

## تولید رواناب در خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل

سیما محمدی<sup>۱</sup>، مهدی همایی\*<sup>۲</sup>، سید حمیدرضا صادقی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۱۷)

### چکیده

ارزیابی کمی تأثیر خاک‌های آلوده به مشتقات نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. هدف این پژوهش بررسی تولید رواناب در خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل بود. بدین منظور متغیرهای زمان آغاز رواناب، ضریب رواناب، تغییرات رواناب نسبت به زمان، و رواناب تجمعی برای خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل با دو غلظت مختلف تعیین شدند. نتایج نشان داد وجود ترکیبات نفتی در خاک، باعث کاهش معنادار در زمان آغاز رواناب نسبت به خاک شاهد می‌شود؛ به طوری که زمان آغاز رواناب از کرت شاهد نسبت به کرت آلوده به گازوییل تأخیر زمانی حدود ۱۲۸ ثانیه را نشان داد. بیشترین ضریب رواناب در تیمارهای آلوده با غلظت بیشتر به دست آمد که باعث افزایش حدود سه تا سه و نیم برابر ضریب رواناب نسبت به کرت شاهد شدند. ارزیابی رواناب در گام‌های زمانی مشترک نشان داد رواناب تولیدشده فقط در تیمارهای گازوییل با غلظت کمتر نسبت به تیمارهای نفت سفید با غلظت مشابه افزایش معنادار دارد؛ حال آنکه در غلظت بیشتر تفاوتی معنادار بین این دو تیمار مشاهده نشد. نتایج حاکی از افزایش معنادار رواناب تجمعی تولیدشده در همه کرت‌های آلوده در مقایسه با کرت غیر آلوده بود.

کلیدواژگان: آب‌گریزی، آلودگی آب و خاک، بارش، ترکیبات نفتی، نفوذپذیری

### مقدمه

در چند دهه گذشته، به علت صنعتی‌شدن زندگی بشر، آلاینده‌های خطرناک بسیاری وارد آب و خاک و هوا شده است. آلودگی خاک اغلب به دلیل استفاده از انواع کودها و آفت‌کش‌ها در اراضی کشاورزی، استخراج فلزات از معادن، تراوش پسماندهای کارخانه‌های مختلف، و تخلیه و حمل‌ونقل و انتقال نامناسب ترکیبات نفتی ایجاد می‌شود. (Schalscha and Ahumada, 1998; McGrath et al, 2001). از این رو، پژوهش‌هایی فراوان در زمینه نقش انواع آلاینده‌های معدنی و آلی در ایجاد آلودگی‌های خاک و آب و گیاه انجام شده است (Khodaverdiloo and Homae, 2008; Atafar et al, 2010; ) (Fabiatti et al, 2010; Nouri et al, 2014a and 2014b).

با توجه به اینکه گستره وسیعی از کشور پهناور ایران در معرض آلودگی خاک و آب به انواع آلاینده‌های نفتی قرار دارد، باید پژوهش‌هایی بسیار در این زمینه انجام شود. در ایران، اکثر پژوهش‌ها درباره آلاینده‌های معدنی در زمینه تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی بر غلظت فلزات سنگین و توزیع مکانی آن‌ها

در خاک، جذب آلاینده‌ها توسط گیاه (Panahpoor et al, 2008; Atafar et al, 2010; Jafarnejadi et al, 2011; Jafarnejadi et al, 2012; Jafarnejadi et al, 2013a; Jafarnejadi et al, 2013b)، و پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (Khodaverdiloo and Homae, 2008; Davari et al, 2010; ) (Arabi et al, 2011; Babaeian and Homae, 2011) بوده است. پژوهش‌هایی نیز در زمینه تأثیر آلاینده‌های آلی، از جمله نفت خام و نفت سفید و گازوییل، بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک انجام شده است (Nouri et al, 2012; Nouri et al, 2013; ) (Nouri et al, 2014a; Nouri et al, 2014b; Nouri et al, 2014c). با وجود گستردگی این پژوهش‌ها، تحقیقات بسیار اندکی در زمینه آلاینده‌های خطرناک آلی، همچون ترکیبات نفتی، در ایران صورت گرفته است.

از آنجا که آلودگی اراضی و فرسایش خاک از مشکلات بسیار مهم پیش روی نسل‌های فعلی و آینده بشر است، ضرورت بررسی همه‌جانبه عوامل مؤثر بر آن در اکثر کشورهای جهان در اولویت قرار دارد. در کشور نفت‌خیز ایران آلودگی خاک با ترکیبات نفتی از عوامل بسیار مهم آلودگی خاک و آب است. در معادن اکتشاف نفت و اطراف پالایشگاه‌ها و سایر مناطق در اثر نشت آلاینده‌های نفتی از مخازن ذخیره روزمینی و زیرزمینی،

بستگی دارد. در تعداد محدودی از پژوهش‌ها تأثیر ترکیبات نفتی بر ویژگی‌های خاک بررسی شده است. در مطالعه‌ای Lorincz (1984) تأثیر نفت خام و گازوییل و ترکیبات نفتی سنگین را بر مقاومت برشی و قابلیت نفوذپذیری خاک بررسی کرد. دامنه گسترده‌ای از ضرایب نفوذپذیری در این مطالعه به دست آمد. در مطالعه‌ای Kaya and Fang (2005) نشان دادند وقتی در منافذ خاک سیال آلی با ثابت دی‌الکتریک کم جایگزین آب می‌شود به هم‌آوری ذرات خاک می‌انجامد. این فرضیه بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده، که کاهش نیروی جذب و دفع و همچنین پتانسیل زتا را با کاهش ثابت دی‌الکتریک سیال نشان دادند، مطرح شد. بررسی‌های پیشین ثابت کرد رفتار خاک‌ها، به‌ویژه نمونه‌هایی با سطح ویژه بزرگ، با ویژگی‌های ثابت دی‌الکتریک و گرانیروی سیال درون منافذ خاک مرتبط است. تعدادی از مطالعات نشان دادند با جانشینی سیال آلی با ثابت دی‌الکتریک کم به جای آب درون منفذی خاک هم‌آوری ذرات خاک رسی افزایش می‌یابد (Habib-ur-Khamehchian et al, 2007). در آزمایشی (Rehman et al, 2007) تغییر ویژگی‌های سه نوع خاک آلوده به نفت خام را بررسی کردند. نمونه‌های خاک به نسبت ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ درصد وزنی به نفت خام آغشته شدند. نتایج آزمایش کاهش نفوذپذیری و مقاومت خاک را در همه نمونه‌های خاک آلوده نشان داد.

