

## اثر مدت زمان اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای و پلی‌اکریل‌آمید بر آب‌گریزی خاک در باغ به

مسعود تدین‌نژاد<sup>۱</sup>، شجاع قربانی‌دشتکی<sup>۲</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>۳</sup>، جهانگرد محمدی<sup>۲</sup> و مهدی پناهی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، آستاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، آستاد گروه علوم خاک،

<sup>۲</sup> دانشگاه صنعتی اصفهان، <sup>۳</sup> بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان،

<sup>۴</sup> سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** آب‌گریزی و آب‌دوستی ویژگی‌های مهم فیزیکی هستند که تأثیر زیادی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دارند. در سامانه آبیاری قطره‌ای، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک زیر قطره‌چکان‌ها بر ابعاد هندسی پیاز رطوبتی و پیامد آن بررسی شد و عملکرد گیاه مؤثر است. آب‌گریزی خاک در اثر کاربرد روکش‌گرها ممکن است کاهش یابد. پژوهش‌های محدودی درباره کاهش آب‌گریزی خاک در اثر کاربرد پلی‌اکریل‌آمید (PAM) انجام شده است. این پژوهش با هدف بررسی آب‌گریز شدن خاک در اثر کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای و تأثیر PAM بر افزایش آب‌دوستی خاک در باغ به انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب کرت‌های خردشده با دو فاکتور مدت‌زمان اجرای سامانه قطره‌ای در سه سطح شاهد (بدون کشت)، ۸ سال و ۱۵ سال به‌عنوان فاکتور اصلی و غلظت PAM در سه سطح غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌عنوان فاکتور فرعی در سه تکرار انجام شد. ابتدا غلظت‌های موردنظر PAM درون تانک‌های تزریق تهیه شده و در زمان آبیاری باغ، واحدهای آزمایشی به‌جز تیمار صفر با این محلول آبیاری گردید. پس از یک هفته نمونه خاک از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک زیر قطره‌چکان‌ها تهیه شد. تعیین شاخص آب‌گریزی (WRI) و زاویه تماس آب-خاک ( $\theta$ ) به روش جذب‌پذیری ذاتی (Intrinsic sorptivity test) و به کمک دستگاه ریز-نفوذسنج مکشی در آزمایشگاه انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد اثر مدت‌زمان اجرای آبیاری قطره‌ای و کاربرد PAM بر WRI و  $\theta$  معنی‌دار شد. سرعت نفوذ آب به خاک با افزایش دوره استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای کاهش یافت اما کاربرد PAM این کاهش را جبران نمود. بیش‌ترین مقدار WRI برابر ۴/۳۲ مربوط به ۱۵ سال اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای و بدون کاربرد PAM در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به‌دست آمد. همچنین یافته‌ها نشان داد کم‌ترین مقدار WRI برابر ۰/۸۳ مربوط به تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM بدون اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری است که از نظر آماری با تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM در مدت ۸ سال اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در همین عمق تفاوت معنی‌داری نداشت.

\* مسئول مکاتبه: [shoja2002@yahoo.com](mailto:shoja2002@yahoo.com)

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد افزایش دوره زمانی سامانه آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری باعث افزایش آب‌گریزی و زاویه تماس آب- خاک و کاهش نفوذ آب به‌ویژه در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری شد. کاربرد PAM به‌طور معنی‌داری آب‌گریزی و زاویه تماس آب- خاک را کاهش و نفوذ آب را افزایش داد. افزایش ماده آلی خاک و تجمع املاح زیر قطره‌چکان‌ها می‌تواند از دلایل افزایش آب‌گریزی خاک در باغ باشد که با کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM در سامانه آبیاری قطره‌ای به‌میزان قابل‌توجهی آب‌گریزی خاک کاهش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌اکریل‌امید، آب‌گریزی، جذب‌پذیری آب، جذب‌پذیری اتانول، زاویه تماس آب- خاک

### مقدمه

بهره‌برداری گسترده منابع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و شهری در ۵۰ سال گذشته به‌میزان قابل‌توجهی منابع آب را کاهش داده است. از سوی دیگر، مقادیر کم باقی‌مانده نیز معمولاً مبتلا به شوری و آلودگی است (۱۹). علاوه بر این مدل‌های تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌کنند که با کاهش بارندگی، خاک‌ها، به‌ویژه در عرض جغرافیایی متوسط در سال ۲۰۷۰ در تابستان خشک‌تر خواهند شد (۲۱).

جدا از محدودیت مقدار آب در دسترس از طریق بارندگی، خاک‌های خشک توانایی کمی برای نگهداری آب دارند. به دیگر سخن خاک خشک به‌علت مواد آب‌گریزی که سطح ذرات خاک را پوشانده است باعث محدود کردن گنجایش نگهداشت آب خاک می‌شود. آب‌گریزی و آب‌دوستی ویژگی‌های مهم فیزیکی هستند که تأثیر زیادی بر روابط آب و خاک می‌گذارند. آب‌گریزی خاک با مقاومت خاک در برابر جذب آب در دوره‌های زمانی متفاوت مشخص می‌شود. یکی از دلایل آب‌گریزی خاک، ترکیبات آلی آب‌گریزی است که سطح ذرات خاک را پوشانده است. این ترکیبات آلی معمولاً از برگ‌ها و ریشه‌های گیاهان شامل موم‌ها، اسیدهای چرب و کوتین‌ها است (۱۰، ۱۴، ۱۵، ۲۵ و ۲۸). آب‌گریزی شدید ممکن است سبب تنش گیاهی و کاهش

تولید محصول شود (۱۵). با این‌وجود آب‌گریزی زیر- بحرانی (Sub-critical water repellency) اثر مثبتی بر پایداری ساختمان خاک و حفاظت فیزیکی مواد آلی در خاک دارد (۲۵، ۲۸ و ۲۹).

مطالعه آب‌گریزی خاک در باغ‌های زیتون در مکان‌ها و سنین متفاوت نشان داد که پس از احداث باغ، آب‌گریزی خاک با گذشت زمان افزایش می‌یابد. این پژوهش نشان داد که خاک زیر کشت درختان بالغ بسیار آب‌گریزتر از خاک زیر کشت درختان جوان بوده و هر دو آن‌ها نسبت به خاک کشت‌نشده آب‌دوستی کم‌تری داشتند (۳). سامانه آبیاری قطره‌ای در درازمدت باعث شورشیدن خاک می‌شود (۴ و ۶) و این موضوع در درازمدت به‌ویژه در ناحیه پیاز رطوبتی منجر به آب‌گریز شدن خاک و ایجاد ناپایداری جبهه رطوبتی (Wetting front instability) یا حرکت انگشتی‌شکل (Finger-type flow) آب در خاک‌رخ می‌شود (۱، ۵، ۱۲، ۱۶، ۲۸ و ۲۹).

لهرش و سوجکا (۲۰۱۱) گزارش دادند که کیفیت آب در سامانه آبیاری قطره‌ای بر آب‌گریزی خاک مؤثر بود و بیش‌ترین آب‌گریزی در نزدیکی جبهه رطوبتی دیده شد (۳۳). برخی گزارش‌ها در منابع علمی تأثیر شوری بر آب‌گریزی خاک را مورد تأیید قرار دادند (۱۶ و ۳۲). نخستین تأثیر مربوط به افزایش کشش سطحی آب با افزایش غلظت الکترولیت است

در یک خاک آب‌گریز جذب‌پذیری و خیز مویینگی آب برابر صفر است. چون زاویه تماس قطره آب با سطح خاک ( $\theta$ ) در خاک‌های آب‌گریز بیش از ۹۰ درجه است، قطرات آب بر روی سطح خاک مانده و بدون این‌که نفوذ یابند به مرور تبخیر می‌شوند. آبیاری منظم با پساب فاضلاب باعث افزایش آب‌گریزی خاک می‌شود (۴۴). تنها حضور مواد آلی منجر به آب‌گریزی خاک نمی‌گردد بلکه این مواد وقتی مؤثرند که یک آرایش مولکولی منظم داشته باشند (۴۰). از آنجایی‌که آب‌گریزی در زیر یک رطوبت به نام رطوبت بحرانی خاک اتفاق می‌افتد، بنابراین این آرایش مولکولی در نزدیکی این رطوبت خاک اهمیت دارد (۱۳).

