

اثر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر تغییرات زمانی آب‌گریزی پویا و ایستا در یک خاک آهکی

زهرا زارعی، سید علی‌اکبر موسوی¹، عبدالمجید ثامنی و علی‌اکبر کامگار حقیقی

دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ zah-zarei@shirazu.ac.ir

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

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ asameni@hotmail.com

استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aakamkgar@shirazu.ac.ir

دریافت: 94/4/8 و پذیرش: 94/10/7

چکیده

آب‌گریزی خاک از درجات خفیف تا خیلی شدید در بسیاری از خاک‌ها با بافت‌های متفاوت، کاربری‌های گوناگون اراضی و شرایط آب و هوایی مختلف گزارش شده است. این پدیده سبب کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. آب‌گریزی می‌تواند تحت تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک و یا در طول زمان تغییر یابد. در این پژوهش اثر دو اصلاح‌کننده آلی (پلی‌وینیل‌استات و پلی‌اکریل‌آمید هر یک در چهار سطح صفر، 0/05، 0/1 و 0/2 گرم در کیلوگرم خاک) و دو اصلاح‌کننده معدنی (پوکه معدنی و پرلیت هر یک در چهار سطح صفر، 0/5، 1 و 2 گرم در کیلوگرم خاک) در سه بازه زمانی 10، 30 و 60 روز پس از کاربرد بر آب‌گریزی پویا (مدت زمان نفوذ قطره آب) و ایستا (زاویه تماس تعادلی آب و خاک) در یک خاک آهکی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. کاربرد پلی‌اکریل‌آمید، پوکه معدنی و پرلیت سبب کاهش معنی‌دار آب‌گریزی ایستا و پویای خاک شد، در حالی که پلی‌وینیل‌استات سبب افزایش معنی‌دار آب‌گریزی ایستا شد. گذشت زمان سبب افزایش معنی‌دار آب‌گریزی پویا در نمونه خاک‌های تیمار شده با پلی‌اکریل‌آمید، پوکه معدنی و پرلیت نشد ولی در خاک تیمار شده با پلی‌وینیل‌استات آب‌گریزی پویا در زمان 60 روز به میزان 40 درصد در مقایسه با زمان 10 روز پس از شروع آزمایش افزایش یافت. در خاک‌های تیمار شده با پوکه معدنی گذشت زمان اثر معنی‌داری بر آب‌گریزی ایستای خاک نداشت. پلی‌اکریل‌آمید و پلی‌وینیل‌استات آب‌گریزی ایستا را در زمان 60 روز به ترتیب به میزان 4 و 2 درصد در مقایسه با زمان 10 روز پس از شروع آزمایش افزایش دادند. نتایج نشان داد پلی‌اکریل‌آمید، 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 بود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اکریل‌آمید، پلی‌وینیل‌استات، پرلیت، پوکه معدنی، زاویه تماس آب با خاک، زمان نفوذ قطره آب به خاک

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی - دانشگاه شیراز، بخش علوم خاک

مقدمه

آب‌گریزی خاک یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که وقوع آن رواناب را افزایش می‌دهد. در ایران کمتر به این مسئله توجه شده و مطالعات کمی در مورد این پدیده وجود دارد. طبق تعریف، مقاومت خاک به مرطوب شدن برای دوره‌های زمانی چند ثانیه‌ای تا چند ساعته و یا بیشتر را آب‌گریزی خاک می‌نامند (جانگ و همکاران، 1999). آب‌گریزی خاک سبب کاهش ظرفیت نفوذ آب به خاک، کاهش قابلیت دسترسی آب برای گیاه، افزایش رواناب و فرسایش خاک شده و پیامدهای نامطلوب مرتبط با آن را در پی دارد. در مناطق خشک در طول یک بارندگی لایه سطحی آب‌گریز سبب می‌شود که آب از مسیرهایی قابل مرطوب شدن حرکت کرده و در نتیجه تا عمق بیشتری در خاک نفوذ کند. بنابراین ممکن است پدیده آب‌گریزی در مناطق خشک و بیابانی در حفظ و ذخیره آب در خاک مفید باشد (دکر و جانگریس، 1990؛ دکر و ریتسما، 1994؛ جانگ و همکاران، 1999). البته میزان تأثیر و مفید بودن این پدیده در خاک‌های با بافت مختلف متفاوت خواهد بود و همچنین از جنبه انتقال آلاینده‌ها در خاک این پدیده می‌تواند مضر بوده و تا منجر به افزایش انتقال آلاینده‌ها در خاک شود. عوامل زیادی بر آب‌گریزی خاک تأثیر دارند که از بین آن‌ها می‌توان به نوع و مقدار ماده آلی خاک، نوع پوشش گیاهی، رطوبت خاک، اقلیم، بافت خاک و آتش‌سوزی در منطقه اشاره نمود (جانگ و همکاران، 1999).

