

## تغییرات زمانی نفوذ آب باران به خاک تحت تأثیر محتوای رطوبت اولیه خاک

علی‌رضا واعظی<sup>۱</sup>، مه‌ران بهتری<sup>۲</sup>، مجید فرومدی<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۷

### چکیده

رطوبت اولیه خاک نقشی اساسی در نفوذپذیری خاک طی بارندگی دارد. این پژوهش به منظور بررسی تغییرات نفوذ آب به خاک در سطوح مختلف رطوبتی در خاک‌های با بافت مختلف تحت باران شبیه‌سازی شده انجام گرفت. آزمایش در سه دامنه با شیب یکسان اما با خاک متفاوت (لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی) در چهار سطح رطوبتی اولیه هر کدام با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. در هر خاک ۱۲ کرت به ابعاد ۸۰ سانتی‌متر × ۶۰ سانتی‌متر در امتداد شیب ایجاد شد. ابتدا خاک داخل کرت‌ها به روش آبیاری ثقلی اشباع و در فواصل زمانی ۱، ۴، ۷ و ۱۰ روز بعد، رطوبت جرمی خاک‌ها تعیین شد. هر کرت تحت یک رخداد باران شبیه‌سازی شده با شدت ۵۵ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی خاک تحت تأثیر بافت خاک (خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی) و نیز روز پس از اشباع‌سازی کرت‌ها (۱، ۴، ۷ و ۱۰ روز) قرار دارد ( $P < 0.001$ ). متوسط سرعت نفوذ در کل مدت بارندگی (زمان ۳۰ دقیقه) در خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی به ترتیب ۳۰/۵، ۴۱/۹ و ۴۱/۸ میلی‌متر بر ساعت بود. این موضوع به‌نوبه خود تحت تأثیر محتوای رطوبت اولیه خاک و هم‌چنین تخلخل درشت خاک بود.

**واژه‌های کلیدی:** استوانه مضاعف، بافت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع

### مقدمه

دسترسی ریشه گیاه را نیز به عهده دارد. از آن‌جا که سرعت نفوذ آب در خاک، تعیین‌کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره نمودن مقدار مشخصی آب در داخل خاک بوده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در حقیقت نفوذ آب در خاک یکی از حساس‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر آبیاری سطحی و یکی از مشکل‌ترین پارامترهایی است که بایستی برآورد شود (سهرابی و پایدار، ۱۳۹۴). کاهش سرعت نفوذ دلیل اصلی ایجاد رواناب و فرسایش خاک می‌باشد، چرا که میزان نفوذ نشان می‌دهد که چه مقدار از آب وارد منطقه غیراشباع خاک شده و چه مقدار از آن به رواناب تبدیل و موجب فرسایش می‌گردد (Hillel, 1998). تعیین حجم رواناب حاصل از بارندگی به منظور پیش‌بینی و پیشگیری از وقوع سیلاب، فرسایش خاک و انتقال آلاینده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است که به طور مستقیم به پدیده نفوذ آب در خاک وابسته است (Lange et al., 1999). نفوذ آب در خاک، شامل فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک می‌باشد. این فرآیند یکی از اجزای اصلی هیدرولوژی سطحی و زیرسطحی است (Turner, 2006; Kumar, 2006).

رطوبت اولیه خاک عبارت است از مقدار رطوبت خاک قبل از بارندگی که برای تخمین رواناب تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تأثیر رطوبت اولیه خاک در تولید رواناب، ناشی از متفاوت بودن شدت نفوذ خاک در میزان رطوبت‌های مختلف خاک می‌باشد. از آن‌جا که تعیین میزان رطوبت خاک قبل از هر بارندگی کار بسیار مشکل و حتی

نفوذپذیری خاک بیان‌گر چگونگی رفتار خاک در برابر بارش رسیده به سطح خاک است. نفوذ، تعیین‌کننده سرنوشت آب رسیده به سطح خاک بوده و اصلی‌ترین پارامتر در تعیین مقدار تلفات بارش می‌باشد، به همین دلیل کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. نفوذپذیری یکی از ویژگی‌های خاک است که تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل بافت خاک، پوشش گیاهی، ساختمان خاک، فشردگی، میزان لاشبرگ گیاهی، ریشه‌دوانی و هوموس، شیب سطح زمین، رطوبت اولیه و دمای آب و خاک می‌باشد (بای‌بوردی، ۱۳۹۰). تهیه و اجرای طرح‌های توسعه‌ای و برنامه‌ریزی‌های مربوط به حفاظت خاک و مدیریت کمی و کیفی منابع آب نیازمند درک کامل و کمی‌سازی دقیق فرآیند نفوذ به عنوان یکی از اجزای مهم و تأثیرگذار چرخه هیدرولوژیکی است (Lassabatere et al., 2010). هم‌چنین فرآیند نفوذ وظیفه انتقال مقداری از بارش به سیستم خاک برای

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان  
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان  
۳- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان  
\* نویسنده مسئول: (Email: majidforoumadi89@gmail.com)

بین ضریب رواناب و پتانسیل رطوبت اولیه خاک با فصل متغیر است. هم‌چنین رواناب و هدررفت خاک با رخدادهای مشابه متفاوت بودند و تولید رواناب و هدررفت خاک به شدت وابسته به رطوبت اولیه خاک بود (Wei et al., 2007). ویرمانگ و همکاران تأثیر مقدار رطوبت اولیه خاک بر پایداری خاکدانه و فرسایش را در بلژیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سرعت نفوذ با مقدار باران تجمعی تفاوت معنی‌داری بین رطوبت اولیه ۰/۰۴ و ۰/۱۲ در سطح احتمال ۵ درصد داشت (Vermang et al., 2009). لیو و همکاران اثر شدت بارش و رطوبت اولیه بر نفوذپذیری را در خاک لومرسی در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نفوذپذیری خاک به آب با افزایش مقدار رطوبت اولیه خاک کاهش یافت که ناشی از شیب هیدرولیکی پایین در جبهه رطوبتی بود (Liu et al., 2011). بهتری و واعظی (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر مقدار رطوبت اولیه خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک در بافت‌های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که، تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار رواناب بین خاک‌های مختلف وجود داشت ( $P < 0/01$ ). هم‌چنین رابطه معنی‌داری بین هدررفت خاک و تولید رواناب تحت سطوح رطوبتی در خاک‌ها مشاهده نشد.

رطوبت اولیه خاک عامل فیزیکی بسیار مهم است که در اغلب فرآیندها هم‌چون نفوذپذیری، رواناب و فرسایش خاک نقش اساسی ایفا می‌کند. مطالعاتی که در زمینه نفوذپذیری در ایران انجام گرفته بیش‌تر به بررسی مدل‌های نفوذ آب به خاک بوده و نقش رطوبت اولیه غالباً نادیده گرفته شده است. اثر رطوبت اولیه خاک بر نفوذپذیری و تولید رواناب موضوع مهمی است که در پژوهش‌های پیشین در خارج از کشور تا حدی به آن پرداخته شده است. با این وجود تأثیر رطوبت اولیه خاک بر نفوذ آب باران به خاک به‌صورت کمی و دقیق در خاک‌های با بافت متفاوت مورد بررسی قرار نگرفته است. این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات نفوذ آب به خاک در سطوح مختلف رطوبتی در خاک‌های با بافت مختلف تحت تأثیر باران شبیه‌سازی شده انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

برای اجرای آزمایش دامنه‌ای با شیب ۷ درصد که در آن نشانه‌هایی از تغییر رنگ خاک در عرض زمین وجود داشت، انتخاب شد. دامنه مذکور، بکر با پوشش گیاهی ضعیف است که در محدوده دانشگاه زنجان، واقع بین  $35^{\circ}25'45''$  تا  $35^{\circ}15'24''$  عرض شمالی و  $47^{\circ}11'12''$  تا  $49^{\circ}52'31''$  طول شرقی قرار دارد. این منطقه دارای حداقل دمای حدود ۳۰- و حداکثر دمای آن ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد. متوسط بارندگی در دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۸)

غیرعملی است وضعیت رطوبت اولیه خاک را با توجه به مجموع بارندگی در پنج روز قبل از بارش مورد نظر تحت عنوان وضعیت رطوبت اولیه ارزیابی می‌کنند (Jain et al., 2004). مقدار رطوبت اولیه خاک وابسته به شدت بارش اولیه، مدت زمان بارش، خصوصیات خاک، پارامترهای اقلیمی هم‌چون سرعت تبخیر و تعرق و فاصله بین رخدادهای می‌باشد (Jain et al., 2004). شرایط رطوبتی خاک یکی از مهم‌ترین خصوصیات مکانی بوده که تأثیر معنی‌داری بر حرکت آب در خاک‌ها دارد (Sande and Chu, 2012). هر چه خاک رطوبت بیش‌تری داشته باشد، نفوذپذیری اولیه آن کم‌تر خواهد بود و سریع‌تر به سرعت نهایی (ثابت) می‌رسد (Hillel, 2004). تغییر در رطوبت اولیه خاک می‌تواند نسبت بارش به نفوذپذیری و رواناب (زمان و مدت)، رسوب و هدررفت شیمیایی را که وابسته به خصوصیات خاک، روش و سرعت خیس‌شدگی و خصوصیات شیمیایی و آلودگی خاک می‌باشد، افزایش یا کاهش دهد (Sande and Chu, 2012).

رطوبت اولیه خاک نه‌تنها می‌تواند تحت تأثیر درجه حرارت هوای نزدیک به سطح خاک و رطوبت خاک قرار گیرد، بلکه تحت تأثیر شرایط محلی اتمسفر و بارش قرار می‌گیرد (De Goncalves et al., 2006). از دیدگاه ساهو و همکاران مقدار بارش تنها عاملی است که بر روی مقدار رطوبت اولیه خاک یک حوزه تأثیر دارد؛ اما زمانی که یک بارش صورت می‌گیرد، عواملی نظیر پوشش گیاهی منطقه، شیب حوزه، ارتفاع از سطح زمین، نوع خاک، میزان نفوذپذیری خاک در حفظ رطوبت اولیه درون حوزه اثرگذار هستند (Sahu et al., 2007). شرایط رطوبت اولیه خاک قبل از رخداد بارش یک نقش مرکزی در ظرفیت نفوذپذیری منطقه‌ای ایفاء می‌کند، با این حال کمی کردن این اثرات، به علت این که تنوع مکانی ظرفیت نفوذ و شدت بارش یک پاسخ غیرخطی با رواناب حاصل از بارش دارد مشکل می‌باشد (Bronstert and Bardossy, 1999). افزایش رطوبت اولیه خاک، نفوذپذیری تجمعی را در خاک‌های شنی به نسبت خاک‌های ریزبافت خیلی بیش‌تر کاهش می‌دهد. رطوبت اولیه، به‌طور قابل توجهی بر قابلیت خیس شدن خاک‌ها اثر می‌گذارد ولی به‌طور متفاوت در خاک‌های شنی و لومرسی شنی قابل مشاهده است؛ که دلیل احتمالی آن را می‌توان تفاوت این دو نوع خاک در فعالیت هم‌زمان فاکتورهای آدهیژن و به تله افتادن هوا در این خاک‌ها دانست (Bronstert and Bardossy, 1999).

لی و همکاران تأثیر بارش - رواناب و پویایی رطوبت خاک را در حوزه وایه‌رباخ در آلمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در منطقه غیراشباع با افزایش رطوبت اولیه در خاک لوم سیلتی با شدت بارش ثابت ۲۰ میلی‌متر بر ساعت، سرعت نفوذ کاهش یافت (Lee et al., 2006). وی و همکاران اثر رطوبت اولیه خاک بر رواناب و فرسایش خاک، تحت سیستم‌های کشت نوازی با پنج نوع کاربری اراضی را در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که رابطه

نشان داد که سه خاک با بافت مختلف شامل لومی، لوم‌شنی و لوم‌رسی در سطح دامنه قابل تمایز است. به این ترتیب آزمایش در سه خاک در چهار سطح رطوبتی در سه تکرار با مجموع ۳۶ واحد آزمایشی (۳×۳×۴) در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و ۳۶ کرت مورد آزمایش

سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های خاک (دست‌نخورده و دست‌خورده) اندازه‌گیری شدند. درصد سنگریزه به روش وزنی در نمونه‌های خاک دست‌نخورده با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر که با استفاده از سیلندر فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۹ سانتی‌متر (Blake and Hartge 1986) برداشت شده بود و چگالی ظاهری خاک از نسبت جرم نمونه خشک شده در آون به حجم سیلندر تعیین شد. پایداری خاکدانه بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (Angers and Mehuys, 1993) برای مدت یک دقیقه (Ulrich et al., 2013) تعیین شد. هدایت هیدرولیکی اشباع در نمونه دست‌نخورده به ارتفاع ۸ و قطر ۷ سانتی‌متر به روش بار ثابت (Page, 1982) تعیین شد. در نمونه‌های خاک گذرانده از الک ۲ میلی‌متر، ماده آلی به روش واکلی و بلاک (Walkley and Black, 1947)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی با استفاده از اسیدکلریدریک نرمال (Page, 1982) و گچ (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) به روش استون (Page, 1982) تعیین شدند.

#### اعمال تیمارهای رطوبتی اولیه

به دلیل شیب‌دار بودن زمین ابتدا مجاری خروجی کرت‌ها مسدود گشت و سپس خاک داخل کرت‌ها به روش آبیاری ثقلی اشباع شدند. عمل اشباع‌سازی خاک توسط یک آبپاش، به دلیل برهم نزدن خاک سطحی انجام پذیرفت (شکل ۳، الف). برای کاهش تبخیر از سطح خاک (Liu et al., 2011) سطح کرت‌ها با پلاستیک سیاه پوشانده

(۱۳۵۲) حدود ۳۰۹ میلی‌متر است و میانگین درجه حرارت سالانه ۲۳/۳ درجه سلسیوس می‌باشد. این منطقه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم خشک است. میانگین ارتفاع منطقه حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است (کلاتری و همکاران، ۱۳۸۷). نمونه‌برداری خاک و تجزیه آن به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) در آزمایشگاه

#### احداث کرت‌های آزمایشی

برای ایجاد کرت‌های آزمایشی از صفحات گالوانیزه با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر به عرض ۳۰ و طول ۹۰ سانتی‌متر استفاده شد. ۳۶ کرت به ابعاد ۸۰ سانتی‌متر × ۶۰ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر در راستای شیب احداث شدند (بهتری و واعظی، ۱۳۹۶). در قسمت پایین دست هر کرت لوله انتقال و ظرف جمع‌آوری رواناب و رسوب قرار داده شد (شکل ۲). کرت‌ها با فواصل ۵۰ سانتی‌متر از هم در امتداد شیب احداث شدند. آزمایش‌های صحرایی در اوایل تابستان زمانی که احتمال وقوع باران‌های طبیعی کم‌ترین بود، انجام گرفت.



شکل ۲- نمونه‌ای از کرت‌های مورد آزمایش

#### تعیین ویژگی‌های خاک

علاوه بر اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک و تعیین بافت خاک،

اولیه در سه خاک لومی، لوم شنی و لوم رس شنی در فاصله زمانی یک روز، چهار روز، هفت روز و ده روز پس از اشباع‌سازی به صورت شکل ۴ بود. علت انتخاب این چهار فاصله زمانی رسیدن بافت‌های مختلف به رطوبت‌های ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم بود که تا پایان روز دهم رخ داد.

شد (شکل ۳. ب). در چهار فاصله زمانی (یک، چهار، هفت و ده روز پس از عمل اشباع‌سازی)، نمونه‌هایی از خاک داخل کرت‌ها با استوانه فلزی برداشت شد و رطوبت جرمی خاک‌ها قبل از اعمال باران شبیه‌سازی شده اندازه‌گیری شد و به عنوان محتوای رطوبتی اولیه هر خاک در نظر گرفته شد. بر این اساس میانگین محتوای رطوبت جرمی

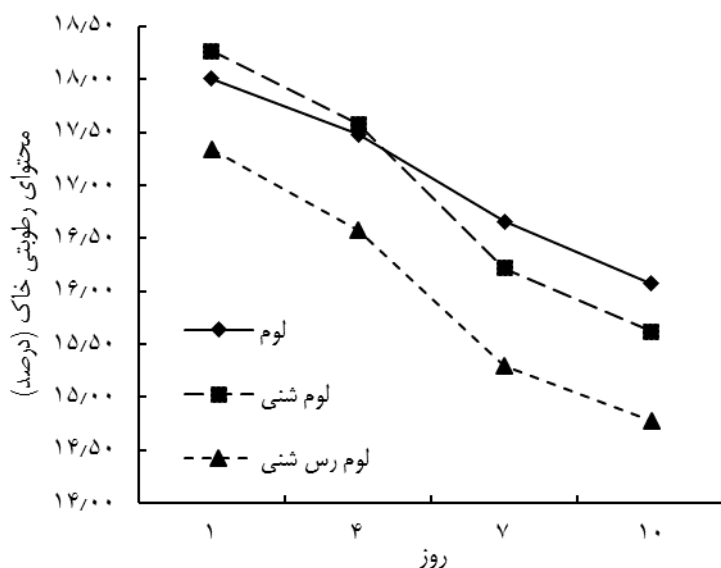


(ب)



(الف)

شکل ۳- اشباع‌سازی کرت‌ها به روش ثقلی (الف) و پوشاندن روی کرت‌ها با نایلون (ب)



شکل ۴- تغییرات محتوای رطوبتی خاک طی روزهای پس از اشباع‌سازی در سه خاک با بافت مختلف

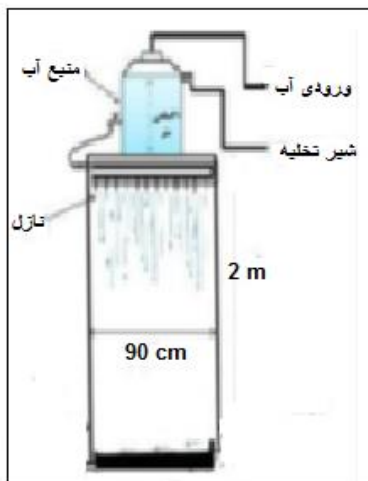
ساعت کار می‌کند. منبع آب این دستگاه، مخزنی پلاستیکی به حجم ۲۵ لیتر بود که به منظور حفظ شدت بارش ثابت، با اضافه کردن آب از طریق ورودی آب به آن، سطح آب در آن ثابت نگه داشته شد. ارتفاع دستگاه ۲ متر بود و صفحه بارش آن به ابعاد ۹۰ سانتی‌متر × ۷۰ سانتی‌متر از ۴۵۰ قطعه نازل تشکیل شده بود. تمامی کرت‌ها تحت یک رخداد بارش ۳۰ دقیقه‌ای (واعظی و حسن‌زاده، ۱۳۹۵) قرار گرفتند. برای انتخاب شدت و مدت مناسب بارندگی، از تحلیل‌های

#### اعمال باران شبیه‌سازی شده

شبیه‌ساز باران برای مطالعه فرآیندهای مختلف از قبیل فرسایش خاک، نفوذپذیری و جریان‌های سطحی به کار می‌رود (De Lima et al., 2002). به دلیل سختی و زمان‌بر بودن مطالعات فرسایش خاک با باران طبیعی، ضرورت طراحی یک باران‌ساز وجود داشت. در شکل ۵ طرح شماتیک باران شبیه‌ساز به کار برده شده در آزمایش مشاهده می‌شود. این باران‌ساز به طریقه بار ثابت با شدت ۵۵ میلی‌متر بر

افقی ثابت نگه داشت. با در نظر گرفتن ارتفاع دو متری صفحه بارش تا سطح کرت، سرعت نهایی برخورد قطرات باران به سطح خاک، ۶/۲۶ متر بر ثانیه محاسبه شد.

انجام گرفته روی ۱۹۶۱ رخداد باران ثبت شده در ایستگاه باران‌نگاری قلتوق واقع در غرب زنجان طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۰ استفاده شد (بشارت و واعظی، ۱۳۹۴). دو پایه جلویی دستگاه به صورت کشویی ساخته شده بود تا در سطوح شیب‌دار بتوان صفحه بارش را به‌طور



شکل ۵- تصویر شماتیک از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در پژوهش

جذب آب فراهم می‌آورد. وقوع این پدیده، عامل اصلی کاهش نفوذ آب به خاک در حین بارندگی است. بررسی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها (از ۰/۵۰ تا ۰/۸۵ سانتی‌متر بر ساعت) نیز نشان از ضعف قابلیت نفوذ آب به خاک است.

#### مقایسه میانگین مقدار رطوبت اولیه در هر یک از خاک‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تفاوتی معنی‌دار از نظر محتوای رطوبتی بین بافت خاک (خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی) و نیز تعداد روز پس از اشباع‌سازی (۱، ۴، ۷ و ۱۰ روز) وجود دارد ( $P < 0.001$ ). با این وجود اثرات متقابل نوع خاک و روز پس از اشباع‌سازی کرت‌ها در مورد مقدار رطوبت اولیه خاک معنی‌دار نبود. مامدوو و همکاران با بررسی اثر رطوبت اولیه و زمان بعد از بارش بر تشکیل سله و فرسایش در خاک‌های اسمکتیتی نشان دادند که مقدار رطوبت اولیه در ۶ میلی‌متری سطح خاک لومی تابعی از مقدار آب اضافه شده و زمان بعد از بارش (۱، ۳ و ۷ روز پس از بارش) است. بالاترین مقدار رطوبت اولیه در روز یکم پس از بارش (۰/۱۴۴ گرم بر گرم) و کم‌ترین رطوبت اولیه در روز هفتم پس از بارش (۰/۰۹۸ گرم بر گرم) بود که تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با هم‌دیگر داشتند (Mamedov et al., 2006). اینگلیش و همکاران نشان دادند که تفاوت در بافت خاک عامل کنترلی برای مقدار رطوبت خاک در مناطق نیمه‌خشک است، اما این عامل توسط زمان و عمق پروفیل خاک تعدیل می‌شود (English et al., 2005).

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با رسم نمودار هیستوگرام و تحلیل چولگی و کشیدگی داده‌ها بررسی شد. تفاوت خاک‌ها از نظر مقدار نفوذ آب باران و نیز تأثیر محتوای رطوبتی اولیه خاک بر مقدار نفوذپذیری خاک به روش تجزیه واریانس با استفاده از آزمون دانکن مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

#### نتایج و بحث

##### ویژگی خاک‌های دامنه مورد مطالعه

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌ها دارای محتوای بسیار اندک ماده آلی (کم‌تر از یک درصد) هستند و به دلیل وجود درصد بالایی از آهک (۱۴-۱۲ درصد) و گچ (۱۶-۱۲ درصد) در گروه خاک‌های آهکی-گچی (Duiker et al., 2001) قرار دارند. پایداری خاکدانه‌ها در آب برای مدت ۱ دقیقه بسیار پایین (۱/۹ تا ۲/۱ میلی‌متر) است و نشان از حساسیت بالای خاک به تخریب ساختمان در اثر بارندگی دارد (Mamedov et al., 2001). ضعف پوشش گیاهی و برگشت ناچیز بقایایی گیاهی، عامل اصلی کمبود ماده آلی و کاهش درجه تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها است. در کنار این، وجود مقدار زیادی از نمک‌های قابل حل در آب مانند گچ، شرایط را برای فروریختن خاکدانه‌ها در اثر

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت خاک			ویژگی‌های خاک
لوم‌رس‌شنی	لوم‌شنی	لومی	
۵۷/۳۵	۶۲/۹۵	۳۶/۶۴	شن (درصد)
۱۹/۴۹	۲۲/۷۷	۴۲/۴۹	سیلت (درصد)
۲۳/۱۵	۱۴/۲۸	۲۰/۸۷	رس (درصد)
۲۳/۱۰	۲۶/۰۵	۲۴/۰۲	سنگریزه (درصد)
۱/۲۵	۱/۴۵	۱/۳۲	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۲/۴۲	۱/۹۱	۲/۰۸	پایداری خاکدانه (میلی‌متر)
۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۷۹	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)
۰/۶۳	۰/۷۴	۰/۹۴	ماده آلی (درصد)
۱۳/۵۵	۱۲/۲۶	۱۳/۸۵	آهک (درصد)
۱۵/۳۶	۱۱/۹۶	۱۵/۰۹	گچ (درصد)

جدول ۲- تجزیه واریانس تغییرات محتوای رطوبتی خاک تحت تأثیر بافت خاک و روز پس از اشباع‌سازی

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بافت خاک	۲	۷/۸۹	۳/۹۵	۱۴/۷۶	۰/۰۰۰
روز پس از اشباع‌سازی	۳	۳۱/۶	۱۰/۵۴	۳۹/۳۸	۰/۰۰۰
بافت خاک × روز پس از اشباع‌سازی	۶	۰/۷۳	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۸۳
اشتباه	۲۴	۶/۴۱	۰/۲۶		

افزایش مقدار رطوبت اولیه، شیب مکش کاهش یافته و باعث کم شدن سرعت نفوذ گردید (Lili et al., 2008).

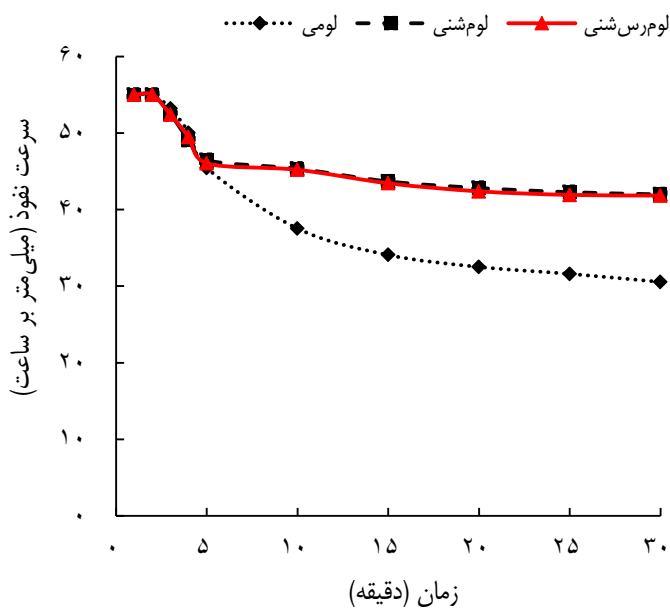
#### تجزیه واریانس تغییرات سرعت نفوذ در سه خاک مختلف

تجزیه واریانس تغییرات سرعت نفوذ در سه خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی در جدول ۳ آمده است. بر این اساس سرعت نفوذ برخلاف رطوبت اولیه در سه خاک دارای تفاوت معنی‌دار بود ( $P < 0/001$ ). علت این موضوع را می‌توان تفاوت در مقدار هدایت هیدرولیکی هر سه بافت خاک دانست. موروگایاه و همکاران با مقایسه سرعت نفوذ در دو بافت لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی در خاک‌های جنگلی مالزی نشان دادند که سرعت نفوذ آب به خاک تحت دو عامل بافت خاک و ماده آلی خاک است، ولی نقش بافت خاک پررنگ‌تر از نقش ماده آلی است. در دو خاک ذکر شده با مقدار ماده آلی تقریباً برابر، سرعت نفوذ آب در خاک لوم‌شنی ( $5 \pm 0/02$  میلی‌متر بر متر) بیش‌تر از خاک لوم‌رس‌شنی ( $4/2 \pm 0/03$  میلی‌متر بر متر) بوده و تفاوت معنی‌دار با همدیگر داشتند (Murugayah et al., 2009).

#### تغییرات سرعت نفوذ آب باران به خاک در خاک‌های مختلف

شکل ۶ تغییرات سرعت نفوذ در زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه از آغاز بارندگی با شدت بارش ثابت ۵۵ میلی‌متر بر ساعت در سه خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی را نشان می‌دهد. سرعت نفوذ اولیه در سه خاک ۵۵ میلی‌متر بر ساعت بود. سرعت نفوذ در بافت‌های مختلف با وجود کوتاه بودن مدت زمان بارش (۳۰ دقیقه) به سرعت نفوذ نهایی رسید. سرعت نفوذ در پایان بارندگی (زمان ۳۰ دقیقه) در خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی به ترتیب ۳۰/۵، ۴۱/۹ و ۴۱/۸ میلی‌متر بر ساعت بود. دلیل پایین بودن سرعت نفوذ در پایان بارندگی در خاک لومی نسبت به دو خاک دیگر به دلیل بالا بودن مقدار رطوبت اولیه خاک بود. این موضوع به‌نوبه خود تحت تأثیر تخلخل درشت خاک بود که نسبت به دو خاک دیگر دارای تخلخل درشت کم‌تری بود. شوکلا و همکاران بیان نمودند اندازه خلل و فرج درشت خاک سطحی بیش‌ترین تأثیر را در میزان نفوذ آب به خاک دارد. رطوبت اولیه خاک یکی از اصلی‌ترین عامل‌های مؤثر بر سرعت نفوذ می‌باشد (Shukla et al., 2003). لی‌لی و همکاران رطوبت اولیه پایین خاک را باعث افزایش سرعت نفوذ دانستند. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که در منطقه جبهه رطوبتی با





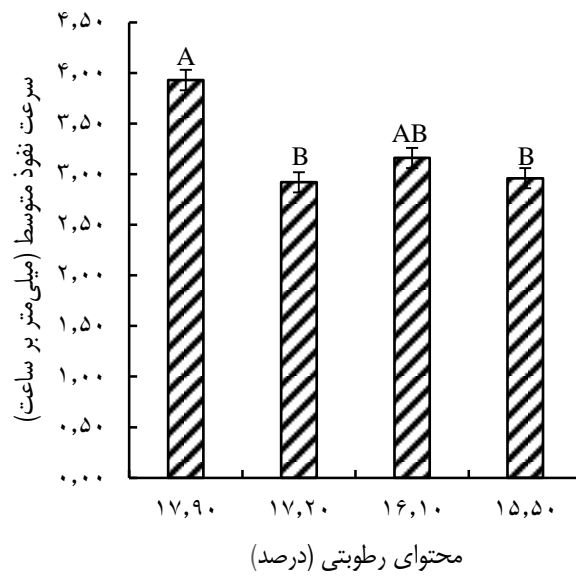
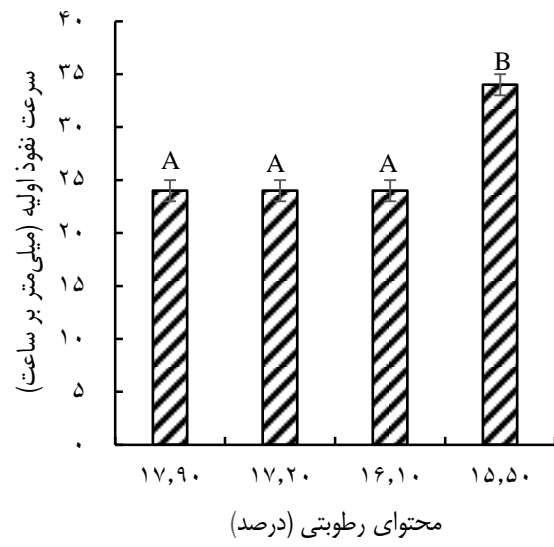
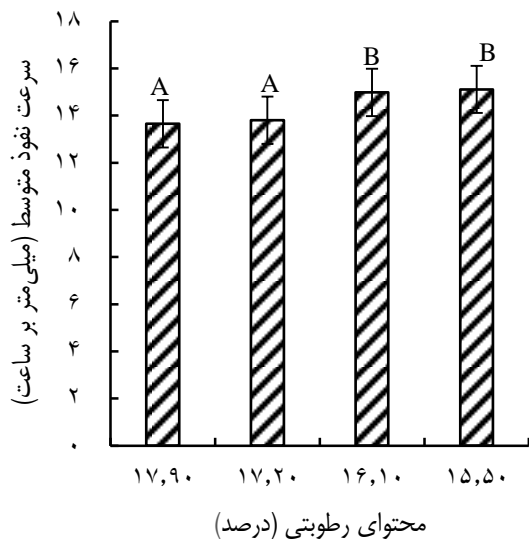
شکل ۶- تغییرات سرعت نفوذ آب باران (۵۵ میلی‌متر بر ساعت) در سه بافت خاک

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر سرعت نفوذ

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	معنی‌داری	ضریب تغییرات
بافت خاک	۲	۲۴۳/۶	۱۲۱/۸۳	۲۳/۷۲	۰/۰۰۰	۲۵/۶۷
اشتباه	۳۳	۱۶۹/۵	۵/۱۳			

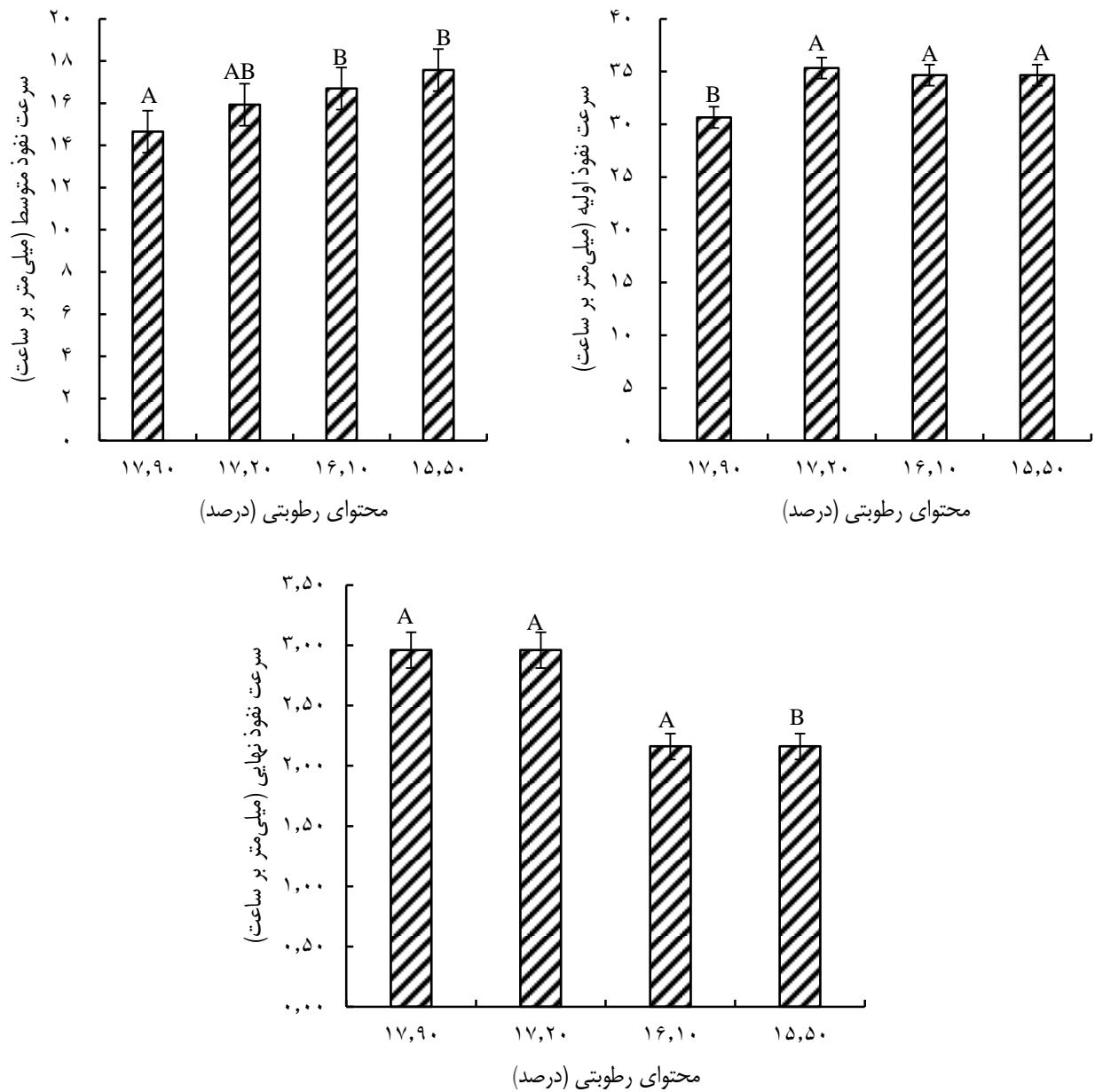
سرعت نفوذ (۵۰-۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت) نسبت به دو خاک دیگر بود که دلیل این امر را درشت بافت بودن این خاک نسبت به دو خاک رس‌شنی و رس‌لومی بیان کردند (Macongo and Odiu, 2011). شعبانی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی نفوذپذیری خاک‌های سنگریزه‌ای نشان دادند که برخلاف تأثیر مثبت ذرات شن بر روی نفوذپذیری خاک، سنگریزه‌های درشت نه تنها موجب افزایش نفوذپذیری خاک نمی‌شوند؛ بلکه مانند یک مانع در مسیر جریان نفوذ آب در خاک عمل نموده و موجب کاهش نفوذ می‌شوند.

مقایسه میانگین تغییرات سرعت نفوذ اولیه، نهایی و متوسط اندازه‌گیری شده در خاک‌های مختلف در شکل ۷ تا ۹ آمده است. به طور کلی با کاهش محتوای رطوبتی سرعت نفوذ اولیه و متوسط سرعت نفوذ در تمامی خاک‌ها (به جز لوم‌رسی‌شنی) روند افزایشی نشان داد این در حالی است که سرعت نفوذ نهایی با کاهش محتوای رطوبتی خاک کاهش یافت. این نتیجه با نتایج مطالعات قبلی مطابقت نداشت. ماکونگو و اودیو با بررسی سرعت نفوذ در سه خاک لوم‌شنی، رس‌شنی و رس‌لومی نشان دادند که خاک لوم‌شنی دارای بالاترین

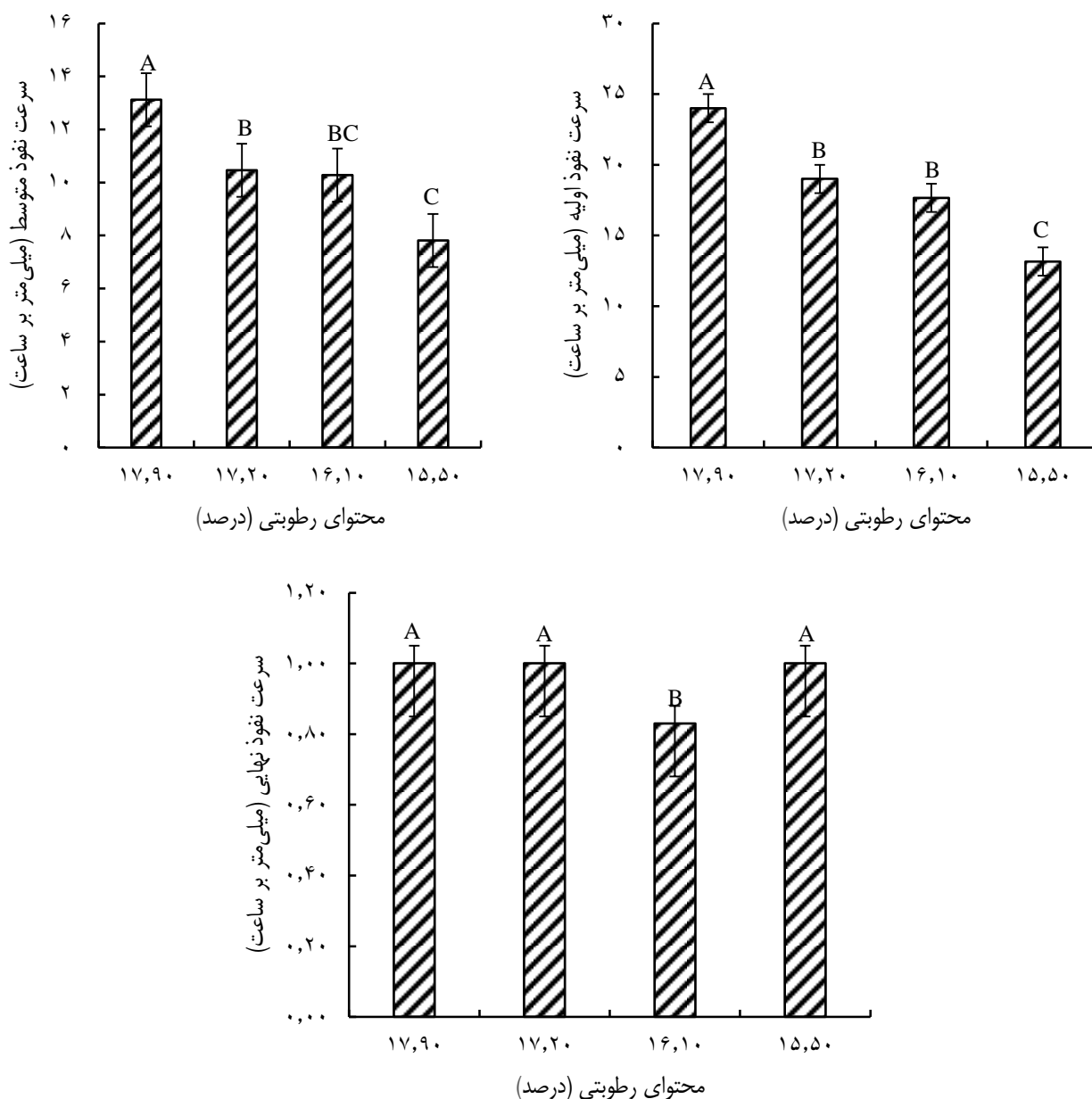


شکل ۷- مقایسه میانگین تغییرات سرعت نفوذ اولیه، متوسط و نهایی در خاک لومی در سطوح مختلف رطوبتی





شکل ۸- مقایسه میانگین تغییرات سرعت نفوذ اولیه، متوسط و نهایی در خاک لوم‌شنی در سطوح مختلف رطوبتی



شکل ۹- مقایسه میانگین تغییرات سرعت نفوذ اولیه، متوسط و نهایی در خاک لومرسی شنی در سطوح مختلف رطوبتی

### نتیجه گیری

ساعت بود. دلیل پایین بودن سرعت نفوذ در پایان بارندگی در خاک لومی نسبت به دو خاک دیگر به دلیل بالا بودن مقدار رطوبت اولیه خاک بود. این موضوع به نوبه خود تحت تأثیر تخلخل درشت خاک بود که نسبت به دو خاک دیگر دارای تخلخل درشت کمتری بود. به طور کلی این پژوهش نشان داد که تخلخل‌های درشت خاک نقشی اساسی در تعیین سرعت نفوذ خاک دارند و بایستی در پژوهش‌های آینده به صورت دقیق مورد بررسی قرار گیرند.

این پژوهش نشان داد که بافت خاک (خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رسی شنی) و نیز روز پس از اشباع‌سازی کرت‌ها (۱، ۴، ۷ و ۱۰ روز) هر دو اثری معنی‌دار بر مقدار رطوبت اولیه نگه داشته شده در خاک ( $P < 0.001$ ) داشتند. با این وجود اثرات متقابل نوع خاک و روز پس از اشباع‌سازی کرت‌ها در مورد مقدار رطوبت اولیه خاک معنی‌دار نبود. هم‌چنین متوسط سرعت نفوذ در کل مدت بارندگی در خاک لومی، لوم‌شنی و لوم‌رسی شنی به ترتیب ۳۰/۵، ۴۱/۹ و ۴۱/۸ میلی‌متر بر

## منابع

- De Lima, J.L.M.P., Torfs, P.J.J.F. and Singh, V.P., 2002. A mathematical model for evaluating the effect of wind on downward-spraying rainfall simulators. *Catena*, 46.4: 221-241.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*. 45.2: 103-121.
- English, N.B., Weltzin, J.F., Fravolini, A., Thomas, L. and Williams, D.G. 2005. The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland. *Journal of Arid Environments*. 63.1: 324-343.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis 1(No. methodsofsoilan1. 383-411. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego, CA.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier Academic Press. 93-126.
- Jain, M.K., Kothyari, U.C. and Raju, K.G.R. 2004. A GIS based distributed rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*. 299.1-2:107-135.
- Kumar, C.P. 2006. Groundwater Flow and Contaminant Transport Models: An Overview. *Journal of Applied Hydrology*. Association of Hydrologists of India. 2: 94-110.
- Lange, J., Leibundgut, C., Greenbaum, N. and Schick, A.P. 1999. A noncalibrated rainfall-runoff model for large, arid catchments. *Water Resources Research*. 35.7: 2161-2172.
- Lassabatere, L., Angulo-Jaramillo, R., Goutaland, D., Letellier, L., Gaudet, J.P., Winiarski, T. and Delolme, C. 2010. Effect of the settlement of sediments on water infiltration in two urban infiltration basins. *Geoderma*. 156.3-4: 316-325.
- Lee, H., Zehe, E. and Sivapalan, M. 2006. Predictions of rainfall-runoff response and soil moisture dynamics in a microscale catchment using the CREW model. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 3.4: 1667-1743.
- Lili, M., Bralts, V.F., Yinghua, P., Han, L. and Tingwu, L. 2008. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 1.1: 22-30.
- Liu, H., Lei, T.W., Zhao, J., Yuan, C.P., Fan, Y.T. and Qu, L.Q. 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*. 396.1-2: 24-32.
- Mamedov, A.I., Huang, C. and Levy, G.J. 2006. Antecedent moisture content and aging duration
- بای‌بوردی، م. ۱۳۹۰. اصول مهندسی آبیاری جلد اول روابط آب و خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ نهم. ۲۵-۴۴.
- بشارت، ف و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۴. تأثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی طی رخداد بر رواناب و هدررفت خاک تحت باران‌های شبیه‌سازی شده. *علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*. ۲۹.۹: ۱۸-۱۰.
- بهتری، م و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۶. تأثیر مقدار رطوبت اولیه خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک در بافت‌های مختلف تحت باران شبیه‌سازی شده. *علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*. ۳۹.۱۱: ۲۱-۱۲.
- سهرابی، ت و پایدار، ز. ۱۳۹۴. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۱۲۰-۱۴۶.
- شعبانی، ع.، جهانبازی، الف.، احمدی، ح.، مقیمی، م. م و بهرامی، م. ۱۳۹۷. بررسی نفوذپذیری خاک‌های سنگریزه‌ای در زیر و بین درختان پرتقال و زیتون شهرستان فسا. *نشریه علوم آب و خاک*. ۱: ۱۷۵-۱۸۵.
- کلانتری، م.، عباسی ع و شیرانی، م. ۱۳۸۷. مطالعات طرح آمایش استان زنجان. معاونت برنامه ریزی استانداری زنجان.
- واعظی، ع.ر و حسن‌زاده، ح. ۱۳۹۵. بررسی هدررفت خاک در کرت‌های کوچک حاوی خاکدانه‌های با بافت مختلف در رخدادهای پیاپی باران شبیه‌سازی شده. *نشریه علوم آب و خاک*. ۲۰۱-۲۱۲: ۷۵.۲۰.
- Angers, D.A. and Mehuys, G.R. 1993. Aggregate stability to water. Soil sampling and methods of analysis. 651-657.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk Density 1. *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*, (methodsofsoilan1). 363-375.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*. 54.5: 464-465.
- Bronstert, A. and Bárdossy, A. 1999. The role of spatial variability of soil moisture for modelling surface runoff generation at the small catchment scale. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 3.4: 505-516.
- de Goncalves, L., Shuttleworth, W.J., Chou, S.C., Xue, Y., Houser, P.R., Toll, D.L., Marengo, J. and Rodell, M. 2006. Impact of different initial soil moisture fields on Eta model weather forecasts for South America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 111(D17).

- Shukla, M.K., Lal, R. and Unkefer, P., 2003. Experimental evaluation of infiltration models for different land use and soil management systems. *Soil Science*. 168.3: 178-191.
- Turner, E.R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation (Doctoral dissertation).
- Ulrich, U., Dietrich, A. and Fohrer, N. 2013. Herbicide transport via surface runoff during intermittent artificial rainfall: a laboratory plot scale study. *Catena*, 101. 38-49.
- Vermang, J., Demeyer, V., Cornelis, W.M. and Gabriels, D. 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a loess soil. *Soil Science Society of America Journal*. 73.3: 718-726.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Sci*. 63: 251-264.
- Wei, L., Zhang, B. and Wang, M. 2007. Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural water management*. 94.1-3: 54-62.
- effects on seal formation and erosion in smectitic soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70.3: 832-843.
- Mamedov, A.I., Levy, G.J., Shainberg, I. and Letey, J. 2001. Wetting rate, sodicity, and soil texture effects on infiltration rate and runoff. *Soil Research*. 39.6: 1293-1305.
- Murugayah, R.A., Gandaseca, S., Ahmed, O.H. and Majid, N.M. 2009. Effect of different ages of a rehabilitated forest on selected physico-chemical properties. *American Journal of Applied Sciences*. 6.6: 1043.
- Page A.L. 1982. Method of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Soil Science Society of American Madison, Wisconsin, USA.
- Sahu, R.K., Mishra, S.K., Eldho, T.I. and Jain, M.K. 2007. An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method. *Hydrological Processes: An International Journal*. 21.21: 2872-2881.
- Sande, L. and Chu, X. 2012. Laboratory experiments on the effect of microtopography on soil-water movement: Spatial variability in wetting front movement. *Applied and Environmental Soil Science*. 2012.

## Time Variations of Rainfall Infiltration into the Soil under the Influence of Soil initial Moisture

A. R. Vaezi<sup>1</sup>, M. Behtari<sup>2</sup>, M. Foroumadi<sup>3\*</sup>

Recived: Augu.19, 2018

Accepted: Sept.29, 2018

### Abstract

Initial soil moisture has a major role in water infiltration during a rainfall event. The study was conducted to investigate water variations of infiltration as affected by initial moisture contents in different soil textures under the simulated rainfall. The study was performed in three soil textures (Loamy, Sandy loam and Sandy clay loam) with four initial soil moisture contents at three replications as a completely randomized design in a hillslope located. Twelve plots with a dimension of 60 cm × 80 cm were installed up to down in the hillslope. The plots were gravitationally saturated and soil moisture content was determined by weight method after 1, 4, 7 and 10 days. The plots were exposed to five simulated rainfalls with an intensity of 55 mm h<sup>-1</sup> for 30 min and 10-day interval. Results indicated that soil moisture was affected by soil texture (Loamy, Sandy loam and Sandy clay loam) and the day after the saturated (1, 4, 7 and 10 days) of the plots (P<0.001). The average infiltration rate in the total rainfall period (30 min) was 30.5, 41.9 and 41.8 mm.h<sup>-1</sup> in Loamy, Sandy loam and Sandy clay loam soil respectively. In turn, this was influenced by the soil moisture and also the coarse soil porosity.

**Keywords:** Double ring, Soil texture, Saturated hydraulic conductivity

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

2- Former M.Sc. Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

3- Ph.D. Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

(\*- Corresponding Author: majidforoumadi89@gmail.com)