

## اثر بقایای پسته و شوری بر آب‌گریزی پویا و ایستا در سه خاک آهکی با بافت متفاوت

مریم امجدیان، سید علی اکبر موسوی<sup>1</sup> و عبدالمجید رونقی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ haniyeamjadian@gmail.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aamousavi@gmail.com

استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ amronaghi@yahoo.com

دریافت: 96/8/22 و پذیرش: 97/2/25

### چکیده

شوری و کمبود مواد آلی از مشکلات اساسی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. استفاده از بقایا در حضور شوری می‌تواند اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک داشته باشد. در این تحقیق اثر کاربرد صفر، 1/5٪، 3٪ و 4/5 درصد بقایای پسته و اثر هدایت الکتریکی (شوری) آب در سه سطح 8.4 و 12 دسی‌زیمنس بر متر بر آب‌گریزی در سه خاک رس سیلتی، لومی و شن لومی بررسی شد. آب‌گریزی‌های ایستا و پویا به ترتیب با روش‌های اندازه‌گیری زاویه تماس تعادلی و مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک تعیین شدند. میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک در خاک‌های رس سیلتی، لومی و شن لومی مورد مطالعه به ترتیب حدود  $70 \pm 2/5$ ،  $65 \pm 2/6$  و  $62 \pm 3/4$  درجه و مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به این خاک‌ها به ترتیب  $35 \pm 2/6$ ،  $26 \pm 1/6$  و  $18 \pm 0/6$  ثانیه بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که آب‌گریزی ایستا در خاک ریزبافت به ترتیب 7٪ و 13٪ و آب‌گریزی پویا نیز به ترتیب به میزان 24٪ و 95٪ بیشتر از خاک‌های متوسط و درشت‌بافت مورد مطالعه بود. شوری اثر معنی‌داری بر آب‌گریزی ایستا و پویای خاک نداشت. اما در شوری 12 دسی‌زیمنس بر متر، آب‌گریزی ایستای خاک رس سیلتی به میزان 7٪ در مقایسه با شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر بیشتر بود. کاربرد همه سطوح بقایای پسته آب‌گریزی ایستا و پویای خاک‌ها را افزایش داد، به جز در خاک رس سیلتی که اثر بقایا بر آب‌گریزی ایستا معنی‌دار نبود. به‌طور کلی، سطوح شوری آب بر میانگین هر دو آب‌گریزی ایستا و پویای خاک اثر معنی‌داری نداشت در حالی که کاربرد بقایا (به جز 4/5٪) سبب افزایش معنی‌دار هر دو آب‌گریزی ایستا و پویای خاک شد. البته با توجه با اینکه در مدت زمان استفاده شده در این پژوهش ممکن است بقایا کاملاً پوسیده نشده باشند بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر کاربرد بقایا بر ویژگی‌های خاک در زمان‌های طولانی‌تر یا در زمان‌های مختلف پس از کاربرد نیز بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: رس سیلتی، زاویه تماس، شن لومی، شوری آب، لوم، مدت زمان نفوذ قطره آب

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی - دانشگاه شیراز، بخش علوم خاک

پسته یکی از محصولات ارزشمند کشاورزی کشور ایران است که عمدتاً در استان‌های کرمان، یزد و خراسان رضوی و جنوبی و فارس در سطوح وسیعی کشت شده و با کیفیت مطلوب به اغلب نقاط دنیا صادر می‌شود. آماده‌سازی و فرآوری این محصول از جمله خارج کردن شاخ و برگ و خوشه‌های اضافی و پوسته سبز رویی در واحدهای آماده‌سازی و فرآوری پسته انجام و پوسته‌ها کاملاً از خوشه و پوسته سبز جدا شده و آماده اجرای سایر فرآوری‌های لازم می‌شوند. در مسیر آماده‌سازی، مقادیر زیادی ضایعات و بقایا تولید می‌شود و سالانه هزینه‌های زیادی برای دفن و یا رهایی از سوزاندن این بقایا مصرف می‌شود، حال آنکه می‌توان از این بقایای گیاهی به عنوان کود در کشاورزی (شیرانی، 1390) و ماده اولیه برخی تولیدات صنعتی استفاده نمود (کاظمی، 2010).

در بسیاری از نقاط دنیا، بارش سالیانه برای رفع نیاز آبی انواع کشت‌ها کفایت نمی‌کند و هرگونه افزایش آب به خاک چه از طریق خیز موئینگی از آب‌خوان‌های کم‌عمق و چه از طریق آبیاری، با افزایش غلظت نمک‌ها در خاک همراه می‌باشد، زیرا در کلیه آب‌هایی که در طبیعت یافت می‌شوند مقادیر متفاوتی از املاح محلول وجود دارد. این نمک‌ها معمولاً کلریدها و سولفات‌های سدیم، کلسیم و پتاسیم بوده که از حلالیت قابل توجهی برخوردارند. تا زمانی که آب اضافه شده به خاک، تنها به اندازه آب مورد نیاز برای جبران تبخیر و تعرق از خاک و گیاه باشد، شور شدن خاک نیز قطعی است. بنابراین خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره در معرض شور شدن هستند (بای بوردی، 1388). همان‌گونه که گفته شد گیاه پسته در مناطقی از ایران کشت می‌شود که از نظر شرایط آب و هوایی جز مناطق خشک و نیمه-خشک به حساب می‌آید و مشکل کم‌آبی یا شور شدن آب‌های زیرزمینی از مشکلات عمده کشاورزان و باغداران این مناطق است. همچنین این مناطق با کمبود ماده آلی در خاک مواجه هستند که افزودن بقایا به این خاک‌ها می‌تواند اثرات مثبت چشمگیری بر ویژگی‌های مختلف خاک داشته باشد. آب‌گریزی نیز یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که می‌تواند از یک طرف منجر به جلوگیری از نفوذ آب به خاک و ایجاد مشکل در تأمین آب مورد نیاز ریشه گیاه و از طرفی ایجاد رواناب و فرسایش خاک و پیامدهای نامطلوب مرتبط با آن شود. عوامل متعددی بر میزان و شدت آب‌گریزی خاک و همچنین دوام آن در خاک مؤثرند (دور و همکاران،

2000؛ لتی و همکاران، 2000؛ سپهرنیا و همکاران، 2016 و 2017). ترکیبات اصلاح‌کننده مختلف آلی و معدنی که به منظور اصلاح ویژگی‌های خاک به آن افزوده می‌شوند بر آب‌گریزی خاک مؤثرند. زارعی و همکاران (1394) اثر اصلاح‌کننده‌های آلی (پلی‌وینیل‌استات و پلی‌اکریل‌امید هر یک در چهار سطح صفر، 0/05، 0/1 و 0/2 گرم در کیلوگرم خاک) و معدنی (پوکه معدنی و پرلیت هر یک در چهار سطح صفر، 0/5، 1 و 2 گرم در کیلوگرم خاک) را بر آب‌گریزی ایستا و پویای خاک بررسی و گزارش کردند که کاربرد پلی‌اکریل‌امید، پوکه معدنی و پرلیت سبب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی ایستا و پویای خاک شد، در حالی‌که پلی‌وینیل‌استات سبب افزایش معنی‌دار آب-گریزی ایستا شد. آنها بیان کردند پلی‌اکریل‌امید، پوکه معدنی و پرلیت به‌عنوان مواد به‌ساز خاک در مقادیر اضافه شده تا حدی می‌توانند در کاهش آب‌گریزی خاک و در نتیجه افزایش میزان جذب آب به خاک مؤثر باشند البته اثر اصلاح‌کننده پرلیت در کاهش آب‌گریزی پویای خاک بیش از سایر اصلاح‌کننده‌ها می‌باشد.