مقدار رواناب متأثر از زمان مورد نیاز برای نفوذ قطرات باران به خاک است. بنابراین آب‌گریزی خاک نشان‌دهنده وضعیت حوضه آبخیز از نظر وضعیت نفوذ آب به خاک و میزان تولید رواناب طی باران‌های شدید (سیلاب‌ها) است. اثر آب‌گریزی بر میزان نفوذ آب به خاک و تولید رواناب، به‌ویژه در شروع فصل مرطوب سال، پس از طی فصل خشک قابل ملاحظه است، زیرا مقدار رواناب ایجاد شده از بارندگی‌ها در خاک‌های خشک آب‌گریز افزایش یافته و خاک دچار فرسایش می‌شود (دوئر و همکاران، 2000). میربابایی و همکاران (1393) در پژوهشی وجود و شدت آب‌گریزی خاک در مناطق جنگلی تالش در استان گیلان را بررسی و گزارش کردند بین آب‌گریزی و واکنش خاک رابطه منفی رگرسیونی (خطی) وجود دارد. به‌عبارتی با کاهش واکنش خاک، آب‌گریزی افزایش یافت. آنان همچنین رابطه بین آب‌گریزی خاک و زاویه تماس آب با خاک را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند و بیان نمودند که رابطه بین زاویه تماس آب با خاک و ماده آلی مثبت و معنی‌دار می‌باشد

به‌طوری‌که در نمونه‌هایی که مقدار ماده آلی زیادتری داشتند (7 تا 12 درصد)، زاویه تماس آب با خاک 108 تا 109 درجه اندازه‌گیری شد. دوئر و همکاران (2009) و لبرون و همکاران (2012) به نتایج مشابهی دست یافتند. هوراس و اسچاومن (2006) دلیل رابطه منفی واکنش و آب‌گریزی خاک را به دلیل انحلال اسیدهای هیومیک در خاک‌های اسیدی بیان کردند. بلاس و همکاران (2010) همبستگی بین آب‌گریزی و ماده آلی را مثبت گزارش کردند. به عبارتی افزایش مقدار ماده آلی خاک سبب افزایش آب‌گریزی خاک‌های مورد آزمایش شد. مارتینز زاوالا و همکاران (2009) نیز در تحقیقی در جنوب اسپانیا آب‌گریزی خاک را بررسی کرده و همبستگی مثبت معنی‌دار بین آب‌گریزی خاک و همچنین زاویه تماس آب با خاک و ماده آلی خاک به دست آوردند. ماتاکس و همکاران (2007) و مارتینز زاوالا و همکاران (2009) نیز رابطه مثبت بین آب‌گریزی و مقدار ماده آلی خاک گزارش کردند. البته برخی محققان (دوئر و همکاران، 2000؛ هارپر و همکاران، 2000)، رابطه ضعیفی بین آب‌گریزی خاک و مقدار ماده آلی خاک گزارش کردند. دکر و ریتسما (1994) نیز بیان کردند چنانچه مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک کمتر از 5 ثانیه، 5 تا 60، 60 تا 600، 600 تا 3600 و بیش از 3600 ثانیه باشد خاک به‌ترتیب در کلاس‌های آب‌گریزی صفر (قابل مرطوب شدن)، یک (به‌طور جزئی آب‌گریز)، دو (فوقاً آب‌گریز)، سه (به شدت آب‌گریز) و چهار (بی‌نهایت آب‌گریز) می‌باشد. آب‌گریزی یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک است و تاکنون مطالعات اندکی در ارتباط با اثر اصلاح‌کننده‌ها بر آب‌گریزی خاک انجام شده است (سوجکا و همکاران، 2004؛ موسوی و دهقانی، 1392). از طرفی در محدود مطالعات انجام شده اثر اصلاح‌کننده‌ها بر تغییرات زمانی آب‌گریزی و به‌ویژه در خاک‌های آهکی بررسی نشده است. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثر چهار اصلاح‌کننده آلی و معدنی خاک بر تغییرات زمانی آب‌گریزی یک خاک آهکی در سه دوره زمانی 10، 30 و 60 روز پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق خاک مورد نیاز از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک سری کوی اساتید با بافت لوم رسی (Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) در ایستگاه تحقیقات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه در ارتفاع 1852 متری از سطح آزاد دریا و واقع بر طول جغرافیایی 52 درجه و 46 دقیقه و عرض جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه نمونه‌برداری شد. پس از هوا خشک کردن، خاک از الک 4/75 میلی‌متر عبور داده شد و بخشی از نمونه خاک نیز برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از الک 2 میلی‌متر عبور داده شد. در خاک مورد آزمایش بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک و واکنش خاک در خمیر اشباع به ترتیب با دستگاه‌های هدایت‌سنج الکتریکی (رودرز، 1996) و پ‌هاش متر (توماس، 1996)، ماده آلی با روش تر سوزانی (نلسون و سومرز، 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (سونر و میلر، 1996)، سدیم و پتاسیم با روش شعله‌سنجی (هلمکه و اسپارکس، 1996) و کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به وسیله تیتراسیون با EDTA¹ (ریچاردز، 1954) اندازه‌گیری شد (جدول 1).

آزمایش در شرایط آزمایشگاه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها عبارت بودند از: دو اصلاح کننده آلی شامل پلی‌اکریل آمید و پلی‌وینیل استات هر یک در چهار سطح صفر، 0/05، 0/1، و 0/2 گرم اصلاح کننده در کیلوگرم خاک و دو اصلاح کننده معدنی شامل پوکه معدنی (پومیس) و پرلیت هر یک در چهار سطح صفر، 0/05، 1 و 2 گرم اصلاح کننده در کیلوگرم خاک. اندازه‌گیری‌ها در سه زمان 10، 30 و 60 روز پس از افزودن اصلاح‌کننده‌ها به خاک انجام شد. به این ترتیب که در تیمارهای بدون اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی مورد نظر، مقدار 5 کیلوگرم از خاک مورد نظر (خاک به طور جزئی آب‌گریز با مدت زمان نفوذ آب به خاک حدود 10 ثانیه و زاویه تماس آب به خاک حدود 50 درجه) به گلدان‌های پلاستیکی 5 کیلوگرمی منتقل شد. مقدار مورد نیاز پلی‌اکریل‌آمید برای تیمارهای 0/05، 0/1 و 0/2 گرم در کیلوگرم خاک به صورت پودری به خاک گلدان‌ها اضافه و کاملاً با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. در تیمارهای پلی‌وینیل استات (0/05، 0/1، و 0/2 گرم در کیلوگرم خاک)

