

The impact of land use on soil water repellency in the central part of Mazandaran province

Fatemeh Pishnamaz Amoli¹, Mohammad Reza Mosaddeghi^{*2}, Naser Davatgar³,
Elham Chavoshi⁴, Hossein Torabi Golsefidi⁵

1. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran. E-mail: fatimased@gmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: mosaddeghi@iut.ac.ir
3. Department of Soil Physics and Irrigation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: n_davatgar@yahoo.com
4. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran. E-mail: chavoshie@yahoo.com
5. Dept. of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: htorabi@shahed.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.25.2021
Revised: 07.21.2021
Accepted: 08.24.2021

Keywords:
Intrinsic sorptivity test,
Land use,
Soil-water contact angle,
Soil water repellency,
Water droplet penetration
time test

ABSTRACT

Background and Objectives: Soil water repellency reduces soil infiltrability, water availability for plants, and can increase surface runoff, soil erosion and preferential flows, and reduces environmental fertility. Land use is one of the factors affecting soil water repellency. Soil water repellency can increase runoff in areas where land use change occurs. Thus, knowledge about the soil water repellency properties is necessary for effective environmental management. Changing the soil properties upon reduction of soil wettability can affect crop growth and yield, and water use efficiency. However, relations between soil water repellency and physical and chemical properties among different land uses in the large scale have not been studied yet. Therefore, the objectives of this study were: i) to investigate the persistence and severity of soil water repellency in different land uses, and ii) to develop regression relations between the water repellency indices and soil physical and chemical properties in the central part of Mazandaran province.

Materials and Methods: In this study, the persistence and severity of soil water repellency were investigated in the paddy fields located in the plains to mountainous areas consisting of four land uses of pasture, citrus garden, paddy field, and forest located in Amol city in the central part of Mazandaran province. Ninety-two soil samples were collected to determine soil water repellency and physical and chemical properties in the dry season of the year. The persistence of soil water repellency was determined using the water droplet penetration time (WDPT) test, and water repellency index (RI) and soil-water contact angle (β) were measured using the intrinsic sorptivity test in the laboratory. Correlation between water repellency indices and soil properties was studied. Relations between the water repellency indices and soil properties were derived by multiple regression.

Results: Soil water repellency in all the land uses was sub-critical and all of the soil-water contact angle values were less than 90° . The highest mean values of soil water repellency indices in all methods were found in the forest land use, so that Log WDPT value was significantly different from

paddy field land use. Log WDPT showed positive and significant correlations ($r = 0.33^{**}$) with RI, indicating that the water repellency persistence (i.e., Log WDPT) and water repellency severity (RI) are directly related in the studied soils. The correlation between soil organic matter content and calculated β in the citrus garden land use was positive and significant ($r = 0.42^*$). There was also a positive and significant correlation between Log WDPT and soil organic matter content ($r = 0.36^{***}$). Negative and significant correlations were found between calcium carbonate equivalent (CCE) and Log WDPT in the whole study area ($r = -0.28^{**}$) and in the paddy field land use ($r = -0.29^*$).

Conclusion: The results showed that the land use through the effect on the soil organic matter content can induce and intensify water repellency in the studied soils. Moreover, the derived regression relations indicated that soil organic matter content, total nitrogen and CCE are important properties affecting water repellency in the studied soils.

Cite this article: Pishnamaz Amoli, Fatemeh, Mosaddeghi, Mohammad Reza, Davatgar, Naser, Chavoshi, Elham, Torabi Golsefidi, Hossein. 2022. The impact of land use on soil water repellency in the central part of Mazandaran province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (1), 59-79.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19080.2020

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر کاربری زمین بر آب‌گریزی خاک در بخش مرکزی استان مازندران

فاطمه پیشنماز آملی^۱، محمدرضا مصدقی^{۲*}، ناصر دواتگر^۳، الهام چاوشی^۴، حسین ترابی گل سفیدی^۵

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. رایانامه: fatimased@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mosaddeghi@iut.ac.ir
۳. بخش فیزیک خاک و آبیاری، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: n_davatgar@yahoo.com
۴. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. رایانامه: chavoshie@yahoo.com
۵. گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران، تهران، ایران. رایانامه: hatorabi@shahed.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: آب‌گریزی سبب کاهش نفوذپذیری خاک، فراهمی آب برای گیاهان و سبب افزایش روان‌آب سطحی، فرسایش خاک، جریان‌های ترجیحی و کاهش حاصلخیزی محیط می‌شود. کاربری زمین از عوامل مؤثر بر آب‌گریزی خاک به شمار می‌آید. آب‌گریزی می‌تواند رواناب را در مناطقی که تغییر در کاربری زمین رخ می‌دهد افزایش دهد، به این ترتیب شناخت ویژگی‌های آب‌گریزی، برای مدیریت مؤثر زیست‌محیطی لازم است. تغییر در ویژگی‌های خاک که در نتیجه کاهش آب‌پذیری خاک رخ می‌دهد، می‌تواند بر رشد و عملکرد محصول و کارایی مصرف آب گیاهان تأثیر بگذارد. ولی تاکنون ارتباط بین آب‌گریزی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف به ویژه در شرایط احیاء شالیزار و امکان برآورد آن در مقیاس بزرگ ارزیابی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی پایداری و شدت آب‌گریزی خاک در کاربری‌های مختلف در مرکز استان مازندران و توسعه روابط رگرسیونی بین شاخص‌های آب‌گریزی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲	مواد و روش‌ها: در این پژوهش پایداری و شدت آب‌گریزی خاک از شالیزارهای واقع در جلگه تا مناطق مرتفع جنگلی در چهار کاربری مرتع، مرکبات، شالیزار و جنگل واقع در شهرستان آمل بخش مرکزی استان مازندران بررسی شد. ۹۲ نمونه خاک برای تعیین آب‌گریزی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در فصل خشک سال جمع‌آوری شد. پایداری آب‌گریزی خاک با استفاده از آزمون زمان نفوذ قطره آب (WDPT) و شاخص آب‌گریزی (RI) و زاویه تماس خاک-آب (β) با استفاده از روش جذب‌پذیری ذاتی در آزمایشگاه تعیین شد. همبستگی بین شاخص‌های آب‌گریزی و ویژگی‌های خاک تعیین شده و روابط بین شاخص‌های آب‌گریزی و ویژگی‌های خاک به کمک رگرسیون چندمتغیره استخراج شد.
واژه‌های کلیدی: آب‌گریزی خاک، آزمون زمان نفوذ قطره آب، جذب‌پذیری ذاتی، زاویه تماس خاک-آب، کاربری زمین	

یافته‌ها: آب‌گریزی خاک‌ها در تمام کاربری‌ها زیر-بحرانی بود به طوری که تمامی مقادیر زاویه تماس خاک-آب کم‌تر از ۹۰ درجه به دست آمد. بیش‌ترین میانگین شاخص‌های آب‌گریزی اندازه‌گیری‌شده در تمامی روش‌ها در خاک‌های جنگلی مشاهده شد به طوری که مقدار Log WDPT تفاوت معنی‌داری با کاربری شالیزار داشت. ضریب هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.33^{**}$) بین نتایج دو آزمون (Log WDPT و RI) وجود داشت که نشان می‌دهد پایداری آب‌گریزی (Log WDPT) و شدت آب‌گریزی (RI) در خاک‌های مورد بررسی با هم ارتباط مستقیم دارند. هم‌بستگی بین مقدار ماده آلی خاک و β محاسبه‌شده در مرکبات مثبت و معنی‌دار ($r = 0.42^*$) بود. هم‌چنین بین Log WDPT و ماده آلی خاک هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.36^{***}$) وجود داشت. هم‌بستگی‌های منفی و معنی‌داری بین کربنات کلسیم معادل (CCE) و Log WDPT در تمامی منطقه مورد بررسی ($r = -0.28^{**}$) و در کاربری شالیزار ($r = -0.29^*$) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نوع کاربری زمین با تغییر ماده آلی توانست بر آب‌گریزی در خاک‌های مورد بررسی مؤثر باشد. هم‌چنین روابط رگرسیونی استخراج‌شده نشان داد درصد ماده آلی، نیتروژن کل و CCE از عوامل مهم و مؤثر بر آب‌گریزی در خاک‌های مورد بررسی می‌باشند.