بقایای پسته نیز یکی از مواد آلی طبیعی می‌باشند که ممکن است آب‌گریزی خاک را تحت تأثیر قرار دهند. در زمینه تأثیر مواد آلی بر آب‌گریزی (زاویه تماس تعادلی آب با خاک) به ویژه در خاک‌های آهکی و مناطق خشک و نیمه‌خشک اطلاعات بسیار کمی در دسترس است اما به‌طور کلی می‌توان گفت مواد آلی اغلب خاصیت آب-گریزی دارند که این ویژگی در مواد آلی مختلف، متفاوت است (لامانی و کاروب، 2010). در این زمینه لامانی و کاروب (2010) اذعان داشتند که در تیمارهایی که حاوی مواد آلی غیرآب‌گریز هستند، با افزایش میزان رس کاتولینیت، زاویه تماس تعادلی آب با خاک نیز افزایش می‌یابد، که می‌تواند به کم بودن انرژی سطحی رس کاتولینیت مرتبط باشد. اما در مورد تیمارهای حاوی مواد آلی آب‌گریز، با افزایش رس، زاویه تماس تعادلی آب با خاک کاهش یافت. ماتاایکس و دورا (2004) نشان دادند در خاک جنگل‌های سوخته اسپانیا، آب‌گریزی با ماده آلی رابطه مستقیم دارد و با افزایش آب‌گریزی، پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین واسلیوس و همکاران (2013) نشان دادند که استفاده از پساب حاصل از فرآوری (روغن‌کشی) زیتون به دلایل زیر سبب کاهش آب‌گریزی خاک درشت بافت می‌شود: الف) افزایش نفوذ پساب به خاک به دلیل حضور اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه در پساب، ب) افزایش فعالیت زیستی و در نتیجه تخریب بیشتر مواد روغنی، موم‌ها، اسیدهای چرب و سایر ترکیباتی که سبب آب‌گریزی خاک می‌شوند، ج) افزایش

Xerochrepts) از خاک‌های سری پمپ نمازی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و خاک شن لومی به- صورت دست‌ساز با مخلوط کردن خاک لوم‌شنی سری کوی اساتید (Loamy-skeletal over fragmental carbonatic mesic Fluventic Xerorthents) واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (ابطحی و همکاران، 1370) با شن‌های رودخانه‌ای جمع‌آوری شده از منطقه سیوند واقع در 40 کیلومتری شمال شهر مرودشت با نسبت 2 به 3 تهیه شد.

پس از هوا خشک کردن و گذراندن خاک‌ها از الک 2 میلی‌متری، برخی ویژگی‌های معمول فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و اور، 2002)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (رودز، 1996)، درصد ماده آلی و کربن آلی به روش ترسوزانی (نلسون و سامرز، 1996)، مقدار فسفر قابل استفاده به روش اولسن (اولسن و همکاران، 1954)، غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی شامل آهن، منگنز، مس و روی به وسیله عصاره-گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (لیندسی و نورول، 1978)، پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک و به روش شعله‌سنجی (اسپارکس و همکاران، 1996) و مقدار pH خاک توسط دستگاه pH متر در گل اشباع (توماس، 1996) و رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه سلول فشاری اندازه‌گیری شد (جدول 1).

قابلیت دسترسی ترکیبات آب‌گریز نامحلول در آب به- دلیل افزایش سطح ویژه و افزایش حلالیت این ترکیبات. همان‌گونه که گفته شده مواد آلی مختلف می‌توانند با درجات متفاوتی بر آب‌گریزی خاک مؤثر باشند. به نظر می‌رسد شوری خاک نیز از طریق تأثیر بر پتانسیل اسمزی خاک و همچنین تأثیر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ساختمان خاک بتواند بر آب‌گریزی خاک مؤثر باشد. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی در ارتباط با اثر شوری و بقایای پسته بر آب‌گریزی خاک به‌ویژه در خاک‌های آهکی با بافت‌های متفاوت انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف شوری و بقایای پسته بر میزان آب‌گریزی (زاویه تماس تعادلی آب با خاک) در سه خاک آهکی با بافت‌های متفاوت انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

در این پژوهش خاک‌هایی با سه کلاس بافت متمایز شامل کلاس بافت‌های رس سیلتی، لوم شنی و لوم از لایه 0-30 سانتی‌متری سطح خاک تهیه و جهت کشت گیاه آماده شد. خاک رس سیلتی (Typic calcixerepts) از خاک‌های تحت کشت مزارع برنج در منطقه کوه‌سبز واقع در 10 کیلومتری غرب شهر مرودشت (خرمالی، 1382)، خاک لوم (Fine, mixed, mesic, Fluventic)

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک‌های مورد مطالعه			ویژگی
شن لومی	لومی	رس سیلتی	
11 (±0/3)	25 (±0/8)	40 (±1/2)	رس (درصد)
7 (±0/2)	30 (±0/8)	44 (±1/4)	سیلت (درصد)
82 (±2/8)	45 (±1/1)	16 (±0/8)	شن (درصد)
شن لومی	لومی	رس سیلتی	کلاس بافت خاک
23 (±1/2)	45 (±1/5)	48 (±1/4)	رطوبت اشباع (درصد)
21 (±1/1)	30 (±1/1)	28 (±0/8)	رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد)
7/4 (±0/1)	7/7 (±0/1)	7/6 (±0/1)	pH
0/04	0/8 (±0/06)	1/5 (±0/08)	ماده آلی (درصد)
0/73 (±0/04)	1/35 (±0/08)	2/5 (±0/1)	هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)
50 (±2/8)	33 (±1/8)	38 (±1/9)	کربنات کلسیم معادل (درصد)
156 (±11)	351 (±16)	819 (±33)	پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
11 (±0/7)	23 (±0/8)	17 (±0/5)	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
1/5 (±0/1)	0/8 (±0/05)	1 (±0/04)	مس (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
0/04 (±0/003)	0/9 (±0/008)	0/05 (±0/004)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
3 (±0/06)	2 (±0/08)	5 (±0/3)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
8 (±0/7)	4 (±0/2)	11 (±0/8)	منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)

مقادیر استفاده شده به‌ویژه تا سطح 3 درصد، مقادیر معمول برای کاربرد کودهای حیوانی و آلی در فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند و 5- نهایتاً اینکه در این پژوهش برای مقایسه اثر سطوح بقایا و در نظر گرفتن اثر سطوح خیلی کم و خیلی زیاد بقایا، سطوح مختلف به صورت گفته شده در نظر گرفته شد). مقادیر مورد نیاز از هر خاک پس از عبور از الک 4 میلی‌متری به صورت بسته‌های پنج کیلوگرمی در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و مقادیر ذکر شده از بقایای پسته یکساله جمع‌آوری شده از باغات پسته رفسنجان پس از آسیاب و عبور از الک 2 میلی‌متری به خاک‌ها افزوده شد. برخی ویژگی‌های بقایای پسته مورد استفاده با روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری و در جدول 2 نشان داده شده است. عناصر غذایی لازم نیز بر اساس نتایج آزمون خاک و از منابع نمک‌های محلول عناصر و به صورت یکنواخت به همه خاک‌ها افزوده شد. خاک موجود در کیسه‌ها پس از خشک شدن به‌طور کامل بهم زده و مخلوط شد. پس از اطمینان از مخلوط شدن کامل عناصر و بقایا با خاک، خاک‌ها به گلدان‌های پلاستیکی 5 کیلوگرمی استوانه‌ای شکل با قطر بالا و پایین به ترتیب برابر حدود 25 و 20 سانتی‌متر و ارتفاع 25 سانتی‌متر منتقل شدند (لازم به ذکر است خاک‌ها به گونه‌ای در گلدان‌ها قرار داده شدند که چگالی ظاهری خاک نزدیک به مقادیر طبیعی و حدود 1/3 تا 1/4 گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد).