به دلیل سیال بودن پلی‌وینیل استات، مقدار مورد نیاز از این پلیمر توزین و با آب مقطر رقیق و به خاک گلدان‌ها اضافه شد و پس از خشک شدن خاک، به‌طور کامل با خاک مخلوط شد. در تیمارهای پرلیت (0/5، 1 و 2 گرم در کیلوگرم) نیز مقدار پرلیت مورد نیاز به صورت پودری توزین و به نمونه‌های خاک اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط شد. به دلیل درشت بودن دانه‌های پوکه معدنی، ابتدا پوکه معدنی مقداری خرد شد و سپس از الک 4 میلی‌متر عبور یافته و دانه‌بندی آن نیز تعیین شد (جدول 2). سپس مقدار مورد نیاز پوکه معدنی به خاک گلدان‌ها اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط شد.

گلدان‌ها در شرایط آزمایشگاه در دمای 25 تا 30 درجه سانتی‌گراد و در حالت رطوبت ظرفیت مزرعه با توزین هفتگی و اضافه کردن آب مقطر نگهداری شدند. اندازه‌گیری‌های مورد نظر در سه زمان 10، 30 و 60 روز پس از شروع آزمایش انجام شد. در هر مرحله سه تکرار (سه گلدان) از هر یک از تیمارهای شاهد، 0/05، 0/1 و 0/2 گرم در کیلوگرم پلی‌اکریل‌آمید و پلی‌وینیل استات و 0/5، 1 و 2 گرم در کیلوگرم پرلیت و پوکه معدنی انتخاب و آب‌گریزی خاک گلدان‌ها در دو حالت پویا (Dynamic) یا متغیر که معمولاً با گذشت زمان در فرایند خیس شدن خاک در اثر حل شدن برخی مواد که سبب آب‌گریزی می‌شوند کاهش می‌یابد) و ایستا (Static) یا تعادلی که در واقع آب‌گریزی خاک در شرایط تعادل آب با خاک است) به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

برای تعیین آب‌گریزی پویای خاک از روش زمان نفوذ قطره آب در خاک (ذوالفقاری و حاج عباسی، 1387) استفاده شد. به این ترتیب که در روش نفوذ قطره آب در خاک، سه قطره آب مقطر (با حجم حدود 0/05 میلی‌لیتر) با استفاده از قطره‌چکان پزشکی روی سطح صاف و دست‌نخورده خاک موجود در هر گلدان قرار داده شد و مدت زمان 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 میزان 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. چنانچه زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک کمتر از 5 ثانیه باشد خاک قابل مرطوب شدن است، چنانچه زمان لازم برای نفوذ قطره آب 5 تا 60 ثانیه، 60 تا 600 ثانیه، 600 تا

¹ Ethylene-diamine-tetra-acetic acid

3600 ثانیه، و بیشتر از 3600 ثانیه باشد خاک به ترتیب به -
 طور جزئی آب‌گریز، قویا آب‌گریز، به شدت آب‌گریز و بی‌نهایت آب‌گریز خواهد بود (دکر و ریتسما، 1994).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه
 (سری کوی اساتید) قبل از اعمال تیمارهای اصلاح‌کننده

ویژگی	مقدار
شن (درصد)	22
سیلت (درصد)	48
رس (درصد)	30
کلاس بافت خاک	لوم رسی
کربنات کلسیم معادل (درصد)	41/3
آب‌گریزی پویا (مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک، ثانیه)	جزئی* (10)
آب‌گریزی ایستا (زاویه تماس آب با خاک، درجه)	متوسط** (50)
واکنش خمیر اشباع	7/76
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	0/5
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار در کیلوگرم خاک)	11
ماده آلی (درصد)	0/97
سدیم محلول (میلی اکی‌والان در لیتر)	0/53
پتاسیم محلول (میلی اکی‌والان در لیتر)	0/40
کلسیم محلول (میلی اکی‌والان در لیتر)	2/04
منیزیم محلول (میلی اکی‌والان در لیتر)	1/33
نسبت جذب سدیم ($\text{meq}^{-0.5} \text{L}^{0.5}$)	0/288

* بر اساس معیار دکر و ریتسما (1994).

** زوایای تماس تعادلی 0 و >90 درجه به ترتیب نشان دهنده عدم وجود آب‌گریزی و آب‌گریزی شدید در خاک می‌باشند و زاویه تماس 50 درجه نشان دهنده حالت آب‌گریزی متوسط در خاک می‌باشد.

جدول 2- دانه بندی پوکه معدنی مورد استفاده در پژوهش

قطر* (میلی متر)	درصد ذرات
3/58	0/60
2/58	0/60
1/8	5/50
1/3	13/40
1/035	44/40
0/25	35/50

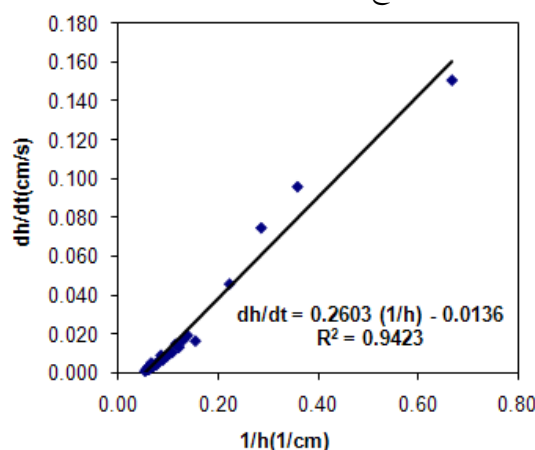
* میانگین وزنی قطر ذرات پوکه معدنی 0/90 میلی‌متر می‌باشد.