استناد: پیشنهادی، فاطمه، مصدقی، محمدرضا، دواتگر، ناصر، چاوشی، الهام، ترابی گل‌سفیدی، حسین (۱۴۰۱). اثر کاربری زمین بر آب‌گریزی خاک در بخش مرکزی استان مازندران. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲ (۱)، ۷۹-۵۹.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19080.2020



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

آب‌دوستی^۱ و آب‌گریزی خاک^۲ (SWR) از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک هستند که بر روابط آب و خاک تأثیر زیادی دارند. خاک‌های آب‌دوست به سرعت و به آسانی توسط آب مرطوب می‌شوند ولی خاک‌های آب‌گریز در برابر نفوذ آب مقاومت می‌کنند (۱ و ۲). خاک‌های آب‌گریز بلافاصله مرطوب نمی‌شوند بلکه پس از مدتی تماس با آب، آن را جذب می‌کنند (۳). آب‌گریزی باعث کاهش نفوذ آب به خاک می‌شود و دارای پیامدهای مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی است. کاهش نفوذ و نفوذ ناهمگن آب در خاک، جوانه‌زنی کم بذر و کاهش پوشش گیاهی و تشدید فرسایش خاک، برخی از پیامدهای منفی آب‌گریزی خاک است (۴). آب‌گریزی خاک توسط پژوهش‌گران زیادی در جهان مطالعه شده است که این پژوهش‌ها اغلب در خاک با پوشش گیاهان طبیعی بوده است. در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ آب‌گریزی خاک در مراتع گزارش شد و چند دهه بعد در باغات مرکبات در فلوریدا و سپس در خاک‌های جنگلی و سپس خاک‌های کشاورزی هم‌چون باغ‌های زیتون و غلات در اسپانیا، مراتع در هلند، مزارع ذرت و گندم، و مراتع در آلمان گزارش شدند (۴).

تقریباً تمام سطوح معدنی خاک آب‌دوست بوده و میزان آب‌دوستی آن‌ها رابطه نزدیکی با تراکم بارهای الکتریکی منفی و گروه‌های قطبی موجود روی سطح آن‌ها دارد که آب، یون‌ها و گروه‌های قطبی را به‌خوبی جذب می‌کند. بنابراین آب‌گریزی خاک عمدتاً مرتبط با پوشش‌های آلی آب‌گریز روی سطح ذرات خاک است. در واقع خیس‌شدن یک سطح به کشش سطحی بین فاز جامد-هوا سطوح آب‌گریز نسبت به سطوح آب‌دوست بستگی دارد ولی چون اندازه‌گیری مستقیم

کشش سطحی به آسانی مقدور نیست از پارامترهای دیگر ترمودینامیکی هم‌چون زاویه تماس مؤثر استفاده می‌شود (اگر قطره سیال روی سطح ذرات محیط متخلخلی مانند خاک قرار گیرد، از تماس قطره با دیواره منافذ خاک، زاویه تماس مؤثر^۳ تشکیل می‌شود). با افزایش زاویه تماس بین آب و سطح خاک-هوا، جذب آب توسط خاک کاهش می‌یابد. هم‌چنین در خاک‌های آب‌گریز علاوه بر زیادبودن زاویه تماس، منافذ خاک مکش ماتریک کمتری نسبت به منافذ خاک‌های آب‌دوست دارند و در نتیجه هر دو عامل باعث تجمع قطره‌های آب روی سطح خاک می‌شود. اگر زاویه تماس خاک-آب صفر درجه باشد، خاک به طور کامل توسط آب خیس می‌شود. وقتی زاویه تماس در دامنه (۰ تا ۹۰ درجه) قرار دارد، خاک دارای آب‌گریزی زیر-بحرانی^۴ است و خیس‌شدن خاک با سرعت کم‌تر انجام می‌گیرد. خاک‌های آب‌گریز حقیقی دارای زاویه تماس بزرگ‌تر از ۹۰ درجه بوده و آب، خاک را خیس نکرده و به درون خاک نفوذ نمی‌کند (۱). آب‌گریزی خاک تحت تأثیر عوامل زیادی هم‌چون کمیت و کیفیت ماده آلی، بافت و ساختمان خاک، مقدار کربنات، مقدار رطوبت، شوری و pH خاک، دوره‌های تر و خشک شدن، دما، یخ و ذوب شدن، ترشحات ریزجانداران (باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها) و عملیات مدیریتی (کاربری زمین، کاربرد کود و نوع کودهای شیمیایی) (۱، ۵، ۶ و ۷) قرار می‌گیرد. وگلمن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که مقدار ماده آلی اثر کم‌تری بر آب‌گریزی خاک داشته اما نوع و ترکیب ماده آلی و دیگر ویژگی‌های خاک (مانند pH و بافت) خیلی مهم هستند (۷). میربابایی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی رابطه بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی (pH، بافت

3- Effective contact angle
4- Sub-critical water repellency

1- Wettability
2- Soil water repellency

افزایش منافذ ریز در خاک، شاخص آب‌گریزی خاک کاهش یافت (۱۰). خاک‌های خاک‌ورزی شده نسبت به خاک‌های دست‌نخورده آب‌گریزی کم‌تری دارند چون به هم زدن خاک سبب خردکردن خاکدانه‌ها و تشدید اکسیداسیون ماده آلی می‌شود. به طور کلی تغییر کاربری مرتع و جنگل به زمین‌های کشاورزی سبب تخریب ساختمان خاک و سایش پوشش‌های آب‌گریز، اکسیدشدن مواد آلی و کاهش آب‌گریزی می‌شود (۱، ۱۱ و ۱۲).

میربابایی و همکاران (۲۰۱۳) رابطه بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی (pH، بافت و ماده‌ی آلی) و آب‌گریزی در خاک‌های جنگلی شمال کشور (استان گیلان) را بررسی کردند (۵). شهابی‌نژاد (۲۰۱۳) در پژوهشی که در مراتع فریدن اصفهان انجام داد، دریافت که آتش‌سوزی باعث افزایش شاخص آب‌گریزی خاک (RI) و زاویه تماس خاک-آب (β) پس از آتش‌سوزی شد (۱۳). مومیوند (۲۰۱۴) اثر کاربری‌های مختلف شامل مرتع بدون چرا، مرتع با چرا، متوسط، مرتع با چرا شدید، و کشاورزی دیم و باغ گردو را بر RI در توپوسرکان بررسی کرد که تمام نقاط دارای آب‌گریزی زیر-بحرانی بود (۱۴). اعلامنش و همکاران (۲۰۱۴) ارتباط بین آب‌گریزی و ویژگی‌های خاک را در استان همدان بررسی کردند (۱). سپهرنیا و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات پایداری آب‌گریزی با عمق را در دو خاک آب‌گریز و آب‌دوست در شهرکرد بررسی کردند (۱۵). تدین‌نژاد و همکاران (۲۰۱۷) تغییر ویژگی‌های هیدرولیکی و آب‌گریزی خاک در باغ انار در اثر آبیاری با آب شور و به‌کارگیری اصلاح‌کننده پلی‌اکریل‌آمید (PAM) را بررسی کردند (۲). با این حال اطلاعات جامعی در مورد میزان گسترش خاک‌های آب‌گریز در کشور به‌ویژه در شالیزارهای شمال وجود ندارد.

و ماده آلی) و آب‌گریزی خاک‌ها با طیف وسیعی از بافت، مقدار ماده آلی و pH در شمال کشور (استان گیلان) در ۱۰ منطقه جنگل‌کاری با گونه‌های گیاهی مختلف پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی مثبت بین لگاریتم زمان نفوذ قطره آب (Log WDPT) و مقدار ماده آلی خاک وجود دارد. در این پژوهش بیشینه آب‌گریزی در خاک‌های شنی با ماده آلی بیش از ۵ درصد (۱۱/۵-۵/۲۶ درصد) گزارش شد (۵).

آب‌گریزی در بسیاری از خاک‌ها تحت‌تأثیر کاربری زمین قرار می‌گیرد. ذوالفقاری و حاج‌عباسی (۲۰۰۹) پژوهشی در مورد تأثیر کاربری مرتع و جنگل بر ویژگی‌های فیزیکی و آب‌گریزی خاک انجام دادند. آن‌ها هم‌چنین تأثیر دو عامل میزان رطوبت و ماده آلی را بر آب‌گریزی خاک بررسی کردند که رابطه‌ای مثبت بین شدت آب‌گریزی و میزان ماده آلی خاک به‌دست آمد. هم‌چنین در نتیجه تغییر کاربری جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی، ویژگی آب‌گریزی کاهش یافت و خاک‌ها تا حدودی آب‌دوست شدند. تغییر کاربری زمین با تغییر مقدار و نوع ماده آلی باعث تغییر نفوذ آب به خاک و آب‌گریزی خاک می‌شود (۸). ووچ و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأثیر عمق و بافت خاک، و کاربری زمین را بر زاویه تماس خاک-آب در برخی خاک‌های کشور آلمان بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که عمق خاک و کاربری‌های موجود (جنگل و کشاورزی) تأثیر مشخصی بر روند افزایش یا کاهش زاویه تماس خاک-آب ندارد و به طور کلی با درشت‌شدن بافت خاک، زاویه تماس افزایش یافته و آب‌دوستی خاک کاهش می‌یابد (۹). کرامیلین و همکاران (۲۰۰۹) اثر شدت چرا بر آب‌گریزی خاک را در کاربری مرتع بدون چرا و با چرا شدید بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش شدت چرا و

