

## Investigation of the Relationship between Natural Hydrophobicity and Physicochemical Properties of Soil in Different Land Uses in the Coastal Areas of West Guilan

SEYEDEH MEHRNOOSH MIRBABAIE<sup>1</sup>, MAHMOUD SHABANPOUR<sup>1\*</sup>, MOHAMMADREZA KHALEDIAN<sup>2</sup>,  
ALIASGHAR ZOLFAGHARI<sup>3</sup>

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
3. Department of Desert Science, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Semnan, Iran.

(Received: May. 11, 2021- Revised: June. 6, 2021- Accepted: June. 14, 2021)

### ABSTRACT

Soil water repellency is a dynamic property that delays the infiltration of water into the soil and increases the potential for runoff and erosion. Accurate knowledge about the existence and severity of soil water repellency (SWR) in the coastal areas of Guilan, which are under different land uses, is very important. The present study evaluates the effects of land uses on soil water repellency in three areas: 1) Forested area with *Pinus Teda*, 2) forested area planted with *Pinus Teda* in some parts and covered with natural wild pomegranate in other parts 3) Agricultural land covered with *Diaspyros Kaki*. Soil water repellency was measured using three tests of the water drop penetration time (WDPT), the molarity of ethanol droplet (MED) and the soil wetted area (SWA). Significant differences in soil water repellency were found among the different land uses. Forest soils under *pinus Teda* showed the highest SWR and the soils under wild pomegranate and persimmon cultivated area showed the lowest SWR. Also, the relationship between SWR and soil properties (soil organic matter, pH, total nitrogen, phosphorus, Cation Exchangeable Capacity, Electrical Conductivity, sodium, potassium, calcium, magnesium, soil texture, bulk and particle density) was investigated in 200 samples. Principal component analysis (PCA) showed that organic matter, total nitrogen with a positive effect and soil acidity with a negative effect are the most important parameters controlling repellency in these soils. To investigate which component of the soil particles have a more important role in creating water repellency, the intensity of water repellency was examined in six particle sizes of the soil (1-2, 0.5-1, 0.25-0.5, 0.125-0.25, 0.05-0.125 and less than 0.05 mm). The results showed that although coarse-textured soils are more prone to repellency, the smallest particle size in these soils plays a very important role in the intensity of soil water repellency.

Keyword: Soil Water Repellency, Water Drop Penetration Time, Soil Wetted Area, Molarity of Ethanol.

---

\*Corresponding Author's Email: [Shabanpour@guilan.ac.ir](mailto:Shabanpour@guilan.ac.ir)

## بررسی رابطه بین آبریزی طبیعی و ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف در مناطق ساحلی غرب گیلان

سیده مهرنوش میربابایی<sup>۱</sup>، محمود شعبانپور<sup>۱\*</sup>، محمدرضا خالدیان<sup>۲</sup>، علی اصغر ذوالفقاری<sup>۳</sup>

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۲۴)

### چکیده

آبریزی خاک یک خصوصیت دینامیک است که نفوذ آب به خاک را به تاخیر انداخته و پتانسیل ایجاد رواناب و فرسایش را افزایش می‌دهد. دانش دقیق در مورد وجود و شدت آبریزی مناطق ساحلی گیلان، که تحت کاربری‌های مختلف اراضی هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است. مطالعه حاضر اثر کاربری اراضی را بر آبریزی خاک در سه منطقه (۱) منطقه جنگلکاری شده با پوشش کاج (۲) منطقه‌ی جنگلکاری شده با کاج تدا و در برخی قسمت‌ها تحت پوشش طبیعی انار وحشی (۳) زمین کشاورزی تحت پوشش خرماو ارزیابی می‌کند. آبریزی خاک با سه آزمون زمان نفوذ قطره آب، مولاریته قطره اتانول و منطقه خیس شده خاک اندازه‌گیری شد. همچنین رابطه بین آبریزی و برخی از خصوصیات (ماده آلی خاک، اسیدیته، نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی) در ۲۰۰ نمونه بررسی شد. شدت آبریزی در ۶ سایز اندازه ذرات (۱-۲)، ۱-۰/۵، ۰/۵-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۱۲۵، ۰/۱۲۵-۰/۰۵ و ۰/۰۵ < میلی‌متر) ارزیابی شد. بر اساس نتایج، خاک‌های تحت پوشش کاج تدا بیشترین آبریزی و خاک‌های تحت پوشش انار وحشی و کشت شده با خرماو کمترین آبریزی را نشان دادند. همچنین ماده آلی و نیتروژن کل با اثر مثبت و اسیدیته خاک با اثر منفی مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده آبریزی در این خاک‌ها بودند. نتایج نشان دادند اگرچه خاک‌های درشت بافت برای ایجاد آبریزی مستعدتر هستند اما کوچک‌ترین اندازه ذرات در این خاک‌ها نقش بسیار مهمی در شدت آبریزی خاک دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آبریزی خاک، زمان نفوذ قطره آب، منطقه خیس شده خاک، مولاریته قطره اتانول.

### مقدمه

۲۰۰۹). مکانیسم‌های در ارتباط با این اثرات شامل تجمع مواد آلی در خاک و خاک‌دانه‌سازی، جلوگیری از پوسته شدن خاک و حفظ مکانیکی خاک از طریق ریشه گیاهان است (Clark & Zipper, 2016). با وجود اثرات مفید پوشش گیاهی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، در برخی موارد ترکیبات آلی آبریزی که از برگ‌ها و ریشه‌های برخی گیاهان چوبی، علف‌ها، خزه و جلبک‌ها ترشح می‌شوند (Mao et al., 2014) ممکن است برهمکنش خاک-آب را به طور معنی‌داری در سطح خاک با اثراتی منفی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی تغییر دهد (Doerr et al., 2000). آبریزی خاک یک ویژگی سطحی خاک است که در نتیجه پوشش سطح ذرات خاک با ترکیبات آلی آبریز ایجاد می‌شود (Mao et al., 2016). مواد آبریز، انرژی آزاد سطح خاک را کاهش می‌دهند. وقتی که یک خاک آبریز در تماس با آب قرار می‌گیرد مولکول‌های آب نمی‌توانند جذب خاک شود و به‌صورت قطره آب

آبریزی خاک یک ویژگی طبیعی و دینامیک خاک است که به عدم توانایی خاک در جذب آب پس از یک دوره خشکی اشاره دارد (Dekker et al., 2005). آبریزی خاک نفوذپذیری و جذب‌پذیری آب در خاک را کاهش می‌دهد (Carrick et al., 2011) و در نتیجه باعث پخشیدگی ناهمگن رطوبت در خاک، جریان ترجیحی و تشکیل جبهه رطوبتی ناهمگن در پروفیل خاک می‌شود (Dekker & Ritsema, 2000). در پی آن رواناب و فرسایش خاک افزایش یافته که به‌عنوان یک مشکل در انواع خاک‌ها و شرایط آب‌وهوایی مختلف شناسایی شده است (Jordan et al., 2013).

پوشش گیاهی می‌تواند اثرات مثبتی بر ویژگی‌های هیدرولوژی سطحی شامل افزایش قابلیت نفوذپذیری و کنترل فرسایش خاک داشته باشد (Moreno-de Las Heras et al., 2013).

متفاوتی از نظر نفوذپذیری نشان دهند. بنابراین بررسی وجود و شدت آبگریزی در این مناطق ضرورت دارد. هدف از این مطالعه (۱) بررسی اثرات کاربری اراضی و نوع پوشش گیاهی (جنگلکاری) شده با پوشش کاج تدا، پوشش طبیعی جنگلی انار وحشی و منطقه کشت شده با خرمالو) بر آبگریزی خاک (۲) بررسی تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر شدت آبگریزی خاک (۳) ارزیابی اهمیت اندازه ذرات خاک بر شدت آبگریزی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مناطق مورد مطالعه

این تحقیق در سه منطقه ساحلی در غرب استان گیلان انجام شد (شکل ۱). نمونه‌های شنی از مختصات، منطقه یک: طول جغرافیایی "۵۵° ۵۲' ۳۷" شمالی و عرض جغرافیایی "۰۷' ۵۶" ۴۸° شرقی، منطقه دو: طول جغرافیایی "۲۸' ۵۵" ۳۷° شمالی و عرض جغرافیایی "۱۷/۲' ۵۵" ۴۸° شرقی و منطقه سه: طول جغرافیایی "۱۴/۲۸' ۵۵" ۳۷° شمالی و عرض جغرافیایی "۱۶/۱' ۵۵" ۴۸° شرقی جمع‌آوری شدند. منطقه یک و همچنین بخش‌هایی از منطقه دو بیش از ۵۰ سال است که با پوشش کاج تدا جنگلکاری شده‌اند. منطقه دو شامل پوشش کاج تدا و در بخش‌هایی با پوشش طبیعی انار وحشی است. منطقه سه برای مدت بیش از ۱۳ سال با درخت خرمالو کشت شده است و دارای سیستم آبیاری قطره‌ای است. خاک منطقه شخم‌خورده است و درختان با آب شیرین آبیاری می‌شوند. در هر سه منطقه برای مدت بیش از ۵۰ سال آتش‌سوزی رخ نداده است.

اقلیم منطقه بسیار مرطوب و با بیشترین مقدار بارندگی در ایران می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی به ترتیب یودیک و ترمیک می‌باشد. جریان‌های هوا پر فشار شمالی از سبیری و جریان‌های هوا از مدیترانه باعث افزایش بارندگی در ماه‌های شهریور و مهر در این منطقه می‌شود. میانگین بارندگی سالانه (آمار ۲۰ ساله هواشناسی) ۱۲۸۹ میلی‌متر است که ۷۸/۶ درصد از بارش‌ها بین شهریور تا اسفند ماه رخ می‌دهد. کمترین مقدار بارندگی در ماه‌های تیر و مرداد به ترتیب با مقدار متوسط ۴۴/۱ و ۳۷/۲ میلی‌متر گزارش می‌شود که باعث یک دوره‌ی خشکی می‌گردد. در این دوره از سال حداکثر دمای روزانه بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد متغییر است. در پی این دوره خشکی بیشترین میزان بارش در شهریور و مهر به ترتیب با مقدار میانگین ۱۸۴/۵ و ۱۷۶/۴ میلی‌متر رخ می‌دهد.

