‌های نزدیک اشباع بیشتر بود. نتایج پژوهش کلیشادی و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه کوه‌رنگ زاگرس مرکزی نشان داد که موقعیت منحنی $K(h-h)$ در دامنه مکش‌های ۲ تا ۱۵ سانتی‌متر، در اراضی مرتعی پایین‌تر



شکل ۲- منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع $K(h)$ محاسبه شده از معادله گاردنر (۱۹۵۸) در سطوح مختلف تردد گردشگر. شیب منحنی $K(h)$ در مقیاس نیمه لگاریتمی (لگاریتم K در مقابل h) معادل عکس طول درشت موئینگی است ($\lambda_c = \alpha^{-1}$).

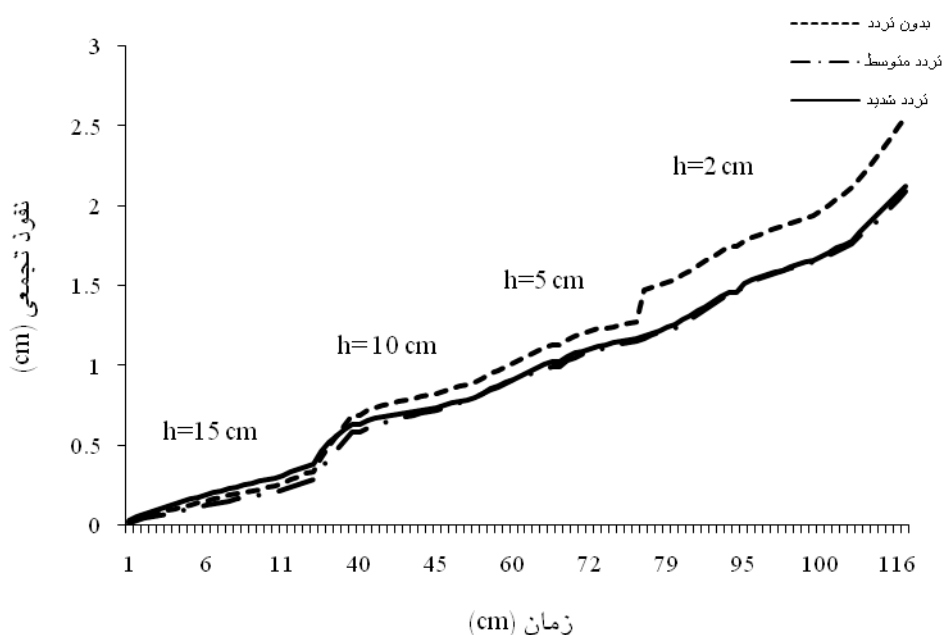
میانگین λ_c در آن‌ها بین ۱۰/۲۲ تا ۱۱/۳۹ cm به دست آمد. کلیشادی و همکاران (۲۰۱۴) مقادیر میانگین λ_c را برای ۱۰۰ نمونه خاک ریزبافت (رسی سیلتی، لوم رسی سیلتی و لوم سیلتی) برداشته شده از منطقه کوه‌رنگ را

ارتباط مشخص و معنی‌داری بین پارامتر طول درشت موئینگی (λ_c) و شدت تردد گردشگر یافت نشد (جدول ۲). خاک‌های منطقه مورد مطالعه متوسط تا نسبتاً درشت‌بافت (لوم و لوم شنی) بود و مقادیر

برابر با ۲/۵۵، ۲/۰۹ و ۲/۱۲ سانتی‌متر به دست آمد که بیانگر کاهش ارتفاع آب نفوذ یافته به دلیل افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (جدول ۱) در اثر تردد گردشگر می‌باشد. طبق یافته‌های باقری و همکاران (۲۰۱۲) فشردگی نه تنها تخلخل کل خاک را کاهش می‌دهد بلکه توزیع منافذ خاک را نیز تغییر می‌دهد و در واقع سهم منافذ مفید برای حرکت آب و رشد ریشه را به شدت کاهش می‌دهد که این امر شدیداً باعث افزایش مقاومت به نفوذ می‌شود.

بین ۶/۶۵ تا ۷/۲۲ cm گزارش نمودند. با افزایش λ_c سهم نیروهای موئنیگی نسبت به نیروهای ثقلی در پدیده نفوذ آب به خاک افزایش می‌یابد (رادکلیف و سیمونک ۲۰۱۰).