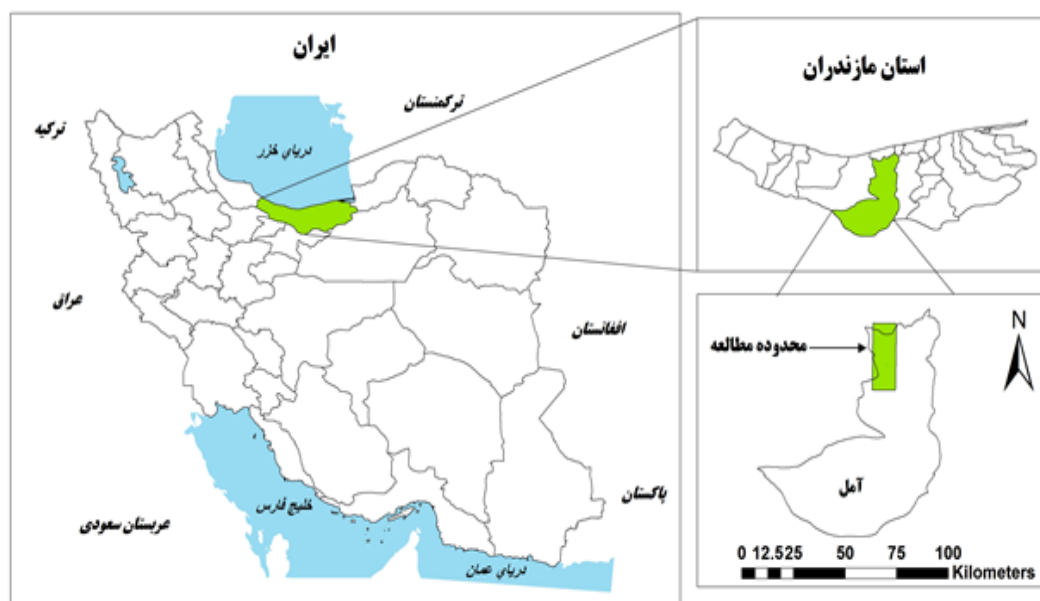
۲). این منطقه به طور کلی دارای آب و هوای گرم و مرطوب است که تابستان‌های گرم و مرطوب و زمستان‌های نسبتاً سردی دارد. میانگین بارندگی و دمای سالانه در این منطقه به ترتیب ۷۵۰ میلی‌متر و ۱۷/۴ درجه سلسیوس است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بارش ماهانه در منطقه ۱۵۰ و ۱۴ میلی‌متر است که معمولاً به ترتیب در ماه‌های آذر و تیر رخ می‌دهد (۱۶). سطح زیر کشت برنج در آمل حدود ۴۲ هزار هکتار و شامل ۲/۷ درصد سطح زیر کشت استان است. این منطقه هم‌چنین دارای بیش از ۵۰ هزار هکتار زمین زراعی و باغی است. سطح زیر کشت مرکبات حدود ۲ هزار هکتار با بیش از ۵۰ هزار تن محصول است.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی، به غیر از ۹ نقطه با کاربری جنگل که در مناطق کوهستانی آمل قرار گرفته است، بقیه نقاط روی رسوبات آبرفتی رودخانه و دامنه‌ای قرار دارند. با توجه این‌که منشأ همگی خاک‌ها از مناطق کوهستانی بالادست می‌باشند و تعداد زیادی از نقاط با کاربری جنگل، مرتع، مرکبات و شالیزار در همین مناطق در مجاورت همدیگر قرار دارند، می‌توان گفت که غالب نقاط منطقه مورد بررسی نه تنها از نظر زمین‌شناسی شبیه همدیگر هستند بلکه از نظر زمین‌نما نیز شباهت‌های بسیار زیادی به همدیگر دارند. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، منطقه مورد بررسی از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی اغلب در بخش شمالی رشته کوه‌های البرز مرکزی واقع شده که مربوط به دوران چهارم زمین‌شناسی (کواترنری) است. مواد مادری منطقه از دو نوع پادگانه‌های آبرفتی قدیمی در ارتفاعات و مناطق جنگلی و پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی جدید در مناطق جلگه‌ای و پایین‌دست است (۱۷).

در کشورهای پیشرفته پژوهش‌های زیادی در رابطه با عوامل مؤثر بر پدیده آب‌گریزی و پیامدهای آن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در ارتباط با رشد گیاه انجام شده است. تغییر در ویژگی‌های خاک که در نتیجه کاهش آب‌دوستی خاک رخ می‌دهد، می‌تواند بر رشد و عملکرد محصول و کارایی مصرف آب گیاهان تأثیر بگذارد. با این وجود تاکنون وجود و شدت آب‌گریزی و ارتباط آن با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف به ویژه در شرایط احیاء شالیزار در مقیاس بزرگ ارزیابی نشده است. ارتباط سیستماتیک و مفهومی بین این ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک به درک بهتر روابط بین آن‌ها کمک کرده و بررسی امکان برآورد برخی از آن‌ها از روی دیگر ویژگی‌ها اهمیت دارد. بنابراین اهداف پژوهش حاضر عبارت است از: ۱. بررسی پایداری و شدت آب‌گریزی خاک در چهار کاربری مرتع، جنگل، مرکبات و شالیزار مرکز استان مازندران، ۲. تعیین تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک مانند ماده آلی، چگالی ظاهری، pH، نیتروژن، درصد رس، سیلت، شن، و میزان کربنات کلسیم معادل بر آب‌گریزی خاک، و ۳. استخراج روابط رگرسیون بین شاخص‌های آب‌گریزی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شهرستان آمل در استان مازندران قرار دارد (شکل ۱). نمونه‌برداری روی یک شبکه با فواصل منظم انجام شد. مختصات نقاط بین طول $33^{\circ}06'15''$ شرقی و عرض $36^{\circ}23'43''$ شمالی و طول $9^{\circ}07'19''$ شرقی و $33^{\circ}55'07''$ شمالی در چهار کاربری شالیزار، مرتع، مرکبات و جنگل قرار داشتند (شکل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران.

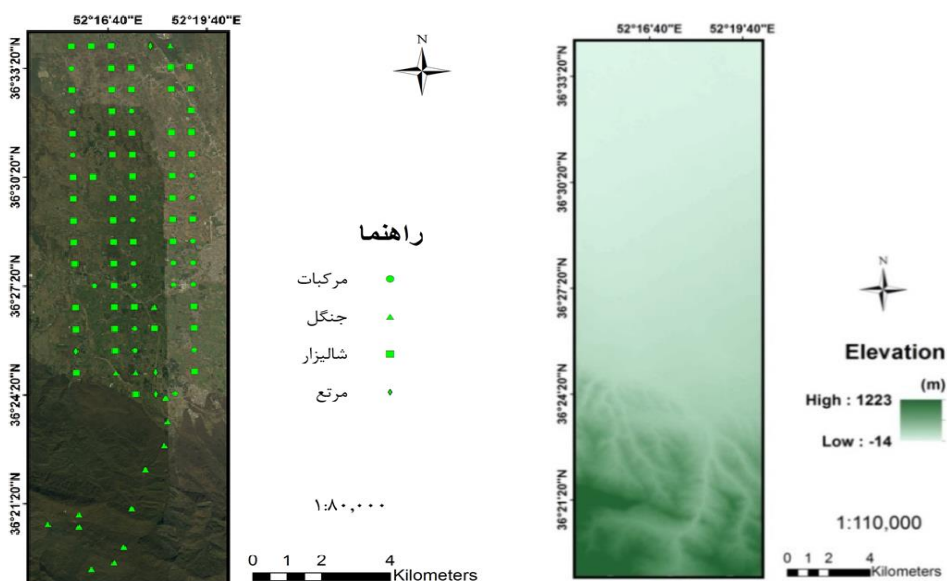
Figure 1. The location of study area in Mazandaran province.

خاک از نمونه‌های دست‌نخورده و روش سیلندر^۱ (به ارتفاع و قطر ۵ سانتی‌متر) استفاده شد. به این صورت که نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شده و با اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها به کمک ترازو و با داشتن حجم سیلندر نمونه‌برداری، ρ_b خاک به دست آمد (۲۰). ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۲۱)، مقدار کربنات کلسیم خاک به روش تیتراسیون برگشتی (۲۲)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم (۲۳)، رسانایی الکتریکی (EC) با استفاده از دستگاه رسانایی سنج الکتریکی و pH با pH متر و در عصاره گل اشباع خاک اندازه‌گیری شدند.

موقعیت مکانی ۹۲ نقطه نمونه‌برداری (به ترتیب ۵۴، ۱۹، ۱۴ و ۵ نقطه در شالیزار، مرکبات، جنگل و مرتع) به صورت شبکه (شکل ۲) در مساحت صد کیلومتر مربع با فاصله نقاط ۹۰۰ متر شرقی- غربی و ۱۰۰۰ متر شمالی-جنوبی در مختصات UTM به‌وسیله دستگاه GPS مشخص شده و نمونه‌برداری در فصل خشک سال (تابستان ۱۳۹۴) انجام شد. از هر نقطه یک نمونه کلوخه از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) برای اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک در آزمایشگاه به وسیله دستگاه ریز-نفوذسنج و روش نفوذ قطره آب و یک کلوخه از لایه روین برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شد.