شفاف مدرج شیشه‌ای (با طول حدود 50 و قطر حدود 1/5 سانتی‌متر) که به منظور جلوگیری از خروج خاک با استفاده از صافی یا توری از انتهای پایین بسته شده بودند استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی خاک درون لوله‌ها، خاک موردنظر به وسیله یک قیف که از انتها به یک شیلنگ متصل شده بود به درون لوله‌ها منتقل و لوله‌ها تا ارتفاع مشخصی (بیش از 25 سانتی‌متر) از خاک هوا خشک پر

برای تعیین آب‌گریزی ایستا (تعادلی) خاک، زاویه تماس تعادلی آب با خاک با استفاده از ستون خاک اندازه‌گیری شد (دوئر و همکاران، 2000 به نقل از ماکناب و همکاران، 1989). بدین ترتیب که پس از به هم زدن کامل خاک هر گلدان، مقدار مورد نیاز از خاک دست‌خورده از الک 2 میلی‌متر عبور داده شد و به شرح زیر زاویه تماس آب با خاک اندازه‌گیری شد. در این روش از دو لوله

صعود کرد. ارتفاع صعود آب و الکل در زمان‌های مختلف پس از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری بایستی تا زمان توقف صعود مایع در خاک ادامه یابد و ممکن است زمان طولانی نیاز باشد بنابراین با تقسیم تفاضل ارتفاع صعود هر مایع بر تفاضل زمان لازم برای صعود، سرعت صعود هر مایع در زمان‌های مختلف به دست آمد. سپس در یک نمودار سرعت صعود (محور عمودی) در مقابل معکوس ارتفاع (محور افقی) رسم شد (شکل 1).

شد. لوله‌های محتوی خاک داخل دو پتری دیش با ارتفاع 1 و قطر 9 سانتی‌متر (یکی محتوی آب مقطر و دیگری محتوی الکل اتیلیک 96 درصد) قرار داده شد. در درب پتری دیش‌ها دو سوراخ یکی به اندازه قطر لوله مدرج محتوی خاک و دیگری با قطر کم و به اندازه لازم برای ورود لوله آبفشان (به منظور اضافه کردن آب یا الکل حین انجام آزمایش) تعبیه شده بود، پس از قرار دادن لوله‌های محتوی خاک در پتری دیش‌ها، برای اینکه مایع بتواند به راحتی از پتری دیش‌ها به ستون خاک وارد شود دو تکه چوب بین لبه پایین لوله‌ها و کف پتری دیش‌ها قرار داده شد تا لوله‌ها کمی از کف پتری دیش‌ها فاصله داشته باشند. به محض قرار دادن ستون‌های خاک در پتری دیش‌ها، الکل و آب توسط خاک جذب شده و شروع به



شکل 1- نمودار فرضی تغییرات سرعت صعود (dh/dt) مایع (آب یا الکل) در برابر معکوس ارتفاع (1/h) صعود مایع در ستون خاک و معادله خط رگرسیونی برازش داده شده به آن

متوسط شعاع خلل و فرج خاک (سانتی‌متر) و α زاویه تماس الکل با خاک (درجه) است. پس از محاسبه میانگین شعاع خلل و فرج و با استفاده از حداکثر ارتفاع صعود محاسبه شده آب و قرار دادن ویژگی‌های آب در معادله 2، مجهول معادله (زاویه تماس آب با خاک) محاسبه می‌شود.

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

که در آن h_w حداکثر ارتفاع صعود آب در خاک (سانتی‌متر)، γ_w کشش سطحی آب (72/2 دین بر سانتی-متر)، ρ_w جرم مخصوص آب (1 گرم بر سانتی‌متر مکعب) و α زاویه تماس آب با خاک (درجه) می‌باشد.

تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها در سطح 5 درصد با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

با توجه به اینکه زمانی که ارتفاع صعود حداکثر است سرعت صعود صفر می‌باشد بنابراین محل تقاطع نمودار با محور افقی (عکس حداکثر ارتفاع) برابر با ارتفاعی است که معادل بیشترین صعود مویبندی می‌باشد. با قرار دادن ارتفاع صعود الکل در معادله مویبندی (1) و با توجه به معلوم بودن چگالی الکل، کشش سطحی الکل و شتاب ثقل و اینکه زاویه تماس الکل با خاک صفر است، مجهول معادله (میانگین شعاع خلل و فرج خاک)، محاسبه شد.

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

که در آن h_a حداکثر ارتفاع صعود الکل در خاک

(سانتی‌متر)، γ_a کشش سطحی الکل (22/3 دین بر سانتی-متر)، ρ_a g شتاب ثقل (981 سانتی متر بر مجذور ثانیه)، ρ_a جرم مخصوص الکل (0/79 گرم بر سانتی‌متر مکعب)، r