تیمارهای مورد استفاده عبارت از چهار سطح بقایای پسته (صفر، 1/5، 3 و 4/5 درصد وزنی)، سه سطح شوری از منابع کلرید سدیم و کلسیم (4، 8 و 12 دسی-زیمنس بر متر) و سه خاک با کلاس‌های بافت رس سیلتی، لوم و شن‌لومی در سه تکرار بودند (لازم به ذکر است برای انتخاب سطوح ذکر شده بقایای پسته در این پژوهش و عملی بودن کاربرد آنها می‌توان به دلایل زیر اشاره نمود: 1- با توجه به اینکه بقایای پسته بر خلاف سایر بقایای گیاهی کمتر در سایر موارد مانند خوراک دام و ... استفاده می‌شوند و بنابراین عمدتاً به عنوان مواد زاید، دورریز و مزاحم محسوب می‌شوند.

بنابراین برای تهیه آنها هزینه زیادی (به‌جز هزینه حمل و نقل و توزیع آنها در مزرعه) مصرف نمی‌شود. 2- همچنین با توجه به جرم واحد حجم نسبتاً زیاد بقایای پسته در مقایسه با سایر بقایا بنابراین میزان بقایای مربوط به سطوح لحاظ شده از نظر حجمی در مقایسه با سایر بقایای گیاهی بسیار کمتر می‌باشند که خود سبب کاهش هزینه‌های افزودن این بقایا به خاک و مخلوط کردن آنها با خاک می‌شود. 3- همچنین اینکه بقایای افزوده شده قطعاً تا مدت‌ها (که بستگی به نوع و ویژگی‌های بقایا، میزان استفاده، شرایط اقلیمی، شرایط خاک و نحوه مدیریت دارد) اثرات خود را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک حفظ خواهند نمود و نیاز به افزودن بقایا به صورت سالانه و با صرف هزینه زیاد نمی‌باشد. 4- همچنین اینکه

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی بقایای پسته مورد استفاده

مقدار	ویژگی
8/7	pH
1/7	ماده آلی (درصد)
11	هدایت الکتریکی* (دسی‌زیمنس بر متر)
22	پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم بقایا)
69	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم در کیلوگرم بقایا)
2/4	نیترژن کل (درصد)

\*. هدایت الکتریکی در نسبت 1 به 5 بقایای پسته به آب قرائت شده است.

### کاشت، داشت و برداشت گیاه گندم

رساندن رطوبت خاک گلدان‌ها به حدود ظرفیت مزرعه طی دو مرحله با فاصله زمانی یک روز و با روش توزین و افزودن آب به گلدان‌ها تا رسیدن به رطوبت مذکور انجام شد. آبیاری گلدان‌ها در مراحل اولیه رشد و پس از استقرار جوانه گیاه توسط آب مقطر انجام شد. پس از آن تیمارهای شوری شامل مقادیر هدایت الکتریکی 4، 8 و 12 دسی‌زیمنس بر متر (که در خاک رسی به ترتیب معادل

پس از به پایان رسیدن مراحل آماده‌سازی خاک-ها، بستر هر گلدان کاملاً صاف شده و محیط لازم برای کشت بذر گندم فراهم شد. بذر گندم رقم شیراز از ایستگاه زراعی منطقه باجگاه، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه شد. در اواسط مهر ماه سال 1394 تعداد 20 بذر در عمق 10-5 میلی‌متری از سطح خاک درون هر گلدان کشت شد و آبیاری اولیه به‌مقدار لازم جهت

آب و الکل در هر ستون و برای هر خاک در فواصل زمانی مختلف پس از شروع صعود تعیین شد. برای این منظور ابتدا خاک گلدان‌ها نرم شده و از الکل 2 میلی‌متری عبور داده شد؛ پس از آن انتهای ستون‌های شیشه‌ای شفاف، که در این آزمایش نقش ستون‌های خاک را ایفا می‌کنند، با یک پارچه نازک و نخی محکم بسته شد. سپس با استفاده از لوله باریک (باریک‌تر از قطر ستون‌های خاک) و یک قیف، خاک مورد نظر از بالا به درون لوله‌های شیشه‌ای انتقال داده شد (استفاده از سیستم لوله و قیف به این دلیل است که در هنگام سقوط ذرات در ستون خاک، ذرات درشت‌تر و سنگین‌تر (شن) از سایر ذرات جدا نشود و دانه‌بندی خاک کمتر تغییر کند و تا حدودی حفظ شود). پس از انتقال خاک به ستون شیشه‌ای شفاف، با انگشت به ستون چند ضربه زده شد تا ذرات خاک در حالت پایدارتری قرار گیرند (72 گرم خاک در لوله ریخته شد و با ضربه زدن به لوله ارتفاع نهایی خاک درون لوله به 30 سانتی‌متر رسانده شد تا جرم مخصوص ظاهری ستون خاک درون لوله نزدیک به مقادیر طبیعی و حدود 1/35 گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد). پس از اطمینان از آماده بودن ستون خاک، یک ظرف پتری‌دیش تهیه و با آب مقطر پر شد و ستون خاک بدون آنکه به ته ظرف بچسبد به درون ظرف پتری‌دیش وارد و اجازه داده شد تا آب در ستون خاک صعود کند (شکل الف).



(ب)

در 1/44، 3/16 و 5/04 گرم نمک در کیلوگرم خاک، در خاک لومی به ترتیب معادل 1/54، 3/36 و 5/37 و در خاک شن لومی به ترتیب معادل 0/73، 1/61 و 2/57 گرم نمک در کیلوگرم خاک می‌باشد) پس از استقرار جوانه‌ها طی چهار مرحله زمانی به فاصله یک هفته اعمال شدند. به این ترتیب که با افزودن مقدار لازم از محلول‌های پایه تهیه شده بر اساس نمودارهای موجود در هندبوک 60 آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا (ریچاردز، 1954)، از مخلوط نمک‌های کلرید کلسیم و سدیم (با نسبت اکسی‌والانی 1:1) و در نظر گرفتن درصد اشباع هر یک از خاک‌ها، هدایت الکتریکی خاک به مقادیر ذکر شده افزایش یافت. سپس آبیاری گلدان‌ها در حدود ظرفیت مزرعه با توزین روزانه و افزودن آب مقطر انجام شد. پس از اعمال تیمارهای شوری و استقرار گیاه، تعداد بوته‌ها به 6 بوته در هر گلدان کاهش یافت. با به پایان رسیدن مرحله رشد رویشی گیاه (حدود 10 هفته پس از شروع آزمایش)، بوته‌های مربوط به هر گلدان از محل طوقه جدا شدند.

#### اندازه‌گیری آب‌گیری آبیاری ایستای خاک

در این پژوهش آب‌گیری ایستای خاک با روش تعیین زاویه تماس تعادلی آب با خاک تعیین شد. بدین ترتیب که خاک‌های مورد مطالعه درون لوله‌های باریک شیشه‌ای (با ارتفاع حدود 50 سانتی‌متر و قطر داخلی 1/5 سانتی‌متر) قرار داده شدند و سرعت صعود



(الف)

شکل 1- ستون‌های خاک برای اندازه‌گیری ارتفاع صعود آب و الکل و آب‌گیری ایستا (الف) و روش قطره‌چکان برای اندازه‌گیری آب-گیری بویای خاک (ب)

آزمایش تا پایان، یعنی زمانی که تغییرات ارتفاع صعود نسبت به زمان تقریباً ثابت شد ادامه یافت (تقریباً 60 دقیقه). همین کار برای همان نمونه خاک بار دیگر با الکل

به محض قرار دادن ستون خاک در آب زمان-سنج روشن شد و بعد از آن در هر بازه زمانی (مثلاً هر یک دقیقه) ارتفاع صعود آب در ستون خاک قرائت شد و