شکل ۳ نشان می‌دهد موقعیت منحنی نفوذ تجمعی در تمامی مکش‌ها (به استثنای مکش ۱۵ سانتی‌متر) در سطح بدون تردد بالاتر از سطوح تردد متوسط و شدید قرار دارد. بین منحنی نفوذ تیمار تردد متوسط و شدید اختلاف فاحشی مشاهده نمی‌شود. همچنین میزان نفوذ تجمعی آب در پایان آزمایش‌های نفوذ غیراشباع به ترتیب در سطح بدون تردد، تردد متوسط و تردد شدید



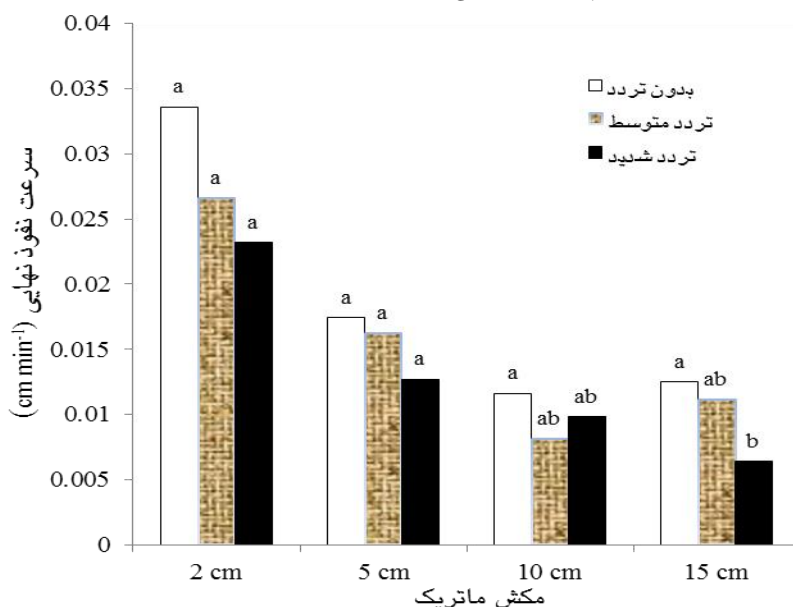
شکل ۳- منحنی نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در مکش‌های ماتریک متفاوت و سطوح مختلف تردد گردشگر.

(۲۰۱۶) گزارش کردند خاک منطقه جنگلی فندقلو به علت برخورداری از ماده آلی زیاد، براساس روش زمان نفوذ قطره آب (دکر و جانگریوی، ۱۹۹۰) در کلاس خاک‌های قویاً آبگریز (۷۲/۸۸ ثانیه) قرار دارد. با توجه شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش مکش ماتریک از سرعت نفوذ نهایی کاسته شد. همچنین در کلیه مکش‌های ماتریک اعمال شده با افزایش شدت تردد به دلیل بالارفتن فشردگی خاک سرعت نفوذ نهایی روند کاهشی

در زمان صفر تا ۳۰ دقیقه ابتدایی آزمایش نفوذ در مکش ۱۵ سانتی‌متر، میزان نفوذ تجمعی تیمار بدون تردد از تیمار تردد شدید و تردد متوسط کمتر بود (شکل ۳)؛ دلیل احتمالی این مسأله را می‌توان به خاصیت آبگریزی بالای خاک جنگلی در تیمار بدون تردد با کربن آلی زیاد (۶/۹۸ درصد) نسبت داد که وجود مواد چرب و آبگریز زیاد باعث دفع آب از سطح ذرات خاک خشک شده است. اصغری و همکاران

(استارتسیو و مکناب ۲۰۰۰) در خاک جنگلی و نیز تردد دام (کلیشادی و همکاران ۲۰۱۴) در خاک مرتعی بر سرعت نفوذ نهایی گزارش گردیده است.

دارد و میانگین سرعت نفوذ نهایی در مکش ۱۵ سانتی-متر از ۰/۰۱۲ در سطح بدون تردد به $0.006 \text{ cm min}^{-1}$ در سطح تردد شدید به طور معنی‌دار کاهش یافت. نتایج مشابهی در خصوص تأثیر عملیات چوب‌کشی



شکل ۴- سرعت نفوذ نهایی در مکش‌های ماتریک متفاوت و سطوح مختلف تردد گردشگر. میانگین‌های با حروف غیر یکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (آزمون دانکن).

رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم و سرعت نفوذ نهایی در مکش ۱۵ سانتی‌متر کاهش یافت. موقعیت منحنی‌های هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک و نفوذ تجمعی آب در تیمار تردد شدید در مقایسه با تیمار بدون تردد به سمت پایین جابجا شد. تأثیر تردد گردشگر بر ضریب جذبی خاک و پارامتر طول درشت موئینگی معنی‌دار نشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه در پارک جنگلی فندقلوی اردبیل نشان داد تردد شدید گردشگر (ورود همراه با ماشین، موتورسیکلت، چادرزدن، روشن کردن اجاق) در مقایسه با تیمار بدون تردد (شاهد) به طور معنی‌دار باعث کاهش میزان کربن آلی (۶۲/۶۸٪) و تخلخل کل (۴۲/۲۵٪) و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۰/۸۹ به $g \text{ cm}^{-3}$ ۱/۳ گردید؛ همچنین در تیمار تردد شدید به طور معنی‌دار نسبت به شاهد، مقاومت فروری خاک افزایش و

منابع مورد استفاده

- Asghari Sh, Roozban E and Khodaverdiloo H, 2016. Derivation of pedotransfer functions for estimating penetration resistance, aggregate stability and parameters of van Genuchten moisture curve model in fandoglou forest lands of Ardabil. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 26(1): 129-148.
- Ankeny MD, Ahmed M, kasper TC and Horlon R, 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal* 55: 467-470.

- Bakhshi H, Namiranian M, Makhdoom M and Zahedi Gh, 2013. Application of fuzzy modeling to assess the impacts of recreation on bulk density as a physical factor (Case study: Nour forest park. *Iranian Journal of Forest* 5(1): 11-19.
- Bagheri I, Bahram Kalhori S, Akef M and Khormali F, 2012. Effect of compaction on physical and micromorphological properties of forest soil. *American Journal of plant Sciences* 3: 159-163.
- Blake GR and Hartge KH, 1986a. Particle density. Pp. 377-381. In :Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1, 2 nd ed. Agronomy Monograph. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- Blake GR and Hartge KH, 1986b. Bulk density. Pp. 363-375. In :Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1, 2 nd ed. Agronomy Monograph. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- Dekker LW and Jungrius PD, 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena* 18:173-183.
- Gardner W, 1958. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with palpitation to evaporation from a water table. *Soil Science* 85(4): 228-232.
- Gee GW and Or D, 2002. Particle-size analysis. Pp. 255–293. In: Dane J H and Topp G C (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI.*
- Hegetschweiler KT, Van Loon N, Ryser A, Rusterhalz HP and Baur B, 2009. Effects of fireplace use on forest vegetation and amount of woody debris in suburban forest in Northwestern Switzerland. *Environmental Management* 43: 299-310.
- Jourgholami M, Rizvandi V and Majnounian Garagiz B, 2013. Effects of forest harvesting operations on physical properties and soil penetration resistance (Case study: Kheyrud forest). *Journal of Range and Watershed Management* 66(2): 223-236.
- Kelishadi H, Mosaddeghi MR, Hajabbasi MA and Ayoubi S, 2014. Near-saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. *Geoderma* 213: 426-434.
- Korkanc SY, 2014. Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladag Natural Park, Turkey. *Catena* 113: 219-225.
- Mahmoodi Sh and Hakimian M, 2007. *Fundamentals of Soil Science (Translated). University of Tehran Press, Tehran.*
- Mehta VK, Sullivan DJ, Walter MT, Krishnaswamy JD and Gloria SD, 2008. Impacts of disturbance on soil properties in a dry tropical forest in southern India. *Ecohydrology* 1: 161-175.
- Moosavi AA, Sepaskhah AR, 2012. Spatial variability of physico-chemical properties and hydraulic characteristics of a gravelly calcareous soil. *Arch Agronomy and Soil Science* 58(6): 631-656.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539–579. In: Page AL, Miller RH, Keeny DR (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy Monograph. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- Pietola L, Horn R and Yli-Halla M, 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research* 82: 99-108.
- Philip JR, 1969. Theory of infiltration. *Advanced Hydrosience* 9: 215-296.
- Rab MA, 2004. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. *Forest Ecology and Management* 191: 329-340.
- Radcliffe DE and Simunek J, 2010. *Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications. CRC Press. Taylor & Francis Group.*
- Startsev AD and McNabb DH, 2000. Effects of skidding on forest soil infiltration in west central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 80(4): 617-624.
- Wooding RA, 1968. Steady in filtration from a shallow circular pond. *Water Recourses & Researches* 4(6): 1259-1273.
- Yousefpour R, Marvie Mohadjer MR and Saghebalebi KH, 2005. A study of oriental beech succession in Fandoghlu Forest. *Iranian Journal of Natural Research* 57(4): 703-714.