در آزمایشگاه درصد ذرات اولیه خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر و براساس قانون استوکز (۱۸) و بافت خاک به کمک مثلث خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) تعیین شدند (۱۹). برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری (ρ_b)

1- Core method



شکل ۲- الف) نقشه ارتفاع و ب) کاربری زمین در نقاط نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد بررسی.

Figure 2. Elevation map (a) and land use types of the soil sampling points (b) in the study area.

زمانی که طول می‌کشد تا قطره آب در خاک کاملاً نفوذ کند اندازه‌گیری شد. در نهایت میانگین ۵ تکرار برابر زمان نفوذ قطره آب (WDPT) به عنوان شاخص پایداری آب‌گریزی خاک گزارش شد (۲۴). در صورتی که این زمان بیش از ۵ ثانیه باشد، خاک درجات مختلفی از آب‌گریزی را نشان می‌دهد (جدول ۱).

اندازه‌گیری پایداری آب‌گریزی خاک: پایداری آب‌گریزی خاک به روش زمان نفوذ قطره آب (WDPT) روی بخش تازه (شکسته‌شده) کلوخه‌های برداشت‌شده و هوا-خشک‌شده در آزمایشگاه با حداقل ۵ تکرار اندازه‌گیری شد. ابتدا توسط قطره‌چکان پزشکی، قطره‌ای با حجم ۰/۰۳۵ میلی‌لیتر بر روی سطح خاک قرار داده شده و با زمان‌سنج

جدول ۱- گروه‌بندی آب‌گریزی خاک‌ها بر اساس زمان نفوذ قطره آب (WDPT) (۲۴).

Table 1. Soil water repellency classification based on water droplet penetration time (WDPT) (24).

WDPT (s)	کلاس آب‌گریزی خاک Soil water repellency class
WDPT < 5	آب‌دوست Wettable
5 > WDPT > 60	نسبتاً آب‌گریز Slightly water repellent
60 > WDPT > 600	آب‌گریز Water repellent
600 > WDPT > 3600	شدیداً آب‌گریز Strongly water repellent
WDPT > 3600	بی‌نهایت آب‌گریز Severely water repellent

برای آب ۲ سانتی‌متر پائین‌تر از نوک نفوذسنج و برای اتانول مکش ماتریک برابر ۰/۷ سانتی‌متر پائین‌تر از نوک نفوذسنج بود (۱۲، ۲۵ و ۲۶).

مقدار سیال جذب‌شده توسط خاک از طریق کاهش جرم سیال مخزن به کمک تراز و با زمان با فواصل زمانی ۵ ثانیه تا ۱۸۰ ثانیه یادداشت شد. سپس حجم سیال نفوذیافته در خاک با تقسیم جرم آن به چگالی سیال به دست آمد و منحنی‌های نفوذ تجمعی در برابر زمان برای آب و اتانول ترسیم شد. شیب منحنی‌ها در بازه زمانی ۳۰ تا ۱۳۰ ثانیه با برازش یک خط رگرسیون، به عنوان دبی جریان ماندگار $(Q, \text{cm}^3 \text{ s}^{-1})$ به دست آمد. سپس جذب‌پذیری $(S, \text{cm s}^{-0.5})$ با رابطه زیر محاسبه شد:

$$S = \sqrt{\frac{Qf}{4br}} \quad (1)$$

که در آن، f تخلخل پر از هوای خاک (که برای نمونه‌های خاک آون-خشک برابر تخلخل کل بود)، b پارامتری است که تحت تأثیر توابع هیدرولیکی خاک بوده و مقدار آن تقریباً برابر ۰/۵۵ است و r شعاع نوک ریز-نفوذسنج (cm) است (۲۷). سپس شاخص آب‌گریزی خاک 2 (RI) به کمک رابطه ۲ محاسبه شد (۱۲ و ۲۵):

$$RI = 1.95 \frac{S_E}{S_W} \quad (2)$$

مقادیر RI برابر ۱، بزرگ‌تر از ۱/۹۵ و بزرگ‌تر از ۵۰ به ترتیب نشان‌دهنده خاک‌های کاملاً آب‌دوست، خاک‌های آب‌گریز زیر-بحرانی و خاک‌های شدیداً آب‌گریز می‌باشند (۲۵). در نهایت زاویه تماس خاک-آب (β) با رابطه ۳ محاسبه شد (۲۸):

اندازه‌گیری شدت آب‌گریزی خاک: شدت آب‌گریزی خاک به روش جذب‌پذیری ذاتی^۱ اندازه‌گیری شد. اساس اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک در این روش تفاوت در جذب‌پذیری خاک برای آب و اتانول است. آرایش (هندسه) منافذ و همچنین آب‌گریزی بر جذب‌پذیری آبی خاک (S_W) مؤثر است ولی جذب‌پذیری اتانول (S_E) تنها تحت تأثیر توزیع اندازه (هندسه) منافذ خاک است چون این سیال غیرقطبی است و سطوح ذرات خاک را مستقل از آب‌گریزی مرطوب می‌کند. در شرایطی که مواد آب‌گریز سطوح ذرات را پوشش دهند، از آنجا که آب ملکولی قطبی است از سطوح ذرات دفع شده و میزان جذب آن کاهش می‌یابد؛ این در حالی است که اتانول به دلیل غیرقطبی بودن از پوشش ذرات تأثیر نمی‌پذیرد. از این رو میزان جذب اتانول بدون تغییر باقی می‌ماند. بنابراین از این ویژگی اتانول و شرایط ذکر شده می‌توان برای مقایسه آب‌گریزی خاک‌های مختلف استفاده کرد (۱۲).

در این پژوهش کلوخه‌های نمونه‌برداری شده به آزمایشگاه انتقال داده شد و سپس در آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک شد. آب‌گریزی روی این نمونه‌های خاک آون-خشک اندازه‌گیری شد تا اثر رطوبت اولیه خاک بر آب‌گریزی حذف شود. در این روش از ریز-نفوذسنج مکشی دارای نوک با قطر ۴ میلی‌متر با سر اسفنجی در تماس با خاک استفاده شد. ابتدا جذب آب توسط خاک به مدت ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های آون-خشک شده و جذب اتانول نیز اندازه‌گیری شد. برای جلوگیری از جریان ترجیحی در منافذ درشت در حالت اشباع، معمولاً جذب‌پذیری خاک در مکش ماتریک نزدیک اشباع اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین مکش ماتریک ۲ سانتی‌متر به روش ستون آویزان آب اعمال شد که

ویژگی‌های پایه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد بررسی، در جدول ۲ آورده شده است. در بین اجزاء تشکیل‌دهنده بافت خاک، جزء سیلت بیش‌ترین مقدار را در منطقه مورد بررسی تشکیل می‌دهد. بافت خاک‌های مورد بررسی اغلب لوم رسی و لومی می‌باشند. درصد کربنات کلسیم معادل خاک (CCE) بین ۰/۵ تا ۲۷/۲ درصد و pH خاک‌ها در دامنه ۶/۹۴ تا ۷/۹۵ متغیر است. دامنه تغییرات ماده آلی خاک (OM) بین ۱/۷۸ تا ۶/۲۵ درصد متغیر است که نشان‌دهنده وضعیت ماده آلی نسبتاً خوب (۲۹) خاک‌های مورد بررسی است زیرا مقدار ماده آلی در اغلب خاک‌های ایران کم است. نسبت C/N خاک در دامنه وسیعی (۷/۷ تا ۱۹/۵) متغیر است که بیانگر تنوع درجه تکامل ماده آلی در خاک‌های مورد بررسی است که با دامنه رایج C/N (۸ تا ۱۵) برای ماده آلی خاک (۳۰) همخوانی دارد. EC خاک‌های منطقه در دامنه ۰/۲۹ تا $۱/۸۳ \text{ dS m}^{-1}$ متغیر بوده و نشان‌دهنده شوری ناچیز تا کم خاک‌های منطقه است. دامنه وسیع چگالی ظاهری (ρ_b) بیانگر درجه تراکم سست تا متراکم در خاک‌های مورد بررسی است. نسبت ماده آلی به رس ($\frac{OM}{Clay}$) یک کمیت نسبی بوده و اثر ترکیبی ذرات رس و مواد آلی را نشان می‌دهد و هم‌چنین برای بیان اثر ماده آلی (مستقل از بافت خاک) بر ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع افزایش $\frac{OM}{Clay}$ به این مفهوم است که در خاک میزان رس بیش‌تری با ماده آلی کم‌پلکس شده است. به طور کلی آماره‌های مربوط به ویژگی‌های خاک بیانگر تنوع زیاد خاک‌ها در منطقه مورد بررسی است.

$$\beta = \arccos\left(\frac{1}{RI}\right) \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل آماری: همان‌گونه که گفته شد، غالب نقاط منطقه مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی و زمین‌نما شباهت‌های زیادی به همدیگر دارند. بنابراین عامل اصلی تفاوت در ویژگی‌های خاک در منطقه مورد بررسی نوع کاربری زمین در نظر گرفته شد. داده‌ها (ویژگی‌ها و پارامترها) با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن گروه‌های کاربری زمین به‌عنوان تیمارهای با تکرارهای متفاوت (برابر تعداد نقاط نمونه‌برداری شده در هر کاربری) با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین تمام ویژگی‌ها و پارامترها بین کاربری‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

ضریب همبستگی بین متغیرهای هدف و ویژگی‌های پایه (زودیافت) با استفاده از نرم‌افزار SAS بررسی شد. با توجه به تنوع ویژگی‌های خاک، از رگرسیون خطی چندمتغیره ($y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \varepsilon$) برای استخراج روابط رگرسیونی بین شاخص‌های آب‌گریزی خاک و ویژگی‌های خاک در کل منطقه استفاده شد و پارامترهای برازش ($\beta_3, \beta_2, \beta_1, \beta_0$) توسط نرم‌افزار SAS استخراج شد. با توجه به این‌که در کاربری‌های متفاوت ویژگی‌های مختلفی بر متغیرهای هدف می‌تواند مؤثر باشد، مدل‌های رگرسیونی برای هر کاربری زمین نیز تهیه شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد بررسی: آماره‌های توصیفی

جدول ۲- آماره‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد بررسی.