امروزه کاربرد روکنش‌گرها (Surfactants) به‌طور گسترده‌ای رو به افزایش است (۱۷ و ۲۷) به‌طوری‌که کاربرد غلظت کمی از آن‌ها برای کاهش کشش سطحی آب، ورود آسان آب و جابجایی مواد آب‌گریز از دیواره منافذ ریز مؤثر است (۱۸ و ۳۱). پلی‌اکریل‌آمید (PAM) در صنعت برای جداسازی مواد معلق از سوسپانسیون استفاده می‌شود. شکل آنیونی PAM به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک شناخته می‌شود (۹ و ۴۳). به‌تازگی آثار مطلوب PAM آنیونی بر ویژگی‌های خاک گزارش شده است (۴۳). این اصلاح‌کننده خاک آثار مثبتی بر خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک و نیز کاهش آثار مخرب روان‌آب در فرسایش خاک دارد (۳۸). پلی‌اکریل‌آمید آنیونی از گروه‌های عامل  $-NH_2$  و  $-COOH$  تشکیل شده است که با توانایی جذب بالایی که دارند قادرند پلی بین ذرات خاک تشکیل دهند و میزان آب‌دوستی خاک را نیز تغییر دهند (۳۰).

(۲۶ و ۳۲). برای مثال، لیلامانی و کاروب (۲۰۱۳) دریافتند که با افزایش غلظت الکترولیت، کشش سطحی و به دنبال آن زاویه تماس آب-خاک افزایش یافت (۳۲). دلیل دیگر، در نتیجه تغییر در ترکیب الکترولیت (کیفیت آب) است. گرابر و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که با غالب‌شدن کاتیون‌های دوظرفیتی در خاک‌های قلیایی، آب‌گریزی افزایش یافت (۲۲). لیخنر و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که کاتیون‌های یک‌ظرفیتی قابل‌تبادل می‌توانند با از بین بردن پوشش آب‌گریز باعث کاهش آب‌گریزی خاک شوند. کاتیون  $Ca^{+2}$  در محلول خاک به‌وسیله هم‌آوری ذرات خاک و نیز برقراری پیوند بین اجزاء خاک با گروه‌های عامل مواد آلی حل‌شده در خاک باعث پایداری ساختمان خاک می‌شود؛ بنابراین ترکیب‌های آب‌گریز به آسانی می‌توانند سطح ذرات خاک را پوشش دهند (۳۶). دلیل دیگر حفاظت فیزیکی (Physical protection) ترکیبات آلی در درون خاکدانه‌های پایدار است که از نظر فیزیکی باعث کاهش دسترسی به آن‌ها برای تجزیه میکروبی است (۱، ۸، ۲۶ و ۲۷).

روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری و دسته‌بندی آب‌گریزی خاک پیشنهاد شده است (۱۵) که مهم‌ترین آن‌ها سه روش است: آزمون زمان نفوذ قطره آب (Water drop penetration time, WDPT) که بر اساس زمان نفوذ قطره آب در خاک است (۲، ۱۱ و ۴۶)، آزمون مولاریته قطره اتانول (Molarity of ethanol droplet, MED) که براساس غلظت الکل و زمان نفوذ قطره حاوی غلظت‌های متفاوت الکل است (۳۵) و آزمون جذب‌پذیری ذاتی (Intrinsic sorptivity test) که بر اساس تعیین جذب‌پذیری ذاتی خاک برای آب و اتانول است (۲۴ و ۴۵).

دمای سالانه آن ۱۷ درجه سلسیوس است. قدمت آبیاری قطره‌ای در این باغ ۱۵ سال و EC آب آبیاری ۱ ds/m است. اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای به مدت ۸ سال و ۱۵ سال از ابتدای کاشت نهال‌ها، از ویژگی‌های این باغ است که پایش زمانی آن را امکان‌پذیر می‌سازد.

این پژوهش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در قالب کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) با دو فاکتور «مدت‌زمان اجرای سامانه قطره‌ای» در سه سطح شاهد (بدون کشت)، ۸ سال و ۱۵ سال به عنوان فاکتور اصلی و «غلظت پلی‌اکریل‌آمید» (PAM) در سه سطح غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان فاکتور فرعی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش از اصلاح‌کننده PAM آنیونی با وزن مولکولی  $10^6 \times 18$  گرم بر مول استفاده شد. تیمار شاهد (بدون کشت) در کنار ردیف‌های آزمایشی انتخاب شد که ویژگی‌های خاک آن با خاک ردیف‌های تیمار شده یکسان است.

ابتدا غلظت‌های موردنظر PAM درون تانک‌های تزریق تهیه شده و یک‌مرتبه در زمان آبیاری باغ، واحدهای آزمایشی به‌جز تیمار صفر با این محلول آبیاری گردید به‌گونه‌ای که حجم و دبی محلول مصرفی برای هر واحد آزمایشی برابر حجم و دبی آب آبیاری تیمار شاهد و بر اساس رطوبت گنجایش مزرعه‌ای بود. در همه واحدهای آزمایشی یک هفته پس از اعمال تیمار اصلاح‌کننده PAM، از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متر در زیر قطره‌چکان‌ها نمونه خاک تهیه گردید.

دیویدسون و همکاران (۲۰۰۹) در ایالت یوتا (Utah) خاک‌های کاملاً سوخته جنگل ملی یواینتا (Uinta National Forest) را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش فرسایش خاک، آب‌گریزی خاک، میزان پوشش گیاهی و اراضی بدون پوشش گیاهی به مدت چهار سال اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی نشان داد که خاک‌های آب‌گریز شده در اثر آتش‌سوزی با کاربرد ۶ کیلوگرم در هکتار PAM بهبود یافتند، در سال دوم پس از کاربرد PAM، زمان نفوذ قطره آب (WDPT) در حدود ۸۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (۹). اثر PAM بر انرژی آزاد سطحی در پژوهش دیگری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انرژی آزاد سطحی و ویژگی‌های گوناگون سطوح جامد (مانند آب‌دوستی) همبستگی زیادی با هم دارند و می‌تواند در افزایش آب‌دوستی مؤثر باشد (۳۰). آثار مفید PAM بر ویژگی‌های خاک در آبیاری جوی و پشته‌ای و نیز بارانی بررسی شده است (۴۳) ولی دانسته‌های بسیار کمی در مورد اثر PAM بر آب‌گریزی خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای در دسترس است؛ بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر PAM بر آب‌گریزی و آب‌دوستی خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای در باغ به انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در باغ درختان به ( *Cydonia oblonga* ) با مساحت ۱۲ هکتار در منطقه طرق از توابع شهرستان نطنز در استان اصفهان در محدوده جغرافیایی  $2^{\circ} 33' 20''$  تا  $47^{\circ} 33' 19''$  شمالی و  $30^{\circ} 51' 45''$  تا  $45^{\circ} 51' 55''$  شرقی انجام شد. میانگین بارش سالانه آن ۱۸۰ میلی‌متر و میانگین

