

## تأثیر آبگریزی خاک بر منحنی نگهداری رطوبت و شاخص کیفیت فیزیکی (شاخص S) در دو خاک با بافت متفاوت

حسین بیرامی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا نیشابوری<sup>۲</sup>، فریبرز عباسی<sup>۳</sup>، امیرحسین ناظمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۴

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> استاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

<sup>۴</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: beyrami.h@hotmail.com

### چکیده

خاک آبگریز خاکی است که وقتی قطره‌ای از آب روی سطح آن قرار گیرد، سریعاً خیس نمی‌شود. آبگریزی توسط حضور ترکیبات آلی مومی پیچیده در خاک ایجاد می‌شود. در طی تجزیه مواد آلی این ترکیبات مومی ذرات خاک را پوشانده و خاک به شکل آبگریز در می‌آید. با توجه به تأثیرپذیری منحنی رطوبتی از اندازه و آرایش منافذ خاک، شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن که به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) معرفی شده است، می‌تواند منعکس‌کننده جنبه‌های مختلف کیفیت فیزیکی خاک از جمله نفوذ آب، نفوذ ریشه و جرم مخصوص ظاهری باشد. در تحقیق حاضر دو خاک با بافت‌های لوم رسی از جنگل و لوم شنی از مرتع تبدیل‌شده به زراعت دیم در اطراف شهرستان کلپیر استان آذربایجان شرقی نمونه‌برداری و به صورت مصنوعی با اسید استئاریک در پنج غلظت متفاوت (جهت حصول پنج درجه مختلف آبگریزی) آبگریز شد و اثر آن بر منحنی رطوبتی خاک، ضرایب مدل ونگنوختن و شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) مورد بررسی قرار گرفت. برای نیل به اهداف مذکور بررسی‌ها در مقیاس آزمایشگاهی در استوانه‌های خاک دست‌خورده (در سه تکرار) انجام گرفت. نتایج نشان‌دهنده این بود که افزایش درجات آبگریزی (از درجه یک تا درجه پنج) در هر دو خاک بر منحنی رطوبتی خاک و ضرایب مدل ونگنوختن تأثیر معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) گذاشت. افزایش درجه آبگریزی از درجه یک تا پنج موجب شد تا مقدار شاخص S از ۰/۰۵۹۲ به ۰/۰۲۵۴ در خاک لوم شنی و از ۰/۰۶۸۱ به ۰/۰۵۳۷ در خاک لوم رسی کاهش یابد. مقایسه آماری بیانگر اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) ضرایب  $n$  و  $m$  مدل ونگنوختن و رطوبت اشباع، رطوبت باقیمانده، ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه عطف در درجات مختلف آبگریزی بود. ضریب  $\alpha$  مدل ونگنوختن خاک لوم شنی اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) در درجات مختلف آبگریزی پیدا کرد. اما در خاک لوم رسی تنها خاک با درجه ۲ آبگریزی موجب تغییر معنی‌دار  $\alpha$  مدل ونگنوختن شد.

واژه‌های کلیدی: آبگریزی، آزمون زمان نفوذ قطره آب، کیفیت فیزیکی خاک، منحنی نگهداری رطوبت خاک

## Effects of Soil Water Repellency on Soil Moisture Retention Curve and S-Index in Two Soils with Different Textures

H Beyrami<sup>1\*</sup>, MR Neyshabouri<sup>2</sup>, F Abbasi<sup>3</sup>, AH Nazemi<sup>4</sup>

Received: 27 July 2014 Accepted: 14 January 2015

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate, Soil Sc. Dept., University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Prof., Soil Sc. Dept., University of Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Prof., Water Engin. Dept., University of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: Beyrami.h@hotmail.com

### Abstracts

Water repellent soil is a soil that is not immediately wetted when a drop of water is placed on its surface. Soil water repellency is formed by complex waxy organic compounds. During the decomposition of the organic matters, these waxy compounds cover soil particles and the soil becomes water repellent. Due to the influence of the size and arrangement of the pores on soil water retention curve, the slope of the retention curve at its inflection point that has been defined as soil physical quality index (S), reflects different aspects of soil physical quality such as penetration of water, air and roots and bulk density. In this study, two clay loam and sandy loam soils from the forest and grassland (converted to dryland farming) around the Kaleybar city, East-Azərbayjan province (Iran), were sampled and artificially hydrophobized by stearic acid at different concentrations to obtain five different degrees of water repellency. The purpose was to investigate the effects of water repellency on soil water retention curve, van Genuchten model coefficients and soil physical quality or S index. To achieve these objectives, laboratory-scale studies were conducted in disturbed soil columns (in triplicate). Results indicated that with increasing water repellency (from degree 1 to 5) in both soils, soil water retention curve and van Genuchten coefficients were affected significantly ( $p < 5\%$ ). The S index decreased from 0.0592 to 0.0254 in sandy loam soil and from 0.0681 to 0.0537 in clay loam soil with increasing water repellency from degree 1 to 5. Statistical comparison indicated significant difference ( $p < 0.05$ ) in the values of the parameters  $n$  and  $m$  of van Genuchten model, saturation, field capacity, residual and inflection point moisture between various degrees of water repellency. The value of the  $\alpha$  in van Genuchten model varied significantly ( $p < 0.05$ ) among all of water repellency degrees in sandy loam, but in the clay loam only the second degree of water repellency significantly affected the value of  $\alpha$  in van Genuchten model.