نتایج و بحث

آب‌گیری پویای خاک

نتایج نشان داد (جدول 3) کاربرد 0/05، 0/1 و 0/2 گرم پلی‌اکریل‌آمید در کیلوگرم خاک سبب کاهش زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیری پویا) به‌ترتیب به‌میزان 3/50، 5/40 و 9/18 ثانیه در مقایسه با شاهد شد (هرچند تنها کاهش زمان نفوذ حاصل از کاربرد 0/2 گرم پلی‌اکریل‌آمید در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود) که می‌تواند منجر به افزایش نفوذ آب به خاک و احتمالاً کاهش رواناب و فرسایش خاک شود. کاهش آب‌گیری ناشی از کاربرد پلی‌اکریل‌آمید به‌دلیل خاصیت جاذب-الرطوبه بودن شدید این پلی‌مر است که می‌تواند گاهی 1000 تا 2000 برابر وزن خود آب جذب کند (سوجکا و همکاران، 2007). سانتوز و سرال‌هریو (2000) نیز گزارش کردند افزودن پلی‌اکریل‌آمید به خاک با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و احتمالاً کاهش آب‌گیری خاک منجر به افزایش نفوذپذیری و کاهش فرسایش خاک شد. سایر محققان نیز با افزودن مقادیر مساوی یا بیشتر از 20 کیلوگرم پلی‌اکریل‌آمید در هکتار به نتایج مشابهی دست یافتند (بن‌هور و کرن، 1997؛ لوی و آگسی، 1995؛ لوین و همکاران، 1991 و اسمیت و همکاران، 1990 به نقل از سانتوز و سرال‌هریو، 2000). در این تحقیق با گذشت زمان پس از افزودن تمامی اصلاح‌کننده‌ها اگرچه افزایش مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک مشاهده شد ولی تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول 4). هرچند با افزایش سطوح پلی‌وینیل‌استات زمان لازم برای نفوذ قطرات آب به خاک در مقایسه با شاهد افزایش یافت (افزایش آب‌گیری)، اما تفاوت معنی‌دار نبود. در زمان‌های 30 و 60 روز پس از افزودن پلی‌وینیل‌استات مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک به‌ترتیب به‌میزان 3/12 و 6/03 درصد در مقایسه با 10 روز افزایش یافت هر چند این افزایش در زمان 30 روز معنی‌دار نبود (جدول 4).

یافته‌ها نشان داد کاربرد 0/5، 1 و 2 گرم پوکه-معدنی مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک را به‌ترتیب به‌میزان 5/99 و 7/85 و 11/16 ثانیه در مقایسه با شاهد کاهش داد. درحالی‌که با گذشت زمان، مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در خاک‌های تیمار شده با پوکه‌معدنی به‌طور غیرمعنی‌داری افزایش یافت (جدول 4). کاربرد 0/5، 1 و 2 گرم پرلیت نیز سبب کاهش مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیری پویای خاک) به‌ترتیب به‌میزان 11/50، 11/10 و 14/10 ثانیه در مقایسه با شاهد شد (جدول 3). همچنین تجزیه و تحلیل

آماري نتایج نشان داد گذشت زمان اثر معنی‌داری بر مدت زمان نفوذ قطره آب در خاک‌های تیمار شده با پرلیت نداشت (جدول 4). موسوی و دهقانی (1392) نیز گزارش نمودند مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیری) با کاربرد تیمارهای مختلف لجن‌فاضلاب و پرلیت در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌عبارتی کاربرد تیمارهای مذکور میزان آب‌گیری خاک را کاهش داده و سبب افزایش میزان جذب آب به خاک شد. به‌طور کلی کاربرد پلی‌اکریل‌آمید، پوکه‌معدنی و پرلیت میانگین مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 4/27، 6/23 و 9/37 ثانیه در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول 3). درحالی‌که کاربرد پلی‌وینیل‌استات مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک را به‌میزان 1/05 ثانیه در مقایسه با شاهد افزایش داد (هر چند افزایش حاصل در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود).

به‌طور کلی یافته‌ها حاکی از آن بود که میانگین مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک در خاک‌های تیمار شده با اصلاح‌کننده‌های آلی (پلی‌کرپل‌آمید و پلی‌وینیل-استات) در مقایسه با اصلاح‌کننده‌های معدنی (پوکه‌معدنی و پرلیت) به‌طور معنی‌داری به‌میزان حدود 6/19 ثانیه بیشتر بود. این موضوع نشان می‌دهد به‌طور کلی افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی مورد مطالعه در مقایسه با اصلاح‌کننده‌های معدنی آب‌گیری خاک را افزایش داده و در نتیجه میزان نفوذ آب به خاک‌های تیمار شده با این اصلاح‌کننده‌ها کمتر خواهد بود. براساس معیار دگر و ریتسما (1994) خاک‌های تیمار شده با اصلاح‌کننده‌های پلی‌اکریل‌آمید، پلی‌وینیل‌استات و پوکه‌معدنی و پرلیت عموماً در دسته خاک‌های به‌طور جزئی آب‌گیر قرار می‌گیرند به استثنای خاک تیمار شده با 2 گرم پرلیت در کیلوگرم خاک که از نظر آب‌گیری در دسته قابل مرطوب شدن قرار می‌گیرد.

به‌طور کلی گذشت زمان پس از افزودن اصلاح‌کننده‌ها به خاک (به‌جز در خاک‌های تیمار شده با پلی‌وینیل‌استات که سبب افزایش معنی‌دار مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک شد) اثر معنی‌داری بر مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک (آب‌گیری پویای خاک) نداشت (جدول 4). به‌عبارتی در افزایش یا کاهش آب‌گیری حاصل از افزودن اصلاح‌کننده‌ها به خاک در طول زمان دو ماه پس از شروع آزمایش تغییر معنی‌داری حاصل نشد. درحالی‌که میانگین زمان نفوذ قطره آب در خاک‌های تیمار شده با اصلاح‌کننده‌های مختلف در زمان 60 روز در مقایسه با 10 روز پس از افزودن اصلاح‌کننده‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول 5).

جدول 3- اثر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر میانگین (مربوط به سه زمان 10، 30 و 60 روز پس از افزودن اصلاح‌کننده به خاک) زاویه تماس تعادلی آب با خاک (آب‌گریزی ایستا) و مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک[†] (آب‌گریزی پویا) در خاک مورد مطالعه.