Table 2. Statistics of physical and chemical properties of soils in the study area.

ویژگی	واحد	بیشینه	کمینه	دامنه	ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	میانگین	ویژگی
Property	Unit	Maximum	Minimum	Range	Coefficient of variation	Kurtosis	Skewness	Standard deviation	Mean	Property
EC	dS m ⁻¹	1.83	0.29	1.54	39	-0.22	0.23	0.37	0.95	EC
pH	-	7.95	6.94	1.01	3	-0.07	-0.38	0.21	7.52	pH
CCE	kg 100kg ⁻¹	27.20	0.50	26.70	48	0.47	0.31	5.47	11.40	CCE
OM	kg 100kg ⁻¹	6.25	1.78	4.47	31	-0.14	0.79	1.10	3.59	OM
C/N	-	19.5	7.7	11.8	15	19.2	3.47	1.49	10.2	C/N
TN	kg 100kg ⁻¹	0.56	0.12	0.44	33	5.00	1.69	0.07	0.21	TN
ρ _b	g cm ⁻³	1.50	0.65	0.85	16	0.24	-0.46	0.18	1.16	ρ _b
Sand	kg 100kg ⁻¹	77.0	15.0	62.0	35	4.37	1.40	10.15	29.23	Sand
Silt	kg 100kg ⁻¹	59.0	22.0	37.0	19	0.04	-0.38	7.62	41.03	Silt
Clay	kg 100kg ⁻¹	56.0	15.0	41.0	32	0.23	1.00	9.72	30.23	Clay
OM/Clay	-	0.44	0.03	0.41	50	2.72	1.47	0.07	0.14	OM/Clay
RI	-	6.57	1.22	5.35	40	1.14	1.16	1.11	2.81	RI
β	°	86.50	41.60	44.60	14	0.09	-0.36	9.39	67.25	β
WDPT	s	70.0	0.35	69.65	231	62.33	7.47	7.86	3.39	WDPT
Log WDPT	Log s	1.90	-0.46	2.36	128	3.69	1.64	0.41	0.32	Log WDPT

EC: رسانایی الکتریکی گل اشباع، pH: واکنش گل اشباع، CCE: درصد کربنات کلسیم معادل، OM: درصد ماده آلی، TN: درصد نیتروژن کل، ρ_b: چگالی ظاهری، Sand: درصد شن، Silt: درصد سیلت، Clay: درصد رس و OM/Clay: نسبت ماده آلی به رس؛ RI: شاخص آب‌گریزی، β: زاویه تماس خاک-آب، WDPT: زمان نفوذ قطره آب به خاک

EC: Electrical conductivity of saturated paste, pH: pH of saturated paste, CCE: Calcium carbonate equivalent, OM: Organic matter content, TN: Total nitrogen content, ρ_b: Bulk density, Sand: Sand percent, Silt: Silt percent, Clay: Clay percent, OM/Clay: Organic matter to clay ratio, RI: Water repellency index, β: Soil-water contact angle, WDPT: Water droplet penetration time

(۳۱). مقدار OM کم‌تر در شالیزار می‌تواند به دلیل تخریب ساختمان خاک و قرار گرفتن مواد آلی در معرض اکسیداسیون (تجزیه) آن باشد. همچنین، سوزاندن بقایای گیاهی، برداشت و فرسایش بر مقدار OM خاک مؤثر است (۳۲). در بسیاری از شالیزارهای شهرستان آمل، تنها در دوره کشت برنج، خاک در حالت غرقاب و احیاء است و در بقیه سال نسبتاً هوایی است و به همین دلیل کشت دوم محصولاتی مانند کاهو، باقلا، سیر و کلزا پس از برداشت برنج در شهرستان آمل بسیار رایج است. این امر می‌تواند در

اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر کاربری زمین بر EC، OM و مقدار رس در سطح آماری ۰/۰۱ و بر نسبت C/N، CCE و OM/Clay در سطح آماری ۰/۰۵ معنی‌دار شد، اما اثر کاربری زمین بر pH، ρ_b، شن و سیلت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار OM در جنگل دیده شد که تفاوت معنی‌داری با شالیزار داشت. در خاک‌های جنگلی، مواد آلی در اثر ریزش برگ‌های درختان در سطح خاک تجمع می‌یابند که دارای افق A با مقدار زیاد ماده آلی است

است ولی با توجه به این‌که مقدار CCE در این کاربری از کاربری‌های دیگر تبعیت نکرده است، شاید بتوان دلیل آن را هماهنگی با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران هدایت هیدرولیکی زیاد خاک‌های جنگلی (ناشی از ماده آلی زیاد خاک) و شستشوی کربنات‌ها و تشکیل کربنات ثانویه در این کاربری دانست. سلیک (۲۰۰۵) CCE کم در خاک‌های جنگلی نسبت به مزارع را به انتقال کربنات و تشکیل کربنات‌های ثانویه در لایه‌های زیرین خاک جنگل مرتبط دانست (۳۴).

میانگین مقادیر شوری خاک در کاربری‌های شالیزار و مرکبات اختلاف معنی‌داری با کاربری‌های جنگل و مرتع داشت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار EC مربوط به شالیزار بود که احتمالاً مربوط به احیای برخی عناصر چندظرفیتی در خاک است. پوناپرو (۱۹۷۸) و دی-کمپوس و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که افزایش EC در خاک شالیزار احتمالاً به دلیل تبدیل اکسیدهای آهن و منگنز به یون‌های محلول Fe^{2+} و Mn^{2+} در شرایط احیایی است (۳۵ و ۳۶). یافته‌های برومند و همکاران (۱۳۹۴) بیش‌ترین EC خاک بین کاربری‌های جنگل، دیم، باغ و شالیزار را مربوط به شالیزار گزارش کردند. مقادیر زیاد EC در مرکبات می‌تواند به علت افزایش کود و یا آبیاری با کیفیت نامناسب آب و در نتیجه افزایش املاح و افزایش EC خاک باشد (۳۷). البته تشکیلات زمین‌شناسی نیز بر شوری خاک مؤثر است ولی با توجه به این‌که میانگین شوری خاک‌ها در منطقه مورد بررسی کم‌تر از 2 dS m^{-1} (خاک‌های غیرشور) است، بحث در مورد آن اهمیت زیادی ندارد.

اثر کاربری زمین بر واکنش خاک (pH) معنی‌دار نشد زیرا واکنش خاک متأثر از حضور آهک و خاصیت بافری آن در خاک‌های مورد بررسی است. مقدار pH خاک در کاربری مرتع دارای کم‌ترین مقدار

ورود کم‌تر مواد آلی به خاک نقش داشته باشد. هم‌چنین گلیخرابی در شالیزار سبب خردشدن خاک‌دانه‌ها شده و حفاظت فیزیکی^۱ ماده آلی خاک از بین می‌رود و در زمان‌ها و فصولی که خاک مرطوب نیست سبب تجزیه بیش‌تر مواد آلی می‌شود.

بیش‌ترین نسبت C/N برای کاربری جنگل محاسبه شد که با سایر کاربری‌های زمین تفاوت معنی‌داری داشت. نسبت C/N بیش‌تر در زمین‌های جنگلی می‌تواند مربوط به ورودی بیش‌تر مواد آلی به خاک و تجزیه کم‌تر آن‌ها باشد (۱). مقادیر میانگین C/N در کاربری‌های جنگل، مرتع، مرکبات و شالیزار به ترتیب برابر ۱۱/۶، ۹/۸۸، ۹/۳۰ و ۹/۸۷ بود (جدول‌های ۲ و ۳). نسبت C/N خاک، آثار ترکیبی چرخه C و N و کیفیت مواد آلی خاک را نشان می‌دهد، زیرا فرآیندهای نیتریفیکاسیون و تجزیه را کنترل می‌کند. نسبت C/N کم، غلظت N معدنی را تشدید معنی‌شدن N افزایش می‌دهد (۳۳).