لیتر از ارتفاع استاندارد 10 میلی‌متر روی سطح خاک ریخته شد (شکل آب) و زمان لازم برای نفوذ کامل قطره آب به خاک از لحظه برخورد به خاک (به‌گونه‌ای که سطح خاک از حالت براق به حالت کدر درآید) اندازه‌گیری شد (لیچنر و همکاران، 2012). در این پژوهش برای مقایسه اثر تیمارها بر آب‌گزیزی خاک، آب‌گزیزی خاک در شرایط رطوبتی نسبتاً یکسان (رطوبت ظرفیت مزرعه)، تعیین شد (زارعی و همکاران، 1394). بدین ترتیب که اندازه‌گیری‌ها در خاک هر گلدان در سه روز متوالی پس از آبیاری گلدان‌ها به اندازه رطوبت ظرفیت مزرعه انجام شد و مدت زمان لازم برای نفوذ و جذب قطره‌ها (سه قطره در هر روز) توسط خاک در سه روز متوالی اندازه‌گیری شد. در این مرحله از آزمایش، جهت به دست آوردن رطوبت خاک، هر یک از گلدان‌ها در روزهای اندازه‌گیری زمان نفوذ قطره آب توزین و نمودار رگرسیونی بین میزان رطوبت و زمان نفوذ آب در خاک تعیین شد. سپس زمان نفوذ قطره آب به خاک در رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر تیمار محاسبه شد و مقایسه تیمارها از نظر زمان نفوذ آب در خاک در این رطوبت انجام شد. بر اساس این روش، چنانچه زمان لازم برای نفوذ قطره آب 5 تا 60 ثانیه، 60 تا 600 ثانیه، 600 تا 3600 ثانیه، و بیشتر از 3600 ثانیه باشد خاک به ترتیب به‌طور جزئی آب‌گریز، قویاً آب‌گریز، به‌شدت آب‌گریز و بی‌نهایت آب‌گریز گزارش می‌شود (دکر و ریتسما، 1994).

#### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال 5 درصد مقایسه شدند. همچنین رسم نمودارها و برقراری روابط رگرسیونی بین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

#### نتایج و بحث

##### آب‌گزیزی ایستا

زاویه تماس تعادلی آب با خاک معیاری از آب‌گزیزی تعادلی (ایستای) خاک است به‌طوری که هرچه مقدار زاویه تماس آب با خاک بیشتر باشد خاک آب‌گریزتر است. جدول 3 اثر سطوح شوری و بقایای پسته بر زاویه تماس تعادلی آب با خاک در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در خاک رس سیلتی مورد مطالعه، تنها کاربرد شوری 12 دسی‌زیمنس بر متر، زاویه تماس تعادلی آب با خاک را در

تکرار شد و اعداد مربوط به ارتفاع صعود الکل در ستون خاک در واحد زمان نیز قرائت شد. سپس بین تغییرات ارتفاع صعود نسبت به تغییرات زمان  $(\Delta h/\Delta t)$  و عکس ارتفاع صعود سیال (آب و الکل) در ستون خاک  $(1/h)$  رابطه رگرسیونی برقرار شد و معادله خطی برای هر یک از سیال‌ها تعیین شد. در هر یک از معادلات چنانچه تغییرات ارتفاع صعود نسبت به تغییرات زمان  $(\gamma)$  معادله) صفر قرار داده شود، مقدار صعود بیشینه قابل محاسبه است. این کار برای معادلات مربوط به هر دو سیال انجام شد و ارتفاع صعود بیشینه برای هر دو محاسبه شد (لتی و همکاران، 1962).

از آنجا که زاویه تماس الکل با خاک تقریباً صفر است بنابراین با استفاده از رابطه (1) و با دانستن بیشینه ارتفاع صعود الکل در خاک، می‌توان شعاع متوسط سوراخ‌های خاک را تعیین نمود (لتی و همکاران، 1962):

$$h_a = \frac{-2\gamma_a \cos \alpha_a}{\rho_a g r} \quad (1)$$

که در آن،  $h_a$  ارتفاع صعود بیشینه الکل در خاک (سانتی‌متر)،  $\alpha_a$  زاویه تماس الکل با خاک (که در این معادله صفر قرار داده می‌شود)،  $\gamma_a$  کشش سطحی الکل (22/3 دین بر سانتی‌متر)،  $\rho_a$  چگالی الکل (0/79 گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $g$  شتاب ثقل (981 سانتی‌متر بر مجذور ثانیه) و  $r$  شعاع متوسط سوراخ‌های خاک (سانتی‌متر) می‌باشد.

پس از محاسبه شعاع متوسط سوراخ‌های خاک از مرحله قبل، مقدار محاسبه شده در معادله ارتفاع صعود آب در خاک (رابطه 2) قرار داده می‌شود و زاویه تماس تعادلی آب با خاک به‌دست می‌آید (لتی و همکاران، 1962):

$$h_w = \frac{-2\gamma_w \cos \alpha_w}{\rho_w g r} \quad (2)$$

که در آن،  $h_w$  ارتفاع صعود بیشینه آب در خاک (سانتی‌متر)،  $\gamma_w$  کشش سطحی آب (72/2 دین بر سانتی‌متر)،  $r$  شعاع متوسط سوراخ‌های خاک که از مرحله قبل محاسبه شد (سانتی‌متر)،  $\rho_w$  چگالی آب (1 گرم بر سانتی‌متر مکعب)،  $g$  شتاب ثقل (981 سانتی‌متر بر مجذور ثانیه) و  $\alpha_w$  زاویه تماس تعادلی آب با خاک بر حسب درجه است (لتی و همکاران، 1962).

##### اندازه‌گیری آب‌گزیزی پویای خاک

برای اندازه‌گیری آب‌گزیزی پویای خاک روش مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک که یک روش ساده و مناسب برای تعیین آب‌گزیزی خاک است، استفاده شد (دکر و ریتسما، 1994). بدین ترتیب که با قطره‌چکان قطره آب مقطری با حجم حدود 0/05 میلی-

گریزی در منطقه مورد مطالعه معرفی نمودند. سایر محققان نیز معتقدند که آب‌گریزی که یکی از ویژگی‌های گذرای خاک و دارای تغییرات مکانی و زمانی است می‌تواند ناشی از ترکیبات آلی حاصل از ریزجانداران یا گیاهان زنده و یا در حال تجزیه (کورنکوا و همکاران، 2015؛ وارد و همکاران، 2015؛ بچمن و همکاران، 2015) و یا آبیاری با پساب‌ها (کرول و همکاران، 2015؛ واسلیوس و همکاران، 2013) باشد. بچمن و همکاران (2007) و سپهرنیا و همکاران (2016) نیز گزارش کردند که میزان ماده آلی در خاک‌های آب‌گریز بیشتر از خاک‌های غیرآب‌گریز است. نتایج نشان داد در خاک رس سیلتی مورد مطالعه، بیشترین زاویه تماس تعادلی آب با خاک به میزان  $77 (\pm 4/0)$  درجه در سطح شوری 12 دسی‌زیمنس بر متر و با کاربرد  $1/5$  درصد بقایا مشاهده شد، در حالی که کمترین زاویه تماس تعادلی آب با خاک به میزان  $64 (\pm 5/5)$  درجه در تیمار بدون کاربرد بقایا و با شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر مشاهده گردید.

مقایسه با شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری به‌میزان 7 درصد افزایش داد. این موضوع ممکن است به دلیل اثر منفی شوری بر فعالیت ریزجانداران خاک و جلوگیری از تجزیه مواد آب‌گریز احتمالی موجود در خاک و همچنین مواد آلی بومی یا افزوده شده به خاک باشد. در حالی که در این خاک کاربرد بقایا برخلاف انتظار بر زاویه تماس تعادلی آب با خاک اثر معنی‌داری نداشت که احتمالاً می‌تواند به دلیل استفاده از بقایای یکساله نسبتاً تجزیه شده و با مقدار ماده آلی کم باشد. مشابه با نتایج این تحقیق برخی محققان نیز رابطه مشخص و معنی‌داری بین ماده آلی و آب‌گریزی خاک نیافتند (دوور و همکاران، 2006 و وچ و همکاران، 2005). در حالی که میر بابایی و همکاران (1392) گزارش کردند که بین ماده آلی و زاویه تماس آب با خاک همبستگی مثبت قوی وجود دارد. ایشان همچنین نشان دادند که درصد شن با آب‌گریزی همبستگی مثبت و با رس خاک همبستگی منفی دارد. آنان ماده آلی، بافت خاک و اسیدیته خاک را به‌عنوان عوامل مهم در شدت آب-