**Keywords:** Soil moisture retention curve, Soil physical quality, Water drop penetration time test, Water repellency

موجب کاهش جذب آب توسط خاک برای دوره معین زمانی (چند ثانیه تا چندین روز) می‌گردد (کینگ ۱۹۸۱، دوئر و توماس ۲۰۰۰). عامل اصلی آبریزی مواد آبریز آزادشده توسط گیاهان (دکر و ریستما ۱۹۹۶، دوئر ۱۹۹۸)، فعالیت قارچی (جکس و همکاران ۱۹۸۵)، تجزیه

مقدمه

آبریزی زمانی رخ می‌دهد که زاویه تماس آب با سطح خاک بیشتر از ۹۰ درجه باشد. آبریزی به‌عنوان یک مشکل در خاک‌های نقاط مختلف دنیا شناخته شده است (والیس و هورن ۱۹۹۲). وقوع آبریزی در خاک‌ها

به این نتیجه رسید که شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن می‌تواند منعکس‌کننده جنبه‌های مختلف کیفیت فیزیکی خاک از قبیل نفوذ (آب، هوا و ریشه) و تراکم باشد. تعریف یا انتخاب شاخص‌های ارزیابی کیفی خاک برای تصمیم‌گیری و مدیریت بهتر خاک مفید است (امامی و همکاران ۱۳۸۷، ۱۳۸۹). استفاده از شاخص کیفیت به‌جای ویژگی‌های منفرد خاک برای بیان کمی کیفیت خاک ارجح است زیرا شاخص‌ها نمایانگر اثرات تجمعی یا برآیند ویژگی‌های خاک هستند (سینگ و خرا ۲۰۰۹). هر عامل خارجی که شکل منحنی رطوبتی و به‌ویژه شیب آن را در محدوده خیس تحت تأثیر قرار دهد، بر شاخص دکستر نیز اثر خواهد گذاشت. از جمله این عوامل می‌توان به کاربرد کود دامی و کود فسفاته (اوبیا ۲۰۱۱)، ماده آلی و کربنات کلسیم (امامی و همکاران ۱۳۸۷) و فوق جاذب-های پلیمری (حق‌شناس و بیگی ۱۳۸۹) اشاره کرد. این عوامل معمولاً با تأثیر مثبت بر ساختمان خاک می‌توانند باعث افزایش شاخص S دکستر شوند. با توجه به اثر آبریزی بر منحنی رطوبتی (بائوترز و همکاران ۲۰۰۰، بچمن و همکاران ۲۰۰۲)، شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف می‌تواند تغییر یابد.

دکستر (۲۰۰۴a) شاخص S را به‌عنوان شیب منحنی مشخصه آب خاک در نقطه عطف آن تعریف کرده است. این منحنی به‌صورت رطوبت خاک ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) در برابر لگاریتم مکش خاک رسم می‌گردد. دکستر برای به‌دست آوردن شاخص S از ضرایب مدل ونگنوختن (۱۹۸۰) برای منحنی رطوبتی استفاده نمود.

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r \quad [1]$$

که در آن  $\theta_s$  و  $\theta_r$  به ترتیب مقدار وزنی رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده خاک و  $h$  مکش خاک (cm) هست.  $\alpha$  فاکتور مقیاس ( $\text{cm}^{-1}$ ) برای  $h$  بوده و  $n$  و  $m$  ضرایب بدون بعد معادله هستند. ضرایب مذکور عموماً از طریق برازش مدل به داده‌های تجربی و با به‌کارگیری نرم‌افزار RETC (ونگنوختن و همکاران ۱۹۹۱) محاسبه می‌شوند. دکستر نشان داد که با داشتن آن ضرایب می‌توان شاخص S

مواد آلی (مکگی و پوسنر ۱۹۸۰) و آتش‌سوزی (دوئر و همکاران ۲۰۰۶) هست. آبریزی خاک‌ها در رشد گیاهان، هیدرولوژی سطحی، زیرسطحی و فرسایش خاک مؤثر هست و مطالعات فراوانی در مورد وقوع و اثرات هیدرولوژیکی آن منتشر شده است.

خاک‌های آبریز در مناطق متعدد از جمله: ایالات متحده (کارنوک و همکاران ۱۹۹۳)، هلند (ریتسما و دکر ۱۹۹۸، دکر و همکاران ۲۰۰۰، ریتسما و دکر ۲۰۰۳)، استرالیا (مک‌کیزوک و همکاران ۲۰۰۰)، آلمان (گرک و همکاران ۲۰۰۱، بوسزکو و همکاران ۲۰۰۲، تومر و همکاران ۲۰۰۵)، اسپانیا (رگالادو و ریتز ۲۰۰۵) و ایران (ذولفقاری و حاج‌عباسی ۱۳۸۷) گزارش شده‌اند. آبریزی در خاک‌های شنی، لوم، رسی، پیت و خاکستر آتشفشانی در نقاط مختلف مشاهده شده است (دبانو ۲۰۰۰). آبریزی در خاک‌های شنی بیشتر اتفاق می‌افتد، زیرا ذرات شن به علت سطح ویژه کم به سهولت توسط مواد آلی نسبت به ذرات رسی پوشش داده می‌شوند. با این حال آبریزی در خاک‌های با بافت سنگین نیز گزارش شده است (رگالادو و ریتز ۲۰۰۵).