جذب پذیری آبی خاک (هوا- خشک) در سه دقیقه اول اندازه گیری شده و سپس نمونه ها در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک شده و جذب پذیری اتانول نیز با خاک در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه گیری شد. جذب آب و اتانول توسط ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم در فواصل زمانی ۵ ثانیه به مدت ۱۸۰ ثانیه و رسیدن به یک جریان پایدار ثبت شد. سپس منحنی های نفوذ تجمعی در برابر زمان و نفوذ تجمعی در برابر جذر زمان برای آب و اتانول به طور جداگانه ترسیم شد و با استفاده از منحنی حجم آب و اتانول نفوذ یافته در برابر زمان، شیب بخش خطی منحنی در بازه زمانی ۳۰ تا ۱۳۰ ثانیه به عنوان دبی جریان ماندگار یا  $Q(\text{cm}^3 \text{s}^{-1})$  به دست آمد. جذب پذیری  $(\text{cm s}^{-0.5})$  از رابطه زیر به دست می آید (۲۴):

$$S = \sqrt{\frac{Qf}{4br}} \quad (۳)$$

که در آن،  $S$  جذب پذیری  $(\text{cm s}^{-0.5})$ ،  $Q$  دبی جریان ماندگار مایع  $(\text{cm}^3 \text{s}^{-1})$ ،  $b$  پارامتر ثابت (برابر ۰/۵۵)،  $r$  شعاع سر ریز- نفوذسنج مکشی و  $f$  تخلخل هوایی خاک  $(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$  است. جذب پذیری ذاتی  $(S^*)$ ، بر اساس رابطه ۴ با جذب پذیری  $(S)$  رابطه دارد (۳۹):

$$S^* = \left[ \frac{\mu}{\gamma} \right]^{0.5} S \quad (۴)$$

که در آن،  $\mu$  و  $\gamma$  به ترتیب گرانروی  $(\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1})$  و کشش سطحی  $(\text{g s}^{-1})$  مایع است. شاخص آب گریزی (WRI) از رابطه زیر محاسبه می شود:

رسانایی الکتریکی و pH خاک در عصاره ۱:۵ آب:خاک (۴۲) اندازه گیری شد. کربن آلی خاک به روش واکلی بلاک (۴۷)، TNV (کل مواد خنثی شونده) به روش تیتراسیون برگشتی (۴۲) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۲۰) اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری آب گریزی خاک از روش جذب پذیری ذاتی (آب و اتانول) استفاده شد. در این روش بر اساس معادله نفوذ فیلپ (۱۹۵۷)، میزان نفوذ آب خالص و اتانول ۹۵ درصد بر روی کلوخه های هوا- خشک با قطر ۳-۴ سانتی متر اندازه گیری می شود (۳۹). فیلپ (۱۹۵۷) معادله زیر را بین نفوذ تجمعی  $(I)$  و زمان  $(t)$  استخراج کرد:

$$I = St^{1/2} + At + Bt^{3/2} + Ct^2 + \dots \quad (۱)$$

که در آن،  $S$ ،  $A$ ،  $B$  و  $C$  پارامترهای برازشی مدل هستند و با تقریب مناسبی می توان گفت تنها دو عبارت اول سمت راست نیاز است؛ بنابراین مدل به این شکل ساده خواهد شد:

$$I = St^{1/2} + At \quad (۲)$$

در زمان های ابتدایی نفوذ (۱ تا ۳ دقیقه) تنها عبارت اول سمت راست این معادله مهم بوده و اگر  $I$  در برابر  $t^{1/2}$  رسم شود، رابطه ای خطی به دست می آید. در این دامنه زمانی، جذب پذیری خاک (Soil sorptivity) تعریف می شود که به عنوان  $S$  و با واحد  $\text{m/s}^{1/2}$  بیان می شود. پارامتر  $A$  وابسته به هدایت هیدرولیکی خاک است. در این پژوهش برای اندازه گیری جذب پذیری آب و اتانول از دستگاه ریز- نفوذسنج مکشی استفاده شد (۲۳ و ۲۴).

۱/۹۵ و بیش از ۵۰، به ترتیب بیانگر بدون آب‌گریزی، آب‌گریزی زیر-بحرانی و آب‌گریزی شدید است (۳۷ و ۴۵). ساختمان (هندسه) منافذ و آب‌گریزی خاک بر جذب‌پذیری آب ( $S_W$ ) مؤثر است در حالی‌که جذب‌پذیری اتانول ( $S_E$ ) تنها متأثر از ساختمان (هندسه) منافذ خاک است (۷، ۲۳، ۲۴ و ۴۵). تجزیه آماری داده‌های این پژوهش به کمک نرم‌افزار SAS (version 9.1) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک زیر قطره‌چکان‌ها در جدول ۱ آمده است. بافت این خاک لوم رسی شنی با حدود ۲۵ درصد آهک است و کربن آلی این خاک در سه لایه از سطح به عمق به ترتیب ۱۴/۳۷، ۹/۸۹ و ۸/۹۰ گرم در کیلوگرم خاک است. این خاک غیرشور است که از عمق به سطح خاک، شوری افزایش می‌یابد.

$$WRI = \frac{S_E^*}{S_W^*} = \left[ \frac{(\mu_E / \gamma_E)}{(\mu_W / \gamma_W)} \right]^{0.5} \times \frac{S_E}{S_W} \quad (5)$$

که در آن،  $S_E^*$  و  $S_W^*$  به ترتیب جذب‌پذیری ذاتی اتانول و آب،  $S_E$  و  $S_W$  جذب‌پذیری اتانول و آب،  $\mu_E$  و  $\mu_W$  گرانروی اتانول و آب و نیز  $\gamma_E$  و  $\gamma_W$  کشش سطحی اتانول و آب است. در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، مقادیر  $\mu_E$  و  $\mu_W$  به ترتیب برابر ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱ ( $\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) و مقادیر  $\gamma_E$  و  $\gamma_W$  به ترتیب برابر ۲۲ و ۷۲ ( $\text{g s}^{-2}$ ) در رابطه ۵ جای‌گذاری شده و این معادله به شکل زیر درمی‌آید:

$$WRI = 1.95 \times \frac{S_E}{S_W} \quad (6)$$

زاویه تماس آب- خاک ( $\theta$ ) به کمک رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۷):

$$\theta = \arccos \frac{1}{WRI} \quad (7)$$

که در آن،  $\theta$  زاویه تماس آب- خاک و WRI شاخص آب‌گریزی خاک است. مقدار WRI برابر یک، بیش از

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical properties of studied soil.

pH	EC	کربن	چگالی	CaCO <sub>3</sub>	شن	سیلت	رس	بافت خاک	عمق
		آلی	ظاهری		Sand	Silt	Clay		Soil texture
	dSm <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>		kg 100 kg <sup>-1</sup>				(cm)
7.2	2.8	14.37	1.38	25	54	21	26	لوم رسی شنی Sandy clay loam	0-30
7.1	2.2	9.89	1.49	25	56	22	22	لوم رسی شنی Sandy clay loam	30-60
7.2	1.9	8.90	1.63	29	50	22	28	لوم رسی شنی Sandy clay loam	60-90

تجزیه واریانس رسانایی الکتریکی عصاره اشباع ( $EC_e$ )، مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم محلول ( $Ca + Mg$ )، غلظت سدیم محلول ( $Na$ ) و نسبت جذب سدیم ( $SAR$ ) در عصاره اشباع مربوط به لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک در جدول ۲ آورده شده است. اثر مدت زمان اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای بر

تجزیه واریانس رسانایی الکتریکی عصاره اشباع ( $EC_e$ )، مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم محلول ( $Ca + Mg$ )، غلظت سدیم محلول ( $Na$ ) و نسبت جذب سدیم ( $SAR$ ) در عصاره اشباع مربوط به لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک در جدول ۲ آورده شده است. اثر مدت زمان اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای بر

جدول ۲- تجزیه واریانس  $EC_e$ ، ( $Ca + Mg$ )،  $Na$  و  $SAR$  در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک تحت تأثیر دوره زمانی آبیاری قطره‌ای و کاربرد PAM\*.

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of  $EC_e$ , ( $Ca + Mg$ ),  $Na$  and  $SAR$  in 0-30 cm soil layer as affected by drip irrigation system period and PAM application<sup>a</sup>.

میانگین مربعات Mean Squares				درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of variation
SAR	Na	Ca+Mg	$EC_e$		
5.241**	178.63**	433*	9.94**	2	سال Year
0.028 <sup>ns</sup>	8.64 <sup>ns</sup>	94.78*	1.34 <sup>ns</sup>	2	پلی‌اکریل‌آمید PAM
0.089 <sup>ns</sup>	12.18 <sup>ns</sup>	113.78*	1.58*	4	سال × PAM PAM × Year

<sup>a</sup> \*\*، \*، <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار.