جدول 3- اثر سطوح شوری و بقایای پسته بر زاویه تماس تعادلی آب با خاک (درجه) در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم

میانگین	بقایا (درصد وزنی)				شوری (دسی‌زیمنس برمتر)
	4/5	3	1/5	0	
<b>خاک رس سیلتی (میانگین = <math>69/6 \pm 2/5</math> A)</b>					
67/3 ( $\pm 2/0$ ) B	72/0 ( $\pm 7/7$ ) abc	66/7 ( $\pm 2/7$ ) bcd	65/7 ( $\pm 1/8$ ) cd	64/0 ( $\pm 5/5$ ) *d	4
69/5 ( $\pm 2/5$ ) AB	64/0 ( $\pm 2/7$ ) d	73/1 ( $\pm 1/8$ ) ab	73/1 ( $\pm 1/2$ ) ab	71/7 ( $\pm 1/6$ ) abc	8
72/0 ( $\pm 2/4$ ) A	67/0 ( $\pm 2/0$ ) bcd	72/3 ( $\pm 2/2$ ) abc	77/2 ( $\pm 4/0$ ) a	72/0 ( $\pm 0/9$ ) abc	12
	67/7 ( $\pm 2/3$ ) A	70/7 ( $\pm 2/0$ ) A	70/7 ( $\pm 3/3$ ) A	69/4 ( $\pm 862$ ) A	میانگین
<b>خاک لومی (میانگین = <math>64/6 \pm 2/6</math> B)</b>					
65/5 ( $\pm 4/7$ ) A	70/9 ( $\pm 2/0$ ) a	68/7 ( $\pm 1/6$ ) a	69/1 ( $\pm 1/0$ ) a	53/3 ( $\pm 1/6$ ) b	4
65/3 ( $\pm 1/6$ ) A	64/6 ( $\pm 4/6$ ) ab	67/0 ( $\pm 1/4$ ) a	68/0 ( $\pm 2/7$ ) a	61/8 ( $\pm 3/7$ ) ab	8
63/0 ( $\pm 2/3$ ) A	59/6 ( $\pm 7/3$ ) ab	60/3 ( $\pm 9/5$ ) ab	68/1 ( $\pm 1/0$ ) a	64/1 ( $\pm 1/8$ ) ab	12
	65/0 ( $\pm 3/5$ ) AB	65/3 ( $\pm 2/5$ ) AB	68/4 ( $\pm 0/3$ ) A	59/7 ( $\pm 3/2$ ) B	میانگین
<b>خاک شن لومی (میانگین = <math>61/6 \pm 3/4</math> C)</b>					
603/5 ( $\pm 3/2$ ) A	63/0 ( $\pm 5/4$ ) abc	65/3 ( $\pm 0/9$ ) ab	61/0 ( $\pm 3/3$ ) abc	52/6 ( $\pm 2/3$ ) c	4
62/4 ( $\pm 3/6$ ) A	67/6 ( $\pm 2/0$ ) a	66/0 ( $\pm 1/0$ ) a	62/3 ( $\pm 2/0$ ) abc	53/6 ( $\pm 7/8$ ) bc	8
62/0 ( $\pm 2/1$ ) A	64/0 ( $\pm 1/6$ ) abc	65/6 ( $\pm 0/7$ ) a	61/3 ( $\pm 2/7$ ) abc	57/3 ( $\pm 4/7$ ) abc	12
	64/8 ( $\pm 1/4$ ) A	65/6 ( $\pm 0/2$ ) A	61/5 ( $\pm 0/4$ ) A	54/5 ( $\pm 1/4$ ) B	میانگین

\* در هر خاک میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف معیار داده‌ها می‌باشند)

داری نداشت. در خاک لومی مورد مطالعه کاربرد  $1/5$ ، 3 و  $4/5$  درصد بقایا میانگین زاویه تماس تعادلی آب با

در خاک لومی و شن لومی مورد مطالعه، شوری بر میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک تأثیر معنی-

8 دسی‌زیمنس بر متر در خاک لومی) شد که ممکن است به دلیل اثر توام شوری و بقایا بر بهبود ساختمان خاک و کاهش آب‌گریزی در این تیمارها باشد. هرچند در برخی موارد کاهش‌ها در زاویه تماس از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول 3).

شکل 2 اثرات اصلی بافت خاک، سطوح شوری و بقایای پسته بر میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک در خاک‌های لومی و شن‌لومی در مقایسه با خاک رس سیلتی مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 7 و 13 درصد کمتر بود؛ زیرا چسبندگی ذرات شن در خاک‌های درشت‌بافت کم‌تر، حفرات خاک درشت‌تر و همچنین مکش ورود آب این خاک‌ها نیز بسیار کمتر از سایر خاک‌ها می‌باشد (شوکل، 2013) بنابراین آب با سرعت بیشتری در این خاک‌ها نفوذ می‌کند. همچنین بیشتر بودن آب‌گریزی در خاک‌های درشت بافت در مقایسه با خاک‌های ریز بافت ممکن است به دلیل سطح ویژه کم خاک‌های درشت بافت و بیشتر پوشیده شدن سطح ذرات با مقادیر یکسان مواد آب‌گریز افزوده شده و یا مواد آب‌گریز موجود در خاک و در نتیجه افزایش شدت آب‌گریزی این خاک‌ها باشد. وچ و همکاران (2005) نشان دادند که به‌طور کلی در خاک‌های دارای بافت شنی نسبت به خاک‌های سیلتی زاویه تماس آب با خاک کمتر بود.

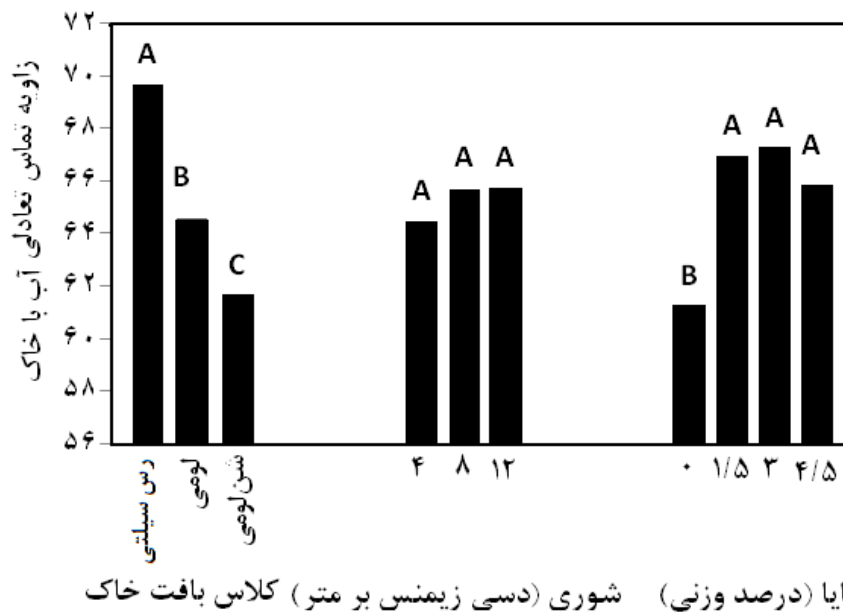
آنان همچنین دریافتند که خاک‌های شنی واقع در اراضی جنگلی نسبت به خاک‌های سیلتی، آب‌گریزتر می‌باشند. نتایج نشان داد به‌طور کلی شوری بر میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک اثر معنی‌داری نداشت. همچنین نتایج نشان داد به‌طور کلی کاربرد سطوح 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایای پسته میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک را به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال 5 درصد) به ترتیب به میزان 9، 10 و 7 درصد افزایش داد زیرا بقایای آلی چسبندگی و اتصال ذرات خاک را افزایش داده و همچنین احتمالاً به دلیل حضور ترکیبات آب‌گریز، بدین وسیله موجب افزایش آب‌گریزی خاک می‌شود. ماتایکس و دورا (2004) و میربابایی و همکاران (1392) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان 14، 9 و 8 درصد افزایش داد (هرچند تنها افزایش حاصل از کاربرد 1/5 درصد بقایا معنی‌دار بود). نتایج نشان داد در خاک لومی مورد مطالعه در سطح شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا، زاویه تماس آب تعادلی با خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان 29، 28 و 33 درصد افزایش داد. نتایج همچنین نشان داد در خاک لومی مورد مطالعه بیشترین و کمترین زاویه تماس تعادلی آب با خاک به ترتیب به میزان  $70/9 (\pm 2/0)$  و  $53/3 (\pm 1/6)$  درجه در سطح شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر و به ترتیب با کاربرد 4/5 و صفر درصد بقایای پسته به دست آمد.