### جمع‌آوری نمونه

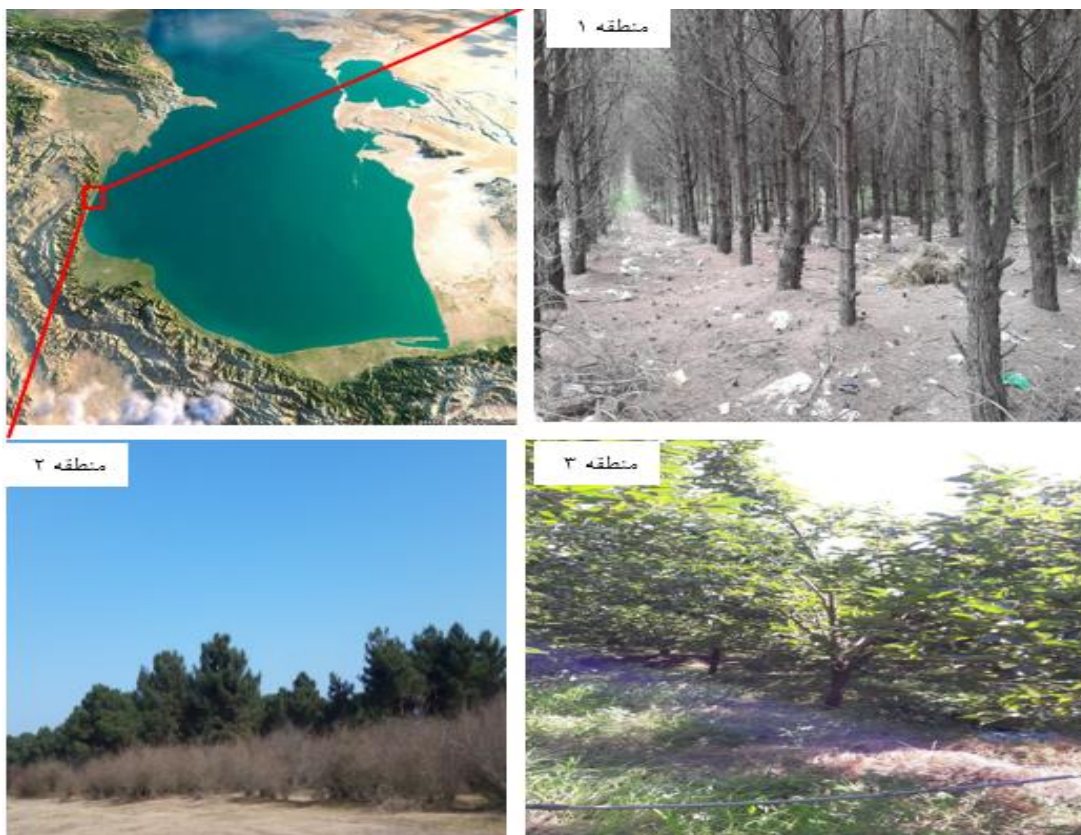
بر سطح خاک باقی می‌ماند (Doerr *et al.*, 2000). با گذشت زمان، مولکول‌های مواد آبگریز تغییر جهت و تغییر آرایش می‌دهند و نیروی بین پوشش آبگریزی که ذرات خاک را در برگرفته و مولکول‌های آب تغییر می‌کند. زمانی که نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و خاک بیشتر از نیروی پیوستگی بین مولکول‌های آب می‌شود، شکل قطره مانند آب روی سطح خاک می‌شکند و در پی آن آب جذب خاک می‌شود (Kaiser *et al.*, 2015).

اگرچه آبگریزی در خاک‌های با بافت مختلف گزارش شده است (Bisdorn *et al.*, 1993) اما به‌طور عمده آبگریزی در لایه‌های سطحی خاک‌های شنی مشاهده می‌شود (Mao *et al.*, 2019) زیرا ذرات شن سطح ویژه کمتری نسبت به سایر ذرات خاک دارند و با مقدار کمتری از مواد آلی آبگریز پوشش داده شده و آبگریز می‌شوند (Faranco *et al.*, 1995). آبگریزی خاک در سراسر جهان در مناطق با پوشش چمنزار (Dekker and Ritsema, 1994) در پوشش‌های جنگلی (Zema *et al.*, 2021) و خاک‌های کشت شده (Brevik *et al.*, 2015) هم گزارش شده است. اما به نظر می‌رسد برخی از گونه‌های گیاهی مانند گیاهان همیشه سبز که دارای مقدار قابل توجهی از ترکیبات رزین‌ها، واکس‌ها و ترکیبات آروماتیک بویژه کاج، اکالیپتوس و بلوط با وقوع آبگریزی در خاک مرتبط‌تر هستند (Scott, 2000; Zavala and Jordan-Lopez, 2009).

بسیاری از مناطق ساحلی استان گیلان با پوشش کاج تدا جنگلکاری شده‌اند. این درختان به عنوان پوششی جهت محافظت از مناطق ساحلی به کار می‌روند اما به عنوان گونه‌ای که اغلب باعث ایجاد آبگریزی در خاک می‌شوند گزارش شده‌اند و تأثیر آنها بر جنبه‌های افزایش شدت آبگریزی و پیامدهای هیدرولوژیکی آن به صورت واضح مشخص نیست (Leelamanie, 2016; Lichner *et al.*, 2007). همچنین این مناطق دارای یک دوره‌ی خشکی در تابستان است و در پی این دوره بارش‌های شدیدی در شهریور و مهر ماه رخ می‌دهد. خاک‌ها با خشک شدن بیشترین پتانسیل آبگریزی را دارند و با مرطوب شدن خاک، آبگریزی به تدریج کاهش می‌یابد و از بین می‌رود (Fer *et al.*, 2016)، این دلیل عمده‌ای است که باعث می‌شود بارندگی‌های شدید پس از دوره‌های خشک منجر به ایجاد رواناب سطحی قابل توجه و فرسایش خاک شوند (Doerr and Moody, 2004). ترکیبی از مستعد بودن خاک‌های استان گیلان برای آبگریزی و شرایط آب‌وهوایی منجر می‌شود که خاک‌های این مناطق ویژگی‌های

سیلندر استیل ۱۰۰ نمونه برداری (به قطر ۵ سانتی متر) از خاک سطحی (۵-۰ سانتی متر) جمع آوری شدند. بخش‌هایی از منطقه دو تحت پوشش انار وحشی بود و بخشی تحت پوشش کاج تدا و از آنجا که شرایط آب‌گرمایی در هر یک از این بخش‌ها کاملاً متفاوت بود، بنابراین نمونه‌ها از زیر هر یک از دو پوشش به صورت جداگانه جمع آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و آب‌گرمایی در نمونه‌های جمع آوری شده از هر بخش به طور جداگانه بررسی شد تا تأثیر تفاوت پوشش گیاهی بر وجود و شدت آب‌گرمایی ارزیابی شود.

در هر یک از مناطق نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک از زیر تاج پوشش درختان و فاصله بین درختان از عمق ۵-۰ سانتی متر جمع آوری شدند. نمونه برداری در فصل تابستان، زمانی که خاک منطقه خشک و آب‌گرم بود انجام گرفت. خاک مناطق نمونه برداری به‌ویژه در قسمت‌هایی که پوشش گیاهی کاج بود با لایه‌ی ضخیمی از لاشبرگ پوشیده شده بود. در هر منطقه قبل از نمونه برداری ابتدا لایه لاشبرگ برداشته شد و نمونه‌ها از سطح خاک معدنی جمع آوری شدند. آب‌گرمایی واقعی خاک در صحرا اندازه‌گیری شد، همچنین نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران، منطقه یک: منطقه ساحلی جنگل کاری شده با پوشش کاج تدا، منطقه دو: جنگل کاری شده با کاج تدا و پوشش طبیعی انار وحشی، منطقه سه: کشت شده با پوشش خرمالو

خاک به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، ظرفیت کاتیون تبدالی به‌وسیله روش آمونیوم استات (Sumner and Miller, 1996) و بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد (Gee and Or, 2002). جرم مخصوص حقیقی به‌وسیله روش پیکنومتری (Flint and Flint, 2002) و جرم مخصوص ظاهری به‌وسیله روش سیلندر نمونه برداری تعیین شد (Klute, 1986).

#### آب‌گرمایی خاک

#### اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها پس از خشک کردن و گذراندن نمونه‌ها از الک اندازه ۲ میلی‌متر تعیین شدند. اسیدیته خاک در عصاره نسبت ۱ به ۲/۵ خاک به آب (Thomas, 1996)، هدایت الکتریکی نمونه‌ها در عصاره نسبت ۱ به ۵ خاک به آب (Rhoades, 1996). ماده آلی خاک به روش سوزاندن در کوره، بر اساس از دست دادن وزن نمونه خاک به وسیله توزین نمونه قبل و بعد از حرارت دادن در مای ۴۵۰ درجه سانتیگراد تعیین شد (Davies, 1974). نیتروژن کل بوسیله هضم با دستگاه کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل استفاده در عصاره

مطالعه توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های جمع‌آوری شده تقریباً یکنواخت است. بافت خاک در همه مناطق شنی و خاکدانه‌ای هم مشاهده نمی‌شود. بنابراین تفاوت چندانی در اندازه منافذ خاک وجود ندارد (Flores-Mangual *et al.*, 2011). از آنجا که نمونه‌های خاک خشک بودند، پتانسیل ماتریک/ کاپیلاری اصلی‌ترین نیروی هستند که اندازه منطقه خیس شده را تعیین می‌کنند (نیروی ثقل ناچیز در نظر گرفته می‌شود). یک روش ساده برای تجزیه و تحلیل مکانیزم درگیر در آزمون SWA استفاده از معادله ارتفاع بالا آمدن مویینگی ( $h$ ) است، که بوسیله Letey and Pelisher (1962) بیان شده است:

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho gr} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله،  $\gamma$  کشش سطحی مایع ( $\text{erg.cm}^{-2}$ )،  $\theta$  زاویه تماس مایع-خاک،  $\rho$  چگالی مایع ( $\text{Kg.m}^{-3}$ )،  $g$  شتاب ثقل ( $\text{m.s}^{-2}$ ) و  $r$  شعاع کاپیلاری ( $\text{m}$ ) است. به هر حال در این مورد که SWA بررسی می‌شود ارتفاع بالا آمدن مویینگی در نظر گرفته نمی‌شود زیرا فرض می‌شود که اثرات شتاب ثقل نادیده گرفته شده است. بنابراین این فرآیند بهتر است بوسیله فشار مویینگی ۱۱ بیان شود:

$$p_{\text{capillary}} = \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این مورد نیروی شتاب ثقل، کشش سطحی مایع (آب)، چگالی مایع (آب) و شعاع در همه نمونه‌های خاک یکسان است. وقتی خاک قابل خیس شدن است که زاویه تماس آب-خاک کمتر از ۹۰ درجه باشد و در خاک‌های آبگریزی این زاویه بیشتر از ۹۰ درجه در نظر گرفته می‌شود (Goebel *et al.*, 2011). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در خاک‌های با بافت یکسان، تفاوت در مقدار SWA به علت تفاوت در زاویه تماس آب-خاک و یا آبگریزی خاک است (Flores-Mangual *et al.*, 2011).

همچنین، جهت بررسی اینکه کدام اندازه قطر ذرات خاک نقش مهم‌تری در ایجاد آبگریزی دارد. به تعداد ۴۰ نمونه خاک در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی (دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت ۵۰ درصد) برای مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند (Doerr *et al.*, 2002). سپس هر نمونه خاک با استفاده از الک خشک به دقت به ۶ بخش اندازه ذرات (۱-۲، ۱-۰/۵، ۱-۰/۲۵، ۰/۵-۰/۱۲۵، ۰/۲۵-۰/۱۲۵ و ۰/۱۲۵-۰/۰۵ میلی‌متر) تفکیک شدند. سپس آبگریزی خاک در هر بخش با استفاده از آزمون WDPT ارزیابی

دوام<sup>۱</sup> و شدت<sup>۲</sup> آبگریزی خاک در صحرا در دوره‌ای از سال که خاک‌ها کاملاً خشک بودند به‌وسیله سه آزمون شامل: زمان نفوذ قطره آب<sup>۳</sup> (WDPT) (Doerr *et al.*, 1998)، آزمون مولاریته قطره اتانول<sup>۴</sup> (MED) (Schnabel *et al.*, 2013) و آزمون اندازه منطقه خیس‌شده خاک<sup>۵</sup> (SWA) (Flores-Mangual, 2011) بررسی شد. دوام آبگریزی به‌وسیله آزمون WDPT تعیین می‌شود. این آزمون بوسیله قرار دادن سه قطره آب مقطر بر سطح صاف خاک و اندازه‌گیری میانگین زمان مورد نیاز برای نفوذ کامل قطره در خاک انجام می‌شود (DeBano, 1981; Daniel *et al.*, 2019). بر طبق تقسیم‌بندی (DeBano (1981) اگر زمان نفوذ قطره آب (WDPT) کمتر از ۵ ثانیه طول بکشد، خاک قابل خیس شدن<sup>۶</sup>، WDPT بین ۵ تا ۶۰ ثانیه، خاک آبگریز خفیف<sup>۷</sup>، WDPT بین ۶۰ تا ۳۶۰۰ ثانیه، آبگریز قوی<sup>۸</sup>، WDPT بین ۳۶۰۰ تا ۳۶۰۰۰ ثانیه، خاک به شدت آبگریز<sup>۹</sup> و WDPT بیشتر از ۳۶۰۰۰ ثانیه، خاک بی‌نهایت آبگریز<sup>۱۰</sup> است.

شدت آبگریزی بوسیله آزمون مولاریته اتانول (MED) تعیین می‌شود (Schnabel *et al.* 2013). در این روش محلول‌های با غلظت ۰، ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۲۴ و ۳۶ درصد اتانول تهیه می‌شود. با افزایش غلظت اتانول کشش سطحی آب کاهش می‌یابد. کمترین غلظت محلول اتانول که در مدت کمتر از ۵ ثانیه در خاک نفوذ کند برابر با MED آن نمونه در نظر گرفته می‌شود (Alanis *et al.*, 2017).

آزمون WDPT روشی ساده و موثر برای اندازه‌گیری آبگریزی است اما مشاهدات و تجزیه و تحلیل پس از نفوذ قطره آب را در نظر نمی‌گیرد. بدین‌منظور از آزمون سطح خیس شده خاک SWA استفاده می‌شود. این آزمون شامل اندازه‌گیری مساحتی از سطح خاک که قطره پس از نفوذ در خاک در آن پخش شده با استفاده از کولیس است. در مواردی که قطره آب تا یک ساعت در خاک نفوذ نکند، قطر قطره آب به عنوان محیط خیس شده در نظر گرفته می‌شود در این روش فرض می‌شود تفاوت در مساحت منطقه خیس شده ناشی از تفاوت در آبگریزی (قابلیت خیس شدن) خاک است (Flores-Mangual *et al.*, 2011, 2013).

البته عامل دیگری که می‌تواند SWA را تحت تأثیر قرار دهد توزیع اندازه ذرات خاک و شعاع منافذ خاک است. در این

8 strongly water repellent  
9 severely water repellent  
10 extremely water repellent  
11 Capillary pressure

1 persistence  
2 intensity  
3 Water Drop Penetration Time  
4 Molarity of Ethanol Droplet  
5 Soil Wetted Area  
6 wettable  
7 slightly water repellent

شد (Gao et al., 2018).

### آنالیزهای آماری

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و همبستگی خطی بین ویژگی‌های خاک با استفاده از آزمون ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. در این مطالعه از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> (PCA) برای بررسی و گروه‌بندی ۱۶ ویژگی اندازه‌گیری شده در خاک استفاده شد. هدف از آزمون PCA ارزیابی اهمیت نقش هر کدام از مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده و کاهش آنها به تعدادی مؤلفه که نقش موثرتری دارند (Pallant, 2005). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (version 26.0) و برای رسم نمودارها و محاسبات مربوطه از نرم‌افزار Excel (version 2013) استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک شامل میانگین، انحراف استاندارد، کمینه و بیشینه در جدول (۱) آورده شده است. تغییرات اسیدیته در نمونه‌های جمع‌آوری شده بین ۷/۰۱ تا ۷/۶۰ بود و خاک‌ها دارای اسیدیته خنثی بودند. مقدار اسیدیته اندازه‌گیری شده در نمونه‌های جمع‌آوری شده از پوشش انار وحشی و خرمالو (منطقه سه) کمی بالاتر از سایر نمونه‌ها بود. البته تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در میانگین اسیدیته اندازه‌گیری شده در مناطق مختلف به دست نیامد. دامنه تغییرات ماده آلی خاک در نمونه‌ها وسیع و بین ۰/۸ تا ۷/۰۳ درصد بود. در هر یک از مناطق ماده آلی از حدود یک درصد تا حدود ۶ درصد نوسان داشتند. در منطقه دو در بخشی که تحت پوشش کاج بود مقدار کمینه و بیشینه ماده آلی ۱/۰۳ و ۷/۰۳ درصد بود. در هر یک از مناطق نمونه‌هایی که از زیر تاج پوشش درختان جمع‌آوری شده بودند ماده آلی بالاتری داشتند و نمونه‌هایی که از فاصله بین درختان جمع‌آوری شده بودند کم‌ترین مقدار ماده آلی را دارا بودند.

محدوده تغییرات نیتروژن کل خاک در نمونه‌ها بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۹ درصد بود و نمونه‌های جمع‌آوری شده از زیر پوشش انار و خرمالو نیتروژن کل بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند. تغییرات فسفر قابل استفاده بین ۱۸ تا ۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار میانگین فسفر (۴۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)

در منطقه سه تحت پوشش خرمالو اندازه‌گیری شد. دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی در نمونه بین ۰/۶ تا ۱۵/۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم بود و بیشترین مقدار میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی در منطقه یک تحت پوشش کاج و منطقه سه تحت پوشش خرمالو اندازه‌گیری شد.

تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در نمونه‌ها بین ۱۱/ تا ۰/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بود. تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقدار میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در ۳ منطقه مشاهده نشد و تغییرات میانگین این پارامتر از ۰/۱۸ تا ۰/۲۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقدار میانگین کاتیون‌های تبادل‌پذیر سدیم و منیزیم در نمونه‌های منطقه سه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بیشتر از سایر مناطق بود. مقدار میانگین کلسیم در منطقه یک و سه بالاتر از منطقه دو بود و مقدار میانگین پتاسیم در منطقه یک بالاتر از دو منطقه دیگر بود. البته اختلاف چندانی در مقدار میانگین پتاسیم در سه منطقه وجود نداشت. نمونه‌های خاک به‌صورت تصادفی از زیر تاج پوشش درختان و فاصله بین درختان جمع‌آوری شدند. مقدار لاشبرگ‌های پوسیده شده در زیر تاج پوشش درختان (به‌ویژه در پوشش کاج) خیلی بیشتر از فاصله بین درختان بود و فاصله‌ی بین درختان بابر بود. به‌همین دلیل مقدار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در هر یک از مناطق دارای تغییرات بودند.

مقدار شن اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها بالاتر از ۹۰ درصد بود و بافت خاک در همه مناطق شنی تعیین شد. بیشترین درصد رس در منطقه ۳ تحت پوشش خرمالو با تغییرات ۶ تا ۷ درصد اندازه‌گیری شد اما در سایر مناطق مقدار رس خاک کمتر از ۵ درصد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که تغییرات جرم مخصوص حقیقی در نمونه‌ها ناچیز و بین ۲/۶۱ تا ۲/۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد. تغییرات جرم مخصوص ظاهری در مناطق در محدوده ۱/۲۶ تا ۱/۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

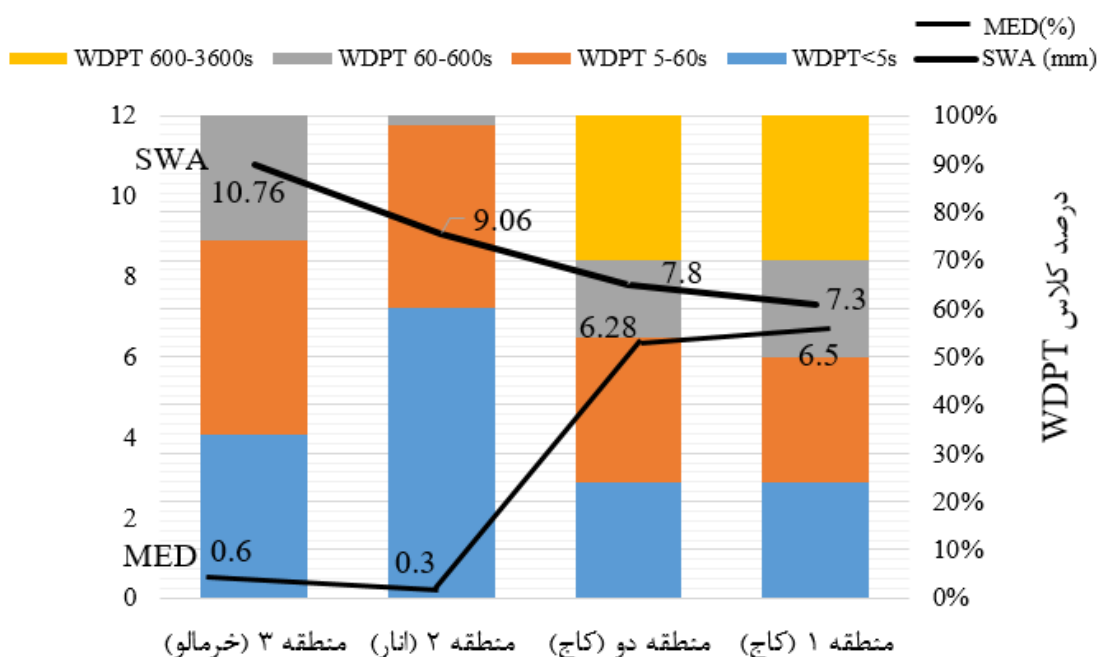
#### بررسی آبریزی خاک

فراوانی نمونه‌ها در هر کلاس WDPT، میانگین MED و SWA اندازه‌گیری شده در هر یک از مناطق در شکل (۲) ارائه شده است. بیشترین شدت آبریزی در منطقه یک، تحت پوشش کاج و در منطقه دو در بخشی که تحت پوشش کاج بود اندازه‌گیری شد و آبریزی در محدوده ۶۰۰ تا ۳۶۰۰ ثانیه (آبریزی قوی) فقط در این قسمت‌ها مشاهده شد.

جدول ۱- مقادیر میانگین، انحراف استاندارد، کمینه و بیشینه ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده در مناطق مورد مطالعه

ویژگی خاک	منطقه یک	منطقه دو (کاج)	منطقه دو (انار)	منطقه سه
	میانگین ± انحراف استاندارد	میانگین ± انحراف استاندارد	میانگین ± انحراف استاندارد	میانگین ± انحراف استاندارد
	دامنه	دامنه	دامنه	دامنه
WDPT(s)	۴۵۰/۴ ± ۶۵۴/۱ a	۴۲۹/۲ ± ۶۵۰/۳ a	۱۱/۴ ± ۱۷/۱ b	۳۵/۷ ± ۴۵/۵ b
	(۱-۲۵۲۰)	(۱-۲۸۲۰)	(۱-۷۰)	(۱-۱۸۰)
MED (%)	۶/۵ ± ۷/۹ a	۶/۲۸ ± ۹/۵ a	۰/۳۶ ± ۰/۶ b	۰/۶ ± ۰/۸۹ b
	(۰-۲۶)	(۰-۳۰)	(۰-۲)	(۰-۳)
SWA(mm)	۷/۳ ± ۱/۸ b	۷/۸ ± ۱/۶ ab	۹/۰۶ ± ۰/۶ a	۱۰/۷ ± ۱/۱ a
	(۵-۹)	(۵-۹)	(۸-۱۰)	(۹-۱۲)
pH	۷/۳۸ ± ۰/۱۲ a	۷/۳۷ ± ۰/۱۴ a	۷/۳۴ ± ۰/۱۷ a	۷/۴۱ ± ۰/۰۸ a
	(۷/۰۱-۷/۸۳)	(۷/۰۳-۷/۵۴)	(۷/۱-۷/۶)	(۷/۲۱-۷/۵۸)
کربن آلی خاک (%)	۲/۸۲ ± ۱/۴۵ ab	۳/۳۵ ± ۱/۵ a	۲/۸۳ ± ۱/۵۴ b	۳/۶۷ ± ۱/۳۳ a
	(۰/۸-۵/۶۵)	(۱/۰۳-۷/۰۳)	(۱-۶/۰۲)	(۱/۰۷-۶/۰۳)
نیترژن کل	۰/۰۳ ± ۰/۰۲ b	۰/۰۴ ± ۰/۰۲ b	۰/۰۶ ± ۰/۰۳ a	۰/۰۴ ± ۰/۰۲ a
	(۰/۰۱-۰/۰۸)	(۰/۰۱-۰/۰۹)	(۰/۰۱-۰/۰۹)	(۰/۰۱-۰/۰۸)
ظرفیت تبادل کاتیونی	۸/۸۸ ± ۰/۴ a	۴/۴۶ ± ۲/۶۲ b	۳/۱۱ ± ۲/۴ b	۸/۳۹ ± ۳/۱ a
(Cmol.kg <sup>-1</sup> )	(۱/۸-۱۵/۶)	(۰/۶-۸/۴۲)	(۰/۸-۹)	(۲/۹۸-۱۴/۳)
هدایت الکتریکی	۰/۱۲ ± ۰/۰۲ b	۰/۱۸ ± ۰/۰۷ b	۰/۱۹ ± ۰/۱۱ b	۰/۲۸ ± ۰/۰۹ a
(dS. m <sup>-1</sup> )	(۰/۱۶-۰/۲۶)	(۰/۱۱-۰/۲۷)	(۰/۱۱-۰/۴۵)	(۰/۱۲-۰/۴۹)
فسفر قابل استفاده	۲۶/۰۸ ± ۵/۳ c	۳۴ ± ۸/۱۲ b	۳۱/۳ ± ۱۲/۶ c	۴۲ ± ۹/۰۷ a
(mg.kg <sup>-1</sup> )	(۱۸-۳۸)	(۲۲-۵۶)	(۲۰-۵۸)	(۲۹-۶۵)
سدیم	۰/۱۲ ± ۰/۰۲ d	۰/۴ ± ۰/۰۵ b	۰/۳۳ ± ۰/۱ c	۰/۵ ± ۰/۱۱ a
(Cmol.kg <sup>-1</sup> )	(۰/۰۸-۰/۱۸)	(۰/۳-۰/۵)	(۰/۲۵-۰/۵۷)	(۰/۲۳-۰/۶۶)
پتاسیم	۰/۱۸ ± ۰/۰۴ a	۰/۱۲ ± ۰/۰۱ c	۰/۱۴ ± ۰/۰۲ c	۰/۱۶ ± ۰/۰۴ b
(Cmol.kg <sup>-1</sup> )	(۰/۰۸-۰/۱۸)	(۰/۱-۰/۱۸)	(۰/۱-۰/۲)	(۰/۱-۰/۲۹)
کلسیم	۱/۲۸ ± ۰/۲۸ a	۱/۰۷ ± ۰/۱۸ b	۰/۹۱ ± ۰/۳۱ c	۱/۳۵ ± ۰/۱۸ a
(Cmol.kg <sup>-1</sup> )	(۰/۲-۱/۸)	(۰/۸-۱/۴۶)	(۰/۵-۱/۶)	(۱/۰۱-۱/۶۵)
منیزیم	۰/۲۷ ± ۰/۰۸ d	۰/۵۲ ± ۰/۱ b	۰/۴۲ ± ۰/۲ c	۰/۸۹ ± ۰/۲۵ a
(Cmol.kg <sup>-1</sup> )	(۰/۰۳-۱/۸)	(۰/۸-۱/۴۶)	(۰/۲۳-۱/۶)	(۰/۲۳-۱/۳)
شن (%)	۹۱/۲۴ ± ۰/۷۹ a	۹۱/۰۴ ± ۰/۸۱ ab	۹۰/۶۸ ± ۰/۷۶ b	۹۰/۰۴ ± ۰/۲۸ c
	(۹۰-۹۲)	(۹۰-۹۲)	(۹۰-۹۲)	(۹۰-۹۱)
سیلت (%)	۴/۰۲ ± ۰/۹ bc	۴/۴۲ ± ۱/۰۵ ab	۴/۸ ± ۰/۸۶ a	۳/۶۲ ± ۰/۴۹ c
	(۳-۶)	(۳-۶)	(۳-۶)	(۳-۴)
رس (%)	۴/۷۲ ± ۰/۴۵ b	۴/۴۸ ± ۰/۵۰ c	۴/۴۷ ± ۰/۵۲ b	۶/۳۴ ± ۰/۵۱ a
	(۴-۵)	(۴-۵)	(۴-۵)	(۵-۷)
جرم مخصوص حقیقی P	۲/۶۱ ± ۰/۰۱ b	۲/۶۱ ± ۰/۰۱ b	۲/۶۱ ± ۰/۰۱ b	۲/۶۲ ± ۰/۰۱ a
(g.cm <sup>-3</sup> )	(۲/۶۰-۲/۶۳)	(۲/۶۰-۲/۶۲)	(۲/۶۰-۲/۶۲)	(۲/۶۱-۲/۶۲)
جرم مخصوص ظاهری	۱/۲۶ ± ۰/۰۱ b	۱/۲۵ ± ۰/۰۱ c	۱/۲۴ ± ۰/۰۱ c	۱/۲۸ ± ۰/۰۲ a
(g.cm <sup>-3</sup> )	(۱/۲۶-۱/۲۸)	(۱/۲۶-۱/۲۷)	(۱/۲۳-۱/۲۶)	(۱/۲۶-۱/۳۲)

WDPT: آزمون زمان نفوذ قطره آب، MED: آزمون مولاریته قطره اتانول، SWA: آزمون اندازه منطقه خیس شده خاک، حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها به روش دانکن در سطح ۱ درصد است. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده کمینه و بیشینه پارامتر اندازه‌گیری شده در منطقه است.



شکل ۲- تعداد مشاهدات کلاس WDPT، میانگین MED و SWR در هر یک از مناطق مورد مطالعه

شده از منطقه ۳ که تحت کشت خرمالو<sup>۱</sup> است اندازه‌گیری شد. همچنین بیشترین مقدار MED و SWA در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که بیانگر آبریزی خفیف‌تر در این نمونه‌ها است. آزمون SWA فرض می‌کند تفاوت در اندازه منطقه خیس شده در خاک‌های شنی هوا خشک شده که پخشیدگی اندازه ذرات مشابهی دارند ناشی از تفاوت در پوشش گیاهی و مواد آلی متفاوتی که تولید می‌کنند و در نهایت آبریزی متفاوت نمونه‌ها است (Flores-Mangual *et al.*, 2011, 2013; Morley *et al.*, 2005). در این روش، هر چه مقدار منطقه خاک خیس شده کوچک‌تر باشد، شدت آبریزی خاک بیشتر است. روابط بین آبریزی (اندازه‌گیری شده با آزمون WDPT، MED و SWA) و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است.

در این مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آزمون WDPT و آزمون MED اندازه‌گیری شد که دلالت بر رابطه قوی بین دوام<sup>۲</sup> آبریزی (WDPT) و شدت<sup>۳</sup> آن است. (Buczko *et al.*, 2002) در پژوهشی که در خاک‌های شنی پادزولی تحت پوشش جنگلی کاج و راش انجام دادند آبریزی خاک را با دو روش WDPT و MED بررسی کردند و رابطه مثبت معنی‌داری را بین دو آزمون به دست آوردند. ماندگاری آبریزی را می‌توان به مدت زمانی که خاک در حضور آب، همچنان آبریز

در منطقه یک و منطقه دو (در بخش با پوشش کاج) نمونه‌هایی با آبریزی بی‌نهایت، WDPT بین ۲۵۲۰ و ۲۸۲۰ ثانیه، بیشترین مقدار MED و کمترین مقدار SWA در این نمونه‌ها اندازه‌گیری اندازه‌گیری شد (جدول ۱). هر سه آزمون برآورد آبریزی نشان دادند بخش‌هایی که تحت پوشش کاج هستند دارای خاک‌هایی با شدت بالای آبریزی هستند. در این دو منطقه نمونه‌هایی که از تاج پوشش درختان جمع‌آوری شدند آبریزی بی‌نهایت دارند و نمونه‌های آبدوست از فاصله بین درختان جمع‌آوری شدند. در منطقه دو، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نواحی که تحت پوشش کاج و انار می‌باشند تقریباً یکسان هستند اما تحت تأثیر پوشش گیاهی متفاوت وجود و شدت آبریزی به طور قابل ملاحظه‌ای دستخوش تغییر می‌شود. به طوری که در بخش‌هایی از این منطقه که تحت پوشش انار وحشی هستند آبریزی خفیفی با میانگین WDPT برابر ۱۲/۵۶ ثانیه اندازه‌گیری شد. به نظر می‌رسد مواد آلی مشتق شده از پوشش کاج در مقایسه با سایر پوشش‌ها تشکیل آبریزی در خاک را تسهیل می‌کنند (Flores-Mangual *et al.*, 2011). بیشترین مقدار WDPT اندازه‌گیری شده در بخش‌های با پوشش انار برابر با ۷۰ ثانیه است و این نواحی به صورت خفیف آبریز و بیشتر نمونه‌ها آبدوست می‌باشند. همچنین، آبریزی خفیفی با مقدار میانگین WDPT برابر ۳۵/۷ ثانیه در نمونه‌های جمع‌آوری

۱ Diaspyros Kaki  
 2 persistence  
 3 intensity



در توافق با یافته‌های Flores-Mangual *et al.* (2011, 2013) است. Flores-Mangual *et al.* (2013) آبگریزی خاک را در خاک‌های شنی تحت پوشش چمنزار، منطقه جنگلکاری شده با کاج و جنگل با درختان متنوع با استفاده از سه آزمون WDPT، MED و SWA بررسی کردند. آنها روند مشابهی را در آزمون MED و WDPT مشاهده کردند و بیان کردند هر چه منطقه خیس شده خاک (SWA) کمتر باشد، نمونه خاک آبگریزتر است. آنها تفاوت در اندازه منطقه خیس شده پس از نفوذ قطره آب در خاک‌های با بافت مشابه را به دلیل تفاوت آبگریزی در نظر گرفتند و ترکیب هر سه روش را برای درک پایداری و درجه آبگریزی مفید عنوان کردند.

باقی می‌ماند تعریف کرد (Chau *et al.*, 2014) و شدت آبگریزی بدین صورت تعریف می‌شود که خاک تا چه اندازه آب را دفع می‌کند. در واقع آزمون MED برای تایید بیشتر آبگریزی انجام می‌شود. دانش در مورد پایداری و شدت آبگریزی برای درک و پیش‌بینی تأثیر آبگریزی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی بسیار مهم است (Chau *et al.*, 2014). اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که با افزایش مقدار WDPT و MED در هر نمونه، مقدار SWA کاهش می‌یابد. آزمون SWA امکان بررسی جزئیات بیشتری را از قابلیت خیس شدن خاک فراهم می‌کند. به عبارت دیگر افزایش آبگریزی به معنای کاهش توانایی پخشیدگی آب در خاک است. بنابراین آبگریزی خاک رابطه‌ای معکوس با مقدار SWA دارد. این نتیجه

جدول ۲- همبستگی پیرسون بین پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک و آبگریزی

تعداد نمونه	SWA	MED	WDPT	پارامتر
۲۰۰	-۰/۷۹ **	۱	۰/۸۳ **	MED (/.)
۲۰۰	۱	-۰/۷۹ **	-۰/۷۵ **	SWA (mm)
۲۰۰	-۰/۴۸ **	۰/۵ **	۰/۵۵ **	ماده آلی (/.)
۲۰۰	۰/۴۱ **	-۰/۴۱ **	-۰/۴۴ **	اسیدیته (-)
۲۰۰	-۰/۱۹ **	۰/۲۷ **	۰/۲۸ **	نیترژن (%)
۲۰۰	-۰/۱۳	۰/۲۷ **	۰/۲۵ *	فسفر (mg.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	-۰/۲۵ **	۰/۳۱ **	۰/۳ **	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	هدایت الکتریکی (dS. m <sup>-1</sup> )
۲۰۰	۰/۳۶ **	-۰/۱۶ *	-۰/۱۵ *	سدیم (Cmol.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	-۰/۳ **	۰/۲۷ **	۰/۲۴ **	پتاسیم (Cmol.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	۰/۳ **	-۰/۰۹	-۰/۰۹	منیزیم (Cmol.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	-۰/۱۸ *	۰/۴۹ **	۰/۲۶ *	نیترژن (Cmol.kg <sup>-1</sup> )
۲۰۰	-۰/۳۲ **	۰/۱۳	۰/۱۳	شن (Sand)
۲۰۰	-۰/۱۷ *	۰/۰۵	۰/۰۴	سیلت (Silt)
۲۰۰	۰/۴ **	-۰/۱۹ *	-۰/۱۸ *	رس (Clay)
۲۰۰	۰/۳ **	۰/۰۷	-۰/۰۵	جرم مخصوص حقیقی ( $\rho_s$ )
۲۰۰	۰/۲۲ **	-۰/۰۲	-۰/۰۲	جرم مخصوص ظاهری ( $\rho_b$ )

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد. WDPT: زمان نفوذ قطره آب، MED: مولاریته قطره اتانول، SWA: منطقه خیس شده خاک

Flores-Mangual *et al.* (2013) در خاک‌های شنی تحت پوشش چمنزار مشاهده شده است. همچنین آنها مشاهده کردند که با افزایش عمق خاک و افزایش اندک مقدار رس خاک، مقدار SWA افزایش و مقدار WDPT و MED کاهش می‌یابد. رابطه منفی و معنی‌داری بین WDPT و MED با اسیدیته به دست آمد. رابطه سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با آبگریزی ضعیف بود. افزایش مقدار WDPT و MED منجر به کاهش قابل توجهی در مقدار SWA می‌شود (جدول ۲). Zavala *et al.*,

بررسی همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که با افزایش ماده آلی خاک، نیترژن کل، فسفر، ظرفیت تبادل کاتیونی و کلسیم به طور معنی‌داری مقدار WDPT و MED افزایش می‌یابد اما این پارامترها رابطه منفی با SWA دارند (جدول ۲). اگرچه تغییرات مقدار رس خاک در نمونه‌های جمع‌آوری شده قابل توجه نیست (جدول ۱) و بافت خاک در هر سه منطقه شنی است اما مقدار SWA رابطه مثبت و معنی‌داری با درصد رس دارد (جدول ۲). رابطه منفی بین مقدار ماده آلی خاک و آزمون SWA در تحقیقات

آبگریزی خاک را کمبود پتاسیم در خاک‌های آبگریز بیان کردند. در این مطالعه ۲۰۰ نمونه خاک جمع‌آوری و ۱۶ متغیر در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. بررسی همبستگی پیرسون بین پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد رابطه مثبت معنی‌داری بین پارامترهای ماده آلی خاک (SOM) با نیتروژن و فسفر وجود دارد. همچنین همبستگی بین پارامترهای فسفر با EC، Mg و سدیم و منیزیم و رس و منیزیم وجود دارد (جدول ۳).

(2014) وجود آبگریزی و رابطه آن را با برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک (کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر در دسترس، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و ظرفیت تبادل کاتیونی) و بافت خاک در مناطق جنگلی تحت پوشش اکالیپتوس، کاج و بلوط در اسپانیا بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد pH، درصد رس و مقدار پتاسیم خاک رابطه‌ای منفی با آبگریزی دارند ولی آنها رابطه معنی‌داری بین سایر ویژگی‌های خاک و آبگریزی مشاهده نکردند. آنها علت رابطه منفی پتاسیم و

جدول ۳- همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های جمع‌آوری شده

$\rho_b$	$\rho_s$	Clay	Sand	Silt	Mg	Ca	K	Na	EC	CEC	P	N	pH	SOM	
														۱	SOM
													۱	-۰/۵۱**	pH
												۱	-۰/۴۹**	۰/۶۱**	N
											۱	۰/۵۲**	-۰/۳۷**	-۰/۸۳**	P
									۱	۰/۳۳**	۰/۳۳**	۰/۲۲**	-۰/۲۲**	-۰/۳۸**	CEC
									۱	۰/۳۵**	۰/۳۹**	۰/۲۲**	-۰/۲۷**	-۰/۳۱**	EC
								۱	۰/۲۶**	۰/۰۳	۰/۵۳**	۰/۲۲**	-۰/۰۵	-۰/۲۲**	Na
							۱	-۰/۲۳**	۰/۲۶**	۰/۵۱**	۰/۱۹**	۰/۰۹	-۰/۱۳	-۰/۳۲**	K
						۱	۰/۴۹**	۰/۰۱	۰/۴۳**	۰/۶۴**	۰/۴۴**	۰/۰۴	-۰/۳۳**	-۰/۴۵**	Ca
					۱	۰/۴۵**	۰/۰۶	۰/۷۵**	۰/۴۲**	۰/۳۶**	۰/۶۶**	۰/۰۸	-۰/۰۵	۰/۳**	Mg
				۱	-۰/۲۶**	-۰/۲۹**	-۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۲۳**	-۰/۲۱**	-۰/۰۵	-۰/۱۵*	-۰/۰۱	۰/۰۱	Silt
			۱	-۰/۴۸**	-۰/۳۴**	-۰/۰۵	۰/۰۴	-۰/۳۴**	۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۲**	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۳	Sand
		۱	-۰/۴۱**	-۰/۵۷**	۰/۰۶**	۰/۳۹**	۰/۱۲	۰/۳۵**	۰/۲۲**	۰/۲۹**	۰/۲۵**	-۰/۱۵*	۰/۱۳	۰/۰۱	Clay
	۱	-۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۱۹**	-۰/۲**	۰/۰۸	-۰/۱	۰/۱۹**	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۸	-۰/۰۳	$\rho_s$
۱	-۰/۱۴*	۰/۷**	-۰/۳۹**	-۰/۳۲**	۰/۴۵**	۰/۳**	۰/۲۲**	-۰/۱۸*	۰/۲۶**	۰/۳۱**	-۰/۱۴*	-۰/۱۴*	۰/۱	-۰/۰۴	$\rho_b$

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد. SOM: ماده آلی خاک، pH: اسیدیته خاک، N: نیتروژن، P: فسفر، CEC: ظرفیت کاتیون تبادلی، EC:

هدایت الکتریکی، Na: سدیم، K: پتاسیم، Ca: کلسیم، Mg: منیزیم، Silt: سیلت، Sand: شن، Clay: رس،  $\rho_s$ : جرم مخصوص حقیقی،  $\rho_b$ : جرم مخصوص ظاهری

نتایج آزمون KMO برابر ۰/۷۷ بود که نشان می‌دهد حجم نمونه‌برداری برای آزمون آنالیز مؤلفه‌های اصلی مناسب است زیرا مقدار آن بیشتر از ۰/۵ به دست آمده است (Kaiser, 1974). همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نشان می‌دهد رابطه بین متغیرها معنی‌دار است و فرض مستقل بودن متغیر درست نیست ( $p < ۰/۰۵$ ) و آزمون PCA می‌تواند از همبستگی موازی بین داده‌ها جلوگیری کند.

برای انتخاب تعداد مؤلفه‌های مؤثر، مؤلفه‌هایی انتخاب شدند که مقدار ارزش ویژه<sup>۱</sup> آنها بیشتر از یک باشد. مقادیر ویژه اولیه<sup>۲</sup> ویژگی‌های خاک در جدول (۵) آورده شده است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که با استفاده از ماتریس بار چرخشی مؤلفه‌های اصلی، چهار مولفه اول (PC1, PC2, PC3 و PC4) با مقدارهای ویژه بزرگ‌تر از یک، ۷۴/۸۸ درصد از واریانس کل را شامل می‌شوند (جدول ۵).

ماتریس ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک نشان می‌دهد که ۸۳ جفت مقایسه از بین ۱۲۰ جفت، در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار هستند. بنابراین علاوه بر بررسی همبستگی ساده بین آبگریزی و پارامترهای اندازه‌گیری شده، می‌توان از آزمون آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر رابطه بین آبگریزی و پارامترها استفاده کرد. نتایج آزمون کیسرمیرالکین (KMO) و کرویت بارتلت برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- نتایج آزمون کیسرمیرالکین (KMO) و کرویت بارتلت برای

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	
مقدار KMO در مورد کفایت نمونه‌گیری	۰/۷۷
تقریب کای-دو	۲۴۰۷/۰۴
آزمون کرویت بارتلت	درجه آزادی ۱۲۰
معنی‌داری	۰/۰۰۰

جدول ۵- مقدار ویژه، سهم هر مؤلفه و واریانس تجمعی توصیف شده با

بین ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک و آزمون WDPT را بررسی کردند. آنها رابطه مثبتی بین نیتروژن کل، ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی و آبگریزی به دست آوردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که آبگریزی ماده آلی را در برابر تجزیه میکروبی مقاوم می‌کند. بسیاری از محققان رابطه بین ماده آلی خاک و آبگریزی را بررسی کردند، برخی رابطه‌ای مثبت (Atanassova *et al.*, 2018; Bonanomi *et al.*, 2016; Mataix-Solera *et al.*, 2014) و برخی از گزارشات رابطه معنی‌داری را مشاهده نکردند (Alanis *et al.*, 2017; Wessolek *et al.*, 2009; Zavala *et al.*, 2014). توجیه این تناقض می‌تواند در ارتباط با اهمیت بیشتر کیفیت (نوع) ماده آلی خاک نسبت به کمیت (مقدار) ماده آلی خاک باشد زیرا ممکن است مقدار کمی از ماده آلی خاص برای ایجاد آبگریزی شدید تا بی‌نهایت در خاک کافی باشد (Atanassova and Doerr, 2011; Wallis and Horne, 1992; Zavala *et al.*, 2014).

اگرچه رابطه مثبتی بین آبگریزی و مقدار ماده آلی خاک مشاهده شد اما با وجود آنکه مقدار ماده آلی خاک در خاک‌های تحت پوشش انار برابر با مقدار ماده آلی منطقه یک است و یا آنکه مقدار ماده آلی در منطقه سه تحت کشت خرمالو بالاتر از سایر مناطق است اما در این دو منطقه کمترین آبگریزی گزارش شد. در این مطالعه آبگریزی تحت پوشش کاج به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از دو پوشش دیگر بود. یک عامل مهم برای توجیه این تفاوت در ارتباط با نوع پوشش گیاهی و کیفیت متفاوت ماده آلی تولید شده از پوشش‌های گیاهی متفاوت است. محققان بیان کردند پوشش گیاهی عامل اصلی کنترل آبگریزی در مناطق با ویژگی‌های همگن خاک است (Alanis *et al.*, 2017; Mao *et al.*, 2015). به‌ویژه در شرایطی که پوشش گیاهی کاج است (Flores-Mangual *et al.*, 2013). (Alanis *et al.*, 2017) وجود آبگریزی طبیعی را در خاک‌های تحت پوشش جنگل و بوته‌زار در مکزیک بررسی کردند و اظهار کردند که آبگریزی با ویژگی‌های خاک رابطه معنی‌داری ندارد و تنها رابطه‌ای بین نوع پوشش گیاهی و آبگریزی مشاهده کردند. این مورد می‌تواند در ارتباط با تولید مواد آلی خاص مانند فنول‌ها و سایر ترکیبات آروماتیک آبگریز بوسیله کاج‌ها و یا فرآیند پوشش دادن ذرات خاک با مواد آبگریزی ایجاد شده بوسیله کاج‌ها و جهت‌گیری خاص این ترکیبات در اطراف ذرات خاک باشد که می‌تواند در برخی از پوشش‌های گیاهی کاملاً متفاوت باشد (Flores-Mangual *et al.*, 2013).

همچنین در ارتباط با منطقه کشت شده با خرمالو، به طور کلی خاک‌های کشت شده در مقایسه با مناطق تحت کاربری

## استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

پارامتر	PC4	PC3	PC2	PC1
مقدار ویژه	۱/۱	۱/۶۳	۲/۴۹	۴/۵۱
واریانس (%)	۸/۴۶	۱۲/۵۵	۱۹/۲	۳۴/۷۱
واریانس تجمعی (%)	۷۴/۸۸	۶۶/۴۲	۵۳/۹۱	۳۷/۷۱

جدول ۶- ضرایب مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از روش چرخش واریانس

متغیر	PC4	PC3	PC2	PC1
WDPT	۰/۰۶۳	۰/۲۸	-۰/۳۵	۰/۷۳
ماده آلی	-۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۸
اسیدیته	۰/۰۰۸	-۰/۱۱	-۰/۰۱	-۰/۷۶
نیتروژن	-۰/۱۷	-۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۷
فسفر	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۶۷	۰/۵۷
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۱۷	۰/۸۱	۰/۰۸	۰/۱۷
هدایت الکتریکی	-۰/۱۳	۰/۴۲	۰/۷۳	۰/۱۴
سدیم	۰/۴۱	-۰/۲۲	۰/۷۵	۰/۰۹
پتاسیم	-۰/۱۶	۰/۷۸	-۰/۰۳	۰/۱۲
کلسیم	۰/۰۹	۰/۷۹	۰/۳	۰/۱۲
منیزیم	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۷۵	۰/۰۰۱
شن	-۰/۸	۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۰۲
رس	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۴	-۰/۲۹
سیلت	-۰/۴	-۰/۳	-۰/۴	۰/۲
جرم مخصوص حقیقی	۰/۳	۰/۱۲	۰/۳	-۰/۰۹
جرم مخصوص ظاهری	۰/۵	۰/۲	۰/۳	-۰/۲

اولین مؤلفه (PC1) ۳۴/۷۱ درصد از واریانس کل را شامل می‌شود (جدول ۵). آبگریزی اندازه‌گیری شده بوسیله آزمون WDPT با بار عاملی ۰/۷۳ در این گروه قرار می‌گیرد. ماده آلی با بار عاملی مثبت ۰/۸ و نیتروژن با عاملی ۰/۷ در این گروه قرار می‌گیرد. همچنین اسیدیته با بار منفی قابل ملاحظه (-۰/۷۶) در این گروه قرار می‌گیرد. این مولفه را می‌توان آبگریزی و عوامل مؤثر بر آن در نظر گرفت. بررسی همبستگی پیرسون نشان داد که آبگریزی رابطه مثبت و معنی‌داری با ماده آلی خاک، نیتروژن کل، فسفر، ظرفیت تبادل کاتیونی و کلسیم دارد. البته بررسی دقیق‌تر با آزمون PCA نشان داد که آبگریزی رابطه مثبت قوی با ماده آلی و نیتروژن کل و رابطه منفی قوی با اسیدیته دارد. (Gao *et al.*, 2018). رابطه آبگریزی با ویژگی‌هایی از خاک مانند اسیدیته، ماده آلی خاک، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و کربنات را به‌وسیله آزمون PCA بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها در خاک‌های آبگریز تحت پوشش چمنزار نشان داد آبگریزی با افزایش ماده آلی خاک، نیتروژن کل و نیتروژن فراهم افزایش می‌یابد اما رابطه آبگریزی با کربنات، فسفر در دسترس، پتاسیم در دسترس و pH ضعیف بود. (Atanassova *et al.*, 2018)

### رابطه آبریزی با اندازه ذرات خاک

در این مطالعه، جهت بررسی اهمیت اندازه ذرات در ایجاد و شدت آبریزی، ۴۰ نمونه خاک با محدوده متفاوت آبریزی (نمونه آبدوست تا نمونه با آبریزی شدید) انتخاب و با استفاده از الک خشک به شش کلاس مختلف تفکیک شدند. آبریزی خاک در نمونه‌ی اصلی الک نشده و هر جزء اندازه ذرات بوسیله آزمون WDPT اندازه‌گیری شد. از بین ۴۰ نمونه، ۴۷/۵ درصد از نمونه‌ها قابل خیس شدن بودند. در حدود ۵۸ درصد از نمونه‌های قابل خیس شدن، آبریزی کمتر از ۵ ثانیه را برای همه کلاس‌های اندازه ذرات نشان دادند اما سایر نمونه‌های قابل خیس شدن، آبریزی خفیف تا قوی را به‌ویژه در کوچک‌ترین اندازه ذرات ( $<0.05$ ) نشان دادند. در کل، بالاترین میانگین آبریزی در کوچک‌ترین کلاس اندازه ذرات ( $<0.05$  میلی‌متر) اندازه‌گیری شد و با افزایش اندازه ذرات مقدار WDPT کاهش می‌یابد. این روند در همه نمونه‌های جمع‌آوری شده مشاهده شد و کمترین مقدار WDPT در کلاس اندازه ذرات ۱-۲ و ۱-۰/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۷ و ۸).

میانگین WDPT (s) اندازه‌گیری شده در هر یک از اندازه‌های ذرات در مناطق مورد مطالعه در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. همچنین درصد فراوانی هر یک از اندازه ذرات در مناطق مورد مطالعه در شکل (۳-۱) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمام نمونه‌های جمع‌آوری شده، اندازه کوچک ذرات (۰/۱۲۵-۰/۰۵ و ۰/۰۵-۰) کمتر از ۲ درصد نمونه خاک را تشکیل می‌دادند اما این اندازه ذرات به‌ویژه در منطقه ۱ و منطقه ۲ با پوشش کاج بیشترین آبریزی را نشان دادند (شکل ۳-۲). در نمونه‌های منطقه ۱ و منطقه ۲ در بخشی که پوشش کاج بود میانگین آبریزی (WDPT) در اندازه ذرات ۰/۱۲۵-۰/۰۵ به ترتیب ۳۲۳/۳ و ۲۸۹/۹ و در اندازه ذرات ۰/۰۵-۰ به ترتیب ۵۶۰/۷ و ۶۹۰/۷ ثانیه بود. نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه ۲ در بخش‌های با پوشش طبیعی انار وحشی و منطقه کشت شده ۳، میانگین آبریزی خفیفی (به ترتیب ۱۹/۱ و ۵۷/۸) در کوچک‌ترین اندازه ذرات را نشان دادند.

بررسی اهمیت اندازه ذرات در ایجاد و توسعه آبریزی در نمونه‌های شنی جمع‌آوری شده نشان دادند که کوچک‌ترین اندازه ذرات ( $<0.05$ ) بیشترین تأثیر را در ایجاد و شدت آبریزی خاک دارند و حتی در برخی از نمونه‌های آبدوست که قابلیت خیس شدن را داشتند، آبریزی خفیفی یا قوی را نشان دادند. این مورد در نمونه L6 (نمونه جمع‌آوری شده از منطقه دو، تحت پوشش کاج) کاملاً مشهود است. اندازه‌گیری آبریزی (WDPT) نشان داد که این نمونه آبدوست است اما پس از الک کردن نمونه

جنگل آبریزی کمتری را نشان داد و معمولاً آبدوست است این مورد می‌تواند در ارتباط با عملیات خاک‌ورزی (شخم زدن) و آبیاری باشد. عملیات شخم با بهم زدن خاک سطحی باعث جابه‌جایی و بهم خوردگی لایه سطحی آبریز می‌شود. همچنین در زمانی که از سیستم آبیاری استفاده می‌شود قبل از آنکه خاک‌ها خشک و آبریز شوند آبیاری مجدد انجام می‌شود (Hallet, 2008).

اگرچه آبریزی بیشتر در کاربری‌های جنگل و مراتع متداول است اما به دلیل برخی روش‌های مدیریتی نادرست، آبریزی در زمین‌های کشاورزی نیز رخ می‌دهد (Lucas-Borja, Ritsema et al., 2013; Garcia-Moreno et al., 2013). چندین استراتژی مانند آبیاری منظم، افزودن رس و کاربرد سورفکتانت را برای کاهش آبریزی در زمین‌های آبریز تحت کشت ذکر کردند. در این مطالعه خاک‌ها در تابستان کاملاً خشک و آبریز می‌شوند. اما وجود سیستم آبیاری در منطقه سه و برنامه آبیاری باعث می‌شود رطوبت خاک همیشه بالاتر از مقدار مورد نیاز برای آبریز شدن خاک باقی بماند. البته درصد رس در این منطقه، با افزودن رس در زیر تاج پوشش درختان تا حد کمی افزایش یافته است. این مورد هم می‌تواند آبریزی خاک را تا حدی کاهش دهد.

نتایج بررسی همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که آبریزی به‌طور معکوس با اسیدیته در سطح معنی‌داری یک درصد و با درصد رس، سدیم، و جرم مخصوص ظاهری در سطح معنی‌داری رابطه دارد. اما روش PCA نشان داد که آبریزی فقط رابطه معنی‌داری منفی با اسیدیته خاک دارد و این مشخصه به عنوان خصوصیتی مهم در کنترل آبریزی خاک با تأثیری معکوس است. Bonanomi et al. (2016) رابطه معنی‌دار منفی را بین آبریزی و اسیدیته خاک گزارش کردند. آنها هم رابطه معنی‌داری بین آبریزی و پارامترهای بافت خاک به دست نیاوردند. Zheng et al. (2016) رابطه مثبت ضعیفی بین آبریزی و اسیدیته خاک در خاک‌های اسیدی مشاهده کردند. به هر حال آنها بیان کردند که یک اسیدیته خنثی شرایط بهینه‌ای را برای به حداکثر رساندن آبریزی خاک ایجاد نماید زیرا می‌تواند بر رشد و توسعه بارهای سطحی و تغییر جهت دادن میسل‌ها برای داشتن جهت دهی به سمت بیرون گروه‌های آبدوست تأثیر بگذارد (Diehl, 2013). نتایج آزمون PCA نشان داد که مقدار ماده آلی خاک و نیتروژن کل (که پارامتری در ارتباط با ماده آلی خاک است) و اسیدیته پارامترهایی مهمی در کنترل آبریزی در خاک‌ها هستند.

کل خاک را تشکیل می‌دهند (کمتر از ۰/۵ درصد از حجم کل نمونه خاک) بنابراین آبگریزی این بخش نتوانسته کل نمونه خاک را تحت تأثیر قرار دهد و نمونه آبدوست است.

و اندازه‌گیری آبگریزی در هر جزء، اندازه ذرات ذرات ۰/۱۲۵- و ۰/۰۵ و کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر آبگریز بودند. به‌ویژه در اندازه ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر، آبگریزی ۳۰۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. اما از آنجا که این بخش از ذرات فقط بخش کوچکی از حجم

جدول ۷- آبگریزی خاک (WDPT) اندازه‌گیری شده در شش اندازه قطر ذرات، در ۱۹ نمونه آبدوست و ۱۰ نمونه با آبگریزی خفیف

اندازه قطر ذرات						WDPT (s) کل نمونه	نمونه
< ۰/۰۵ mm	۰/۰۵-۰/۱۲۵ mm	۰/۱۲۵-۰/۲۵ mm	۰/۲۵-۰/۵ mm	۰/۵-۱ mm	۱-۲ mm		
۲۰	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	J5
۳۵	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	J6
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	J9
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	J10
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	L5
۳۰۰	۲۰	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	L6
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP1
3	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP2
۱۰	۳	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP3
۴	۲	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP6
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP7
۱۰	۴	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP8
<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	LP10
۲۰	۳	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh1
۱۰	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh2
۲	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh4
۴۰	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh5
۲	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh6
۴	۳	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	Kh8
۳۰	۲۰	۱۰	۱۰	۷	۵	۲۰	J2
۲۴۰	۱۲۰	۳۰	۴۰	۵	۱۰	۵۸	J8
۱۸۰	۲۰	<۱	<۱	<۱	<۱	۵۰	L3
۱۸۰	۱۰۰	۳۰	۱۰	۴۰	۱۰	۴۲	L7
۲۴۰	۶۰	۶۰	۱۰	۲۱	۱۰	۶۰	L8
۱۸۶	۵۸	۲۰	۶	۱۵	۱۵	۶۰	L10
۵۱	۱۲	۲	<۱	<۱	<۱	۲۳	LP4
۱۱۰	۴۸	۱۵	۳	<۱	<۱	۶۰	LP9
۶۰	۱۰	<۱	۳	<۱	<۱	۳۰	Kh3
۱۰۰	۲۲	۴	۳	<۱	<۱	۶۰	Kh7

J: منطقه یک، J5: نمونه ۵ از منطقه یک

L: منطقه دو، پوشش کاج، L5: نمونه ۵ از منطقه دو (تحت پوشش کاج)

LP: منطقه دو پوشش انار، LP1: نمونه ۱ از منطقه دو (تحت پوشش انار)

Kh: منطقه ۳، کشت شده با خرما، Kh1: نمونه یک از منطقه سه

قابل خیس  
شدن

آبگریزی  
خفیف

جدول ۸- آبریزی خاک (WDPT) اندازه‌گیری شده در شش اندازه قطر ذرات در هفت نمونه آبریز قوی (WDPT:60-600s) و چهار نمونه با آبریزی شدید (WDPT: 600-3600s)

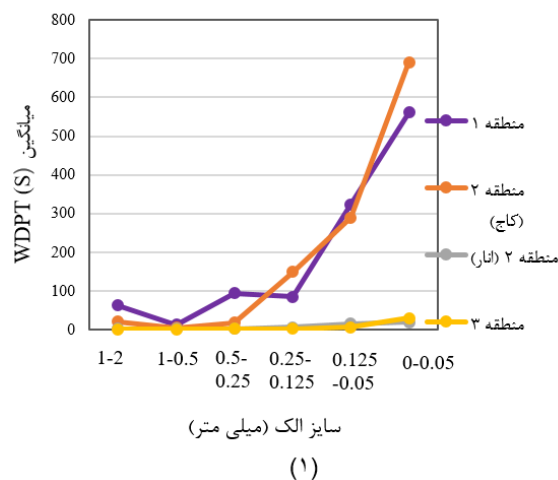
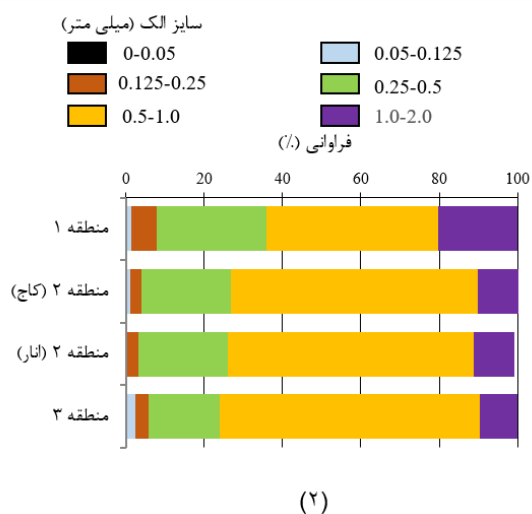
اندازه قطر ذرات						WDPT (s) کل نمونه	نمونه
< ۰/۰۵	۰/۰۵-۰/۱۲۵	۰/۱۲۵-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۵	۰/۵-۱	۱-۲		
mm	mm	mm	mm	mm	mm		
۲۴۰	۱۲۰	۳۰	۴۰	۲	۲۰	۱۰۰	J3
۳۶۰	۶۰	۷۰	۳۰	۲۵	۴۰	۲۰۰	J4
۷۸۰	۴۲۰	۱۸۰	۲	۱۰	۱۰	۴۰۲	L2 آبریزی قوی
۳۰۰	۱۲۰	۱۲۰	۴۴	۲۱	۱۰	۲۱۰	L4
۱۱۰	۸۱	۳۷	۱۵	۹	۵	۷۰	LP5
۲۱۲	۱۱۲	۲۰	۲۱	۱۴	۷	۱۲۰	Kh9
۱۲۸	۱۰۰	۳۰	۱۴	۸	۷	۹۵	Kh10
۲۴۰۰	۱۳۸۰	۶۰۰	۶۶۰	۶۰۰	۴۸۰	۲۰۴۰	J1
۲۲۸۰	۱۵۰۰	۴۰۰	۳۸۲	۲۰۴	۱۲۰	۱۰۸۰	J7 آبریزی شدید
۲۱۶۰	۱۲۶۰	۶۰۰	۱۲۵	۱۸۰	۱۰۰	۱۷۴۰	L1
۲۵۸۰	۱۸۴۰	۴۸۰	۱۵۰	۲۴۰	۱۲۰	۱۴۴۰	L9

J: منطقه یک، J3: نمونه سه از منطقه یک

L: منطقه دو، پوشش کاج، L2: نمونه دو از منطقه دو (تحت پوشش کاج)

LP: منطقه دو پوشش انار، LP5: نمونه پنج از منطقه دو (تحت پوشش انار)

Kh: منطقه سه، کشت شده با خرما، Kh10: نمونه ۱۰ از منطقه سه



شکل ۳- (۱) تغییرات میانگین WDPT (s) در هر اندازه قطر ذرات در هر یک از مناطق، (۲) درصد فرآوانی هر یک از کلاس‌های WDPT در هر یک از مناطق

نتایج تحقیقات Jimenez- و Leelamanie, (2016) و Morillo et al. (2014) نشان داد که کوچک‌ترین اندازه ذرات خاک‌های شنی بیشترین آبریزی را دارا هستند. اگرچه از نظر تئوری ذرات درشت‌تر به علت سطح ویژه کمتر بیشتر مستعد آبریزی هستند اما بسیاری از تحقیقات به‌ویژه در خاک‌های شنی نشان می‌دهد که در هر نمونه خاک، کوچک‌ترین اندازه ذرات بیشترین شدت آبریزی را و بزرگ‌ترین اندازه ذرات کمترین شدت آبریزی را دارا است. البته این روند ممکن است در خاک‌های دیگر متفاوت باشد. Bisdom et al. (1993) و همکاران بیان کردن که در خاک‌های آبریز شدید، به‌ویژه خاک‌های آلی،

این نتیجه با یافته‌های Bisdom et al. (1993) هماهنگ است. آنها در تحقیقی که انجام دادند در نمونه‌های آبدوست چنین موردی را گزارش کردند و در جزء کوچک اندازه ذرات خاک (کوچک‌تر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر) آبریزی (WDPT) ۲۶۸ و حتی ۱۳۳۷ ثانیه گزارش کردند در حالی که نمونه اصلی خاک آبدوست بود. Bisdom et al. (1993) بیان کردند آبریزی کوچک‌ترین اندازه ذرات نمی‌تواند قابلیت خیس شدن کل نمونه خاک را تحت تأثیر قرار دهد وقتی که سایر اندازه ذرات خاک آبدوست هستند. آنها نتیجه گرفتند که حضور مواد آلی در این اندازه ذرات علت آبریزی این بخش است.

پارامترهای کنترل‌کننده آبگریزی در این خاک‌ها هستند. همچنین توزیع آبگریزی خاک در شش گروه اندازه ذرات، جهت مشخص کردن جزئی از اندازه ذرات خاک که نقش مهم‌تری در شدت آبگریزی خاک دارند بررسی شد. نتایج نشان دادند اگرچه به‌طور کلی خاک‌های درشت بافت نسبت به خاک‌های ریز بافت بیشتر مستعد آبگریزی هستند اما در یک خاک درشت بافت، کوچک‌ترین اندازه ذرات بیشترین شدت آبگریزی را دارا می‌باشد. آبگریزی خاک پدیده‌ای است که ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات محیطی قابل توجهی را بر جای می‌گذارد. از آنجا که خاک‌های شنی بسیار مستعد ایجاد آبگریزی هستند و برخی از پوشش‌های گیاهی به‌ویژه کاج جزو پوشش‌هایی هستند که ترکیبات آبگریز را در خاک ایجاد می‌کنند بنابراین در هنگام جنگلکاری این مناطق باید دقت بیشتری در انتخاب نوع پوشش گیاهی در نظر گرفت. همان‌طور که مشاهده شد نتایج این تحقیق نشان داد که نوع پوشش گیاهی مناسب منطقه و مدیریت صحیح در قسمت‌ها کشت شده می‌تواند به طور قابل توجهی آبگریزی خاک را کاهش دهد. پوشش طبیعی منطقه که انارهای وحشی بود باعث ایجاد آبگریزی در خاک نمی‌شود و در نهایت آبگریزی خفیفی ایجاد می‌کند اما با انتخاب پوشش گیاهی نامناسب آبگریزی بسیار شدیدی در خاک ایجاد شده است که می‌تواند ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

**"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"**

## REFERENCE

- Alanis, N., Hernandez-Madrigal, V. M., Cerda, A., Munoz-Rojas, M., Zavala, L. M. and Jordan, A. (2017). Spatial gradients of intensity and persistence of soil water repellency under different forest types central Mexico. *Land Degrad. Develop*, 28, 317-327.
- Atanassova, I. and Doerr, S. H. (2011). Changes in soil organic compound composition associated with heat-induced increases in soil water repellency. *Eur. J. Soil Sci.* 62 (4), 516-532.
- Atanassova, I., Banov, M., Shishkov, T., Petkova, Z., Hristov, B., Ivanov, P., Markov, E., Kirilov, I. and Harizanova, M. (2018). Relationships between soil water repellency, physical and chemical properties in hydrophobic technogenic soils from the region of maritsa-iztok coal mine in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24 (2), 10-17.
- Bisdorn, E. B. A., Dekker, L. W. and Schouthe, J. F. Th. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma* 56, 105-118.
- Bonanomi, G., Gaglione, S. A., Antignani, V. and Cesarano, G. (2016). Unimodal pattern of soil hydrophobicity along an altitudinal gradient encompassing Mediterranean, temperate, and alpine ecosystems. *Plant Soil*, 409 37-47.
- Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. (1982). Total nitrogen. In: A. L. Page (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2: Chemical and microbiological properties (2th Ed.). Agron. (No.2). pp.95-624. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.
- Brevik, E. C., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J. and Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil*, 1, 117-129.
- Buczko, U., Bens, O., Fischer, H. and Huttel, R. F. (2002). Water repellency in sandy luvisols under different forest transformation stages in northeast Germany. *Geoderma*, 109, 1-18.
- Carrick, S., Buchan, G., Almond, P. and Smith, N. (2011). Atypical early-time infiltration into a structured soil near field capacity: the dynamic interplay between sorptivity, hydrophobicity, and air encapsulation. *Geoderma* 160 (3-4), 579-589.
- Chau, H. W., Biswas, A., Vujanovic, V. and Cheng Si, B. (2014). Relationship between the severity,

آبگریزی شدید و تقریباً یکنواختی در تمام اندازه ذرات مشاهده می‌شود. علت این مسئله این است که در این موارد پوشش آبگریز همه ذرات خاک را در بر گرفته است و آبگریزی خاک در تمام اندازه ذرات مشاهده می‌شود و فقط ناشی از قرار گرفتن ترکیبی از ذرات با اندازه مختلف و ویژگی‌های متفاوت آبگریزی در کنار هم نیست.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر نوع پوشش گیاهی بر وجود آبگریزی خاک در مناطق ساحلی جنگلی و کشت شده در غرب استان گیلان بررسی شد. بیشترین شدت آبگریزی در مناطق با پوشش کاج تدا اندازه‌گیری شد و خاک‌ها در زیر پوشش انار وحشی و تحت کشت خرمالو آبگریزی خفیفی را نشان دادند و تقریباً آبدوست بودند. از آنجا که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های تحت پوشش کاج تدا و انار وحشی در منطقه ۲ تقریباً مشابه بود می‌توان نتیجه گرفت که آبگریزی تحت تأثیر نوع پوشش گیاهی است. همچنین نوع کاربری و مدیریت صحیح در کنترل آبگریزی خاک موثر است به طوری که عملیاتی همچون شخم، افزودن رس و آبیاری باعث کاهش قابل توجه آبگریزی می‌گردد. آبگریزی خاک پدیده‌ای پیچیده است که می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی قرار گیرد. در این تحقیق رابطه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک با آبگریزی بررسی شد. نتایج آزمون تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ماده آلی و نیتروژن کل با اثری مثبت و اسیدیته با اثری منفی مهم‌ترین

- persistence of soil water repellency and the critical soil water content in water repellent soils. *Geoderma* 221–222, 113–120.
- Clark, E. V. and Zipper, C. E. (2016). Vegetation influences near-surface hydrological characteristics on a surface coal mine in eastern USA. *Catena*, 139, 241–249.
- Daniel, N. R. R., Uddin, S. M. M., Harper, R. J. and Henry, D. J. (2019). Soil water repellency: A molecular-level perspective of a global environmental phenomenon. *Geoderma* 338, 56–66.
- Davies, B. E. (1974). Loss-on- Ignition as an estimate of soil organic matter, *Soil Sci. Am. Proc.* 38, 150–151.
- DeBano, L. F. (1981). *Water Repellent Soils: A State-of-the-Art*.
- Dekker, L. W and Ritsema, C. J. (2000). Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J Hydrol*, 231-232:148–164.
- Dekker, L. W. and Ritsema, C. J. (1994). How water moves in a water-repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour. Res.* 30, 2507–2517.
- Dekker, L. W.; Oostindie, K and Ritsema, C. J. (2005). Exponential increase of publications related to soil water repellency. *Aust. J. Soil Res*, 43, 403–441.
- Diehl, D. (2013). Soil water repellency: dynamics of heterogeneous surfaces. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 432, 8–18.
- Doerr, S. H. and Moody, J. A. (2004). Hydrological effects of soil water repellency: on spatial and temporal uncertainties. *Hydrol. Process*, 18, 829–832.
- Doerr, S. H., Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Shakesby, R. A. and Bryant, R. (2002). Water repellency of soils: the influence of ambient relative humidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 (2), 401–405.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A. and Walsh, R. P. D. (1998). Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone eucalyptus and pine forests, Portugal. *Soil Sci.* 163, 313–324.
- 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.
- Fer, M., Leue, M., Kodesova, R., Gerke, H. H and Ellerbrock, R. H. (2016). Droplet infiltration dynamics and soil wettability related to soil organic matter of soil aggregate coatings. *J. Hydrol. Hydromech.* 64: 111–120.
- Flint, A. and Flint, L. (2002). Particle density. In: Dane, J.H. and Topp, G. C. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 4- Physical methods*. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, PP 229-240.
- Flores-Mangual, M. L., Bockheim, B. L. J. G., Pagliari, P. H. and Scharenbroch, B. (2013). Hydrophobicity of Sparta Sand under Different Vegetation Types in the Lower Wisconsin River Valley. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 1506–1516.
- Flores-Mangual, M. L., Lowery, B., Bockheim, J. G. Bockheim and Pagliari, P. H. (2011). A revised water drop method for assessing soil water repellency. *Soil Sci.* 176(3), 124–128.
- Franco, C. M. M., Tate, M. E. and Oades, J. M. (1995). Studies on non-wetting sands. I. the role of intrinsic particulate organic-matter in the development of water-repellency in non-wetting sands. *Aust J Soil Res*, 33:253–263.
- Gao, Y., Lin, Q., Liu, H., Wu, H., Alamus. (2018). Water repellency as conditioned by physical and chemical parameters in grassland soil. *Catena*, 160, 310–320.
- Garcia-Moreno, J., Gordillo-Rivero, A. J., Zavala, L. M., Jordan, A. and Pereira, P. (2013). Mulch application in fruit orchards increases the persistence of soil water repellency during a 15-years period. *Soil Tillage Res*, 130, 62–68.
- Gee, G. W. and Or, D. (2002). Particle-size analysis. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), *Methods of soil analysis, part 4 — physical methods*. : Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSA, Madison, WI pp, 255–293.
- Goebel, M. O., Bachmann, J., Reichstein, M., Janssens, I. A. and Guggenberger, G. (2011). Soilwater repellency and its implications for organic matter decomposition – is there a link to extreme climatic events? *Glob. Chang. Biol*, 17 (8), 2640-2656.
- Hallett, P. D. (2008). A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency—a review. *Soil Water Res*, 3, 21–29.
- Jimenez-Morillo, N. T., Gonzalez-Perez, J. A., Jordan, A., Zavala, L. M., Maria de la Rose, J., Jimenez-Gonzalez, M. A. and Gonzalez-Vila, F. J. (2014). Organic material fractions controlling soil water repellency in sandy soils from the Donana national park (southwestern Spain). *Land Degrad. Develop.* 27, 1413–1423
- Jordan, A., Zavala, L. M., Mataix-Solera, J. and Doerr, S. H. (2013). S Soil water repellency: origin, assessment and geomorphological consequences. *Catena*, 108, 1–8.
- Kaiser, H. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.
- Kaiser, M., Kleber, M. and Berhe, A. (2015). How air-drying and rewetting modify soil organic matter characteristics: an assessment to improve data interpretation and inference. *Soil Biol Biochem*, 80, 324–340
- Klute, A. (1986). *Method of Soil Analysis. Part. 1. Physical and Mineralogical Methods*. Soil. Sci. of America. Madison, Wisconsin. USA.
- Leelamanie, D. A. L. (2016). Occurrence and distribution of water repellency in size fractionated coastal dune sand in Sri Lanka under Casuarina shelterbelt. *Catena*, 142, 206-212.
- Letey, J. and Pelishek, R. E. (1962). Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand. *Soil Sci.* 93(3):149-153.
- Lichner, L., Hallett, P. D., Feeney, D. S., Dugov, A. O., Sir, M. and Tesar, M. (2007). Field measurement of soil water repellency and its impact on water flow under different vegetation. *Biologia*, 62,



- 537-541.
- Lucas-Borja, M. E., Zema, D. A., Plaza-Alvarez, P. A., Zupanc, V., Baartman, J., Sagra, J., Gonzalez-Romero, J. Moya, D. and de las Heras, J. (2019). Effects of Different Land Uses (Abandoned Farmland, Intensive Agriculture and Forest) on Soil Hydrological Properties in Southern Spain. *Water* 11, 503-518.
- Mao, J. (2016). Water repellent soils: from molecule to ecosystem. PhD dissertation Utrecht University, *Utrecht, the Netherlands*, 186 pp
- Mao, J., Nierop, K. G. J., Dekker, S. C., Dekker, L. W. and Chen, B. (2019). Understanding the mechanisms of soil water repellency from nanoscale to ecosystem scale: a review. *J. Soils Sediments* 19, 171-185.
- Mao, J., Nierop, K. G. J., Rietkerk, M. and Dekker, S. C. (2015). Predicting soil water repellency using hydrophobic organic compounds and their vegetation origin. *Soil* 1, 411-425.
- Mao, J., Nierop, K. G. J., Sinninghe Damste, J. S and Dekker, S.C. (2014). Roots induce stronger soil water repellency than leaf waxes. *Geoderma*, 232-234:328-340
- Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Zavala, L. M., Perez-Bejarano, A., Jordan, A., Morugan-Coronado, A., Barcenas-Moreno, G., Jimenez-Pinilla, P., Lozano, E., Granged, A. J. P., Gil-Torres, J. (2014). Small variations in soil properties control fire-induced water repellency. *Spanish Journal of Soil Science* 4, 51-60.
- Moreno-de las Heras, M., Merino-Martin, L. and Nicolau, J. M. (2009). Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*, 77, 39-47.
- Morley, C. P., Mainwaring, K. A. Doerr, S. H., Douglas, P., Llewellyn, C. T. and Dekker, L. W. (2005). Organic compounds at different depths in a sandy soil and their role in water repellency. *Aust. J. Soil Res.*, 43, 239-249.
- Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1982). Phosphorus, In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeny, D.R. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd edition. Agronomy Monograph, 9. American Society of Agronomy, *Soil Science Society of America, Madison, WI*, pp. 403-430.
- Pallant, J. (2005). *SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using spss*. Buckingham: allen & unwin.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L., (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 3- Chemical Methods. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*, pp 417-435.
- Ritsema, C. J., Van Dam, J. C., Dekker, L. W. and Oostindie, K. (2005). A new modelling approach to simulate preferential flow and transport in water repellent porous media: Model structure and validation. *Australian Journal of Soil Research*, 43, 36-369.
- Schnabel, S., Pulido-Fernandez, M. and Lavado-Contador, J. F. (2013). Soil water repellency in rangelands of Extremadura (Spain) and its relationship with land management. *Catena*, 103, 53-61.
- Scott, D. F. (2000). Soil wettability in forested catchments in South Africa; as measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics. *J. Hydrol.*, 231-232, 87-104.
- Sumner, M. E. and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3)*. (Pp.1201-1229).
- Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil activity. In: Sparks, D.L., (Eds), *Methods of soil analysis, Part 3- Chemical Methods. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*, pp 475-490.
- Wallis, M. G. and Horne, D. J. (1992). Soil water repellency. In *Advances in Soil Science*; Stewart, B.A., Ed.; *Springer: New York, NY, USA*, Volume 20, pp. 91-146.
- Wessolek, G., Stoffregen, H. and Taumer, K. (2009). Persistency of flow patterns in a water repellent sandy soil: conclusions of TDR readings and a time delayed double tracer experiment. *Journal of Hydrology* 375, 524-535.
- Zavala, L. M. and Jordan-Lopez, A. (2009). Influence of different plant species on water repellency in Mediterranean heathland soils. *Catena*, 76, 215-223.
- Zavala, L. M., Garcia-Moreno, J., Gordillo-Rivero, A., Jordan, A., Mataix-Solera, J. (2014). Natural soil water repellency in different types of Mediterranean woodlands. *Geoderma*, 226-227, 170-178.
- Zema, D. A., Plaza-Alvarez, P. A., Xu, X., Gianmarco Carra, B. and Lucas-Borja, M. E. (2021). Influence of forest stand age on soil water repellency and hydraulic conductivity in the Mediterranean environment. *Science of the Total Environment*, 753. 142006
- Zheng, W., Morris, E.K., Lehmann, A. and Rillig, M.C. (2016). Interplay of soil water repellency, soil aggregation and organic carbon. A meta-analysis. *Geoderma*, 283, 39-47.