<sup>a</sup> \*\*, \*, <sup>ns</sup> are significant at 0.01, 0.05 probability level and not significant respectively.

مقایسه میانگین  $EC_e$ ، ( $Ca + Mg$ )،  $Na$  و  $SAR$  تحت تأثیر مدت زمان اجرای سامانه قطره‌ای در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک زیر قطره‌چکان‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است. بیش‌ترین مقادیر همه این ویژگی‌ها در تیمار ۱۵ سال اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای به دست آمد. بورت و ایسبل (۲۰۰۵) و کلارک (۲۰۰۴) نیز گزارش نمودند که آبیاری سامانه قطره‌ای در درازمدت باعث شور شدن خاک ناحیه پیاز رطوبتی می‌شود (۴ و ۶). در خاک تیمار کشت‌نشده به دلیل این‌که مدت زمان زیادی آبیاری نشده بود، جریان موئین پایین به بالا در آن باعث تجمع املاح در لایه سطحی خاک گردیده و مقادیر ویژگی‌های ذکر شده در آن با تیمار ۸ سال اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین  $EC_e$ ، ( $Ca + Mg$ )،  $Na$  و  $SAR$  تحت تأثیر مدت زمان اجرای سامانه قطره‌ای در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک زیر قطره‌چکان‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است. بیش‌ترین مقادیر همه این ویژگی‌ها در تیمار ۱۵ سال اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای به دست آمد. بورت و ایسبل (۲۰۰۵) و کلارک (۲۰۰۴) نیز گزارش نمودند که آبیاری سامانه قطره‌ای در درازمدت باعث شور شدن خاک

جدول ۳- مقایسه میانگین  $EC_e$ ,  $(Ca + Mg)$ ,  $Na$  و  $SAR$  در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک تحت تأثیر دوره‌های اجرای آبیاری قطره‌ای\*.

Table 3. Means' comparison of  $EC_e$ ,  $(Ca + Mg)$ ,  $Na$  and  $SAR$  in the 0-30 cm soil layer as affected by drip irrigation system period <sup>a</sup>.

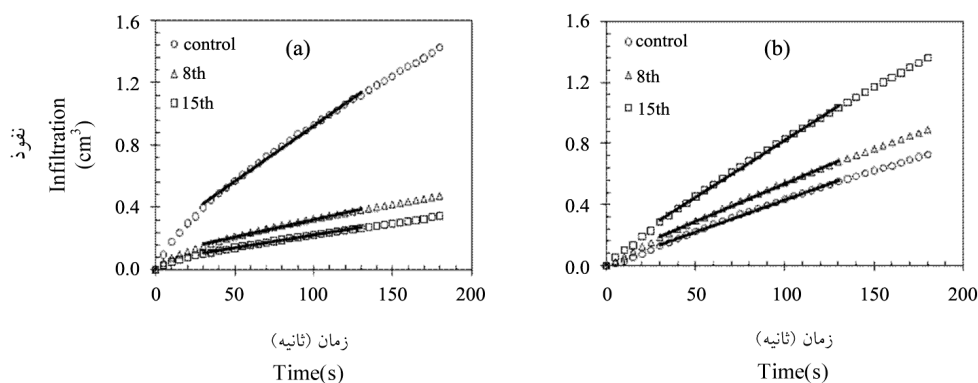
SAR (meq/l) <sup>0.5</sup>	Na (meq/l)	Ca + Mg (meq/l)	$EC_e$ (dSm <sup>-1</sup> )	تیمار Treatment
3.41 <sup>c</sup>	8.80 <sup>b</sup>	13.33 <sup>b</sup>	2.05 <sup>b</sup>	کشت نشده Uncultivated
4.26 <sup>b</sup>	11.14 <sup>b</sup>	14.00 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	۸ سال 8 years
4.94 <sup>a</sup>	17.41 <sup>a</sup>	25.67 <sup>a</sup>	3.99 <sup>a</sup>	۱۵ سال 15 years

\* در هر ستون، حروف لاتین بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ( $P < 0.05$ ) است.

\* In each column, different letters indicate significant differences (LSD,  $P < 0.05$ ).

نفوذ اتانول تنها به هندسه منافذ خاک وابسته است (۲۵، ۲۸ و ۲۹). نفوذ زیاد اتانول در تیمارهای ۸ و ۱۵ سال ممکن است به دلیل افزایش منافذ مویینه در این تیمارها باشد. همچنین افزایش غلظت  $Ca^{+2}$  (جدول ۳) در تیمار ۱۵ سال اجرای سامانه قطره‌ای، احتمالاً باعث پایداری اسیدهای چرب و نیز سطوح آب‌گریز گردیده و در نهایت باعث کاهش نفوذ آب (افزایش نفوذ اتانول) گردیده است (۸).

نفوذ آب ( $cm^3$ ) در تیمارهای دوره اجرای سامانه قطره‌ای نشان داد که نفوذ آب در تیمار کشت نشده (شاهد) بسیار سریع‌تر از تیمارهای ۸ و ۱۵ سال کشت است (شکل ۱-a) و با گذشت زمان از ابتدای کاشت میزان نفوذ کندتر شد. نفوذ اتانول در تیمارهای ۸ و ۱۵ سال کشت بر خلاف نفوذ آب با گذشت زمان از ابتدای کاشت نسبت به شاهد سریع‌تر بود (شکل ۱-b). ترکیبات آب‌گریز بر نفوذ آب مؤثر است ولی



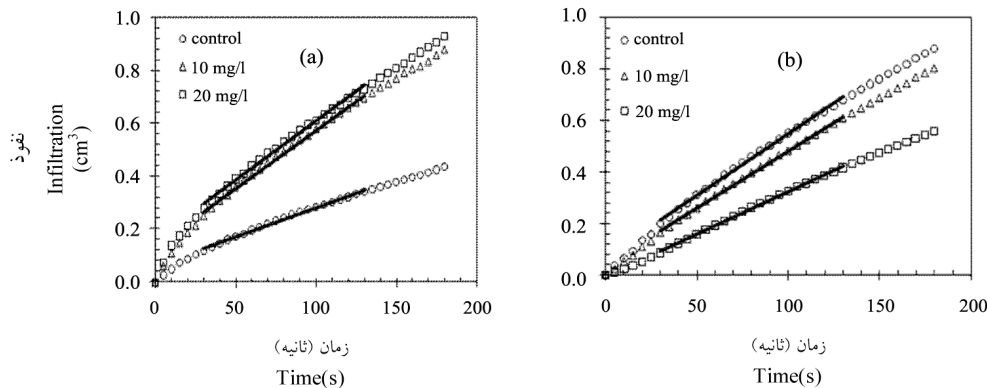
شکل ۱- نفوذ آب (a) و اتانول (b) بر حسب  $cm^3$  در برابر زمان (s) در لایه ۰-۳۰ سانتی متری خاک در تیمارهای زمانی.

Figure 1. Water (a) and ethanol (b) uptake ( $cm^3$ ) vs. time (s) in 0-30 cm soil layer as affected by irrigation period of drip irrigation system.



افزایش دهند (۴۱). علاوه بر آن روکنش‌گرها در کاهش کشش سطحی آب مؤثرند و متعاقباً می‌توانند نفوذ آب در خاک را بهبود بخشند (۱۸ و ۳۱).

کاربرد PAM نفوذ آب را نسبت به شاهد به شدت افزایش داد (شکل a-۲) برخی روکنش‌گرها آب‌دوستی را افزایش می‌دهند (۳۴). این ترکیبات در مقادیر کم قادرند با جابجا کردن ترکیبات آب‌گریز نفوذ آب را



شکل ۲- نفوذ آب (a) و اتانول (b) بر حسب سانتی‌مترمکعب در برابر زمان (ثانیه) در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک تحت تأثیر غلظت‌های PAM.

Figure 2. Water (a) and ethanol (b) uptake ( $\text{cm}^3$ ) vs. time (s) in 0-30 cm soil layer as affected by PAM concentration.