در خاک شن‌لومی مورد مطالعه، شوری بر زاویه تماس تعادلی آب با خاک اثر معنی‌داری نداشت اما کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایای پسته، زاویه تماس تعادلی آب با خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 12، 20 و 18 درصد افزایش داد. للامانی و کاروب (2010) گزارش کردند که در تیمارهای محتوی مواد آلی با خاصیت آب‌گریزی متوسط، با افزایش مقدار رس، زاویه تماس آب با خاک افزایش یافت اما این امر در مورد مواد آلی با خاصیت آب‌گریزی زیاد کاملاً برعکس بود. ماتایکس و دورا (2004) نیز بیان کردند که آب‌گریزی با مقدار ماده آلی خاک ارتباط مستقیم دارد. همچنین آنان گزارش کردند با افزایش آب‌گریزی، پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. میربابایی و همکاران (1392) نیز گزارش کردند بین ماده آلی و زاویه تماس آب با خاک همبستگی مثبت قوی وجود دارد. آنها همچنین نشان دادند که درصد شن با آب‌گریزی همبستگی مثبت و با رس خاک همبستگی منفی دارد.

نتایج همچنین نشان داد همچنین در خاک شن-لومی مورد مطالعه، بیشترین زاویه تماس تعادلی آب با خاک به میزان  $67/6 (\pm 2/0)$  درجه مربوط به کاربرد 4/5 درصد بقایا و با شوری 8 دسی‌زیمنس بر متر بود در حالی که کمترین مقدار زاویه تماس تعادلی آب با خاک به میزان  $52/6 (\pm 2/3)$  درجه در تیمار بدون کاربرد بقایا و با شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در هر دو خاک رس سیلتی و لومی مورد مطالعه کاربرد 4/5 درصد بقایا در تیمارهای شوری زیاد (8 و 12 دسی‌زیمنس بر متر) سبب کاهش زاویه تماس تعادلی آب با خاک در مقایسه با تیمارهای مقادیر کمتر ماده آلی و شاهد (به جز شوری





شکل 2- اثر بافت خاک (میانگین شوری و بقایا)، سطوح شوری (میانگین بافت و بقایا) و بقایای پسته (میانگین شوری و بافت) بر میانگین زاویه تماس تعادلی آب با خاک (درجه)

#### آب‌گریزی پویا

بیشترین و کمترین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک به ترتیب به میزان  $56 (\pm 3/5)$  و  $21/3 (\pm 0/4)$  ثانیه در سطح شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر و به ترتیب با کاربرد 4/5 و صفر درصد بقایا مشاهده شد.

نتایج نشان داد در خاک لومی مورد مطالعه نیز کاربرد مقادیر 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا، مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان 17، 47 و 66 درصد افزایش داد (هرچند افزایش حاصل از کاربرد 1/5 درصد بقایا در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود). علوی و همکاران (1391) بیان کردند که کاربرد 30 تن لجن فاضلاب در هکتار آب-گریزی خاک به روش نفوذ قطره آب در خاک را افزایش داد. نتایج نشان داد در خاک لومی مورد مطالعه بیشترین و کمترین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک به ترتیب به میزان  $35 (\pm 1/1)$  و  $17 (\pm 1/7)$  ثانیه در سطح شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر و به ترتیب با کاربرد 4/5 و صفر درصد بقایا مشاهده شد.

در خاک شن لومی مورد مطالعه نیز کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 60، 100 و 150 درصد افزایش داد. همچنین در خاک شن لومی مورد مطالعه بیشترین و کمترین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک به ترتیب به میزان  $27 (\pm 1/5)$  و  $9 (\pm 0/5)$  ثانیه در سطح شوری 4 دسی-

جدول 4 اثر سطوح شوری و بقایای پسته بر آب‌گریزی خاک (اندازه‌گیری شده بر اساس مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک) در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در خاک‌های مورد مطالعه، شوری اثر معنی‌داری بر آب‌گریزی خاک نداشت. در خاک رس سیلتی مورد مطالعه، کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب در خاک را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان 18، 34 و 70 درصد افزایش داد زیرا مواد آلی ممکن است به دلیل دارا بودن ترکیبات آب‌گریز سبب افزایش آب‌گریزی خاک و در نتیجه کاهش سرعت نفوذ آب به خاک شوند. علوی و همکاران (1391) گزارش کردند که کاربرد 30 تن در هکتار لجن فاضلاب موجب افزایش مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک شد. همچنین نتایج نشان داد در خاک رسی سیلتی مورد مطالعه در سطوح شوری 4 و 8 دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. مشابه با نتایج این تحقیق، بچمن و همکاران (2007) و سپهرنیا و همکاران (2016) نیز با بررسی رابطه آب-گریزی و میزان ماده آلی خاک، گزارش کردند میزان ماده آلی در خاک‌های آب‌گریز بیشتر از خاک‌های غیرآب‌گریز مورد مطالعه می‌باشد. در خاک رس سیلتی مورد مطالعه

خاک از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول 3 و 4). بنابراین می‌توان گفت احتمالاً به دلیل سطح ویژه بیشتر (وچ و همکاران، 2005 و دوور و همکاران، 2006)، خاک‌های رسی و ریز بافت در مقایسه با خاک‌های شنی و درشت بافت برای رسیدن به درجه معینی از آب‌گیزی به مقادیر زیادتری از مواد آلی نیاز دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد با وجود اینکه با افزایش درصد بقایای اضافه شده مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در هر سه خاک مورد مطالعه افزایش یافته (جدول 4)، اما درجه یا شدت آب‌گیزی بر اساس کلاس‌بندی دکر و ریتسما (1994) تغییری نیافته است.

زیمنس بر متر و به ترتیب با کاربرد 4/5 و صفر درصد بقایا مشاهده شد. میربابایی و همکاران (1392) همبستگی قابل قبولی بین ماده آلی و بافت خاک با آب‌گیزی خاک گزارش کردند ایشان دریافتند که بین آب‌گیزی اندازه-گیری شده با روش زاویه تماس تعادلی آب با خاک و روش مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک نیز همبستگی قوی وجود دارد. علوی و همکاران (1391) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

به طور کلی نتایج نشان داد کاربرد بقایا در همه سطوح سبب افزایش آب‌گیزی ایستا و پویای در هر سه کلاس بافت خاک مورد مطالعه شد به جز در خاک رس - سیلتی مورد مطالعه که اثر بقایا بر میزان آب‌گیزی ایستای

جدول 4- اثر سطوح شوری و بقایای پسته بر مدت زمان (ثانیه) لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیزی پویا) در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم.