میانگین مقادیر CCE در کل منطقه و خاک‌های شالیزار به ترتیب ۱۱/۴ و ۱۲/۲۷ درصد بود (جدول ۲ و ۳). تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌ها با کاربری جنگلی از نظر CCE (جدول ۳) مشاهده شد. وجود آهک در خاک‌های رسوبی جلگه‌ای یکی از مهم‌ترین منابع تامین کاتیون‌های بازی در شالیزار است. تشکیلات زمین‌شناسی آهک و دولومیت در کوه‌های دامنه شمالی البرز نیز از منابع مهم تامین کاتیون‌های بازی در خاک‌های منطقه است. از طرفی تمام جلگه از رسوبات رودخانه‌های جاری در منطقه از جمله هراز که از تشکیلات آهک و دولومیتی عبور می‌کنند، حاصل می‌شود. به همین دلیل در خاک‌های مرتعی نیز میزان آهک زیادی دیده می‌شود. بنابراین وجود آهک در کاربری‌ها می‌تواند به دلیل مواد مادری خاک باشد. اگرچه مقدار CCE در لایه زیرین اندازه‌گیری نشده

جنگل، مقدار ماده آلی زیاد خاک جنگل (فراوانی منافذ درشت)، ساختمان پایدار و تخلخل زیاد آن است. اما در مراتع با فرق، کم بودن ρ_b به علت ماده آلی زیاد و عدم چرا (یا چرای ناچیز) و در نتیجه کاهش تراکم خاک به دلیل عدم تردد دام می‌تواند باشد (۳۹). ابو-هاشیم (۲۰۱۱) گزارش کرد که ρ_b زیاد در خاک‌های زراعی و باغی (مرکبات) مربوط به ساختمان ضعیف و تخریب منافذ خاک است، که می‌تواند به علت تردد زیاد ماشین‌های کشاورزی و افراد در مراحل داشت و برداشت باشد (۴۰). در خاک‌های شالیزار، در نتیجه گل‌خرابی، ساختمان خاک تخریب شده، منافذ درشت کم و منافذ ریز (مویینه) زیاد شده و در نتیجه ρ_b خاک بیش‌تر از دیگر زمین‌های زراعی است (۳۱).

و در شالیزار دارای بیش‌ترین مقدار بود (جدول ۳). در این پژوهش بین مقدار ماده آلی و pH خاک هم‌بستگی منفی ($r = -0.43$) به دست آمد. مواد آلی خاک به دلیل دارا بودن گروه‌های عامل اسیدی مانند کربوکسیل و OH فنولی، دارای خاصیت اسیدی می‌باشند (۳۸). مواد آلی خاک، ترشحات ریشه‌ای و CO_2 تولیدشده باعث کاهش pH خاک می‌شوند. هم‌چنین در زمین‌های شالیزار، احیای عناصر چندظرفیتی آهن و منگنز می‌تواند موجب افزایش pH خاک شود (۳۹).

اثر کاربری زمین بر چگالی ظاهری (تراکم) خاک معنی‌دار نبود ولی کم‌ترین مقدار آن مربوط به کاربری‌های جنگل و مرتع و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به کاربری‌های مرکبات و شالیزار بود (جدول ۳). علت کم بودن چگالی ظاهری (ρ_b) خاک در

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کاربری زمین بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 3. Means' comparisons of soil physical and chemical properties as affected by land use types.

میانگین گروه‌های کاربری Means of land use groups											
کاربری زمین Land use	OM/Clay	Clay (kg 100kg ⁻¹)	Silt (kg 100kg ⁻¹)	Sand (kg 100kg ⁻¹)	ρ_b (g cm ⁻³)	C/N	TN (kg 100kg ⁻¹)	OM (kg 100kg ⁻¹)	CCE (kg 100kg ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)
جنگل Forest	0.165 ^{ab}	36.2 ^b	36.9 ^b	28.8 ^a	1.095 ^a	11.86 ^a	0.255 ^a	4.21 ^a	7.6 ^b	7.51 ^a	0.673 ^{ab}
مرتع Pasture	0.221 ^a	39.0 ^a	41.3 ^{ab}	26.3 ^a	1.150 ^a	9.86 ^b	0.226 ^{ab}	3.78 ^b	15.7 ^a	7.39 ^a	0.526 ^b
مرکبات Citrus garden	0.143 ^b	25.1 ^b	34.8 ^a	31.1 ^a	1.174 ^a	9.30 ^b	0.218 ^{ab}	3.49 ^b	10.7 ^{ab}	7.53 ^a	1.010 ^a
شالیزار Paddy field	0.125 ^b	30.2 ^b	41.1 ^{ab}	28.8 ^a	1.173 ^a	9.87 ^b	0.199 ^b	3.43 ^b	12.3 ^{ab}	7.54 ^a	1.011 ^a

EC: رسانایی الکتریکی گل اشباع، pH: واکنش گل اشباع، CCE: درصد کربنات کلسیم معادل، OM: درصد ماده آلی، TN: درصد نیتروژن کل، ρ_b : چگالی ظاهری، Sand: درصد شن، Silt: درصد سیلت، Clay: درصد رس و OM/Clay: نسبت ماده آلی به رس؛ در هر ستون، اعداد با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ به روش LSD است.

EC: Electrical conductivity of saturated paste, pH: pH of saturated paste, CCE: Calcium carbonate equivalent, OM: Organic matter content, TN: Total nitrogen content, ρ_b : Bulk density, Sand: Sand percent, Silt: Silt percent, Clay: Clay percent, OM/Clay: Organic matter to clay ratio; In each column, numbers with different letters indicate significant differences (LSD, P<0.05).

روی خاکدانه‌ها و در فضای بین خاکدانه‌ها سبب جلوگیری از نفوذ آب به خاک و سبب آب‌گریزی می‌شوند (۴۲). از طرف دیگر آب‌گریزی بودن این خاک‌ها می‌تواند باعث حفاظت فیزیکی از ماده آلی و جلوگیری از تجزیه آن شود (۱۵). در واقع ترکیبات آب‌گریز سطوح مواد آلی تجزیه‌پذیر را پوشانده و مانع دسترسی ریزجانداران به این مواد می‌شوند (۴۳). نتایج این پژوهش (همبستگی بین OM و آب‌گریزی خاک) مشابه با یافته‌های سردا و همکاران (۲۰۱۲)، سپهرنیا و همکاران (۲۰۱۷)، زانگ (۲۰۰۴) و اعلامنش و همکاران (۲۰۱۴) است (۴، ۱۵، ۴۴ و ۱).
اثر کاربری زمین بر پایداری آب‌گریزی خاک (WDPT): تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌های جنگل و شالیزار از نظر Log WDPT وجود داشت (جدول ۵) و ترتیب مقادیر آب‌گریزی در کاربری‌های زمین مورد بررسی به صورت زیر بود:

شالیزار Log WDPT > مرکبات Log WDPT > مرتع Log WDPT > جنگل Log WDPT

آلی موجب تفاوت آب‌گریزی خاک در کاربری‌های متفاوت شده و از روند زیر پیروی می‌کند:

شالیزار OM > مرکبات OM > مرتع OM > جنگل OM

باشد (نوتشکیلی اسمکتیت در محلول خاک در شرایط احیاء) (۴۵، ۴۶ و ۴۷). بررسی‌های کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های شالیزار که توسط ممتاز (۲۰۰۹) انجام شده و برخی از آن‌ها در فاصله حدود ۲۰۰ متری نقاط مورد بررسی پژوهش حاضر قرار داشتند، وجود اسمکتیت را به عنوان یکی از کانی‌های غالب خاک رویین تأیید کردند (۴۸). میربابایی و همکاران

اثر کاربری زمین بر شدت آب‌گریزی خاک: در تمامی کاربری‌های مورد بررسی، آب‌گریزی خاک زیر-بحرانی بوده و تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌ها از نظر شاخص آب‌گریزی خاک وجود نداشت (جدول ۴). مقادیر شاخص آب‌گریزی (RI) برابر ۲/۶ (شالیزار) و ۳/۱۲ (مرکبات)، ۳/۱۰ (مرتع) و ۲/۷۱ (جنگل) و مقادیر زاویه تماس به دست آمده (β) کم‌تر از ۹۰° بود که نشان‌دهنده آب‌گریزی زیر-بحرانی در خاک‌های منطقه مورد بررسی است (جدول ۴). در تمامی نقاط بین زاویه تماس (β) و مقدار ماده آلی خاک رابطه مثبت و معنی‌دار ($r = 0.22^*$) دیده شد. در مرکبات بین مقدار ماده آلی خاک و β همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.42^*$) وجود داشت. یکی از عوامل مؤثر بر آب‌گریزی، پوشش‌های آلی روی سطح ذرات و دیواره منافذ خاک است که قادر هستند ذرات منفرد از جمله ذرات شن و خاکدانه‌ها را پوشانده و ایجاد آب‌گریزی کنند (۴۱). وجود پوشش‌های هیدروکربنی هیدروفوبیک (آلیفاتیک^۱ یا آمفیفلیک^۲)