تیمارهای مدت‌زمان اجرای سامانه (a) و غلظت‌های PAM (b) در سطح احتمال پنج درصد نشان داده شده است. در شکل a-۳ در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری، WRI در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۷۰ و ۱۵۱ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) داشته است. در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری، WRI در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۷۱ و ۱۱۱ درصد نسبت به شاهد (از نظر آماری با شاهد در یک سطح بوده و معنی‌دار نیست) و افزایش معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) داشته است. در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، WRI در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۳ و ۱۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته است که تیمار ۸ سال با شاهد در یک سطح آماری قرار دارد.

نتایج تجزیه واریانس شاخص آب‌گریزی (WRI)، زاویه تماس ( $\theta$ )، جذب‌پذیری آب ( $S_W$ )، جذب‌پذیری اتانول ( $S_E$ ) و کربن آلی (OC) در تیمارهای آزمایشی در سه عمق مختلف خاک در جدول ۴ آورده شده است. اثر تیمارهای غلظت PAM، مدت‌زمان اجرای سامانه قطره‌ای و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر WRI و  $\theta$  در هر سه لایه خاک (به‌استثنای اثر برهم‌کنش در لایه سطحی) معنی‌دار شد ( $P < 0.01$ ). اثر مدت‌زمان اجرای سامانه قطره‌ای بر  $S_W$ ،  $S_E$  و OC در هر سه لایه خاک معنی‌دار شد ( $P < 0.01$ ). اثر PAM بر  $S_W$  به‌استثنای لایه سطحی در دو لایه دیگر معنی‌دار شد ( $P < 0.01$ ).

مقایسه میانگین شاخص آب‌گریزی (WRI) در شکل ۳ در سه عمق خاک زیر قطره‌چکان‌ها در

جدول ۴- تجزیه واریانس شاخص آب‌گریزی (WRI)، زاویه تماس آب- خاک ( $\theta$ )، جذب‌پذیری آب ( $S_w$ )، جذب‌پذیری اتانول ( $S_E$ ) و کربن آلی (OC) در سه عمق مختلف خاک تحت تأثیر دوره زمانی آبیاری قطره‌ای و کاربرد PAM\*.

**Table 4. Analysis of variance (ANOVA) of soil water repellency index (WRI), soil-water contact angle ( $\theta$ ), water sorptivity ( $S_w$ ), ethanol sorptivity ( $S_E$ ) and organic carbon (OC) in the three soil layers as affected by drip irrigation system period and PAM application<sup>a</sup>.**

میانگین مربعات Mean Squares					درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Sources of variation	عمق (cm)
OC	$S_E$	$S_w$	$\theta$	WRI			
0-30							
8.49**	0.001**	0.004**	3229.91**	11.051**	2	سال (Year)	
0.033 <sup>ns</sup>	0.0001*	0.001 <sup>ns</sup>	814.99**	2.356**	2	پلی‌اکریل‌آمید (PAM)	
0.294 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	337.28 <sup>ns</sup>	0.083 <sup>ns</sup>	4	سال × PAM (PAM × Year)	
30-60							
4.464**	0.001**	0.001**	1781.77**	4.581**	2	سال (Year)	
0.078 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.003**	2954.81**	4.374**	2	پلی‌اکریل‌آمید (PAM)	
0.051 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.001**	323.74**	0.021**	4	سال × PAM (PAM × Year)	
60-90							
3.568**	0.003**	0.001**	2338.05**	7.383**	2	سال (year)	
0.028 <sup>ns</sup>	0.0001*	0.002**	1579.57**	2.415**	2	پلی‌اکریل‌آمید (PAM)	
0.079 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	159.18**	0.379**	4	سال × PAM (PAM × Year)	

<sup>a</sup> \*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار. هر لایه خاک به‌طور مستقل مورد تجزیه آماری قرار گرفته است. \*\*، \*، <sup>ns</sup> are significant at 0.01, 0.05 probability level and not significant respectively. The statistical analyses were done separately for each soil layer.

WRI در هر سه لایه خاک (شکل ۳-ا) هم‌خوانی زیادی با تغییرات کربن آلی خاک دارد. بوقیسی و والاش (۲۰۱۶) نیز دریافتند که خاک تحت کشت درختان بالغ زیتون آب‌گریزتر از خاک تحت کشت درختان جوان بودند (۳). در عمق پایین‌تر از ۳۰ سانتی‌متری بیش‌ترین افزایش WRI در تیمار ۱۵ سال اجرای سامانه قطره‌ای دیده شد که دلیل آن می‌تواند تجمع املاح در ناحیه پیاز رطوبتی در زیر قطره‌چکان باشد.

در مجموع مقادیر WRI به‌دست آمده زیر حد بحرانی است (۳۷ و ۴۵). با افزایش مدت‌زمان اجرای سامانه آب‌گریزی خاک، WRI در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نسبت به سایر اعماق خاک افزایش بیش‌تری یافته است که افزایش غلظت الکترولیت‌ها (جدول‌های ۳ و ۴)، فعالیت‌های بیولوژیک و کربن آلی (جدول ۵) در این عمق از دلایل آن می‌تواند باشد. مقایسه میانگین کربن آلی ( $\text{g kg}^{-1}$ ) نسبت به تیمارهای زمانی در لایه‌های مختلف خاک (جدول ۵) نشان داد که روند تغییرات

جدول ۵- مقایسه میانگین کربن آلی ( $g\ kg^{-1}$ ) در لایه‌های مختلف خاک نسبت به تیمارهای دوره‌های اجرای آبیاری قطره‌ای\*.

**Table 5. Means' comparisons of organic carbon in different soil layers as affected by irrigation period of drip irrigation system.**

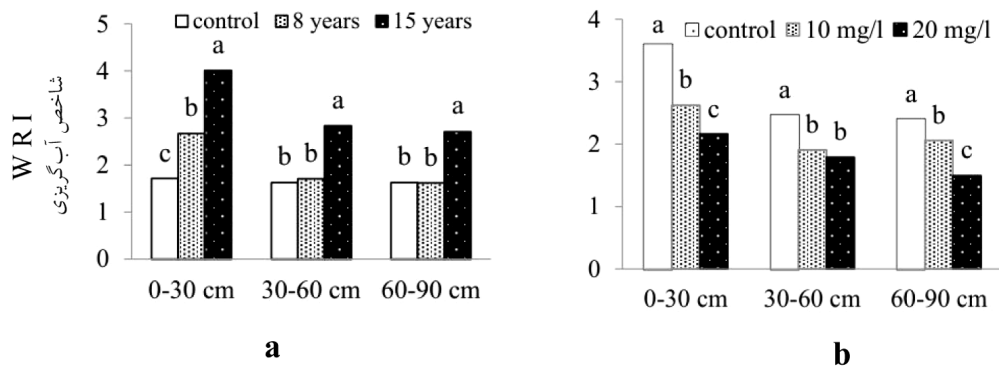
عمق (cm) Depth			تیمار Treatment
60-90	30-60	0-30	
4.26 <sup>b</sup>	4.27 <sup>b</sup>	4.28 <sup>c</sup>	کشت نشده Uncultivated
6.38 <sup>b</sup>	7.61 <sup>b</sup>	15.14 <sup>b</sup>	۸ سال 8 years
16.07 <sup>a</sup>	17.79 <sup>a</sup>	23.68 <sup>a</sup>	۱۵ سال 15 years

\* در هر ستون، حروف لاتین بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ( $P<0.05$ ) است.

\* In each column, different letters indicate significant differences (LSD,  $P<0.05$ ).

داشته است. در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متری، WRI در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM به ترتیب ۱۴ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) یافته است. اثر PAM در کاهش آب‌گریزی و افزایش آب‌دوستی خاک توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۹ و ۳۰).