اصلاح‌کننده‌های معدنی				اصلاح‌کننده‌های آلی				اصلاح‌کننده (گرم در کیلوگرم خاک)	
پرلیت		پوکه معدنی		پلی‌وینیل‌استات		پلی‌اکریل‌آمید		اصلاح‌کننده-های معدنی	اصلاح‌کننده-های آلی
زاویه تماس (درجه)	زمان نفوذ (ثانیه)	زاویه تماس (درجه)	زمان نفوذ (ثانیه)	زاویه تماس (درجه)	زمان نفوذ (ثانیه)	زاویه تماس (درجه)	زمان نفوذ (ثانیه)	0	0/05
82 a	17/19 a	82 a	17/19 a	82 c	17/19 a	82 a	17/19* a	0	0
73 b	5/69 b	74 b	11/18 b	82 c	17/35 a	74 b	13/69 a	0/5	0/05
61 c	5/29 b	71 c	9/34 b	83 b	18/99 a	73 b	12/79 ab	1	0/1
42 d	3/09 b	69 d	6/03 b	86 a	19/44 a	68 c	8/01 b	2	0/2
64/5 C	7/82 C	74 B	10/96 B	83/25 A	18/24 A	74/25 B	12/92 B		میانگین سطوح**
	9/39 B				15/58 A		زمان نفوذ قطره آب (ثانیه)	میانگین اصلاح‌کننده***	
	69/25 B				78/75 A		زاویه تماس تعادلی (درجه)		

*. در مورد هر اصلاح‌کننده اعدادی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف لاتین کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

** . میانگین‌های زمان نفوذ قطره آب و زاویه تماس مربوط به اصلاح‌کننده‌های مختلف که دارای حداقل یک حرف لاتین بزرگ مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

*** . میانگین‌های زمان نفوذ قطره آب و زاویه تماس مربوط به اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی که دارای حداقل یک حرف لاتین بزرگ مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ندارند.

[†]. مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در وضعیت رطوبتی ظرفیت مزرعه (16 درصد وزنی) تعیین شده است.

جدول 4- اثر گذشت زمان بر میانگین شاخص‌های آب‌گریزی اندازه‌گیری شده تحت تأثیر سطوح مختلف اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی افزوده شده به خاک مورد مطالعه

اصلاح‌کننده‌های معدنی				اصلاح‌کننده‌های آلی				
پربلیت		پوکه معدنی		پلی‌وینیل استات		پلی‌اکریل‌آمید		
زاویه تماس	زمان نفوذ	زاویه تماس	زمان نفوذ	زاویه تماس	زمان نفوذ	زاویه تماس	زمان نفوذ	زمان (روز)
تعدادی آب با خاک (درجه)	قطره آب به خاک (ثانیه)	تعدادی آب با خاک (درجه)	قطره آب به خاک (ثانیه)	تعدادی آب با خاک (درجه)	قطره آب به خاک (ثانیه)	تعدادی آب با خاک (درجه)	قطره آب به خاک (ثانیه)	
63 c	7/74 a	73 a	9/40 a	82 b	15/19 b	73 b	11/68* a	10
64 b	6/58 a	74 a	11/35 a	83 b	18/ 31 ab	74 b	13/40 a	30
66 a	9/13 a	75 a	12/05 a	84 a	21/22 a	76 a	13/68 a	60

*. در هر زمان میانگین شاخص‌های آب‌گریزی اندازه‌گیری مربوط به اصلاح‌کننده‌های مختلف که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

†. مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در وضعیت رطوبتی ظرفیت مزرعه (16 درصد وزنی) تعیین شده است.

جدول 5- مقایسه میانگین شاخص‌های آب‌گریزی اندازه‌گیری شده در زمان‌های مختلف پس از افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی (پلی‌اکریل‌آمید و پلی‌وینیل استات) و معدنی (پربلیت و پوکه معدنی) در خاک مورد مطالعه.

مدت زمان پس از افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به خاک (روز)								
60			30			10		
میانگین	معدنی	آلی	میانگین	معدنی	آلی	میانگین**	معدنی	آلی
14/02 A	a	a	12/41 AB	8/97 a	ab	11/00 B	8/57 a	13/44*
75/3 A	70/5 a	80/0 a	73/8 A	69/0 a	78/5 a	72/8 A	68/0 a	77/5 a

* میانگین‌های هر شاخص آب‌گریزی مربوط به اصلاح‌کننده‌های آلی یا معدنی که در زمان‌های مختلف حداقل در یک حرف کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

** میانگین‌های کلی مربوط به هر شاخص آب‌گریزی که در زمان‌های مختلف حداقل در یک حرف بزرگ مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

†. مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک در وضعیت رطوبتی ظرفیت مزرعه (16 درصد وزنی) تعیین شده است.

آب‌گریزی ایستا

یافته‌ها نشان داد کاربرد 0/05، 0/1 و 0/2 گرم پلی-اکریل‌آمید سبب کاهش زاویه تماس تعادلی آب با خاک (آب‌گریزی ایستای خاک) به ترتیب به میزان 8، 9 و 14 درجه در مقایسه با شاهد شد (جدول 3) که می‌تواند به دلیل خاصیت جذب آب به وسیله این پلی‌مر باشد. به طور مشابه سوچکا و همکاران (2004) نیز گزارش کردند پلی‌اکریل‌آمید قادر است 1000 تا 2000 برابر وزن خود آب جذب کرده و آب‌گریزی خاک را کاهش دهد. در خاک‌های تیمار شده با پلی‌اکریل‌آمید با گذشت زمان‌های 30 و 60 روز در مقایسه با 10 روز پس از شروع آزمایش زاویه تماس آب با خاک به ترتیب به میزان 1 و 3 درجه افزایش یافت (هر چند تفاوت بین زمان 10 و 30 روز معنی‌دار نبود) که می‌تواند به دلیل تجزیه این پلی‌مر در طول زمان و کاهش مقدار نسبی آن در خاک باشد که منجر به افزایش زاویه تماس آب با خاک شده است.

همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که تیمارهای 0/1 و 0/2 گرم پلی‌وینیل‌استات سبب افزایش معنی‌دار زاویه تماس آب با خاک به ترتیب به میزان 1 و 4 درجه در مقایسه با شاهد شد (جدول 3). در خاک‌های تیمار شده با پلی‌وینیل‌استات نیز زاویه تماس آب با خاک در زمان‌های 30 و 60 روز پس از شروع آزمایش در مقایسه با 10 روز به ترتیب به میزان 1 و 2 درجه افزایش یافت (هر چند تفاوت بین زمان 10 و 30 روز معنی‌دار نبود). هارتمن و همکاران (1976) نیز بیان کردند پلی‌اکریل‌آمید و پلی‌وینیل‌الکل در دو بافت خاک سبب تغییر زاویه تماس آب با خاک شد، به طوری که خاک‌های شنی و لوم‌سیلتی در اثر افزودن اصلاح‌کننده‌ها به ترتیب آب‌گریز و آب‌دوست شدند. مارتینز‌زاولا و همکاران (2009) آب‌گریزی خاک را در جنوب اسپانیا بررسی کردند و رابطه مثبت بین آب‌گریزی و همچنین زاویه تماس آب با خاک و ماده آلی بومی خاک به دست آوردند. ماتاکس و همکاران (2007) و مارتینز‌زاولا و همکاران (2009) نیز بین آب‌گریزی و ماده آلی بومی خاک رابطه مثبت گزارش کردند. هر چند دوئر و همکاران (2000) و هارپر و همکاران (2000) رابطه ضعیفی بین آب‌گریزی و مقدار ماده آلی بومی خاک گزارش کردند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد کاربرد 0/5، 1 و 2 گرم پوکه معدنی سبب کاهش معنی‌دار زاویه تماس آب با خاک به ترتیب به میزان 8، 11 و 13 درجه در مقایسه با شاهد شد (جدول 3). در خاک‌های تیمار شده با پوکه معدنی گذشت زمان اثر معنی‌داری بر زاویه تماس آب با خاک نداشت (جدول 4).

تیمارهای 0/5، 1 و 2 گرم پرلیت نیز سبب کاهش معنی‌دار زاویه تماس آب با خاک به ترتیب به میزان 9، 21 و 40 درجه در مقایسه با شاهد شد (جدول 3). در خاک‌های تیمار شده با پرلیت زاویه تماس آب با خاک در زمان‌های 30 و 60 روز در مقایسه با 10 روز پس از شروع آزمایش به ترتیب به میزان 1 و 3 درجه افزایش یافت (جدول 4). به طور کلی کاربرد پلی‌اکریل‌آمید، پوکه معدنی و پرلیت سبب کاهش میانگین زاویه تماس آب با خاک به ترتیب به میزان 7/75، 8/00 و 17/50 درجه در مقایسه با شاهد شد. در حالی که پلی‌وینیل‌استات در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری بر میانگین زاویه تماس آب با خاک نداشت (جدول 3). یافته‌ها نشان داد به طور کلی میانگین زاویه تماس آب با خاک در خاک‌های تیمار شده با اصلاح‌کننده‌های آلی (پلی‌کرپل‌آمید و پلی‌وینیل‌استات) در مقایسه با اصلاح‌کننده‌های معدنی (پوکه معدنی و پرلیت) به طور معنی‌داری به میزان حدود 10 درجه بیشتر بود. به نظر می‌رسد اصلاح‌کننده‌های معدنی مورد استفاده به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن سبب کاهش زاویه تماس آب با خاک و در نتیجه کاهش آب‌گریزی خاک شده‌اند و با گذشت زمان نیز از اثرات آنها (به ویژه در مورد پرلیت) در جلوگیری از آب‌گریزی خاک کاسته شده است.

در این تحقیق زاویه تماس آب با خاک با گذشت 60 روز پس از افزودن اصلاح‌کننده‌ها به خاک (به جز در خاک‌های تیمار شده با پوکه معدنی) در مقایسه با زمان‌های 10 و 30 روز به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 4) که نشان‌دهنده افزایش آب‌گریزی ایستا (تعادلی) خاک با گذشت زمان می‌باشد. در حالی که میانگین زاویه تماس در خاک‌های اصلاح شده با تمام اصلاح‌کننده‌ها با گذشت زمان به طور معنی‌داری تغییر نیافت (جدول 5).