هم‌چنین بین Log WDPT و OM همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.36^{***}$) وجود داشت (جدول ۵). بنابراین به نظر می‌رسد تفاوت میزان ماده

ذرات معدنی خاک مانند کوارتز و رس‌های سیلیکاتی آب‌دوست هستند (۴۲). آب‌گریزی کم خاک‌های شالیزار می‌تواند هم به دلیل مقدار کم ماده آلی و هم به علت افزایش مقدار رس‌های ۲:۱ انبساط‌پذیر (مانند اسمکتیت) در خاک‌های شالیزار

- 1- Aliphatic compounds
- 2- Amphiphilic compounds

و Log WDPT در تمامی منطقه مورد بررسی (جدول ۵) و در کاربری شالیزار ($r = -0.28^{**}$) یافت شد. در واقع حضور کربنات‌ها با افزایش pH سبب افزایش حلالیت مواد آلی آب‌گریز شده و پوشش‌های آلی آب‌گریز را از سطح ذرات خاک جدا می‌کند. ماتایکس و دوثر (۲۰۰۴) با بررسی آب‌گریزی در خاک‌های آهکی تحت‌تأثیر آتش‌سوزی در جنگل‌های کاج در جنوب غربی اسپانیا دریافتند که شدت و ماندگاری آب‌گریزی در خاک‌های آهکی نسبت به خاک‌های جنگلی اسیدی (تحت پوشش کاج) کم‌تر بود (۴۹).

(۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین Log WDPT و OM در خاک‌های مناطق شمالی کشور (استان گیلان) وجود دارد (۵). بین مقدار نیتروژن و Log WDPT در تمامی خاک‌های مورد بررسی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.26^*$) وجود داشت و در خاک‌های شالیزار این هم‌بستگی قوی‌تر ($r = 0.35^{**}$) بود (جدول ۵). حالت (۲۰۰۸) نشان داد که کاربرد کود نیتروژن آب‌گریزی خاک را از طریق تحریک فعالیت بیولوژیک و تولید ترکیبات آلی افزایش می‌دهد (۴۲). هم‌چنین هم‌بستگی منفی و معنی‌داری بین کربنات کلسیم معادل (CCE)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کاربری زمین بر شاخص‌های آب‌گریزی خاک در منطقه مورد بررسی.

Table 4. Means' comparisons of soil water repellency indices as affected by land use types in the study area.

RI	B	WDPT (s)	Log (WDPT, s)	کاربری زمین Land use
2.71 ^a	69.55 ^a	9.175 ^a	0.564 ^a	جنگل Forest
3.10 ^a	69.78 ^a	4.146 ^{ab}	0.543 ^{ab}	مرتع Pasture
3.123 ^a	66.88 ^a	2.325 ^b	0.338 ^{ab}	مرکبات Citrus garden
2.69 ^a	66.51 ^a	2.272 ^b	0.234 ^b	شالیزار Paddy field

RI: شاخص آب‌گریزی، β : زاویه تماس خاک-آب، WDPT: زمان نفوذ قطره آب به خاک. در هر ستون، حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ است.

RI: Water repellency index, β : Soil-water contact angle, WDPT: Water droplet penetration time. In each column, numbers with different letters indicate a significant difference (LSD, $P < 0.05$).

که پایداری آب‌گریزی اندازه‌گیری شده به روش WDPT به‌طور مثبت وابسته به زاویه تماس اولیه خاک است. البته تمام خاک‌های آب‌گریز این گونه نیستند و برخی خاک‌ها ممکن است شدت آب‌گریزی اولیه کم و پایداری آب‌گریزی طولانی‌تری داشته باشند (۵۰).

Log WDPT هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0.33^{**}$) با RI داشت که نشان می‌دهد پایداری آب‌گریزی (Log WDPT) و شدت آب‌گریزی (RI) در خاک‌های مورد بررسی با هم ارتباط مستقیم دارند. وای چاو (۲۰۱۴) با بررسی رابطه شدت آب‌گریزی خاک و وابستگی آن به پایداری به این نتیجه رسیدند

جدول ۵- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های آب‌گریزی خاک در منطقه مورد بررسی.

Table 5. Pearson's correlation between soil physical and chemical properties and water repellency indices in the study area.

CCE	OM	TN	RI	β	WDPT	Log WDPT	
-0.221*	0.274**	0.197 ^{ns}	0.133 ^{ns}	0.147 ^{ns}	1	0.649***	WDPT
-0.279**	0.359***	0.257**	0.327***	0.384***	0.649***	1	Log WDPT

RI: شاخص آب‌گریزی، β : زاویه تماس خاک-آب، WDPT: زمان نفوذ قطره آب به خاک، N: درصد نیتروژن کل، OM: درصد ماده آلی، CCE: درصد کربنات کلسیم معادل. ns, *, ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی غیرمعنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ است.

WDPT: Water droplet penetration time, RI: Water repellency index, β : Soil-water contact angle, TN: Total nitrogen content, OM: Organic matter content, CCE: Calcium carbonate equivalent. ns, *, ** and *** stand for non-significant, significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

روابط رگرسیونی بین شاخص آب‌گریزی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تنها در کاربری مرکبات به شرح زیر استخراج شد:

$$RI = 14.96 + 0.062(OC)^3 - 134.55\left(\frac{C}{N}\right)^{-1} + 46.23\frac{1}{Clay} \quad R^2=0.62 \quad RMSE=1.03 \quad (8)$$

که در آن، اثر افزایش کربن آلی ($OC, kg\ 100kg^{-1}$) و اثر کاهش نسبت C/N و میزان رس ($Clay, kg\ 100kg^{-1}$) بر شاخص آب‌گریزی خاک دیده می‌شود. به دلیل سطح ویژه کم‌تر خاک‌های شنی در مقایسه با خاک‌های رسی، خاک‌های شنی بیشتر مستعد آب‌گریزی هستند، زیرا مقادیر کمی از ترکیبات آلی آب‌گریز برای پوشش سطح ذرات درشت کافی است.

$$WDPT = 0.92 + 6.06\frac{1}{(CCE)} + 157.44\left(\frac{OM}{Clay}\right) \quad R^2=0.38^{***} \quad RMSE=2.75 \quad (9)$$

$$Log\ WDPT = 0.14 + 0.49\frac{1}{(CCE)} \quad R^2=0.23^{***} \quad RMSE=0.26 \quad (10)$$

در این روابط اثر کاهش کربنات کلسیم ($CCE, kg\ 100kg^{-1}$) و اثر افزایش نسبت ماده آلی به رس ($OM/Clay$) بر WDPT دیده می‌شود. همان‌طور که در مباحث گذشته بیان شد، یافته‌های ماتیکس و دوئر (۲۰۰۴) نشان می‌دهد افزایش کربنات کلسیم با جدانمودن پوشش‌های آلی آب‌گریز از روی سطح

مفاهیم هیدرولوژی و کاربردی خاک و روش جذب‌پذیری ذاتی با مفاهیم فیزیکی آب‌گریزی خاک در ارتباط است. تغییر کاربری با تغییر ماده آلی توانست بر آب‌گریزی خاک مؤثر باشد. بین مقادیر WDPT در کاربری‌های جنگل و شالیزار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. آب‌گریزی خاک‌های جنگل بیش‌ترین مقدار و در شالیزار کم‌ترین مقدار بود. همبستگی مثبت بین ماده آلی و آب‌گریزی خاک به روش‌های WDPT و جذب‌پذیری ذاتی در این پژوهش نشان داد که مواد آب‌گریز می‌توانند باعث حفاظت فیزیکی از ماده آلی و جلوگیری از تجزیه آن‌ها شود. با توجه به نقش اجزاء فیزیکی و نوع ماده آلی خاک و تأثیر آن بر شاخص‌های کیفیت خاک، پیشنهاد می‌شود تأثیر ماده آلی خاک و اجزاء آن (کودهای آلی) بر آب‌گریزی و پایداری ساختمان خاک در پژوهش‌های آینده بررسی شود.

ذرات خاک موجب کاهش آب‌گریزی خاک می‌شود (۴۹). اثر افزایشده نسبت $\frac{OM}{Clay}$ بر WDPT نشان‌دهنده اثر مثبت خالص ماده آلی (مستقل از مقدار رس) بر آب‌گریزی خاک است.