منحنی مشخصه آب خاک یکی از ویژگی‌های مهم آن است که در آبیاری، زهکشی و فرسایش کاربرد دارد (رضایی و نیشابوری ۱۳۸۱). رابطه رطوبت خاک و پتانسیل ماتریک که تحت تأثیر پس‌ماند آب خاک قرار می‌گیرد با منحنی مشخصه آب خاک معرفی می‌شود. این منحنی اهمیت اساسی در فیزیک خاک دارد زیرا تأثیر ساختمان خاک، تخلخل، توزیع اندازه منافذ و جذب سطحی را بر نگهداری آب در خاک نشان می‌دهد (دربندی و همکاران ۱۳۸۴). تأثیر بسیاری از خصوصیات خاک (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) بر این ویژگی در شکل و رفتار منحنی مشخصه منعکس می‌شود. یوستوهال و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که قابلیت خیس شونده‌گی توان خاک برای نگهداری آب را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بائوترز و همکاران (۲۰۰۰) و بچمن و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که آبریزی با کاهشی که در جذب آب توسط خاک دارد، بر شکل منحنی رطوبتی خاک و شیب آن مؤثر باشد. دکستر (۲۰۰۴a,b) با توجه به تأثیرپذیری منحنی رطوبتی از اندازه و آرایش منافذ خاک

مدل ونگوختن و شاخص S در دو خاک با بافت لوم شنی و لوم رسی بود.

جدول ۱- تقسیم‌بندی شاخص کیفیت فیزیکی خاک ارائه شده توسط دکستر (۲۰۰۴c و ۲۰۰۶).

مقدار شاخص S	کیفیت فیزیکی خاک
$S \geq 0.50$	خیلی خوب
$0.35 > S \geq 0.50$	خوب
$0.20 > S \geq 0.35$	ضعیف
$S > 0.2$	خیلی ضعیف

### مواد و روش‌ها

دو خاک با بافت متفاوت لوم رسی (در عرض شمالی  $36^{\circ}30'50''$  و طول شرقی  $75^{\circ}03'46''$ ) از جنگل و لوم شنی (در عرض شمالی  $38^{\circ}51'43''$  و طول شرقی  $46^{\circ}04'47''$ ) از مرتع تبدیل شده به زراعت دیم در اطراف شهرستان کلپیر استان آذربایجان شرقی انتخاب شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.

(شیب منحنی در نقطه عطف) و رطوبت نقطه عطف را از روابط زیر محاسبه کرد.

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad [2]$$

$$\theta_{INFL} = (\theta_s - \theta_r) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_r \quad [3]$$

دکستر (۲۰۰۴c و ۲۰۰۶) بر اساس تجربه در خاک‌های متفاوت در مناطق مختلف، تقسیم‌بندی زیر (جدول ۱) را برای شاخص کیفیت فیزیکی خاک پیشنهاد نموده است.

انتظار می‌رود هر عاملی که بر شکل منحنی رطوبتی تأثیر داشته باشد، روی شاخص S نیز تأثیرگذار باشد. بر اساس تحقیقات دکستر (۲۰۰۴b,c) شاخص S در ارزیابی تأثیرپذیری خاک از تیمارها و مدیریت‌های مختلف به‌ویژه از جنبه خاک‌ورزی و مدیریت آبیاری و زهکشی بسیار مفید است. تاکنون تحقیق جامعی در مورد اثر آبریزی بر شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) صورت نگرفته است. لذا هدف این تحقیق بررسی تأثیر درجات مختلف آبریزی بر منحنی نگهداری آب خاک، ضرایب

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد استفاده در آزمایش.

ویژگی‌های خاک	خاک لوم‌شنی	خاک لوم‌رسی
شن (%)	۶۱	۳۱
سیلت (%)	۲۶	۳۹
رس (%)	۱۳	۳۰
جرم مخصوص ظاهری ( $\text{g cm}^{-3}$ )	۱/۴	۱/۳
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	۰/۱۴	۰/۵۶
pH عصاره گل اشباع	۷/۷۵	۷/۶
EC عصاره اشباع ( $\text{dS m}^{-1}$ )	۰/۴۱	۰/۷۸
کربنات کلسیم معادل (%)	۷/۷	۱۹
ماده آلی (%)	۲/۹۵	۳/۹۴

بسیار کم اسید استناریک در آب (لی‌لامانیه و همکاران ۲۰۰۸)، از استون به‌عنوان حلال در اضافه نمودن اسید

برای ایجاد درجات مختلف آبریزی از غلظت‌های متفاوت اسید استناریک استفاده شد. با توجه به حلالیت

رطوبتی خاک‌های فوق، در مکش‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰ و hPa از ستون‌های آب آویزان<sup>۲</sup> و برای مکش‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و hPa از دستگاه صفحات فشاری<sup>۳</sup> استفاده شد (کلوت ۱۹۸۶). در هر یک از مکش‌های مورد نظر رطوبت موجود در خاک به روش وزنی به دست آمد. در نهایت منحنی-های رطوبتی برای پنج درجه آبریزی در دو خاک فوق-الذکر با رسم رطوبت خاک در مقابل مکش حاصل شد. برای به دست آوردن ضرایب مدل ونگنوختن (معادله ۱) داده‌های حاصل از منحنی رطوبتی در نرم‌افزار RETC (ونگنوختن و همکاران ۱۹۹۱) وارد و سپس با اجرا نمودن برنامه مذکور، ضرایب  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  حاصل شد. در نهایت با استفاده از معادله ۲، مقدار رطوبت در نقطه عطف و شیب منحنی در نقطه عطف یا شاخص  $S$  در درجات مختلف آبریزی محاسبه گردید. برای آزمون آماری تأثیر آبریز و درجه‌های مختلف آن بر شاخص  $S$  از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

### نتایج و بحث

در جدول ۳ مقدار اسید استتاریک لازم برای آبریز نمودن خاک‌های مورد مطالعه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خاک لوم شنی در مقایسه با خاک لوم رسی با مقدار کمتری از اسید استتاریک به درجه بالاتری از آبریزی رسیده است. دلیل این امر سطح ویژه کمتر خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی می‌باشد. رگالدو و ریتز (۲۰۰۵) نیز به سهولت آبریز شدن خاک‌های درشت‌بافت در اثر پوشانده شدن ذرات خاک توسط مواد آلی به علت سطح ویژه پائین آن‌ها در مقایسه با خاک‌های ریزبافت اشاره نموده‌اند.