در شکل ۳-b در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری WRI در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM به ترتیب ۲۲ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) داشته است. در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری WRI در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر PAM به ترتیب ۲۹ و ۵۱ درصد نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری ( $P<0.05$ )

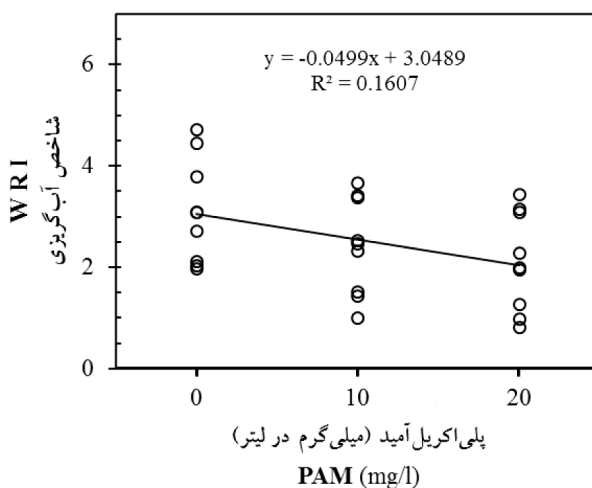


شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص آب‌گریزی در سه لایه خاک؛ (a) دوره‌های آبیاری قطره‌ای و (b) غلظت پلی‌اکریل‌امید (PAM). حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار در آزمون LSD ( $P<0.05$ ) است. مقایسه میانگین برای هر عمق جداگانه انجام شده است.

**Figure 3. Means' comparisons of water repellency index (WRI) in three soil layers as affected by: (a) irrigation period of drip irrigation system and (b) PAM concentrations. Different letters on the bars indicate significant differences (LSD,  $P<0.05$ ); The statistical analyses were done separately for each soil layer.**

WRI کاهش می‌یابد (شکل ۴)؛ تمامی مقادیر WRI به‌دست آمده در این پژوهش زیر حد بحرانی است (۳۷ و ۴۵).

به‌طورکلی افزایش غلظت‌های استفاده‌شده PAM با مقادیر WRI به‌دست آمده همبستگی منفی داشت به‌گونه‌ای که با افزایش غلظت PAM مقدار

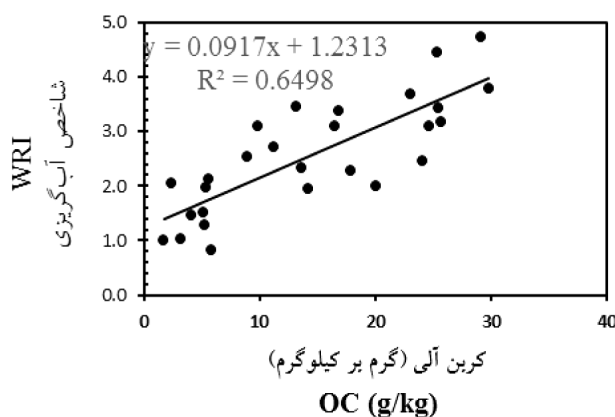


شکل ۴- رابطه خطی بین شاخص آب‌گریزی (WRI) و غلظت کاربردی PAM در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک.

Figure 4. Linear relation between water repellency index (WRI) and polyacrylamide (PAM) concentration in the 0-30 cm soil layer.

مواد توسط باغ‌دار به خاک باعث افزایش آب‌گریزی خاک شد. پژوهش‌های پیشین نیز به نقش مثبت مواد آلی در افزایش آب‌گریزی خاک اشاره نموده‌اند (۲، ۱۴، ۱۵، ۲۵ و ۲۸).

در این پژوهش WRI با کربن آلی در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک زیر قطره‌چکان‌ها رابطه خطی قوی مثبتی داشت (شکل ۵) به بیان دیگر افزایش ماده آلی خاک در اثر فعالیت‌های ریشه گیاهی و یا افزودن این

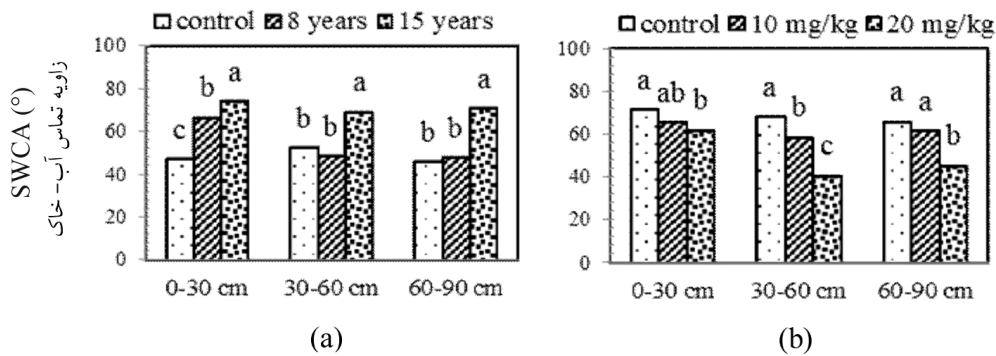


شکل ۵- رابطه خطی بین شاخص آب‌گریزی (WRI) و کربن آلی در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک.

Figure 5. Linear relation between water repellency index (WRI) and organic carbon (OC) in the 0-30 cm soil layer.

مقایسه میانگین زاویه تماس آب- خاک ( $\theta$ ) در شکل ۶ در سه عمق خاک زیر قطره‌چکان‌ها در تیمارهای مدت‌زمان اجرای سامانه (a) و غلظت‌های PAM (b) در سطح احتمال پنج درصد نشان داده شده است. در شکل ۶-a در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری،  $\theta$  در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۴۱ و ۵۸ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) داشته است. در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری،  $\theta$  در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۳۲ درصد نسبت به شاهد به ترتیب کاهش (از نظر آماری با شاهد در یک سطح بوده و معنی‌دار نیست) و افزایش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) داشته است. در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، مقدار  $\theta$ ، هشت سال پس از اجرای سامانه نسبت به شاهد ۴ درصد افزایش داشته است که از نظر آماری با شاهد در یک سطح آماری

مقایسه میانگین زاویه تماس آب- خاک ( $\theta$ ) در شکل ۶ در سه عمق خاک زیر قطره‌چکان‌ها در تیمارهای مدت‌زمان اجرای سامانه (a) و غلظت‌های PAM (b) در سطح احتمال پنج درصد نشان داده شده است. در شکل ۶-a در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری،  $\theta$  در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۴۱ و ۵۸ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) داشته است. در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری،  $\theta$  در ۸ و ۱۵ سال پس از اجرای سامانه به ترتیب ۳۲ درصد نسبت به شاهد به ترتیب کاهش (از نظر آماری با شاهد در یک سطح بوده و معنی‌دار نیست) و افزایش معنی‌داری ( $P<0.05$ ) داشته است. در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، مقدار  $\theta$ ، هشت سال پس از اجرای سامانه نسبت به شاهد ۴ درصد افزایش داشته است که از نظر آماری با شاهد در یک سطح آماری



شکل ۶- مقایسه میانگین زاویه تماس آب- خاک در سه لایه خاک؛ (a) دوره‌های آبیاری قطره‌ای و (b) غلظت پلی‌اکریل‌آمید (PAM). حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ( $P<0.05$ ) است. مقایسه میانگین برای هر عمق جداگانه انجام شده است.

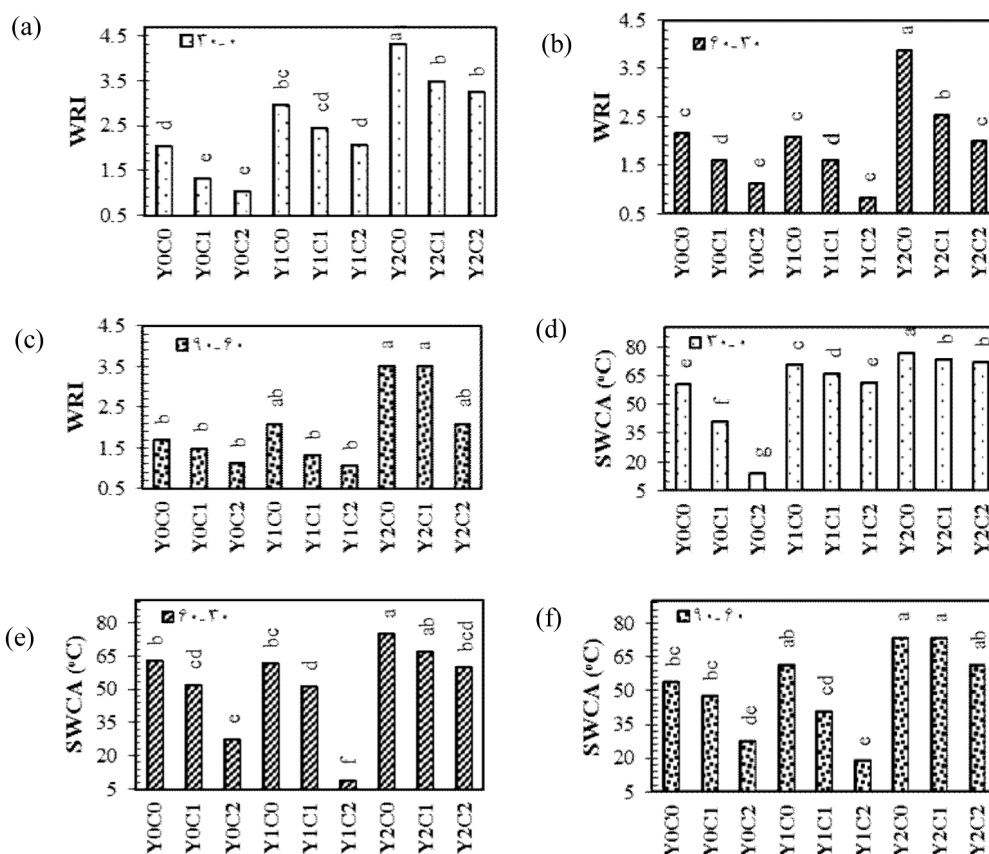
Figure 6. Means' comparisons of soil-water contact angle (SWCA, °) in three soil layers (cm): (a) irrigation period of drip irrigation system and (b) PAM concentrations. Different letters on the bars indicate significant differences (LSD,  $P<0.05$ ); The analyses were done separately for each soil layer.

است. بیش‌ترین مقدار WRI برابر ۴/۳۲ مربوط به ۱۵ سال اجرای سامانه قطره‌ای و بدون کاربرد PAM در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری است. کم‌ترین مقدار WRI

مقایسه میانگین برهم‌کنش مدت‌زمان اجرای سامانه قطره‌ای و مصرف PAM بر WRI و  $\theta$  در سطح احتمال پنج درصد در شکل ۷ نمایش داده شده

۱۵ سال اجرای سامانه قطره‌ای و بدون کاربرد PAM در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و برابر ۷/۷ درجه است. کم‌ترین مقدار  $\theta$  در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در تیمار ۸ سال اجرای سامانه قطره‌ای در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM دیده شد.

برابر ۰/۸۳ مربوط به تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM بدون اجرای سامانه قطره‌ای در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری است که از نظر آماری ( $P < 0.05$ ) با تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر PAM در مدت ۸ سال اجرای سامانه قطره‌ای در همین عمق تفاوت معنی‌داری ندارد. بیش‌ترین زاویه تماس آب-خاک ( $\theta$ ) در تیمار



شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص آب‌گریزی (WRI) و زاویه تماس خاک-آب ( $\theta$ , SWCA) تحت تأثیر برهم‌کنش دوره آبیاری قطره‌ای و غلظت PAM، در لایه‌های متفاوت خاک (cm): (a, d) ۰-۳۰، (b, e) ۳۰-۶۰ و (c, f) ۶۰-۹۰؛ در محور افقی: Y= دوره‌های آبیاری قطره‌ای، C= غلظت پلی‌اکریل‌آمید و نیز ۰، ۱ و ۲ به ترتیب برابر شاهد، اولین و دومین فاصله تیمارهای مذکور است. حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار در آزمون LSD ( $P < 0.05$ ) است.

Figure 7. Means' comparisons of water repellency index (WRI) and soil-water contact angle ( $\theta$ , SWCA) as affected by the interaction of irrigation period of drip irrigation system and PAM concentration in different soil layers: (a, d) 0-30 cm, (b, e) 30-60 cm and (c, f) 60-90 cm. Y= irrigation period of drip irrigation system, C= PAM concentration; 0, 1 and 2 are control, 2<sup>th</sup> and 3<sup>th</sup> treatment levels, respectively; Different letters on the bars indicate significant differences (LSD,  $P < 0.05$ ).

## نتیجه گیری کلی

با گذشت زمان از اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای باغ به، آب‌گریزی خاک افزایش یافت که این افزایش در لایه سطحی بیش‌تر بود. احتمالاً افزایش کربن آلی خاک مهم‌ترین عامل افزایش آب‌گریزی خاک در این باغ است به‌گونه‌ای که با افزایش آن زاویه تماس آب- خاک و متعاقباً آب‌گریزی خاک افزایش یافت. اصلاح‌کننده پلی‌اکریل‌آمید با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش زاویه تماس آب- خاک و

آب‌گریزی، و افزایش جذب‌پذیری آبی خاک شد. کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در سامانه آبیاری قطره‌ای باعث تغییر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک زیر قطره‌چکان‌ها شد و احتمالاً این تغییر ویژگی‌ها می‌تواند بر ابعاد هندسی پیاز رطوبتی، کارایی آبیاری و رشد و سلامتی گیاه مؤثر باشد که پیشنهاد می‌شود این موارد در پژوهش‌های آینده مورد بررسی بیش‌تری قرار گیرد.

## منابع

1. Aelamanesh, P., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Ahrens, B., and Sinegani, A.S. 2014. Water repellency in calcareous soils under different land uses in western Iran. *Pedosphere*. 24: 378-390.
2. Bisdom, E.B.A., Dekker, L.W., and Schouite, J.F.T. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*. 56: 105-118.
3. Bughici, T., and Wallash, R. 2016. Formation of soil-water repellency in olive orchards and its influence on in filtration pattern. *Geoderma*. 262: 1-11.
4. Burt, C.M., and Isbell, B. 2005. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. Irrigation training and research center. California polytechnic state University. ITRC paper No. P 05-001.
5. Carrillo, M.L.K., Letey, J., and Yates, S.R. 2000. Unstable water flow in a layered soil: II. Effects of an unstable water-repellent layer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 456-459.
6. Clark, L.J. 2004. Changes in properties of vineyard red brown earths under long-term drip irrigation, combined with varying water qualities and gypsum application rates. PhD Thesis, University of Adelaide, Australia.
7. Cosentino, D., Hallett, P.D., Michel, J.C., and Chenu, C. 2010. Do different methods for measuring the hydrophobicity of soil aggregates give the same trends in soil amended with residue? *Geoderma*. 159: 221-227.
8. Datta, A., Kmetko, J., Richter, A.G., Yu, C.J., Dutta, P., Chung, K.S., and Bai, J.M. 2000. Effect of headgroup dissociation on the structure of Langmuir monolayers. *Langmuir*. 16: 1239-1242.
9. Davidson, R.A., Davidson, C.F., and Roa-Espinosa, A. 2009. Linear anionic polyacrylamide as an effective post-fire soil treatment: Understanding the chemistry and physical science. *J. Soil Water Cons.* 64: 4. 243-252.
10. 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. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 235-246.
11. Dekker, L.W., and Jungerius, P.D. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Suppl.* 18: 173-183.
12. Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. 1996. Uneven moisture patterns in water repellent soils. *Geoderma*. 70: 87-99.
13. Dekker, L.W., Ristema, C.J., Oostindie, K., Moore, D., and Wesseling, J.G. 2009. Methods for determining soil water repellency on field-moist samples. *Water Resour. Res.* 45: 4. 1-6.

14. Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. 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: 5. 741-754.
15. Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Sci. Rev.* 51: 33-65.
16. Dorostkar, V., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Mosaddeghi, M.R., and Rejali, F. 2016. Subcritical soil hydrophobicity in the presence of native and exotic arbuscular mycorrhizal species at different soil salinity levels. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62: 3. 429-443.
17. Feng, G.L., Letey J., and Wu, L. 2002. The influence of two surfactants on infiltration into a water-repellent soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 361-367.
18. Fernández Cirelli, A., Ojeda, C., Castro, M.J.L., and Salgot, M. 2008. Surfactants in sludgeamended agricultural soils: a review. *Environ. Chem. Lett.* 6: 135-148.
19. Foster, S.S.D., and Chilton, P.J. 2003. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Phil. Trans. Royal. Soc. Lond. B.* 358: 1957-1972.
20. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* ASA, Madison, Wisconsin, USA, Pp: 399-411.
21. Gerten, D., Schaphoff, S., and Lucht, W. 2007. Potential future changes in water limitations of the terrestrial biosphere. *Clim. Change.* 80: 277-299.
22. Graber, E.R., Tagger, S., and Wallach, R. 2009. Role of divalent fatty acid salts in soil water repellency. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 541-549.
23. Hallett, P.D., Gordon, D.C., and Bengough, A.G. 2003. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytol.* 157: 597-603.
24. Hallett, P.D., and Young, I.M. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 35-40.
25. Hallett, P.D. 2007. An introduction to soil water repellency. *Proceedings of the 8th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals.* Vol. 6: p. 9.
26. Holthusen, D., Haas, C., Peth, S., and Horn, R. 2012. Are standard values the best choice? A critical statement on rheological soil fluid properties viscosity and surface tension. *Soil Tillage Res.* 125: 61-71.
27. Hopkins, B.G., and Cook, A.G. 2005. Evaluation of Aquatrols IrrigAid Gold on Russet Burbank potatoes Research Summary – Aquatrols from: [www.aquatrols.com/Research/IrrigAidGold/HopkinsIGG2005pdf](http://www.aquatrols.com/Research/IrrigAidGold/HopkinsIGG2005pdf).
28. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Sabzalian, M.R. 2015a. Aboveground fungal endophyte infection in tall fescue alters rhizosphere chemical, biological and hydraulic properties in texture-dependent ways. *Plant Soil.* 388: 351-366.
29. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Sabzalian, M.R. 2015b. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma.* 249: 87-99.
30. Janczuk, B., Bialopiotrowicz, T., Kliszcz, A., and Bilinski, B. 1991. Influence of polyacrylamide on the surface free energy and wettability of a chernozem soil. *Geoderma.* 50: 173-184.
31. Laha, S., Tansel, B., and Ussawarujikulchai, A. 2009. Surfactant-soil interactions during surfactant-amended remediation of contaminated soils by hydrophobic organic compounds: a review. *J. Environ. Manage.* 90: 95-100.
32. Leelamanie, D.A.L., and Karube, J. 2013. Soil-water contact angle as affected by the aqueous electrolyte concentration. *Soil Sci. Plant Nutr.* 59: 501-508.
33. Lehrsch, G.A., and Sojka, R.E. 2011. Water quality and surfactant effects on the water repellency of a sandy soil. *J. Hydrol.* 403: 1-2. 58-65.
34. Lehrsch, G.A., Sojka, R.E., and Koehn, A.C. 2012. Surfactant effects on soil aggregate tensile strength. *Geoderma.* Pp: 189-190.



35. Letey, J. 1969. Measurement of contact angle, water drop penetration time and critical surface tension. Proceedings of the Symposium on Water-Repellent Soils, University of California, Pp: 43-47.
36. Lichner, L., Dlapa, P., Doerr, S.H., and Mataix-Solera, J. 2006. Evaluation of different clay minerals as additives for soil water repellency alleviation. *Appl. Clay Sci.* 31: 238-248.
37. Lipiec, J., Wojciga, A., and Horn, R. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil Till. Res.* 103: 170-177.
38. Mamedov, A.I., Wagner, L.E.; Huang, C., Norton, L.D., and Levy, G.J. 2010. Polyacrylamide effects on aggregate and structure stability of soils with different clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1720-1732.
39. Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.* 84: 257-264.
40. Roy, J.L., and McGill, W.B. 2000. Flexible conformation in organic matter coatings: An hypothesis about soil water repellency. *Can. J. Soil Sci.* 80: 143-152.
41. Scheunert, I., and Korte, F. 1985. Interactions in the fate of chemicals in terrestrial systems. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 9: 385-391.
42. Sims, J.T. 1996. Lime requirement. P 491-515, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, P.N. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnson and M.E. Sumner (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* 2<sup>nd</sup> Edition. Soil Science Society of America Book Series Number 5, ASA and SSSA, Madison.
43. Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D., and Orts, W.J. 2006. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Adv. Agron.* 92: 75-162.
44. Tarchitzky, J., Lerner, O., Shani, U., Arye, G., Lowengart-Aycicegi, A., Brener, A., and Chen, Y. 2007. Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: Hydrophobicity effect, *Eur. J. Soil Sci.* 58: 573-588.
45. Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis, M.G., and Clothie, B.E. 1989. Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Aust. J. Soil Res.* 27: 637-644.
46. Van't Woudt, B.D. 1959. Particle coatings affecting the wettability of soils. *J. Geophysic. Res.* 64: 263-267.
47. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-39.



---

## The effect of long-term drip irrigation and polyacrylamide application on soil water repellency in quince orchard garden

M. Tadayonnejad<sup>1</sup>, \*Sh. Ghorbani Dashtaki<sup>2</sup>, M.R. Mosaddeghi<sup>3</sup>,  
J. Mohamadi<sup>2</sup> and M. Panahi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>4</sup>Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Received: 11/01/2016; Accepted: 01/31/2017

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Water repellency and wettability are important physical characteristics that have a great impact on soil hydraulic properties. In drip irrigation system, hydraulic properties of the soil under the dripper could affect the geometry of wetting bulb and subsequently the plant growth and yield. Soil water repellency might be reduced by the application of surfactants. Little research is available showing that the soil water repellency is reduced due to application of polyacrylamide (PAM). This study was conducted to investigate the PAM effects on variability of soil water repellency and wettability in drip irrigation system in quince orchard garden.

**Materials and Methods:** The experimental design was complete random block design in a split-plot form with "irrigation period of drip irrigation system" as main plots and PAM concentrations as subplots, with three replications. Main plots treatments consisted of control (uncultivated), 8 and 15 years and subplots treatments consisted of 0 (control), 10 and 20 mg l<sup>-1</sup> PAM. Different concentrations of PAM were prepared inside injection tanks. At the irrigation time, experimental plots (except control) were irrigated with the PAM solutions where the water volume was similar for all orchard trees. A week after applying the PAM, the soil samples were taken from 0-30, 30-60 and 60-90 cm depths under the drippers. Water repellency index (WRI) and soil-water contact angle ( $\theta$ ) were determined by a tension micro-infiltrometer according to intrinsic sorptivity test in the laboratory.

**Results:** Results showed that the irrigation period of drip irrigation system and PAM significantly affected the WRI and  $\theta$ . The drip irrigation system severely decreased the water infiltration rate but the application of PAM compensated for this loss. The maximum value of water repellency index (4.32) was measured in 15 years period of drip irrigation system without the use of PAM at 0-30 cm soil layer. Findings also showed the lowest value of WRI (0.83) was recorded at 30-60 cm soil layer in the concentration of 20 mg l<sup>-1</sup> PAM without the drip irrigation system, which was not significantly different from the treatment of 20 mg l<sup>-1</sup> PAM and 8 years of drip irrigation system.

**Conclusion:** The results showed that the period of drip irrigation system significantly increased the water repellency and soil-water contact angle and decreased the water infiltration, especially in 0-30 cm soil layer. The application of PAM significantly reduced the soil water repellency and soil-water contact angle and increased water infiltration. Overall, increment in soil organic matter and salt accumulation under the drippers can increase the soil hydrophobicity in the garden and the application of 20 mg l<sup>-1</sup> PAM in drip irrigation system significantly reduces soil water repellency.

**Keywords:** Polyacrylamide, Water repellency, Water sorptivity, Ethanol sorptivity, Soil-water contact angle

---

\* Corresponding Author; Email: [shoja2002@yahoo.com](mailto:shoja2002@yahoo.com)