نتیجه‌گیری

در مناطق مورد بررسی، آب‌گریزی زیر-بحرانی در خاک مشاهده شد و زاویه تماس خاک-آب در تمام کاربری‌ها کم‌تر از ۹۰ درجه به دست آمد. در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین نتایج دو آزمون WDPT و RI وجود داشت. بین $\log WDPT$ با ماده آلی و نیتروژن رابطه مثبت و با کربنات کلسیم رابطه منفی مشاهده شد. روابط RI و β نیز با مقدار ماده آلی خاک مثبت بود. نتایج نشان می‌دهد درصد ماده آلی، نیتروژن و کربنات کلسیم از عوامل مهم و مؤثر بر آب‌گریزی در خاک‌های مورد بررسی می‌باشند. آزمون زمان نفوذ قطره آب (WDPT) با

منابع

1. Aelamanesh, P., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Ahrens, and Safari Sinigani, A.A. 2014. Water repellency in calcareous soils under different land uses in western Iran. *Pedosphere*. 24: 3. 378-390.
2. Tadayonnejad, M., Mosaddeghi, M.R., and Ghorbani Dashtaki, S.H. 2017. Changing soil hydraulic properties and water repellency in a pomegranate orchard irrigated with saline water by applying polyacrylamide. *Agricultural Water Management*. 188: 12-20.
3. Bughici, T., and Wallach, R. 2016. Formation of soil – water repellency in olive orchards and its influence on infiltration pattern. *Geoderma*. 262: 1-11.
4. Cerda, A., Gonzalez Penaloza, F.A., and Jordan A. 2012. Citrus orchards management and soil water repellency in Eastern Spain. *European Geosciences Union General Assembly Vienna, Austria*, 22-27 April.
5. Mirbabaei, S.M., Shahrestani, M.Sh., Zolfaghari, A., and Abkenar, K.T. 2013. Relationship between soil water repellency and some of soil properties in northern Iran. *Catena*. 108: 26-34.
6. Quayum, A., Achari, G., and Goodman, R.H. 2002. Effect of wetting and drying and dilution on moisture migration through oil contaminated hydrophobic soils. *Science of the Total Environment*. 296: 77-87.
7. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., and Awe, G.O. 2013. Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. *Ciência Rural*. 43: 1582-1589.
8. Zolfaghari, A.S., and Hajabbasi, M.A. 2009. The effects of land use change on physical properties and water repellency of soils in Lordegan forest and

- Freidunshar pasture. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology). 22: 251-262. (In Persian)
9. Woch, S.K., Goebel, M.O., Kirkham, M.B., Horton, R., van der Ploeg, R., and Bachmann, J. 2005. Contact angle of soils as affected by depth, texture, and land management. European Journal of Soil Science. 56: 239-251.
10. Krummelbein, J., Peth, S., Zhao, Y., and Horn, R. 2009. Grazing-induced alterations of soil hydraulic properties and functions in Inner Mongolia, PR China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 172: 769-776.
11. Eynard, A., Schumacher, T.E., Lindstrom, M.J., Malo, D.D., and Kohl, R.A. 2006. Effects of aggregate structure and organic C on wettability of Ustolls. Soil and Tillage Research. 88: 205-216.
12. Tillman, R., Scotter, D., Wallis, M., and Clothier, B. 1989. Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. Australian Journal of Soil Research. 27: 637-644.
13. Shahabinejad, H. 2013. Assessing the residual effects of fire on water infiltration, soil erodibility and shear strength in Fereydan rangelands. MSc Thesis in Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
14. Momivand, E. 2015. Land-use impacts on soil hydraulic properties, water repellency and shear strength in Tuyserkhan region. MSc Thesis in Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
15. Sephrnia, N., Hajabbasi M.A., and Lubomir Lichner, M.A. 2017. Soil water repellency changes with depth and relationship to physical properties within wettable and repellent soil profiles. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 1: 99-104.
16. Banai, M.H. 1998. Map of moisture and heat regimes in Iran. Soil and Water Research Institute. Iran.
17. Agricultural Jihad Organization. 2005. Geological map of Iran. Series 1/100000. Amol Sheet. No. 6462.
18. Bouycos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particles size of soils. Agronomy Journal. 56: 464-465.
19. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particles size analysis. P 383-411. In: A. Klute, (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Second ed., ASA/SSSA Monograph 9, Madison WI.
20. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-375. In: A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Second ed., ASA/SSSA Monograph 9, Madison WI.
21. Walkly, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration. Soil Science. 37: 29-38.
22. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (eds) 1986. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second ed., ASA/SSSA Monograph 9, Madison, WI.
23. Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Group, Harlow. 345p.
24. Dekker, L.W., and Jungerius, P.D. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to The Netherlands. Catena. 18: 173-183.
25. Hallett, P.D., and Young, I.M. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. European Journal of Soil Science. 50: 35-40.
26. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Sabzalian, M.R., Soleimani, M., and Sepehri, M. 2017. Effects of endophyte-infected (*Epichloë coenophaila*) tall fescue residues on water repellency and structural stability of texturally-different soils. Journal of Water and Soil Science. 21: 2. 251-262. (In Persian)
27. Lichner, L.P., Hallett, P.D., Feeney, D.S., Dugova, O., Sir, M., and Tesar, M. 2007. Field measurement of soil water repellency and its impact on water flow under different vegetation. Versita. 5: 537-541.

28. De Gryze, S., Jassogne, L., Bossuyt, H., Six, J., and Merckx, R. 2006. Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *European Journal of Soil Science*. 57: 235-246.
29. Craul, P.J. 1999. *Urban Soils: Applications and Practices*. Wiley. Toronto, 384p.
30. Weil, R.R., and Brady, N.C. 2016. *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education Limited Edinburgh Gate. Harlow, Essex CM20 2JE. England. 1104p.
31. Mahmoudi, S.H., and Hakimian, M. 2012. *Fundamentals of Soil Science*. University of Tehran Publications. 720p. (Translated in Persian)
32. Martinez, M., Lopez, J., Almagro, M., and Albaladejo, J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of south-east Spain. *Soil and Tillage Research*. 99: 119-129.
33. Dai, X., Zhou, W., Liu, G., Liang, G., He, P., and Liu, Z. 2019. Soil C/N and pH together as a comprehensive indicator for evaluating the effects of organic substitution management in subtropical paddy fields after application of high-quality amendments. *Geoderma*. 337: 1116-1125.
34. Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*. 83: 270-277.
35. Ponnampereuma, F.N. 1978. Electrochemical change in submerged soil and the growth of rice. in *soils and rice*. IRRI, Los Banos. Philippines, pp. 421-441.
36. De-Campos, A.B., Mamedov, A.I., and Huang, Ch. 2007. Short-term reducing conditions decrease soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*. 73: 550-559.
37. Boroumand, M., Bahmanyar, M., Ghajar Sepanlou, M., and Salek Gilani, S. 2015. Evaluation of the effects of land use change from forest areas into agricultural lands on some chemical properties of soil (Case study: Zarin Abad, Sari, Iran). *Physical Geography Research Quarterly*. 47: 3. 435-449. (In Persian)
38. Ostan, Sh. 2010. *Environmental Soil Chemistry*. Tabriz University Press, 472p. (Translated in Persian)
39. Mofidi, M., Rashtbari, M., Abbaspour, H., Ebadi, A., Sheidai, E., and Motamedi, J. 2012. Impact of grazing on chemical, physical and biological properties of soils in the mountain rangelands of Sahand, Iran. *The Rangeland Journal*. 34: 297-303.
40. Abu-Hashim, M.S.D. 2011. Impact of land-use and landmanagement on water infiltration capacity of soils on a catchment scale. PhD Thesis Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität, Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Germany.
41. Karnok, K., and Tucher, K. 2002. Water-repellent soils Part 1: Where are we now? *Golf Course Management*. 70: 6. 59-62.
42. Hallett, P.D. 2008. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency – a review. *Soil and Water Research*. 3(Special Issue 1): S21-S29.
43. Goebel, M.O., Bachmann, J., Woche, S.K., and Fischer, W.R. 2004. Physical protection of soil organic matter by hydrophobic surfaces. *Institute of Soil Science University of Hannover*. Herrenhaeuser, 7p.
44. Zhang, C.S., and McGrath, D. 2004. Geostatistical and GIS analysis on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. *Geoderma*. 119: 261-275.
45. Dixon, J.B., and Weed, S.W. 1989. *Minerals in Soil Environment*. SSSA, 2nd Ed. Madison, Wisconsin. USA, 1244p.
46. Hassannezhad, H., Pashae, A., Khormali, F., and Mohammadian, M. 2008. Effect of soil moisture regime and rice cultivation on mineralogical characteristics of paddy soils of Mazandaran Province, Northern Iran, Amol. *Geoderma*. 3: 3. 138-148.

47. Torabi Golsefidi, H., Karimian, E.M., Givi, J., and Khademi, H. 2001. Clay mineral investigation of paddy soils of different landforms of Eastern Guilan province, *Journal of Water and Soil Science*. 15: 122-138. (In Persian)
48. Momtaz, H.M. 2009. Study of pedomorphological, mineralogical and physical-chemical properties in different toposequences of Amol paddy soils and land suitability evaluation for rice and oil seeds. PhD Thesis in Soil Science, College of Agriculture, Tabriz University, Iran, 350p.
49. Mataix-Solera, J., and Doerr, S. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*. 118: 77-88.
50. Waichau, H., Biswas, A., Vujanovic, V., and Chengsi, B. 2014. Relationship between the severity, persistence of soil water repellency and the critical Soil water content in water repellent Soils. *Geoderma*. 221-222: 113-120.