نتیجه‌گیری

کاربرد پلی‌اکریل‌آمید، پوکه معدنی و پرلیت میزان آب‌گریزی خاک را در مقایسه با شاهد کاهش داد و سبب افزایش سرعت جذب آب توسط خاک شد که از مزایای کاربرد این اصلاح‌کننده‌ها می‌باشد. همچنین یافته‌ها نشان داد پرلیت می‌تواند به عنوان یک ماده به‌ساز خاک سبب کاهش آب‌گریزی خاک شود و از این رو سبب افزایش سهولت حرکت آب در خاک شده و از هدر رفتن آب به صورت رواناب جلوگیری کند. با توجه به تأثیر بیشتر پرلیت در مقایسه با سایر مواد اصلاح‌کننده مورد استفاده در این پژوهش در کاهش آب‌گریزی خاک، این ماده اصلاحی در مناطق سیل‌خیز می‌تواند تأثیر شایان توجهی در نفوذ بیشتر آب به خاک و جلوگیری از ایجاد رواناب و

فرسایش خاک داشته باشد. البته میزان تأثیر و مفید بودن این اصلاح‌کننده‌ها در کاهش آب‌گزیزی در خاک‌های با بافت و شرایط فیزیکی و شیمیایی مختلف ممکن است متفاوت باشد که نیاز به تحقیق دارد. از نقطه نظر انتقال

آلاینده‌های شیمیایی و زیستی در خاک، این مواد اصلاح‌کننده که با کاهش آب‌گزیزی منجر به افزایش حرکت آب در خاک می‌شوند می‌توانند مضر باشند و منجر به انتقال سریعتر و بیشتر آلاینده‌ها در خاک شوند.

فهرست منابع:

1. ذوالفقاری، ع. و م.ع. حاج عباسی. 1387. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و آب‌گزیزی خاک در مراتع فریدون شهر و جنگل‌های لردگان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 22، شماره 2، صفحات 251 تا 262.
2. ع.ا. و س. دهقانی. 1392. آب‌گزیزی، مقاومت فروروی و پایداری خاکدانه‌ها در یک خاک آهکی تحت تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و پرلیت. سیزدهمین کنگره علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
3. میر بابایی، م. م. شعبانپور و ع. ذوالفقاری. 1393. بررسی وجود و شدت آب‌گزیزی خاک در مناطق جنگلی تالش در استان گیلان. تحقیقات آب و خاک ایران، جلد 44، شماره 2، صفحات 163 تا 172.
4. Blas, E. D., M. R. Alleres, and G. Almendros. 2010. Speciation of lipid and humic fractions in soils under pine and eucalyptus forest in northwest Spain and its effect on water repellency. *Geoderma*, 155: 242–248.
5. Dekker, L. W. and P. D. Jungrius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Suppl.* 18:173-183.
6. Dekker, L.W. and C.G. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. I. potential and actual. *Water Resour. Res.* 30: 2507-2517.
7. Doerr, S.H., S.W. Woods, D.A. Martin, and M. Casimiro. 2009. Natural background soil water repellency in conifer forests of the northwestern USA: Its prediction and relationship to wildfire occurrence, *J. Hydrol.* 30: 126-133.
8. 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.
9. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383- 411. In: A. Klute (ed.), *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9, ASA and SSSA, Madison WI.
10. Harper, R.J., I. McKissock, R.J. Gilkes, D.J. Carter, and P.S. Blackwell. 2000. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and land use on water repellency. *J. Hydrol.* 231–232.
11. Hartmann, R., H. Verplancke, and M. De Boodt. 1976. The influence of soil conditioners on the liquid-solid contact angles of sands and silt loams. *Soil Sci.* 121(6): 346-352.
12. Helmke, P., and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. pp. 551-574. In: D.L. Sparks et al. (eds). *Method of soil analysis. Part 3.* 3rd ed. ASA and SSSA, Madison WI.
13. Hurrass, J. and G.E. Schaumann. 2006. Properties of soil organic matter and aqueous extracts of actually water repellent and wettable soil samples. *Geoderma.* 132: 222–239.
14. Jong, L.W., O.H. Jacobsen, and P. Moldrup. 1999, Soil water repellency: effects of water content, temperature and particle size. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63: 437- 442.
15. Lebron, I., D.A. Robinson, M. Oatham, and M.N. Wuddivira. 2012. Soil water repellency and pH soil change under tropical pine plantations compared with native tropical forest. *J. Hydrol.* 27:194–200.

16. Martinez-Zavala, L., F.A. Gonzalez, and A. Jordan. 2009. Intensity and persistence of water repellency in relation to vegetation types and soil parameters in Mediterranean SW Spain. *Geoderma*. 79:361–374.
17. Mataix-Solera, J., V. Arcenegui, C. Guerrero, A. M. Mayoral, J. Morales, J. González, F. García-Orenes, and I. Gómez. 2007. Water repellency under different plant species in a calcareous forest soil in a semiarid Mediterranean environment. *Hydrol. Proces.* 21: 2300–2309.
18. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. In: D.L. Sparks et al. (eds). *Method of soil analysis. Part 3*. 3rd ed. ASA and SSSA, Madison WI.
19. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved salts. pp. 417-436. In: D.L. Sparks et al. (eds). *Methods of soil analysis. Part 3*. 3rd (ed). ASA and SSSA, Madison WI.
20. Richard, S.L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, U.S. Salinity Laboratory Staff. USDA Hand book No. 60. Washington DC, 160 P.
21. Santos, F.L. and R.P. Serralheiro. 2000. Improving infiltration on irrigated Mediterranean soils with polyacrylamide. *J. Agric. Eng. Res.* 76:83-90.
22. Sojka, R.E., D.L. Bjorneberg, J.A. Entry, R.D. Lentz and W.J. Orts. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Adv. Agron.* 92:75-162.
23. Sojka, R.E., W.J. Orts, and J.A. Entry. 2004. Soil physics and hydrology: Conditioners. pp. 301-306. In: D. Hillel (ed.). *Encyclopedia of soils in the environment*. Elsevier, Ltd, Oxford, UK.
24. Summer, M.E., and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. pp. 1201-1229. In: D.L. Sparks et al. (eds). *Methods of soil analysis. Part 3*. 3rd ed. ASA and SSSA, Madison WI.
25. Tomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. In: D.L. Sparks et al. (eds). *Methods of soil analysis. Part 3*. 3rd (ed). ASA and SSSA, Madison WI.