میانگین	بقایا (درصد وزنی)				شوری (دسی‌زیمنس برمتر)
	4/5	3	1/5	0	
<b>خاک رس سیلتی (میانگین = 34/9 ± 2/6 A)</b>					
35/5 (±8/6) A	56/0 (±3/5) a	37/0 (±3/7) bc	28/0 (±0/9) de	21/3 (±0/4) *f	4
34/0 (±3/9) A	42/0 (±3/5) b	35/3 (±3/5) bc	33/0 (±2/6) cd	25/6 (±2/3) ef	8
35/3 (±1/4) A	38/7 (±3/5) bc	35/6 (±2/3) bc	33/6 (±0/8) cd	33/3 (±4/0) cd	12
	45/5 (±5/3) A	36/0 (±0/5) B	31/5 (±1/7) C	26/7 (±3/5) D	میانگین
<b>خاک لومی (میانگین = 26/2 ± 1/6 B)</b>					
25/5 (±4/4) A	35/0 (±1/1) a	28/0 (±0/2) abc	21/7 (±1/4) cde	17/3 (±1/7) e 22/0 (±1/5) cde	4
27/4 (±2/6) A	31/0 (±1/4) ab	31/3 (±1/1) ab	25/3 (±1/2) bcd	cde	8
25/5 (±3/3) A	32/6 (±2/0) ab	27/7 (±2/6) a-d	22/0 (±0/7) cde	20/0 (±0/11) de	12
	32/8 (±1/1) A	29/0 (±1/1) A	23/0 (±1/1) B	19/7 (±1/3) B	میانگین
<b>خاک شن لومی (میانگین = 17/9 ± 0/6 C)</b>					
16/7 (±4/5) A	27/0 (±1/5) a	18/7 (±0/1) c	12/3 (±0/3) de	9/0 (±0/5) e	4
18/0 (±2/5) A	22/0 (±0/1) abc	20/0 (±1/0) bc	18/3 (±0/4) c	12/0 (±1/5) de	8
19/0 (±4/7) A	26/0 (±0/8) a	24/6 (±0/2) ab	17/0 (±0/3) cd	8/3 (±0/1) e	12
	25/0 (±1/5) A	21/1 (±1/7) B	15/8 (±1/8) C	9/7 (±1/2) D	میانگین

\*. در هر خاک میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ یا کوچک مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند. (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف معیار داده‌ها می‌باشند).

مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 24 و 95 درصد کمتر است. در خاک‌های درشت و متوسط بافت در مقایسه با خاک‌های ریز بافت (با درصد زیاد رس)، آب با سرعت و سهولت بیشتری به خاک وارد شده که نشان می‌دهد آب‌گیزی کمتر بوده و مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک نیز کاهش می‌یابد (وچ و همکاران،

شکل 3 اثرات اصلی بافت خاک، سطوح شوری و بقایای پسته بر میانگین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیزی پویا) در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد میانگین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در خاک‌های لومی و شن‌لومی در مقایسه با خاک رس سیلتی

2015) بر رشد گیاهان و موضوع ایجاد آفات و بیماری‌های احتمالی بر اثر افزودن این بقایا نیز بایستی در نظر گرفته شود. همچنین با توجه با اینکه در مدت زمان استفاده شده در این پژوهش ممکن است بقایا کاملاً پوسیده نشده باشند بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر کاربرد بقایا بر ویژگی‌های خاک در زمان‌های مختلف پس از کاربرد و یا در زمان‌های طولانی‌تر نیز بررسی شود.

#### قدردانی

نویسندگان مقاله از راهنمایی‌های ارزنده همکار ارجمند استاد فقید شادروان دکتر نجفعلی کریمی‌سپاسگزاری می‌نمایند و برای ایشان از درگاه احدیت غفران الهی مسئلت می‌نمایند.

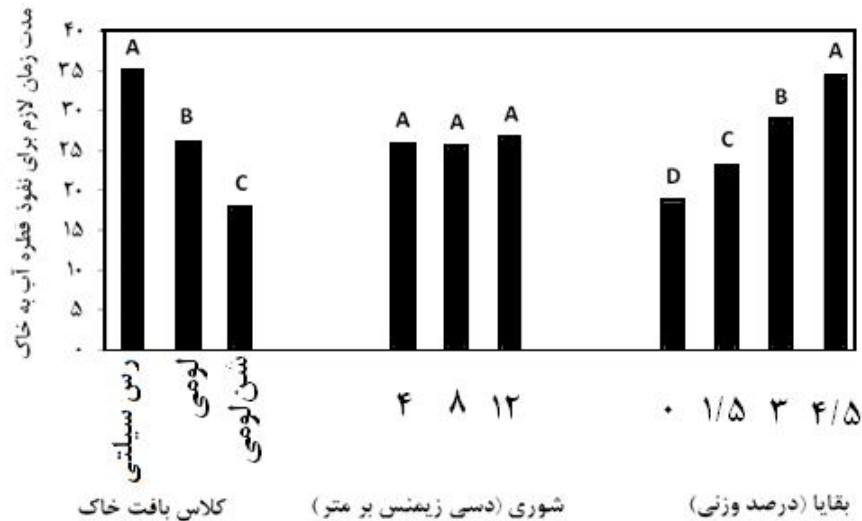
2005). نتایج نشان داد به‌طور کلی شوری بر میانگین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گریزی خاک) اثر معنی‌داری نداشت در حالی که کاربرد 1/5، 3 و 4/5 درصد بقایا میانگین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در خاک‌های مورد مطالعه را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان 25، 53 و 84 درصد افزایش داد. سایر محققان نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند که مواد آلی با آب‌گریزی خاک ارتباط مستقیم و معنی‌داری دارد (میربابایی و همکاران، 1392؛ ماتایکس سولرا و دوار، 2004).

#### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان داد با درشت‌تر شدن بافت خاک میزان آب‌گریزی خاک کاهش یافته و به عبارتی میزان نفوذ آب به خاک افزایش می‌یابد. در این پژوهش شوری اثر معنی‌داری بر متوسط میزان آب‌گریزی ایستا یا پویای خاک‌های مورد مطالعه نداشت. هرچند تنها در خاک رس سیلتی مورد مطالعه اعمال شوری 12 دسی-زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد زاویه تماس تعادلی (آب‌گریزی ایستای) خاک را به ترتیب به میزان 7 درصد افزایش داد. کاربرد بقایا در همه سطوح سبب افزایش آب‌گریزی ایستا و پویای همه خاک‌های مورد مطالعه شد به جز در خاک رس سیلتی مورد مطالعه که اثر بقایا بر میزان آب‌گریزی ایستای خاک معنی‌دار نبود. روند تأثیر تیمارهای مورد مطالعه (به جز در مورد کاربرد 4/5 درصد بقایا) بر هر دو نوع آب‌گریزی ایستا و پویای خاک تقریباً یکسان بود. به‌عبارتی روند نتایج تعیین آب‌گریزی خاک به روش اندازه‌گیری زاویه تماس تعادلی آب با خاک با نتایج حاصل از اندازه‌گیری مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک مشابه بود.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود در مواردی که به منظور افزایش ماده آلی خاک و رهایی از بقایای گیاهی (از جمله بقایای پسته)، این بقایا به خاک اضافه می‌شوند علاوه بر اثرات این بقایا بر رشد گیاه و ویژگی‌های شیمیایی، حاصلخیزی و زیستی<sup>2</sup> خاک، اثرات این بقایا بر ویژگی‌های فیزیکی و به‌ویژه آب‌گریزی خاک و کاهش نفوذ آب به خاک و پیامدهای مرتبط با آن نیز در نظر گرفته شود و تمهیدات لازم (مانند افزودن اصلاح‌کننده‌ها و نهاده‌های مناسب و یا به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی مناسب) برای اصلاح یا جلوگیری از آن‌ها اندیشیده شود. البته بایستی ذکر شود که اثرات دگرآسیبی<sup>3</sup> احتمالی این بقایا (رایس، 1984 و الیوسف و ابراهیم،

1. Biological  
2. Allelopathy



شکل 3- اثر بافت خاک (میانگین شوری و بقایا)، سطوح شوری (میانگین بافت و بقایا) و بقایای پسته (میانگین شوری و بافت) بر میانگین مدت زمان (ثانیه) لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گریزی پویا) در خاک‌های مورد مطالعه پس از برداشت گندم