آلاینده‌های آلی با مسدودکردن مجاری خاک در واقع مسیرهای عبور آب را می‌بندند. هیدروکربن‌های نفتی جذب‌شده بر سطوح ذرات نیز با دفع آب در مقابل جریان آب دافعه ایجاد می‌کنند، که اغلب باعث ایجاد خاصیت آب‌گریزی<sup>۱</sup> در خاک می‌شوند (Hunt et al, 1988). آب‌گریزی خاک‌ها از طریق تغییر پایداری خاک‌دانه‌ها، کاهش ظرفیت نفوذپذیری، و افزایش جریان سطحی آب بر فرسایش خاک تأثیر می‌گذارند. بنابراین، جاری‌شدن سیلاب‌های مخرب و فرسایش خاک یکی از مشکلات اصلی مناطق آلوده به ترکیبات نفتی است. به همین سبب در بررسی نحوه تأثیر ترکیبات نفتی و سایر آلاینده‌ها بر گسترش فرسایش خاک و با توجه به پیچیدگی فرایندهای حاکم بر آن‌ها و نحوه تأثیر عوامل مختلف در طبیعت لازم است با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی تک‌تک عوامل مؤثر بر فرایندها و عوامل متقابل بین آن‌ها بررسی شود. در این زمینه، شبیه‌سازهای باران یکی از روش‌های مفیدند. استفاده از شبیه‌سازها و روش‌های آزمایشگاهی دو مزیت اصلی دارند؛

نشت از خطوط انتقال بر اثر پوسیدگی و سوراخ‌شدن لوله‌های انتقال، و دفع نامناسب زائدات نفتی خاک اطراف این مکان‌ها دچار آلودگی‌های نفتی می‌شود.

انباشت آلودگی در خاک سبب بروز اختلال در شرایط متعادل و معمول منابع خاک و آب و تولید بحران‌های زیست‌محیطی شده است. افزون بر این، جاری‌شدن سیلاب‌های مخرب و فرسایش خاک نیز یکی دیگر از مشکلات مناطق آلوده به ترکیبات نفتی است. رواناب سطحی حاصل از بارندگی و فرسایش خاک تابع عوامل مختلفی است؛ از جمله شدت و مدت بارش، ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، و ویژگی‌های خاک (Schwab et al, 1993). بنابراین، اطلاعات بارش و توپوگرافی به‌تنهایی برای محاسبه حجم رواناب و فرسایش خاک کافی نیست؛ ویژگی‌های خاک نیز نقشی مهم در تولید رواناب دارند. افزون بر آگاهی از الگوی تغییرات مکانی-زمانی بارش، شناخت تأثیر برخی ویژگی‌های خاک، مانند ظرفیت نفوذپذیری و رطوبت خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها، اهمیت زیادی در پیش‌بینی تولید رواناب دارند (Seeger, 2007). پژوهش‌هایی پرشمار در زمینه رابطه بین تولید رواناب و متغیرهای بارش انجام شده است (Rajurkar et al, 2004; Boughton, 2006; Bahat et al, 2009; Karami et al, 2012; Castillo et al, 2003; Wei et al, 2007; Ruiz Sinoga et al, 2010) و سیستم‌های مدیریت خاک (Martinez et al, 2006; Gomez et al, 2009) نیز بر تولید رواناب بررسی شده است.

هرچند فرآورده‌های نفتی برای صنایع و زندگی روزمره منبع عظیم انرژی‌اند، اغلب جزء مهم‌ترین آلاینده‌های مایع آلی نامحلول در آب<sup>۱</sup> (NAPL) به شمار می‌روند (Khamehchian et al, 2007). آلاینده‌های مایع آلی نامحلول بر اساس چگالی خود به دو گروه مایعات با چگالی کمتر از آب<sup>۲</sup> (LNAPL) و مایعات با چگالی بیشتر از آب<sup>۳</sup> (DNAPL) تقسیم می‌شوند.

بخش عمده بررسی‌های انجام‌شده در زمینه حضور ترکیبات نفتی در خاک به حرکت و انتقال آن‌ها در خاک بیشتر از تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند. Kechavarzi et al (2005) اثر ویژگی‌های ترکیبات نفتی و چگونگی توزیع آن‌ها را در محیط‌های ناهمگن در خاک‌هایی با بافت سنی بررسی کردند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد جذب و نگهداری ترکیبات نفتی توسط ذرات خاک به رطوبت اولیه خاک و فشار کاپیلاری

1. Non Aqueous Phase Liquids, NAPL  
2. Light Non Aqueous Phase Liquids, LNAPL  
3. Dense Non Aqueous Phase Liquids, DNAPL

به منظور جلوگیری از گسترش بیشتر آلودگی آب و خاک دارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی چگونگی تولید رواناب در خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل انجام شد.

### مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز برای آزمایش از ناحیه‌ای در اطراف پالایشگاه تهران، واقع در شهرستان باقرشهر، از عمق ۳۰ سانتی‌متری سطحی خاک، جمع‌آوری شد. خاک جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل شد و پس از هواخشک کردن تا حد رطوبت بهینه و حذف بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش شده، شامل بافت و هدایت الکتریکی و واکنش خاک و مواد آلی خاک، در جدول ۱ می‌آید.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش شده

شن	سیلت	رس	تخلخل حجمی	جرم ویژه ظاهری	جرم ویژه حقیقی	EC	pH	مواد آلی
(%)	(%)	(%)	(%)	(g.cm <sup>-3</sup> )	(g.cm <sup>-3</sup> )	(ds.m <sup>-1</sup> )		(%)
۲۰	۵۰	۳۰	۰,۵۰	۱,۳۰	۲,۶۰	۰,۶۷۰	۷,۸۰	۱,۲۰

مایعی سبک و شفاف است و زنجیره‌های کربنی آن ۶ تا ۱۶ اتم کربن دارد. نقطه اشتعال نفت سفید بین ۳۷ تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد و دمای اشتعال خودبه‌خودی آن ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد است. گازوییل یا سوخت دیزل زنجیره هیدروکربنی با طول ۱۰ تا ۳۲ اتم کربن دارد. نقطه جوش گازوییل حدود ۲۵۰ تا ۳۸۵ و دمای اشتعال بخارات آن بیش از ۵۶ درجه سانتی‌گراد است. برخی ویژگی‌های فیزیکی آلاینده‌های آزمایش شده در جدول ۲ می‌آید.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی آلاینده‌های نفتی به کاررفته در پژوهش

نام ترکیب	چگالی	گرانروی دینامیکی	گرانروی سینماتیکی	کشش سطحی
نفتی	(g.cm <sup>-3</sup> )	(cp)*	(cst)**	(dyne.cm <sup>-1</sup> )
نفت سفید	۰,۷۹	۱,۷۳	۲,۱۹	۲۸,۶
گازوییل	۰,۸۳	۵,۴	۶,۵	۲۵,۷
آب	۱	۱	۱	۷۲,۲

\* سانتی‌پواز      \*\* سانتی‌استوکس

به منظور پخش یکنواخت آلاینده‌ها، هر یک از آن‌ها به طور یکنواخت روی خاک اسپری شدند. به دلیل آلوده بودن خاک از روش وزنی برای مشخص کردن رطوبت خاک استفاده شد. در خاک‌های آلوده برای آگاهی از اینکه بر اثر حرارت چه مقدار از ترکیبات نفتی مذکور همراه آب تبخیر می‌شود از رابطه ۱ استفاده شد (Khamsehchiyan et al, 2007):

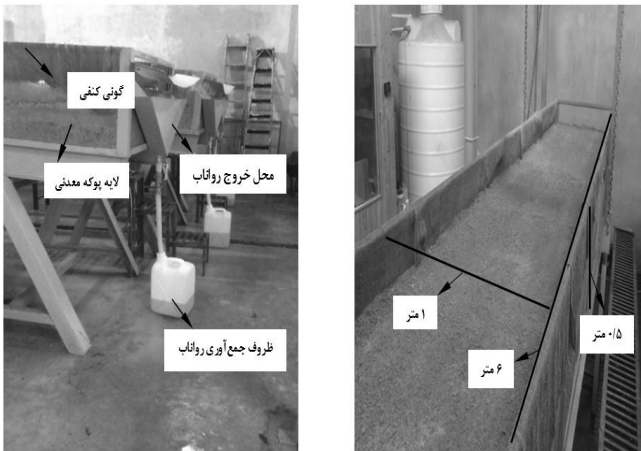
کنترل دقت آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های دقیق فرایندها (Sadeghi, 2010). پژوهش‌های زیادی در زمینه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، از جمله بافت خاک و رطوبت پیشین و درصد ماده آلی بر تولید رواناب و ایجاد فرسایش خاک با استفاده از شبیه‌سازهای باران، انجام شده است (Vahabi and Nikkami, 2008; Khaledi Darvishan, 2013). لیکن تا کنون تأثیر آلاینده‌های نفتی بر هدررفت خاک بررسی نشده است. اهمیت مطالعه این موضوع در کشور از آنجا دوچندان می‌شود که ایران کشوری نفت‌خیز است و گستره بزرگی از آن تحت تأثیر صنایع نفتی قرار دارد. با این حال، اطلاعاتی بسیار اندک درباره تأثیر آلاینده‌های نفتی موجود در خاک بر فرایند نفوذ آب به خاک وجود دارد؛ در حالی که این اطلاعات نقشی مهم در کنترل تولید رواناب و فرسایش خاک و اقدامات مدیریتی مناسب

این پژوهش در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران مجهز به سه کرت زهکش‌دار، هر یک به ابعاد ۰,۵×۱×۶ متر، با قابلیت تنظیم شیب از ۰ تا ۴۵ درصد، و سامانه بارش با نازل‌های تحت فشار انجام شد. برای زهکشی آب‌های نفوذیافته از یک لایه صفحه مشبک فلزی در کف کرت‌های آزمایش استفاده شد. برای خروج بهتر آب یک لایه پوکه معدنی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر کف کرت‌ها قرار داده شد. برای افزایش اصطکاک و جلوگیری از ایجاد جریان ترجیحی در کناره‌های کرت و خاک یک لایه گونی کفنی به منزله لایه جداکننده پوکه‌های معدنی و خاک قرار گرفت که ادامه آن تا جداره‌های کرت را پوشش می‌داد. شیب ۵ درصد برای تنظیم شیب طولی کرت‌ها انتخاب شد. سپس، خاک در کل کرت به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پخش و با استفاده از تعداد مناسب حرکت رفت‌وبرگشت غلتک روی خاک فشردگی نمونه‌ها تا رسیدن به جرم ویژه ظاهری نمونه دست‌نخورده انجام شد. شکل ۱ نمایی از کرت استفاده‌شده در پژوهش را نشان می‌دهد.

در این پژوهش یک تیمار شاهد و دو تیمار آزمایشی نفت سفید<sup>۱</sup> و گازوییل<sup>۲</sup> با دو غلظت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با سه تکرار تعیین شدند. نفت سفید یا نفت چراغ

1. Kerosene  
2. Gas Oil

مشخص ثبت شد. گفتنی است برای انجام دادن همه تیمارها خاک درون کرت‌ها، بعد از هر بار آزمایش، تعویض می‌شد.



شکل ۱. اجزای مختلف کرت‌های آزمایشی و شیوه قرارگیری لایه زهکش و خاک

پس از اندازه‌گیری و ثبت داده‌های حاصل از نمونه‌برداری، بانک اطلاعات داده‌ها تشکیل شد. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری، از نرم‌افزار SPSS 21 استفاده شد. پیش از انجام دادن آزمون‌های آماری، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف<sup>۲</sup> و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون<sup>۳</sup> بررسی شد. آن‌گاه از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه<sup>۴</sup> برای بررسی اختلاف معناداری بین تیمارها استفاده شد. در صورت معنادار بودن اختلاف میانگین‌ها، مقایسه آن‌ها با آزمون دانکن<sup>۵</sup> صورت گرفت.

## یافته‌ها و بحث

### زمان آغاز رواناب و تغییرات زمانی آن

به منظور بررسی تولید رواناب در خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل، کرت‌های آزمایشی با توجه به روش کار آماده و رخدادهای بارندگی اعمال شد. دامنه تغییرات زمان آغاز رواناب در تیمارهای مورد بررسی به ترتیب از ۱۲۰ تا ۲۸۰ ثانیه بود. در تیمارهای آلوده به ترکیبات نفتی، بدون توجه به نوع و غلظت آلاینده، زمان آغاز رواناب نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. به عبارت دیگر، آلودگی خاک باعث کاهش مدت زمان سپری شده از آغاز بارندگی تا آغاز رواناب و آب‌گرفتگی سطح خاک شد. نتایج تحلیل واریانس در جدول ۴ بیانگر آن است که اثر آلاینده‌ها بر کاهش زمان آغاز رواناب نسبت به کرت شاهد

$$\% w = (1 + mn) \frac{W_t}{W_d} - (1 + n) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$w$  درصد رطوبت،  $m$  درصد ترکیب نفتی باقی‌مانده در خاک پس از خشک‌شدن نمونه،  $n$  درصد نفت اضافه‌شده به خاک پیش از خشک‌شدن نمونه،  $W_t$  وزن نمونه آلوده در حالت مرطوب، و  $W_d$  وزن نمونه آلوده در حالت خشک است.

برای اندازه‌گیری آب‌گریزی ایجادشده بر اثر حضور ترکیبات نفتی در خاک از روش WDPT<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش، یک قطره آب با قطره‌چکان روی سطح خاک قرار می‌گیرد و زمان نفوذ کامل قطره آب در خاک ثبت می‌شود (Dekker et al, 2009). همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، خاک‌ها بر اساس پایه مدت زمان لازم برای نفوذ قطره آب به خاک به هفت گروه طبقه‌بندی می‌شوند. آن‌گاه، پس از اسپری کردن آلاینده‌ها، سطح کرت‌ها به منظور جلوگیری از تبخیر احتمالی ترکیبات نفتی با یک لایه پلاستیک تیره‌رنگ پوشانده شدند. پس از ۴۸ ساعت از زمان اسپری کردن آلاینده‌ها، با توجه به داده‌های ایستگاه سینوپتیک نزدیک منطقه جمع‌آوری نمونه‌های خاک، شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت با تداوم بارش ۳۰ دقیقه روی کرت‌ها اجرا شد. گفتنی است پیش از اجرای هر آزمایش شدت بارندگی با دقت تنظیم می‌شد.

جدول ۳. طبقه‌بندی شدت آب‌گریزی خاک‌ها بر اساس زمان نفوذ قطره آب به خاک (Dekker et al, 2009)

زمان نفوذ قطره آب	گروه
۰ - ۵ ثانیه	۱
۵ - ۶۰ ثانیه	۲
۶۰ - ۶۰۰ ثانیه	۳
۶۰۰ - ۳۶۰۰ ثانیه	۴
۳ - ۶ ساعت	۵
۶ - ۳۰ ساعت	۶

زمان ظهور اولین قطره‌های رواناب در سرریز کرت‌ها یادداشت شد. سپس نمونه‌های رواناب خروجی کرت‌ها به صورت سه گام زمانی دودقیقه‌ای پس از شروع رواناب، سه گام زمانی سه‌دقیقه‌ای، و سه گام زمانی پنج‌دقیقه‌ای تا پایان زمان بارش سه‌دقیقه‌ای در ظرف‌های پلاستیکی گردآوری و با استفاده از استوانه مدرج حجم رواناب خروجی در هر گام زمانی اندازه‌گیری شد. مقدار آب زهکشی شده طی زمان بارندگی بسیار ناچیز بود؛ به طوری که با توجه به سطح کرت‌های آزمایش‌شده به صورت قطره‌هایی اندک مشاهده شد. بنابراین، در مدت زمان آزمایش آب زهکشی، صفر در نظر گرفته شد. متغیرهای زمان آغاز رواناب (ثانیه)، حجم رواناب در هر یک از گام‌های زمانی و مجموع رواناب خروجی از سطح کرت‌ها در گام‌های زمانی

2. Kolmogorov-Smirnov Test  
3. Levene  
4. One-Way ANOVA  
5. Duncan Test

1. Water Drop Penetration Time

نتایج آزمایش Al-Sanad *et al* (1995) نیز نشان داد غلظت آلاینده‌ها بیشتر از نوع آلاینده در تغییر نفوذپذیری خاک نقش دارد. بنابراین، در خاک بررسی شده با افزایش غلظت آلاینده‌ها در خاک خاصیت آب‌گریزی اثرپذیری کمتری نسبت به نوع آلاینده نشان داد.

با توجه به رابطه مستقیم بین شدت آب‌گریزی و کاهش زمان آب‌گرفتگی سطح خاک، بیشتر بودن شدت آب‌گریزی در تیمار گازوییل ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به تیمار نفت سفید با غلظت مشابه تأثیری چشمگیر بر کاهش زمان آغاز رواناب نداشت. بنابراین، احتمالاً تغییر ناگهانی رطوبت خاک و شدت بارش در لحظه نخستین بارندگی باعث تغییر لحظه‌ای در خاصیت آب‌گریزی خاک می‌شود. در نتیجه هر دو نوع آلاینده در غلظت مشابه نقشی مشابه در زمان آغاز رواناب نشان دادند.

نتایج ارائه شده در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد حجم رواناب تولید شده در هر گام زمانی به گونه‌ای معنادار تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار می‌گیرد. همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۴ الف می‌آید، با گذشت زمان از شروع بارش، تولید رواناب در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. لیکن شدت این افزایش در گام‌های نخستین نسبت به گام‌های پایانی در برخی تیمارها مشابه نیست؛ به طوری که در تیمارهای با غلظت ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آلاینده حجم رواناب تولید شده در گام‌های نخست و دوم حدود چهار برابر بیشتر از شاهد بود و با ادامه بارش، در گام‌های پایانی آزمایش، شدت افزایش رواناب حدود دو و نیم برابر شاهد شد. بنابراین، در خاک‌های با غلظت بیشتر آلاینده در دقایق اولیه بارش، رواناب با شدت بسیار بیشتری نسبت به خاک غیر آلوده تولید می‌شود. بدین ترتیب، می‌توان دریافت که در زمان‌های نخستین بارش، که رطوبت خاک کمتر است، آب‌گریزی خاک نقشی مهم‌تر در افزایش رواناب دارد؛ حال آنکه با افزایش رطوبت خاک طی بارش تأثیر آب‌گریزی بر تولید رواناب کمتر می‌شود. گفتنی است، با توجه به ناچیز بودن مقدار آب زهکشی شده، به نظر نمی‌رسد از مواد نفتی چیزی آبشویی شده باشد که تأثیر چشمگیری بر تغییر آب‌گریزی خاک داشته باشد. لیکن، در تیمارهای با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آلاینده شدت تولید رواناب طی بارش تقریباً یکنواخت بود؛ به گونه‌ای که افزایش رواناب در گام‌های نخستین و پایانی بارش حدود یک و نیم تا دو برابر شاهد بود.

شکل‌های ۲ و ۴ الف نشان می‌دهند که رواناب در همه تیمارهای بررسی شده، با افزایش غلظت آلاینده، به طور معنادار افزایش یافته است؛ به طوری که بیشترین حجم رواناب در هر گام زمانی مربوط به تیمار ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

معنادار است. شکل ۲ نشان می‌دهد کمترین زمان آغاز رواناب مربوط به تیمار گازوییل با غلظت ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است؛ به گونه‌ای که زمان آغاز رواناب در این تیمار تقریباً نصف مدت زمان لازم برای کورت شاهد است. افزون بر این، تیمار مذکور اختلافی معنادار با سایر تیمارها، به جز تیمار نفت سفید با غلظت مشابه، دارد. بنابراین، مقایسه میانگین گروه‌ها نشان می‌دهد تیمارهای با سطوح یکسان آلاینده تفاوتی معنادار با هم ندارند (شکل ۲). با توجه به میانگین‌های مشاهده شده می‌توان گفت غلظت آلاینده در مقایسه با نوع آلاینده بر کاهش زمان آغاز رواناب مؤثرتر است. بنابراین، اختلاف مشاهده شده بین انواع آلاینده‌ها معنادار نیست. به عبارت دیگر، اگرچه زمان آغاز رواناب در تیمار ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گازوییل کمتر از تیمار نفت سفید با همین غلظت بود، تفاوتی معنادار نداشت. نمود تفاوت معنادار بین آلاینده‌ها می‌تواند ناشی از اثرپذیری کمتر زمان آغاز رواناب از نوع آلاینده باشد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج آزمایش Nouri *et al* (2012) در زمینه نگاهداشت کمتر نفت سفید نسبت به آب در خاک مطابقت دارد. بنابراین، قابلیت نگاهداشت و جذب سطحی یک آلاینده، صرف‌نظر از نوع خاک، به ویژگی‌های خود آلاینده، مانند حلالیت و فراریت و گرانروی، بستگی دارد. نتایج این پژوهش نیز ضمن تأیید تأثیر ترکیبات نفتی بر کاهش نفوذپذیری خاک‌ها و زمان آغاز رواناب نشان داد مقدار ترکیبات نفتی حتی در مقادیر کم نقشی مؤثر در تسریع زمان آغاز رواناب دارد و وابستگی زیادی به نوع ترکیبات نفتی ندارد.

با توجه به اینکه سطوح ذرات خاک طبیعی معمولاً به مرطوب شدن تمایل دارند و در برخورد با قطره‌های آب یک زاویه تند تشکیل می‌دهند، آب سریع با خاصیت مویبندی جذب می‌شود. از طرف دیگر، زاویه خیس‌شدگی آب با سطوح ذرات خاک، که با یک لایه آب‌گریز، مانند ترکیبات نفتی، پوشیده شده باشند، باز است. در این شرایط دفع مویبندی ایجاد می‌شود و جلو ورود آب گرفته می‌شود که به ایجاد خاصیت آب‌گریزی و تولید رواناب می‌انجامد. پس با توجه به اینکه خاصیت آب‌گریزی یکی از عوامل مؤثر بر نفوذپذیری خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی است، شدت آب‌گریزی تیمارها مطابق روش شرح داده شده اندازه‌گیری شد. بررسی نتایج این آزمایش (WDPT) بیشتر بودن اثر آلاینده‌های با غلظت بالا را بر خاصیت آب‌گریزی خاک نشان داد. در تیمارهای با غلظت پایین آلاینده، برخلاف تیمارهای با غلظت بیشتر آلاینده، مدت زمان لازم برای نفوذ قطره‌های آب به خاک در تیمار گازوییل بیشتر از نفت سفید بود. به عبارت دیگر، در تیمارهای با سطوح بیشتر آلاینده هر دو ترکیب نفتی تأثیر نسبتاً مشابهی بر آب‌گریزی خاک داشتند. در همین زمینه

یادشده معنادار نبود (شکل ۲). بنابراین، مقدار زیاد آلاینده در خاک سبب بروز رفتار نسبتاً مشابه در خاصیت آب‌گریزی و نفوذپذیری خاک می‌شود.

#### حجم کل رواناب خروجی و ضریب رواناب

شکل‌های ۳ الف و ۴ ب نتایج اندازه‌گیری کل رواناب خروجی در تیمارهای آزمایشی را نشان می‌دهند. بر پایه جدول ۴، اختلاف مقادیر رواناب تجمعی همه تیمارها با شاهد معنادار است. دامنه تغییرات کل رواناب خروجی از کرت‌های آزمایشی در مدت زمان ۳۰ دقیقه بارندگی در تیمارهای بررسی شده از ۱۸۵۰۰ تا ۷۰۷۰۰ میلی‌لیتر بود. نتایج ارائه شده در شکل ۳ الف و جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد افزایش غلظت ترکیبات نفتی نیز باعث افزایشی معنادار در کل حجم رواناب می‌شود؛ به طوری که به ترتیب در تیمارهای شاهد، نفت سفید K1، گازوییل G1، نفت سفید K2، و گازوییل G2 کل رواناب خروجی افزایش یافته است.

گازوییل است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد رواناب خروجی از کرت‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک فقط در سه گام متوالی نخست و سه گام متوالی پایانی اختلاف معنادار با هم دارند. بنابراین، با توجه به نتایج اشاره شده درباره خاصیت آب‌گریزی، دلیل اصلی تفاوت گام‌های یادشده تفاوت در ویژگی آب‌گریزی خاک است. اگرچه در تیمارهای مذکور حجم رواناب تولیدشده در گام‌های زمانی چهارم و پنجم و ششم در تیمار گازوییل بیشتر از تیمار نفت سفید با همین غلظت بود، اختلاف مشاهده شده از نظر آماری معنادار نبود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با گذشت زمان از آغاز بارش احتمال تغییر در خاصیت آب‌گریزی وجود دارد.

تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان می‌دهد اختلافی معنادار بین مقدار رواناب حاصل از خاک‌های آلوده به نفت سفید و گازوییل به اندازه ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در گام‌های زمانی چهارم، پنجم، ششم و آخر وجود دارد. حال آنکه در زمان‌های نخست و پایانی بارش، به‌رغم بیشتر بودن حجم رواناب در تیمار گازوییل نسبت به تیمار نفت سفید، اختلاف

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر آلاینده‌های نفتی بر متغیرهای حجم رواناب در گام‌های زمانی مختلف، کل حجم رواناب، زمان آغاز رواناب، و ضریب رواناب میانگین مربعات

حجم رواناب خروجی در هر گام زمانی (میلی‌لیتر)									منابع تغییرات درجه آزادی	
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۱۰۸۷۲۲۲ <sup>ns</sup>	۹۰۵۵۵ <sup>ns</sup>	۱۳۵۰۰۰ <sup>ns</sup>	۸۱۵۵۵۵ <sup>ns</sup>	۳۶۲۶۳۸ <sup>ns</sup>	۹۳۸۸۸ <sup>ns</sup>	۲۴۸۸۸۸ <sup>ns</sup>	۷۶۴۲۲ <sup>ns</sup>	۱۶۲۲۲۲ <sup>ns</sup>	۲	تکرار
۴۶۹۱۰۶۹۴	۳۹۱۱۰۶۹۴	۴۴۳۵۴۵۸۳	۱۶۸۶۹۴۴۴	۱۵۶۷۸۵۰۶	۱۳۰۷۲۳۶۱	۷۶۹۵۶۹۴	۵۰۱۶۷۱۱	۴۵۶۳۶۱۱	۴	آلاینده
۱۲۶۶۹۴۴۴	۱۰۵۴۴۱۱۱	۱۱۹۲۹۰۰۰	۴۵۵۳۳۳۳	۴۲۲۲۰۲۷	۳۵۰۱۰۰۰	۲۰۹۵۸۸۸	۱۴۰۰۷۹۱	۱۲۳۲۸۸۸	۱۱	خطا
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۷	کل
۱۳۵۰٫۵	۱۳۷۷٫۶	۱۸۰٫۲	۱۰۳۴٫۱	۱۰۱۳	۹۵۷٫۱	۷۴۳٫۱	۵۹۲٫۲	۶۰٫۱	-	ضریب تغییرات

ns غیر معنادار در سطح ۰٫۰۵

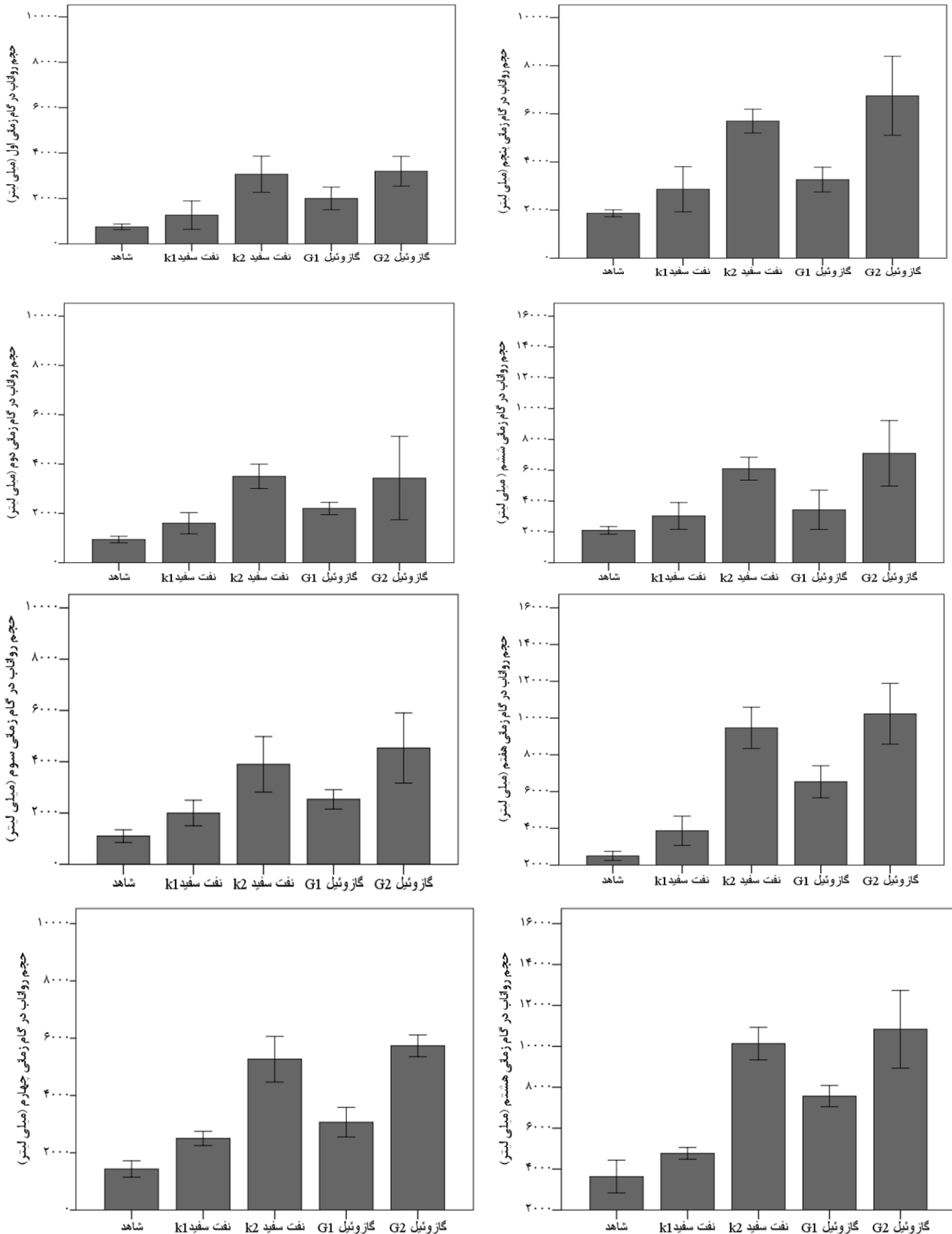
#### ادامه جدول ۴

میانگین مربعات				منابع تغییرات	
ضریب رواناب	شروع رواناب (میلی‌لیتر)	رواناب تجمعی (میلی‌لیتر)	درجه آزادی		
۱۸ <sup>ns</sup>	۴۱۱ <sup>ns</sup>	۱۹۳۴۰۱۱۶ <sup>ns</sup>	۲	تکرار	
۱۳۳۲	۱۰۴۷۴	۱۴۶۹۰۶۹۵۷۵	۴	آلاینده	
۳۵۷	۲۹۳۴	۱۹۳۴۰۱۱۶	۱۱	خطا	
-	-	-	۱۷	کل	
۸٫۶	۱۳٫۲۰	۹۱۱۰٫۶	-	ضریب تغییرات	

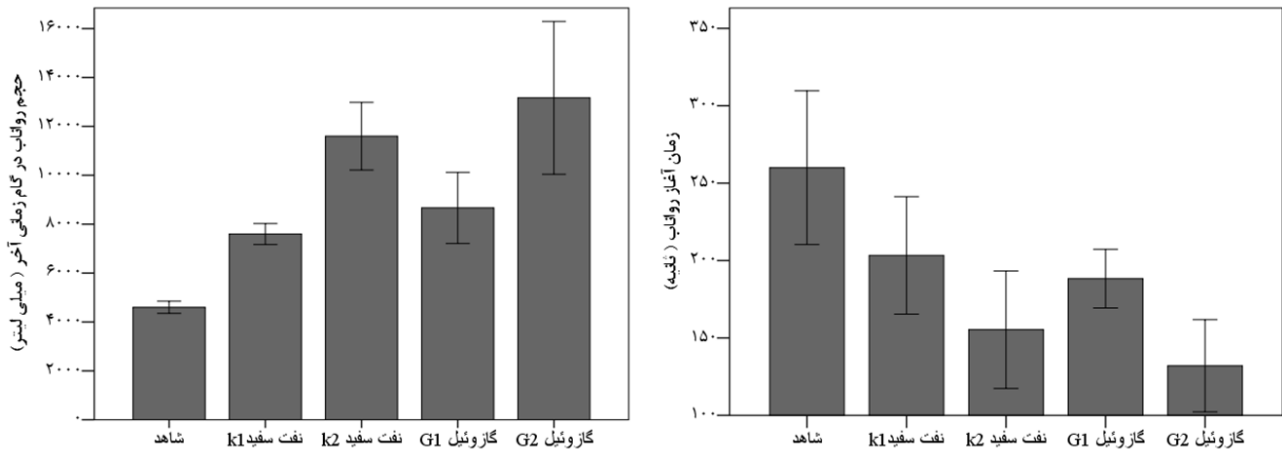
ns غیر معنادار در سطح ۰٫۰۵

مشاهده‌شده در غلظت کمتر آلاینده‌ها بیشتر بود. با توجه به نتایج یادشده، احتمالاً تفاوت خاصیت آب‌گریزی خاک‌ها سبب بروز این تفاوت می‌شود.

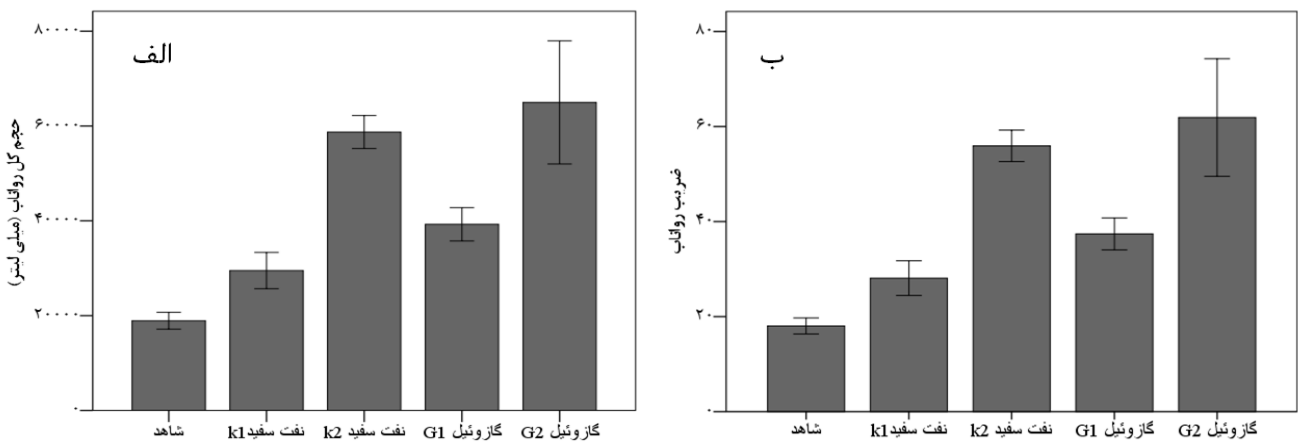
مقایسه نمودارها نشان می‌دهد رواناب تجمعی حاصل خاک‌های آلوده به گازوییل در هر دو غلظت با اختلافی معنادار بیشتر از خاک‌های آلوده به نفت سفید است. البته اختلاف



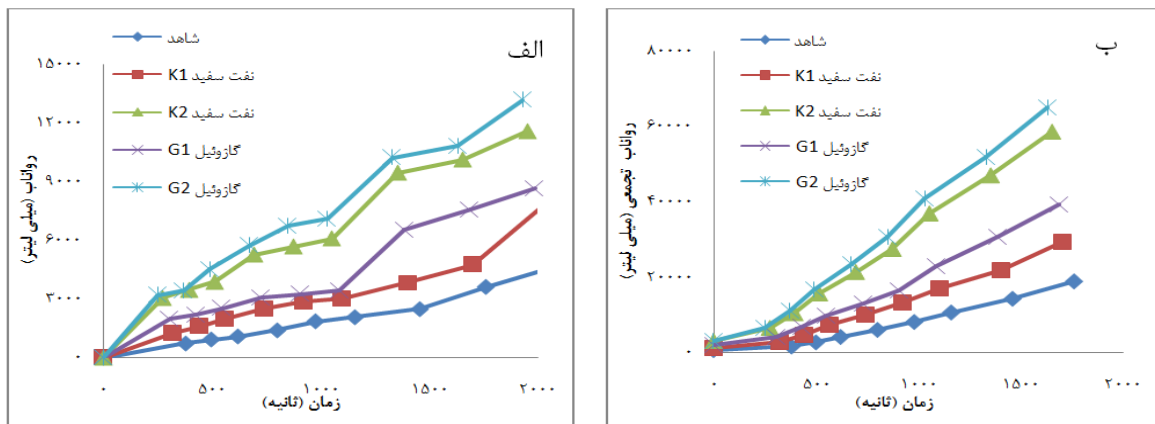
شکل ۲. اثر نفت سفید و گازوییل بر تغییرات حجم رواناب در گام‌های زمانی اول تا هشتم



ادامه شکل ۲. اثر نفت سفید و گازوئیل بر تغییرات حجم رواناب در گام زمانی آخر و زمان آغاز رواناب



شکل ۳. اثر نفت سفید و گازوئیل بر (الف) رواناب تجمعی و (ب) ضریب رواناب



شکل ۴. تغییرات (الف) حجم رواناب و (ب) رواناب تجمعی طی زمان بارندگی در تیمارهای مختلف برای شدت بارندگی ۳۵ میلی متر بر ساعت

نسبت به کرت شاهد شدند. نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل ۳ ب نیز نشان می‌دهد که با افزایش غلظت هر دو نوع آلاینده ضریب رواناب به طور معنادار افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش ضریب رواناب مشابه رواناب تجمعی و برخلاف زمان آغاز رواناب در هر دو غلظت آلاینده به نوع آلاینده وابسته است و اختلافی معنادار بین نوع آلاینده‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر، برخلاف آنکه زمان آغاز رواناب تحت تأثیر نوع آلاینده نیست،

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر آلاینده‌ها بر افزایش ضریب رواناب نسبت به کرت شاهد معنادار است؛ به گونه‌ای که دامنه تغییرات آن از ۱۷٫۶ تا ۶۷٫۳ درصد بود (جدول ۴). با در نظر گرفتن داده‌های حاصل از آزمایش می‌توان گفت بیشترین ضریب رواناب در هر دو تیمار گازوئیل و نفت سفید با غلظت ۲۰۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد؛ به گونه‌ای که به ترتیب باعث افزایش حدود ۳ و ۳٫۵ درصد ضریب رواناب



طوری که آب به سمت مرکز این منافذ جریان می‌یابد. بدین ترتیب، نفوذپذیری آب در این منافذ افزایش می‌یابد. بنابراین، نفوذپذیری بیشتر آب در خاک‌های آلوده به نفت سفید در مقایسه با گازوییل احتمالاً به علت تأثیر ترکیبات قطبی موجود در نفت سفید بر شرایط خیس‌شوندگی منافذ خاک است؛ به طوری که بیشتر منافذ بزرگ خاک، به‌رغم حضور نفت سفید، همچنان قابلیت زیادی برای عبور آب از خود نشان می‌دهند.

#### نتیجه‌گیری

آلودگی خاک به نفت سفید و گازوییل موجب افزایش آب‌گریزی خاک و کاهش نفوذپذیری و به دنبال آن افزایش تولید رواناب در مقایسه با خاک‌های غیر آلوده می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد بین حجم رواناب و زمان آغاز رواناب رابطه عکس وجود دارد؛ به گونه‌ای که با کاهش زمان آغاز رواناب حجم رواناب افزایش می‌یابد. ویژگی‌های متفاوت نفت سفید و گازوییل فقط در غلظت‌های کم تأثیری متفاوت بر تغییر نفوذپذیری خاک دارند. بدین مفهوم که افزایش غلظت آلاینده نسبت به نوع آلاینده بر نفوذپذیری خاک مؤثرتر است. به عبارت دیگر، بیشتر بودن خاصیت آب‌گریزی خاک‌ها در حضور گازوییل فقط در مقادیر کم این ترکیب باعث افزایش تولید رواناب و سایر متغیرها در مقایسه با حضور نفت سفید می‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که هرچند حضور گازوییل در خاک باعث افزایش رواناب و کاهش نفوذپذیری خاک نسبت به نفت سفید می‌شود، تأثیر مذکور در غلظت‌های بیشتر آلاینده از لحاظ آماری معنادار نیست. البته نتایج بررسی رواناب تجمعی و ضریب رواناب در تیمارها نشان داد، برخلاف زمان آغاز رواناب، اختلافی معنادار بین تیمارهای با سطح بالای آلاینده وجود دارد. تغییر رطوبت خاک و گذشت زمان باعث تغییر در خاصیت آب‌گریزی خاک می‌شود و همین شرایط به تغییر در نفوذپذیری خاک می‌انجامد.

ضریب رواناب حاصل از ۳۰ دقیقه بارش در تیمارهای با سطوح یکسان آلاینده تفاوتی معنادار با یکدیگر نشان دادند. بنابراین، می‌توان گفت احتمالاً طی مدت بارش آلاینده‌های متفاوت تأثیری همسان بر نفوذپذیری خاک یا تولید رواناب ندارند. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که به دنبال نفوذ آب باران به خاک و تغییر رطوبت خاک طی بارش خاصیت آب‌گریزی خاک‌ها تغییر می‌یابد. این تغییر مقدار ضریب رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین تفاوتی معنادار بین ضرایب رواناب تیمارهای ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گازوییل و نفت سفید مشاهده شد. دلیل این امر ننگه‌داشت بیشتر گازوییل نسبت به نفت سفید بود که احتمالاً به دلیل تفاوت در فرم ساختمانی و تعداد زنجیره کربنی آن‌هاست. ترکیبات قابل حل و فرار گازوییل هنگامی که هوازده می‌شود کمتر و ننگه‌داشت آن بیشتر می‌شود (Abdallah et al, 2007).

تفاوت بین تیمارهای آلوده به گازوییل و نفت سفید ممکن است به علت وجود ترکیبات قطبی (غیر هیدروکربنی) موجود در نفت سفید باشد. این ترکیبات قطبی هر دو خصوصیات آب‌دوست و آب‌گریز بودن را دارند که باعث افزایش خاصیت آب‌گریزی سطوح ذرات خاک می‌شوند. در بخش‌هایی که سطوح ذرات خاک به طور کامل با لایه‌ای از آب پوشیده شده‌اند ترکیبات نفتی نمی‌توانند به سطح ذرات خاک بچسبند و تمایل سطوح ذرات خاک را برای جذب ترکیبات نفتی تغییر دهند؛ اما در بخش‌هایی که با لایه نازکی از آب پوشیده شده‌اند یا ضخامت لایه آب روی سطوح ذرات کاهش یافته است، امکان تغییر خاصیت خیس‌شدگی وجود دارد (Abdallah et al, 2007).

بنابراین، سطوح منافذ بزرگ با ترکیبات نفتی و سطوح منافذ کوچک و فاصله بین منافذ، که فضای کوچکی است، با آب خیس می‌شوند. هنگامی که برخی منافذ بزرگ با ترکیبات نفتی خیس می‌شوند موقعیت آب و ترکیبات نفتی عوض می‌شود؛ به

#### REFERENCES

- Abdallah, W., Buckley, J. S., Carnegie, A., Edwards, J., Herold, B., Fordham, E., Graue, A., Habashy, T., Zelezenev, N., Signer, C., Hussien, H., Montaron, B., and Ziauddin, M. (2007). Fundamentals of wettability. *Oilfield Review*, 19(2), 44-61.
- Alsanad, H. A., Eid, W. K., and Ismail, N. F. (1995). Geotechnical properties of oil contaminated Kuwait Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121, 407-412.
- Arabi, Z., Homaei, M., and Asadi, M. E. (2011). Comparison effects of citric acid and synthetic chelators in enhancing phytoremediation of Cadmium. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 14(54), 85-95. (In Farsi)
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A. R., Nouri, J., Homaei, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., and Mahdavi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 83-89.
- Babaeian, E. and Homaei, M. (2011). Enhancing Lead phytoextraction of land Creaa (*Barbara verna*) using aminopolycarboxylic acids. *Journal of Water and Soil*, 24(6), 1142-1150. (In Farsi)

- Bahat, Y., Grodek, T., Lekach, J., and Morin, E. (2009). Rainfall-runoff modeling in a small hyper-arid catchment. *Journal of Hydrology*, 373, 204-217.
- Boughton, W. (2006). Calibrations of a daily rainfall-runoff model with poor quality data. *Environmental Modelling and Software*, 21, 1114-1128.
- Castillo, V. M., Gomez-Plaza, A., and Martinez-Mena, m. (2003). The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*, 284, 114-130.
- Davari, M., Homae, M., and Khodaverdiloo, H. (2010). Modeling phytoremediation of Ni and Cd from contaminated soils using macroscopic transpiration reduction functions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 14(52), 75- 85. (In Farsi)
- Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie, K., Moore, D., and Wesseling, J. G. (2009). Methods for determining soil water repellency on field- moist samples. *Water Resource Research*, 45 (4), 1-6.
- Fabiatti, G., Biasioli, M., Barberis, R., and Ajmone-Marsan, F. (2010). Soil contamination by organic and inorganic pollutants at the regional scale: the case of Piedmont, Italy. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 290- 300.
- Gomez, J. A., Sobrinho, T. A., Giraldez, J. V., and Fereres, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102, 5-13.
- Habib- ur- Rahman, S. N., Abduljauwad and Akram, T. (2007). Geotechnical behavior of oil-contaminated fine grained soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 12, 1-1.
- Hunt, J. R., Sitar, N., and Udell, K. S. (1988). Nonaqueous phase liquid transport and cleanup: 1. Analysis of mechanisms. *Water Resources Research*, 24(8), 1247-1258.
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., and Sayyad, Gh. A. (2011). Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. *Soil and Sediment Contamination Journal*, 20(1), 93-99.
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., Sayyad, Gh. A., and Baybordi, M. (2012). Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(2), 149-164. (In Farsi)
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., Sayyad, Gh. A., and Baybordi, M. (2013a). Cadmium spatial variability of soil and grain wheat farms of Khuzestan province. *Cereal Research*, 3(3), 227-237. (In Farsi)
- Jafarnejadi, A. R., Sayyad, Gh. A., Homae, M., and Davamei, A. H. (2013b). Spatial variability of soil total and DTPA-extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation, and soil characteristics. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 4087-4096.
- Karami, A., Homae, M., Neyshabouri, M. R., Afzalnia, S., and Basirat, S. (2012). Large scale evaluation of single storm and short/long term erosivity index models. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36, 207-216.
- Kaya, A. and Fang, H. (2005). Experimental evidence of reduction in attractive and repulsive forces between clay particles permeated with organic liquids. *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 632-640.
- Kechavarzi, C., Soga, K., and Illangasekare, T. H. (2005). Two-dimensional laboratory simulation of LNAPL infiltration and redistribution in the vadose zone. *Journal of Contamination Hydrology*, 76, 211-233.
- Khaledi Darvishan, A. V. (2013). Simulation of runoff generation and soil erosion processes in different antecedent soil moisture contents. Ph. D. dissertation, University of Tarbiat Modares, Tehran.
- Khamehchiyan, M., Charkhabi, A. H., and Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89, 220-229.
- Khodaverdiloo, H. and Homae, M. (2008). Modeling of cadmium and lead phytoextraction from contaminated soils. *Polish Journal of Soil Science*, XLI(2), 149-162.
- Lorincz, J. (1984). Effect of infiltrating hydrocarbons on the soil shear strength. In: *Proceedings of 6th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Budapest, Hungary, 175-181.
- Martinez, J. R. F., Zuazo, V. H. D., and Raya, A. M. (2006). Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of Total Environment*, 358, 46-60.
- McGrath, S. P., Zhao, F. J., and Lombi, E. (2001). Plant and rhizosphere process involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant and Soil*, 232(1/2), 207-214.
- Nouri, M., Homae, M., and Baybordi, M. (2012). Parametric assesment of soil hydraulic function at presence of Kerosene contaminant. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(1), 37-47. (In Farsi)
- Nouri, M., Homae, M., and Baybordi, M. (2013). Parametric assesment of soil retention at presence of petroleum in three-phase system. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(2), 15-24. (In Farsi)
- Nouri, M., Homae, M., and Baybordi, M. (2014a). Assesment of soil hydraulic properties at presence of Diesel fuel in two-phase system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(4), 372-365. (In Farsi)
- Nouri, M., Homae, M., and Baybordi, M. (2014b). Comparing petroleum and water hydraulic properties in soil. *Journal of Science and*

- Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 17(66), 123-134. (In Farsi)
- Nouri, M., Homaei, M., and Baybordi, M. (2014c). Quantitative assessment of LNAPLs retention in soil porous media. *Soil and Sediment Contamination*, 23, 801-819.
- Panahpoor, E., Afyuni, M., Homaei, M., and Hoodaji, M. (2008). Cd, Cr, and Co motion in soil treated with sewage sludge and salts of the metals and their uptake by vegetable crops A case study in East Isfahan. *Water and Wastewater Consulting Engineers Research Development*, 1387(67), 9-17. (In Farsi)
- Rajurkar, M. P., Kothiyari, U. C., and Chaube, U. C. (2004). Modeling of the daily rainfall-runoff relationship with artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 285, 96-113.
- Ruiz Sinoga, J. D., Romero Diaz, A., FerreBueno, E. and Martinez Murillo, J. F. (2010). The role of soil surface condition in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain), soil surface condition, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena*, 80, 131-139.
- Sadeghi, S. H. R. (2010). *Study and measurement of water erosion* (1st ed). Tehran: Tarbiat Modares University.
- Schalscha, E. and Ahumada, I. (1998). Heavy metals in rivers and soils of central Chile. *Water Science and Technology*, 37(8), 251-255.
- Schwab, G. O., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., and Frevert, R. K. (1993). *Soil and water conservation engineering*. New York: Wiley.
- Seeger, M. (2007). Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71, 56-67.
- Vahabi, J. and Nikkami, D. (2008). Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*, 23, 375-385.
- Wei, L., Zhang, B., and Wang, M. (2007). Effect of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural Water Management*, 94, 54-62.