منحنی‌های رطوبتی (حاصل از میانگین رطوبت در مکش‌های مختلف در سه تکرار) دو خاک لوم شنی و لوم رسی در درجات مختلف آبریزی، در شکل ۱ (الف) و (ب) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ نیز

استتاریک به خاک استفاده شد. ابتدا مقدار اسید استتاریک لازم جهت رسیدن به درجات آبریزی متفاوت به صورت تجربی تعیین شد. به این ترتیب که محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت اسید استتاریک در استون تهیه و به مقدار مشخصی از خاک اضافه شد. پس از تبخیر کامل استون که حدود یک هفته طول کشید و خشک شدن خاک، زمان نفوذ قطره آب<sup>۱</sup> (WDPT) برای هر یک از این خاک‌ها اندازه‌گیری شد (دکر و ریتسما ۱۹۹۴). سپس با توجه به گروه‌بندی درجه آبریزی دکر و ریتسما (۱۹۹۴)، برای هر یک از دو خاک لوم شنی و لوم رسی چهار غلظت اسید استتاریک برای ایجاد چهار درجه مختلف آبریزی انتخاب شد (جدول ۳). حجم محلول اسید استتاریک در استون که به نمونه خاک‌ها اضافه می‌شد، طوری بود که آن‌ها را اشباع نماید تا نمونه‌ها به‌طور یکنواخت آبریز شوند.

جدول ۳- مقدار اسید استتاریک مورد نیاز برآورد شده با آزمون WDPT جهت ایجاد درجه‌های مشخص آبریزی در دو خاک مورد نظر.

مقدار اسید استتاریک مورد نیاز		درجه آبریزی
(g kg <sup>-1</sup> soil)		
خاک لوم رسی	خاک لوم شنی	
صفر	صفر	۱ (بدون آبریزی)
۱۴	۸	۲ (آبریزی جزئی)
۱۴/۵	۹	۳ (آبریزی زیاد)
۱۵	۹/۷	۴ (آبریزی شدید)
۲۰	۱۵	۵ (آبریزی خیلی شدید)

خاک‌های آبریز شده در ۵ درجه مختلف درون سیلندرهای نمونه‌برداری (قطر ۵ و ارتفاع ۴ سانتی‌متری) با چگالی ظاهری خشک ۱/۴ برای خاک لوم شنی و چگالی ظاهری خشک ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای خاک لوم رسی در سه تکرار پر شدند. این سیلندرهای آماده‌شده ابتدا با محلول CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار به رطوبت اشباع رسانده شدند. برای به دست آوردن منحنی

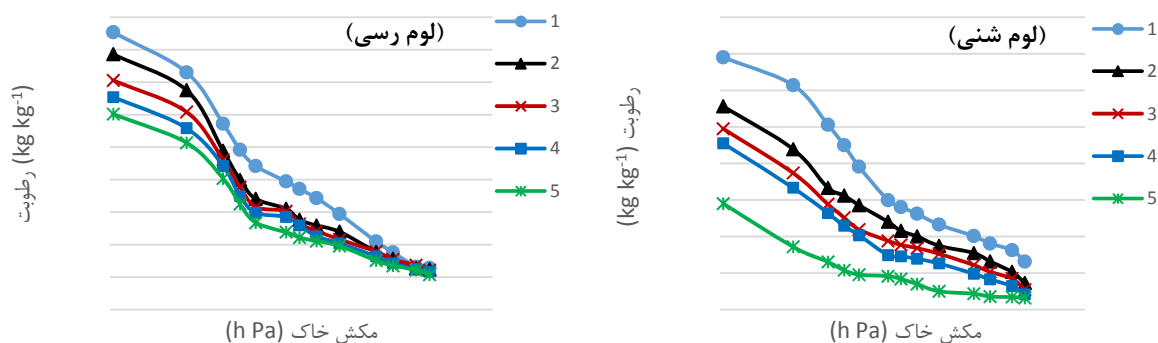
<sup>۳</sup> Pressure plate

<sup>۱</sup> Water drop penetration time

<sup>۲</sup> Hanging water column

در دسترس رطوبت به‌ویژه منافذ ریز با افزایش درجه آبگریزی و همچنین کاهش سطح جذب آب توسط ذرات خاک باشد. همچنین مقدار کاهش رطوبت در مکش‌های برابر، در خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی است. دلیل این امر می‌تواند سطح ویژه پایین خاک لوم شنی و در نتیجه بالاتر بودن اثر آبگریزی بر کاهش مؤثر سطح جذب و نگهداری آب در این خاک باشد. اثر آبگریزی بر منحنی رطوبتی خاک و مقدار نگهداری آب خاک توسط بئوترز و همکاران (۲۰۰۰) و بچمن و همکاران (۲۰۰۲) نیز بیان شده است. آنان در تحقیقات خود تفاوت قابل‌توجه بین منحنی نگهداری آب خاک آبریز و خاک غیر آبریز را گزارش نموده‌اند. بچمن و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که دلیل چنین تفاوتی می‌تواند به علت عدم یکنواختی توزیع رطوبت در سطح ذرات خاک آبریز باشد.

شاهد هستیم مقدار رطوبت اشباع به‌دست‌آمده در هر دو نو خاک با افزایش درجه آبگریزی به‌شدت کاهش‌یافته است. مقدار این کاهش در خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی بود به‌طوری‌که در خاک لوم شنی با افزایش درجه آبگریزی از درجه ۱ به درجه ۵ مقدار کاهش رطوبت اشباع حدود ۲۰ درصد بود، اما این مقدار برای خاک لوم رسی حدود ۱۳ درصد بود. دلیل این امر سطح ویژه کم خاک لوم شنی در مقایسه با خاک لوم رسی است که موجب می‌شود آبگریزی بر نگهداری رطوبت در خاک درشت‌بافت اثر بیشتری داشته باشد و با سهولت بیشتری با افزایش مکش رطوبت خود را از دست دهد. مقدار تغییرات رطوبت خاک در درجات مختلف آبگریزی در مکش (hPa) ۱۵۰۰۰ در خاک شنی در مقایسه با خاک لوم رسی بیشتر بود. همچنین با افزایش درجه آبگریزی، مقدار رطوبت کمتری در هر یک از مکش‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد که دلیل این امر می‌تواند کاهش منافذ



شکل ۱- منحنی رطوبتی برای درجات متفاوت آبگریزی در دو خاک لوم شنی و خاک لوم رسی.

با توجه به جدول ۴ دیده می‌شود که مقدار رطوبت اشباع و رطوبت باقیمانده (معادل مکش hPa ۱۵۰۰۰) در هر دو خاک با افزایش درجه آبگریزی کاهش‌یافته است که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود. با افزایش درجات آبگریزی در هر دو خاک اختلاف معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) برای رطوبت اشباع و رطوبت

ضرایب مدل ونگنختن به‌دست‌آمده توسط نرم-افزار RETC برای رطوبتی خاک لوم شنی و لوم رسی در درجات متفاوت آبگریزی به ترتیب در جدول ۴ آورده شده است. با استفاده از این ضرایب و بر اساس معادله ۲ مقدار رطوبت در نقطه عطف منحنی و شیب منحنی در این نقطه یا شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) در هر یک از درجات آبگریزی محاسبه شد (جدول ۵).

آبگریزی موجب اختلاف معنی‌دار ضریب  $\alpha$  در بین تمامی درجات آبگریزی گردید. افزایش درجات آبگریزی موجب اختلاف معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) ضرایب  $n$  و  $m$  در هر دو خاک شد. اینکه تغییرات ضرایب  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  با درجه آبگریزی از روند مشخص (نزولی یا صعودی) تبعیت نمی‌کند خیلی روشن نیست. شاید علت به ماهیت برآزش این ضرایب برمی‌گردد که نیاز به تحقیقات بیشتر در این موضوع است.

باقیمانده مشاهده می‌شود. ولی در هر دو خاک موردبررسی مقدار ضرایب  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  با افزایش درجه آبگریزی دارای تغییرات یکنواختی نبود و روند یکنواختی در تغییرات این ضرایب دیده نشد. علاوه بر این تفاوت معنی‌داری بین درجات مختلف آبگریزی از نظر ضریب  $\alpha$  در سطح احتمال پنج درصد برای خاک لوم رسی مشاهده نگردید (تنها در خاک آبگریز درجه ۲ با بقیه اختلاف معنی‌دار داشت) ولی در خاک لوم شنی افزایش درجه

جدول ۴- ضرایب مدل ونگوختن با استفاده از نرم‌افزار RETC برای خاک لوم شنی و لوم رسی.

خاک	درجه آبگریزی	$\theta_s$ (kg kg <sup>-1</sup> )	$\theta_r$ (kg kg <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (hPa <sup>-1</sup> )	$n$	$m$
لوم شنی	۱	۰/۳۹۵۲ <sup>e</sup>	۰/۱۱۵۷ <sup>e</sup>	۰/۰۶۹۴ <sup>a</sup>	۱/۴۲۷۴ <sup>d</sup>	۰/۲۹۹ <sup>d</sup>
	۲	۰/۳۲۸۲ <sup>d</sup>	۰/۰۸۶۵ <sup>d</sup>	۰/۱۸۵ <sup>b</sup>	۱/۳۱۱۲ <sup>a</sup>	۰/۲۳۷ <sup>a</sup>
	۳	۰/۲۹۷۶ <sup>c</sup>	۰/۰۷۷۴ <sup>c</sup>	۰/۲۴۱ <sup>d</sup>	۱/۳۰۸۴ <sup>a</sup>	۰/۲۳۶ <sup>a</sup>
	۴	۰/۲۷۷۵ <sup>b</sup>	۰/۰۷۰۹ <sup>b</sup>	۰/۲۱۴ <sup>c</sup>	۱/۳۳۲۷ <sup>b</sup>	۰/۲۵۰ <sup>b</sup>
	۵	۰/۱۹۵۱ <sup>a</sup>	۰/۰۶۵۸ <sup>a</sup>	۰/۴۲۷ <sup>e</sup>	۱/۳۲۸۷ <sup>c</sup>	۰/۲۷۷ <sup>c</sup>
لوم رسی	۱	۰/۵۲۷۰ <sup>e</sup>	۰/۱۶۴۱ <sup>e</sup>	۰/۱۰۸ <sup>a</sup>	۱/۳۵۸۵ <sup>a</sup>	۰/۲۶۴ <sup>a</sup>
	۲	۰/۴۹۳۲ <sup>d</sup>	۰/۱۶۲۱ <sup>d</sup>	۰/۱۱۱ <sup>b</sup>	۱/۴۴۲۴ <sup>c</sup>	۰/۳۰۷ <sup>c</sup>
	۳	۰/۴۵۳۰ <sup>c</sup>	۰/۱۶۰۶ <sup>c</sup>	۰/۱۰۷ <sup>a</sup>	۱/۴۳۰۹ <sup>b</sup>	۰/۳۰۱ <sup>b</sup>
	۴	۰/۴۲۷۲ <sup>b</sup>	۰/۱۵۸۶ <sup>b</sup>	۰/۱۰۷ <sup>a</sup>	۱/۴۲۸۹ <sup>b</sup>	۰/۳۰۰ <sup>b</sup>
	۵	۰/۴۰۱۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۳۸ <sup>a</sup>	۰/۱۰۶ <sup>a</sup>	۱/۴۴۲۵ <sup>c</sup>	۰/۳۰۷ <sup>c</sup>

\*\* تفاوت مقادیری که در هر بخش از هر ستون حروف غیرمشابه دارند در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است.

\*\* $\theta_r$  و  $\theta_s$  مقادیر اندازه‌گیری شده هستند.

خاک لوم شنی شاخص S از ۰/۰۵۹۲ در خاک شاهد (درجه آبگریزی ۱) کاهش یافته و به ۰/۰۲۵۴ در خاک با آبگریزی خیلی شدید (درجه آبگریزی ۵) رسیده است. با توجه به تقسیم‌بندی شاخص کیفیت فیزیکی خاک دکستر (۲۰۰۴a و ۲۰۰۶) خاک شاهد لوم شنی که آبگریز نیست، با  $S=0/0592$  از نظر کیفیت فیزیکی در دامنه خیلی خوب ( $S \geq 0/050$ ) قرار دارد. افزایش درجه آبگریزی باعث شده تا این خاک در درجات آبگریزی ۲، ۳ و ۴ از نظر کیفیت فیزیکی در دامنه خوب ( $0/025 \geq S > 0/050$ ) قرار گیرد. با افزایش درجه آبگریزی خاک لوم شنی به درجه ۵ (آبگریزی خیلی شدید) مشاهده شد که این خاک از نظر کیفیت فیزیکی در دامنه ضعیف ( $0/020 \geq S > 0/025$ ) قرار

همان‌گونه که در جدول ۵ دیده می‌شود با افزایش آبگریزی خاک مقدار رطوبت در نقطه عطف کاهش یافته است. مقدار رطوبت در نقطه عطف در تمامی درجات آبگریزی برای خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی است. مقادیر شاخص آورده شده در جدول ۵ نشان‌دهنده این است که به‌طورکلی در خاک لوم رسی مقدار این شاخص بالاتر از خاک لوم شنی در درجات متفاوت آبگریزی است. بنابراین بر اساس تقسیم‌بندی کیفیت فیزیکی خاک ارائه‌شده توسط دکستر (۲۰۰۴a و ۲۰۰۶) خاک لوم رسی دارای کیفیت فیزیکی بهتری بود. تغییرات شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S) با افزایش آبگریزی در جدول ۵ به‌وضوح مشاهده می‌گردد. نتایج بیان‌گر این است که با افزایش درجه آبگریزی در

آبگریزی موجب عدم دسترسی به تخلخل ریز ساختمانی و تخلخل بافتی<sup>۵</sup> برای رطوبت شده و کاهش شاخص کیفیت فیزیکی خاک را در پی داشته است.

در خاک لوم رسی مقدار شاخص S در خاک شاهد از ۰/۰۶۸۱ به ۰/۰۷۱۹ در درجه آبگریزی دو افزایش یافته و سپس دارای روند کاهشی تا S=۰/۰۵۳۷ در آبگریزی خیلی شدید هست. با توجه به تقسیم‌بندی دکستر این خاک در تمامی درجات آبگریزی در دامنه خیلی خوب (S ≥ ۰/۰۵۰) از لحاظ کیفیت فیزیکی خاک قرار می‌گیرد. کاهش شاخص S در این خاک آن‌چنان نبوده که باعث افت قابل‌توجه کیفیت فیزیکی خاک شود.

می‌گیرد. دکستر (۲۰۰۴a) بیان نموده است که در دامنه S بین ۰/۰۲ و ۰/۰۳ مقدار کمی ریشه قابلیت رشد دارند، بنابراین خاک لوم شنی در آبگریزی خیلی شدید محدودیت رشد ریشه وجود خواهد داشت. بیگی و بنی طالبی (۱۳۹۲) گزارش نمودند که خاک‌هایی با شاخص S بالاتر از ۰/۰۳۵ نشان‌دهنده ساختمان خوب آن‌ها هست و ساختمان ضعیف خاک باعث کاهش آب قابل استفاده گیاه می‌شود، زیرا در حالت مرطوب با کاهش تهویه خاک و در حالت خشک با افزایش مقاومت، رشد ریشه را محدود می‌نماید. شاخص S که شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف هست بسیار تأثیرپذیر از تخلخل ساختمانی ریز<sup>۴</sup> است (دکستر ۲۰۰۴a). به نظر می‌رسد افزایش

جدول ۵- مقادیر شاخص S و رطوبت در نقطه عطف در درجات مختلف آبگریزی.

خاک لوم رسی				خاک لوم شنی				درجه آبگریزی
AW	$\theta_{FC}$	$\theta_{NFL}$	S	AW	* $\theta_{FC}$	$\theta_{NFL}$	S	
۰/۱۹	۰/۳۸۶ <sup>e</sup>	۰/۲۴۰۰ <sup>e</sup>	۰/۰۶۸۱ <sup>d</sup>	۰/۱۹	۰/۳۰۳ <sup>e</sup>	۰/۱۸۰۱ <sup>e</sup>	۰/۰۵۹۲ <sup>e</sup>	۱
۰/۱۸	۰/۳۴۴ <sup>d</sup>	۰/۲۱۲۳ <sup>d</sup>	۰/۰۷۱۹ <sup>e</sup>	۰/۱۳	۰/۲۱۷ <sup>d</sup>	۰/۱۶۳۴ <sup>d</sup>	۰/۰۴۱۱ <sup>d</sup>	۲
۰/۱۸	۰/۳۳۱ <sup>c</sup>	۰/۱۸۸۲ <sup>c</sup>	۰/۰۶۲۳ <sup>c</sup>	۰/۱۱	۰/۱۹۴ <sup>c</sup>	۰/۱۴۹۰ <sup>c</sup>	۰/۰۳۷۲ <sup>c</sup>	۳
۰/۱۶	۰/۳۲۱ <sup>b</sup>	۰/۱۷۳۰ <sup>b</sup>	۰/۰۵۷۱ <sup>b</sup>	۰/۱۱	۰/۱۸۲ <sup>b</sup>	۰/۱۳۸۲ <sup>b</sup>	۰/۰۳۶۸ <sup>b</sup>	۴
۰/۱۵	۰/۳۰۲ <sup>a</sup>	۰/۱۵۸۵ <sup>a</sup>	۰/۰۵۳۷ <sup>a</sup>	۰/۰۵	۰/۱۱۵ <sup>a</sup>	۰/۰۸۴۶ <sup>a</sup>	۰/۰۲۵۴ <sup>a</sup>	۵

- حروف کوچک متفاوت انگلیسی در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تفاوت در هر یک از دو خاک است (p < ۰/۰۵).  
\* رطوبت معادل ۲۳ کیلوپاسکال

گردید (از ۰/۳ تا ۰/۱۱، جدول ۵) که این امر باعث می‌گردد تا آب قابل‌دسترس خاک (اختلاف رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم) به‌شدت کاهش یابد.

### نتیجه‌گیری کلی

در خاک‌های مورد مطالعه افزایش درجه آبگریزی باعث کاهش مقدار رطوبت اشباع و رطوبت باقی‌مانده، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و در نهایت کاهش مقدار آب قابل‌دسترس گردید. بنابراین درجات بالای آبگریزی می‌تواند مشکل فراهمی آب برای گیاهان را در پی داشته باشد. همچنین افزایش درجه آبگریزی موجب تغییر

آزمون آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد که علاوه بر شاخص S، افزایش درجات آبگریزی موجب اختلاف معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) رطوبت در نقطه عطف ( $\theta_{NFL}$ ) و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ( $\theta_{FC}$ ) در هر دو خاک شده است (جدول ۵). مقدار تغییرات رطوبت باقیمانده (رطوبت پژمردگی دائم) نسبت به رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (مکش معادل ۳۳۰ hPa) در اثر افزایش درجه آبگریزی کمتر بود. با افزایش درجه آبگریزی از درجه ۱ تا درجه ۵ کاهش شدید رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به‌خصوص در خاک لوم شنی مشاهده

<sup>۵</sup> Textural porosity

<sup>۴</sup> Microstructural porosity



لوم رسی بیشتر بود. این امر نشان‌دهنده اثر بیشتر آبریزی در خاک‌های درشت‌بافت بر نگهداری رطوبت و کیفیت فیزیکی آن‌ها است. با توجه به اثری که آبریزی بر نگهداری آب خاک دارد، پیشنهاد می‌گردد که علاوه بر شاخص S، اثر آبریزی بر روی فراهمی آب خاک برای گیاه نیز از جنبه‌های مختلف (قابلیت نفوذ آب به خاک، پخشیدگی رطوبت و غیره) مورد بررسی قرار گیرد.

معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) ضرایب منحنی رطوبتی مدل ونگنوختن (به‌غیر از ضریب  $\alpha$  در خاک لوم رسی) در مقایسه با شاهد و به‌ویژه کاهش شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف یا شاخص S شد. علاوه بر این نتایج بیانگر این بود که مقدار رطوبت در نقطه عطف منحنی رطوبتی تحت تأثیر درجه آبریزی خاک قرار داشته و با افزایش آبریزی خاک مقدار آن کاهش یافت. بررسی‌ها نشان داد که کاهش کیفیت فیزیکی خاک با افزایش درجه آبریزی در خاک لوم شنی نسبت به خاک

#### منابع مورد استفاده

- امامی ح، شرفا م، نیشابوری مر و لیاقت ع، ۱۳۸۷. برآورد شاخص کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک در تعدادی از خاک‌های شور و آهکی. مجله تحقیقات آب‌و خاک ایران، جلد ۳۹، شماره ۱، صفحه‌های ۳۹ تا ۴۶.
- امامی ح، لکزیان ا و مهاجرپور م، ۱۳۸۹. رابطه بین شیب منحنی رطوبتی و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک. مجله آب‌و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، صفحه‌های ۱۰۲۷ تا ۱۰۳۵.
- بیگی هرچگانی ح و بنی طالبی گ، ۱۳۹۲. اثر رژیم‌های کاربرد درازمدت پساب شهری بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک (مطالعه موردی: مزارع طاقانک شهرکرد). نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۵، صفحه‌های ۱۰۴۶ تا ۱۰۵۶.
- دربندی ص، نیشابوری مر و ناظمی اح، ۱۳۸۴. بررسی کاربری مدل‌های مختلف برای برآورد منحنی‌های مشخصه رطوبتی. دانش کشاورزی، جلد ۱۵، شماره ۴، صفحه‌های ۵ تا ۴۱.
- حقوق‌شناس م و بیگی ح، ۱۳۸۹. اثر ژئولیت میانه بر ظرفیت نگهداری و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لوم رسی. مجله پژوهش آب ایران، جلد ۴، شماره ۶، صفحه‌های ۳۵ تا ۴۲.
- ذوالفقاری عا و حاج‌عباسی مع، ۱۳۸۷. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و آبریزی خاک در مراتع فریدون‌شهر و جنگل‌های لردگان. آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحه‌های ۲۵۱ تا ۲۶۲.
- رضایی ع، نیشابوری مر، ۱۳۸۱. تخمین منحنی خصوصیات آب خاک از منحنی توزیع اندازه ذرات، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک. دانش کشاورزی. جلد ۱۲، شماره ۳. صفحه‌های ۲۹ تا ۳۷.
- Bachmann J, Rienk R and Ploeg V, 2002. A review on recent developments in soil water retention theory; interfacial tension and temperature effects. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 468-478.
- Bauters TWJ, Steenhuis TS, DiCarlo DA, Nieber JL, Dekker LW, Ritsema CJ, Parlange JY and Haverkamp R, 2000. Physics of water repellent soils. *Journal of Hydrology* 231-232: 233-243.
- Buczko U, Bens O, Fischer H and Huttl RF, 2002. Water repellency in sandy luvisols under different forest transformation stages in northeast Germany. *Geoderma* 109: 1-18.
- DeBano LF, 2000. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology* 231-232: 4-32.
- Dekker LW and Ritsema CJ, 1994. How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research* 30: 2507-2517.
- Dekker LW, Ritsema CJ and Oostindie K, 2000. Extent and significance of water repellency in dunes along the Dutch coast. *Journal of Hydrology* 231-232: 112-125.
- Dekker LW and Ritsema CJ, 1996. Preferential flow paths in a water repellent clay soil with grass cover. *Water Resources Research* 32:1239-1249.
- Dexter AR, 2004a. Soil physical quality. Part I: theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.

- Dexter AR, 2004b. Soil physical quality. Part II: friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* 120: 215–225.
- Dexter AR, 2004c. Soil physical quality. Part III: unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma* 120: 227–239.
- Dexter AR, 2006. Applications of S-theory in tillage research. Pp. 429–442. Proc. ISTRO 17th Trienn. Conf., 28 August–3 September, Kiel, Germany.
- Doerr SH, 1998. On standardizing the ‘water drop penetration time’ and the ‘molarity of an ethanol droplet’ techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 663–668.
- Doerr SH and Thomas AD, 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology* 231–232: 134–147.
- Doerr SH, Shakesby RA, Blake WH, Chafer CJ, Humphreys GS and Wallbrink PJ, 2006. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology* 319: 295–311.
- Gerke HH, Hangen E, Schaaf W and Huttl RF, 2001. Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine soil afforested with *Pinus nigra*. *Geoderma* 102: 255–274.
- Jex GW, Bleakley BH, Hubbell DH and Munro LL, 1985. High humidity-induced increase in water repellency in some sandy soils. *Soil Science Society of America Journal* 49: 1177–1182.
- Karnok KA, Rowland LJ and Tan KH, 1993. High pH treatments and the alleviation of soil hydrophobicity on golf greens. *Agronomy Journal* 85: 983–986.
- King PM, 1981. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Research* 19: 275–285.
- Klute A, 1986. Water retention: laboratory methods. Pp. 635–662. In: Klute A (ed). *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods, Part1*, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Leelamanie DAL, Karube J and Yoshida A, 2008. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand. *Soil Science and Plant Nutrition* 54:179–187.
- McGhie DA, Posner AM, 1980. Water repellence of a heavy textured western Australia surface soil. *Australian Journal of Soil Research* 18: 309–323.
- McKissock I, Walker EL, Gilkes RJ and Carter DJ, 2000. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work. *Journal of Hydrology* 231–232: 323–332.
- Obia A, 2011. Use of soil amendments as adaptation strategy for global climate change. MSc thesis. University of Ghent, Belgium.
- Ritsema CJ and Dekker LW, 1998. Three-dimensional patterns of moisture, water repellency, bromide and pH in a sandy soil. *Journal of Contaminant Hydrology* 31: 295–313.
- Ritsema CJ and Dekker LW, 2003. *Soil water repellency: occurrence, consequences and amelioration*. Elsevier, New York, USA, 352 p.
- Regalado CM and Ritter A, 2005. Characterizing water dependent soil repellency with minimal parameter requirement. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1955–1966.
- Singh MJ and Khera KL, 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. *Arid Land Research and Management* 23: 152–167.
- Tumer K, Stoffregen H and Wessolek G, 2005. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content. *Geoderma* 125: 107–115.
- Ustohal P, Stauffer F and Dracos T, 1998. Measurement and modeling of hydraulic characteristics of unsaturated porous media with mixed wettability. *Journal of Contaminant Hydrology* 33(1–2): 5–37.
- Van Genuchten MT, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892–898.
- Van Genuchten MT, Leij FJ and Yates SR, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Research Report No, 600/2-91/065. USDA, ARS, Salinity Research Laboratory. Riverside, CA.
- Wallis MG and Horne DJ, 1992. Soil water repellency. *Advances in Soil Science* 20: 91–146.