#### فهرست منابع:

1. ابطحی، ع.، ن. کریمیان، و م. صلحی. 1370. گزارش مطالعات خاک شناسی نیمه تفضیلی اراضی باجگاه - استان فارس، 73 صفحه.
2. بای بوردی، م. 1388. فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران.
3. خرمالی، ف. 1382. کانی شناسی، میکرومورفولوژی و تکامل خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک استان فارس، جنوب ایران. رساله دکتری، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
4. زارعی، ز. ع.، ا. موسوی، ع. ثامنی و ع. ا. کامگار حقیقی. 1394. اثر برخی اصلاح کننده های آلی و معدنی بر تغییرات زمانی آب‌گریزی پویا و ایستا در یک خاک آهکی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، شماره 29، صفحات 475 تا 485.
5. شیرانی، ح.، ا. ریزه بندی، ح. دشتی، م. ر. مصدقی و م. افیونی. 1390. اثر تفاله‌ی پسته بر برخی خواص فیزیکی و تراکم پذیری دو نوع خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال 15، شماره 55، صفحات 85 تا 97.
6. میربابایی، س. م.، م. شعبان‌پور و ع. ا. ذوالفقاری. 1392. بررسی وجود و شدت آب‌گریزی خاک در مناطق جنگلی تالش در استان گیلان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، سال 44، شماره 2، صفحات 172 تا 163.
7. Alyousef, A. and Ibrahim, Gh. 2015. Inhibitory effect of fruit hull and leaves of pistachio on weed growth in pots. Int. J. Pharmtech. Res. 7: 365-369.
8. Bachmann, J., J. Kruger, M. O. Gobel and S. Heinze. 2016. Occurrence and spatial pattern of water repellency in a beech forest subsoil. J. Hydrol. Hydromech. 64: 100-110.
9. Dekker, L. W. and C. G. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. I. potential and actual. Water Res. Res. 30: 2507-2017.
10. Doerr, S. H., R. A. Shakesby and R. P. D. Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. Earth Sci. Rev. 51: 33-65.

11. Doerr, S. H., R. A. Shakesby, L. W. Dekker and C. J. Ritsema. 2006. Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land use types in a humid temperate climate. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 741–754.
12. Gee, G. W. and D. Or. 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J. H. and G. C. Topp. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part IV, Physical Methods*. Agronomy Monograph, No 9. SSSA and ASA, Madison, WI. PP. 255-293.
13. Kazemi, M. and M. R. Zand-Monfared. 2010. Furfural production from Pistachio green hulls as agricultural residues. *J. App. Chem. Res.* 3(121): 19-24.
14. Leleelamanie, D. A. L., J. Karube, and A. Yoshida. 2010. Clay effects on the contact angle and water drop penetration time of model soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 56(3): 371-375.
15. Korenkova, L., I. Šimkovic, P. Dlapa, B. Jurani and P. Matus. 2015. Identifying the origin of soil water repellency at regional level using multiple soil characteristics: The White Carpathians and Myjavská Pahorkatina Upland case study. *Soil Water Res.* 10: 78–89.
16. Krol, A., J. Lipiec and M. Frac. 2015. The effect of dairy sewage sludge amendment on repellency and hydraulic conductivity of soil aggregates from two depths of Eutric Cambisol. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178: 270–277.
17. Letey, J., J. Osborn and R. E. Pelishek. 1962. Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand. *Soil Science*, 93: 149-153.
18. Letey, J., M. L. K. Carrillo and X. P. Pang. 2000. Approaches to characterize the degree of water repellency. *J. Hydrol.* 232: 61–65.
19. Lichner L., L. Holko, N. Zhukova, K. Schacht, K. Rajkai, N. Fodor and R. Sandor. 2012. Plant and biological soil crust influence the hydrophysical parameters and water flow in an Aeolian sandy soil. *J. Hydrol. Hydromech.* 60: 309–318.
20. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
21. Mataix-Solera, J. and S. H. Doerr. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected forests in southeastern Spain. *Geoderma*, 118(1-2): 77-88.
22. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D. L. Sparks et al., (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part III*. 3<sup>rd</sup> Ed. SSSA and ASA, Madison, WI. PP. 61-1010.
23. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir. 939. U. S. Gov. Print. Office, WI.
24. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part III*, 3<sup>rd</sup> Ed., SSSA and ASA, Madison, WI. PP. 417-436.
25. Rice, E. L. 1984. Allelopathy. Academic Press, 422 p.
26. Richards, L. A. 1954. Handbook No. 60: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Soil and Water Conservation Research Branch Agricultural Research Service, Soil Salinity Laboratory, USA.
27. Sepehrnia, N., M. A. Hajabbasi, M. Afyuni and L. Lichner. 2016. Extent and persistence of water repellency in two Iranian soils. *Biologia*, 71: 1137-1143.
28. Sepehrnia, N., M. A. Hajabbasi, M. Afyuni and L. Lichner. 2017. Soil water repellency changes with depth and relationship to physical properties within wettable and repellent soil profiles. *J. Hydrol. Hydromech.* 65: 99–104.
29. Shukla, M. K. 2013. *Soil Physics: An Introduction*. CRC press, 478 p.

30. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Leppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston and M. E. Summer. 1996. *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1973P.
31. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. In: D. L. Sparks et al. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part III*, 3<sup>rd</sup> Ed. SSSA and ASA, Madison, WI. PP. 475-490.
32. Vasileios, D., L. Pagorogon, E. Gazani, S. H. Doerr, F. Pliakas, and C. J. Ritsema. 2013. Use of olive mill wastewater (OMW) to decrease hydrophobicity in sandy soil. *Ecol. Eng.* 58: 393-398.
33. Ward, P. R., M. M. Roper, R. Jongepier and S. F. Micin. 2015. Impact of crop residue retention and tillage on water infiltration into a water-repellent soil. *Biologia*, 70: 1480-1484.
34. Woche, S. K., M. O. Goebel, M. B. Kirkham, R. Horton, R. R. Vanderploeg, and J. Bachman. 2005. Contact angle of soil as affected by depth, texture, and land management. *Eur. J. Soil Sci.* 56(2): 239-251.

## Effect of Pistachio Residue and Salinity on Dynamic and Static Water Repellency of Three Texturally Different Calcareous Soils

**M. Amjadian, A. A. Moosavi<sup>1</sup>, and A. Ronaghi**

Former MSc. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;  
E-mail: haniyeamjadian@gmail.com

Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;  
E-mail: aamousavi@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;  
E-mail: amronaghi@yahoo.com

Received: November, 2017 and Accepted: May, 2018

### Abstract

Salinity and organic matter deficiency are the main problems of soils in arid and semi-arid regions. The use of residues in presence of salinity may affect soil properties differently. In this research, the effect of zero, 1.5%, 3%, and 4.5% application of pistachio residues and electrical conductivity (salinity) of water including three levels of 4, 8, and 12 dS m<sup>-1</sup> were investigated on water repellency of soils with three different textures, namely, silty clay, loamy, and loamy sand. The static and dynamic water repellencies were determined by measuring soil-water contact angle and water penetration time. The mean values of soil-water contact angle for clay, loam, and sandy loam soils were 70±2.5°, 65±2.6°, and 62 ±3.4°, and water droplet times (WDPT) were about 35±2.6, 26±1.6, and 18±0.6 s, respectively. Accordingly, static water repellency of the fine textured soil was more than that of the medium and coarse textured soils by 3% and 7%, respectively, while the dynamic water repellency was 24% and 95% more, respectively. Salinity had no significant effect on static or dynamic water repellency. However, the salinity of 12 dS.m<sup>-1</sup> increased the static water repellency of clay soil by 7%. The residues increased the static and dynamic water repellency of soils, except in silty clay soil where the effect of residues on static water repellency was not significant. In general, salinity levels had no significant effect on the mean values of the static and dynamic water repellency of soils; whereas application of residues (except for 4.5% residues) increased both static and dynamic water repellency. Furthermore, since the applied residues were probably not fully decomposed in the time period used in this study, it is recommended that longer or different time periods be used in the future studies.

**Keywords:** Contact angle, Loam, Loamy sand, Silty clay, Water droplet penetration time  
Water salinity

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz.