



## اثر آلاینده‌های نفتی بر خاصیت واگرایی و مقاومت برشی خاک‌های رسی واگرا

هوتن خبازی، محمود حسنلوراد\*

دانشکده فنی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۷ دی ۱۳۹۴  
بازنگری: ۱۱ مرداد ۱۳۹۵  
پذیرش: ۹ آبان ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۱۵ آذر ۱۳۹۵

### کلمات کلیدی:

خاک‌های رسی  
واگرایی خاک  
آلاینده‌های نفتی  
آزمایش سوراخ سوزنی

**چکیده:** خاک‌های رسی واگرا خاک‌هایی هستند که دارای درصد زیادی یون سدیم می‌باشند. این خاک‌ها وقتی در معرض تراوش آب قرار می‌گیرند مستعد شسته شدن و فرسایش هستند. در این پژوهش تاثیر نفت‌خام به عنوان یک اثر جنبی آلودگی (احتمالاً مثبت) بر میزان واگرایی خاک پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا خاک به صورت مصنوعی با اضافه نمودن محلول هگزامتافسفات سدیم و آگرا گردیده و سپس تعدادی آزمایش سوراخ سوزنی بر روی نمونه‌های خاک واگرا شده با مقادیر مختلف نفت خام (۱، ۳، ۵ و ۷ درصد) انجام گردید. علاوه بر این، اثر آلاینده نفت خام بر روی مقاومت برشی خاک به کمک آزمایش تک محوری انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که با حضور نفت و افزایش درصد آن و زمان تماس نفت و خاک، واگرایی خاک کاهش می‌یابد بدین صورت که با افزایش تدریجی نفت، خاک کاملاً واگرا به خاک غیر واگرا تبدیل شد. همچنین آزمایش‌های تک محوری نشان داد که ابتدا مقاومت نمونه‌ها تا مقدار نفت ۳٪ افزایش می‌یابد و مقادیر نفت بیشتر باعث کاهش مقاومت خاک شدند.

### ۱- مقدمه

خاک‌های ریزدانه رسی واگرا خاک‌هایی هستند که هرگاه در معرض جریان آب قرار بگیرند، حتی اگر سرعت جریان کم باشد، به سهولت شسته شده و فرسایش می‌یابند. این رس‌ها معمولاً دارای مقادیر بالایی یون سدیم به صوت کاتیون‌های جذبی می‌باشند. اصلی‌ترین مسئله در خاک‌های واگرا مسئله آب‌شستگی‌های داخلی و مشکلات ناشی از آن می‌باشد که به ویژه در سازه‌های آبی مطرح است. این پدیده در بسیاری از سدهای خاکی، خاکریزها، بستر کانال‌ها و سازه‌های آبی که بر روی این خاک‌ها ساخته شده‌اند دیده شده است [۱-۵]. خاک‌های واگرا در انواع مختلف اقلیم‌های آب و هوایی و در مناطق مختلف جهان نظیر استرالیا، برزیل، ایران و ایالات متحده آمریکا به وفور وجود دارند [۶، ۷]. می‌توان واگرایی را عامل فرسایش خاک‌های ریزدانه معرفی نمود و درصد املاح سدیم را مهمترین ویژگی آن دانست. واگرایی دلیل اصلی تخریب سدهای خاکی کوچک طراحی شده توسط سازمان حفاظت خاک امریکا است. محققین تخریب بعضی از سدهای خاکی را در اثر پدیده رگاب با توجه به میزان املاح و جذب سدیم مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که ذرات خاک در آب حل گردیده و شسته شده‌اند [۸].

اصلاح پتانسیل واگرایی خاک‌های رسی نیز همواره مد نظر محققان

بوده است. به عنوان مثال در مطالعه‌ای بر روی یک سد خاکی در هند که خاک‌های واگرا در آن به کار رفته بود، مشکل واگرایی با افزودن ۳٪-۲/۵٪ آهک به طور کامل حل شد [۹]. همچنین مشاهده شد که اصلاح شیمیایی خاک می‌تواند باعث کاهش پتانسیل واگرایی خاک شود [۱۰]. همچنین تاثیر مثبت افزودنی‌هایی مانند سیمان و آهک، پوزولان، منیزیم کلرید ( $MgCl_2$ ) و زاج بر روی واگرایی خاک رس توسط محققین مختلف بررسی شده است [۱۱-۱۴].

اثر آلاینده‌های زیست محیطی مانند گازوئیل و اسیدها بر روی پتانسیل واگرایی نیز از موضوعاتی است که توسط برخی محققین مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵ و ۱۶]. در تحقیق حاضر نیز تاثیر نفت خام به عنوان یک آلاینده زیست محیطی بر میزان واگرایی و مقاومت برشی خاک به کمک آزمایش‌های سوراخ سوزنی و تک محوری بررسی می‌گردد.

### ۲- خاک، مشخصات آن و آزمایش‌های انجام شده

جهت انجام آزمایش‌ها، از خاک رس منطقه آبیگ واقع در استان قزوین استفاده گردید. ابتدا خاک در دمای  $105^{\circ}C$  در کوره خشک و سپس از الک نمره ۴ عبور داده شد. بر روی خاک آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری، وزن مخصوص، حدود اتربرگ و تراکم استاندارد مطابق آیین‌نامه ASTM صورت گرفت [۱۷].

در شکل ۱ منحنی دانه‌بندی، شکل ۲ منحنی تراکم و در جدول ۱

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: hassanlou@eng.ikiu.ac.ir

**جدول ۱: مشخصات فیزیکی خاک**

Table 1. Physical properties of soil

مقدار	مشخصات فیزیکی خاک
۲/۶۵۷	چگالی ذرات خاک ( $g/cm^3$ )
۳۶	حد روانی (%)
۲۰	حد خمیری (%)
۱۶	نشانه خمیری (%)
۱۴/۹	رطوبت بهینه (%)
۱/۸۲	وزن مخصوص خشک حداکثر ( $g/cm^3$ )

**۳- نتایج آزمایش‌ها و بحث**

در ابتدا نتایج آزمایش‌های رده‌بندی واگرایی خاک طبیعی، سپس نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر خاک‌های آغشته به محلول هگزامتافسفات سدیم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پس از انجام آزمایش سوراخ سوزنی بر روی خاک طبیعی مشخص شد که خاک طبیعی مورد مطالعه با مقادیر مختلف نفت در رده ND1 (غیر واگرا) قرار گرفته است، یعنی نفت خاک غیر واگرا را واگرا نمی‌کند. به عنوان نمونه در شکل ۳ کیفیت آب عبوری از نمونه و قطر سوراخ در پایان آزمایش در این حالت نمایش داده شده است.



شکل ۳: کیفیت آب عبوری از نمونه خاک طبیعی با ۱٪ نفت (سمت راست) و قطر سوراخ در پایان آزمایش (سمت چپ)

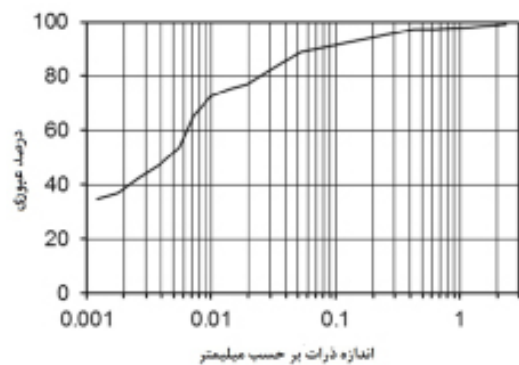
Fig. 3. The water quality discharged from the soil sample having 1% oil (right) and the hole diameter at the end of test (left)

۳-۱- تاثیر محلول هگزامتافسفات سدیم بر میزان واگرایی خاک همان طور که بیان شد جهت واگرا نمودن خاک از پودر هگزامتافسفات سدیم استفاده گردید. محلول هگزا با درصدهای وزنی ۴٪، ۸٪ و ۱۲٪ تهیه شده و به خاک اضافه گردید سپس آزمایش سوراخ سوزنی انجام شد. ملاحظه گردید با اضافه نمودن محلول هگزامتافسفات سدیم، به تدریج خاک به سمت واگرایی پیشرفته و در خاک آغشته به محلول ۱۲٪

مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه آورده شده است. نوع خاک مطابق رده بندی متحده، CL (رس با خاصیت خمیری کم) طبقه بندی شد.

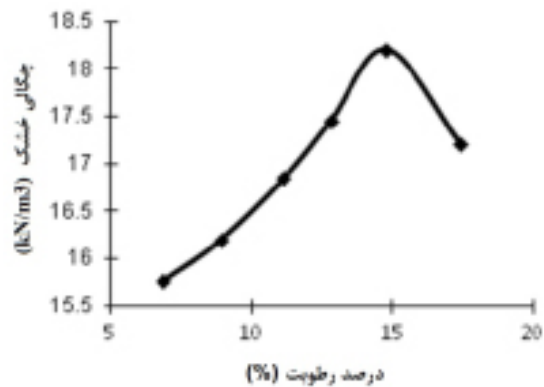
برای تعیین واگرایی نمونه‌ها، آزمایش سوراخ سوزنی بر اساس روش ارایه شده طبق USBR[۱۸] به کار گرفته شد. در این آزمایش، یک سوراخ ۱ mm در نمونه خاک استوانه‌ای کوبیده شده در درصد رطوبت بهینه به طول ۳۸ mm و قطر استوانه آزمایش ایجاد شد. آب مقطر تحت Head ۵۰، ۱۸۰، ۳۸۰ و ۱۰۲۰ از نمونه عبور داده شد. نرخ جریان و کدورت آب خروجی و قطر سوراخ در انتهای آزمایش ثبت شد. با توجه به غیرواگرا بودن خاک طبیعی، جهت واگرا نمودن خاک و بررسی تاثیر نفت بر شدت واگرایی از محلول هگزامتافسفات سدیم (با درصدهای ۴٪، ۸٪ و ۱۲٪) استفاده گردید. نمونه‌های طبیعی غیرواگرای خاک و نمونه‌های واگرا شده مصنوعی خاک آغشته به محلول هگزامتافسفات سدیم با درصدهای مختلف (۰٪، ۱٪، ۳٪، ۵٪ و ۷٪) نفت خام آزمایش شدند. همچنین نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش، به مدت ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز نگهداری شدند.

همچنین برای بررسی اثر آلاینده نفت بر روی مقاومت برشی، ۱۲ آزمایش تک محوری بر روی نمونه‌های خاک واگرا (حاوی ۱۲٪ هگزامتافسفات سدیم) با مقادیر نفت ۱، ۳ و ۵ درصد انجام شد.



شکل ۱: منحنی دانه‌بندی خاک

Fig. 1. Particle size distribution of the used soil



شکل ۲: منحنی تراکم خاک

Fig. 2. The compaction test graph

### ۳-۲- اثر آلاینده نفتی بر میزان واگرایی خاک واگرا

در جدول ۲ نتایج آزمایش‌های سوراخ سوزنی بر روی نمونه‌های دارای مقادیر مختلف نفت با زمان‌های نگهداری متفاوت به صورت خلاصه براساس استاندارد ASTM ارائه شده‌است. با توجه به این جدول می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار نفت و بیشتر شدن زمان نگهداری، از واگرایی خاک کاسته شده و نمونه به سمت غیرواگرا شدن پیش می‌رود. به عنوان مثال نمونه یک روزه با مقدار نفت ۱٪ از حالت بسیار واگرا (D1) به حالت اندکی واگرا (ND4) با مقدار نفت ۵٪ تغییر یافته است. همچنین نمونه‌های با مقدار نفت ۳٪ با واگرایی کم تا متوسط (ND3) در روز اول، در روز ۲۸ اندکی واگرا (ND4) بود.

در شکل‌های ۵ تا ۸ دبی خروجی از نمونه در آزمایش سوراخ سوزنی در برابر زمان تجمعی از ابتدای آزمایش در هدهای مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که از این اشکال مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نفت خام به خاک، میزان دبی عبوری از نمونه‌ها کاهش می‌یابد که نشان دهنده کاهش واگرایی خاک می‌باشد. می‌توان بیان کرد که دبی مربوط به هر هد با بیشتر شدن زمان نگهداری، در حال کاهش می‌باشد که نشان از کاهش واگرایی با زمان نگهداری نمونه خاک است. این نتایج با نتایج تحلیل واگرایی جدول ۲ مطابقت دارند.

می‌توان گفت نفت خام دو اثر متفاوت در خاک رس دارد یکی اثر چسبندگی به خاطر ویسکوزیته و دیگری اثر روغن کاری دانه‌ها. می‌توان گفت از این دو اثر، چسبندگی در کنترل واگرایی موثرتر بوده است. در واقع حضور نفت در بین ذرات باعث کاهش نیروهای دافعه و افزایش نیروهای جاذبه شده و منجر به نزدیک شدن و مجتمع شدن پولک‌های رس می‌گردد.

هگزامتافسفات سدیم خاک کاملاً واگرا گردید. در ادامه جهت بررسی تاثیر نفت بر میزان واگرایی خاک، ۱۶ آزمایش سوراخ سوزنی بر روی خاک آغشته به محلول ۱۲٪ وزنی هگزامتافسفات سدیم صورت پذیرفت.

در شکل ۴ نیز به عنوان نمونه، کیفیت آب خروجی از نمونه و قطر نمونه در پایان آزمایش با مقدار ۱٪ وزنی نفت و آغشته به محلول ۱۲٪ هگزامتافسفات سدیم نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، محلول خروجی از نمونه بسیار کدر بوده و قطر سوراخ بیشتر از ۲ برابر قطر سوراخ در ابتدای آزمایش گردیده است یعنی نمونه کاملاً واگرا است و وجود ۱٪ نفت در خاک تاثیر چندانی در واگرایی آن نداشته است.



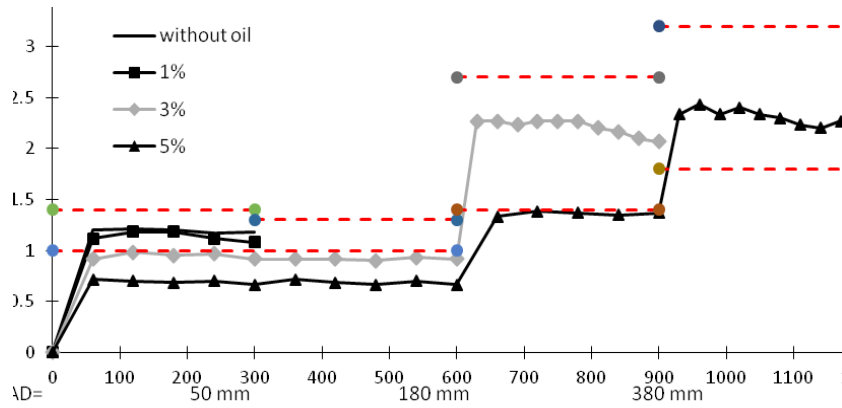
شکل ۴: کیفیت آب خروجی از نمونه و اندازه قطر سوراخ در پایان آزمایش با ۱٪ وزنی نفت و آغشته به محلول ۱۲٪ هگزامتافسفات سدیم

Fig. 4. The discharged water quality and the hole diameter of the soil sample having 1% oil and mixed with 12% sodium-hexa meta phosphate at the end of test

جدول ۲: نتایج آزمایش‌های سوراخ سوزنی بر روی نمونه‌های واگرای دارای آلاینده نفت خام براساس استاندارد ASTM

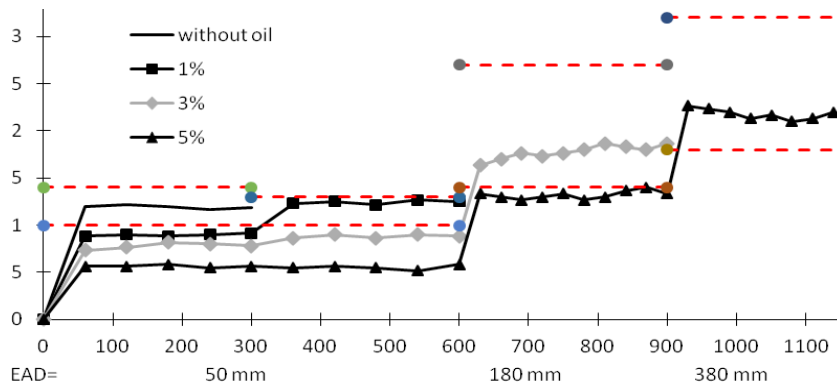
Table 2. Pinhole test results on the dispersive clay soil having oil based on ASTM

۷	۵	۳	۱	درصد جرمی نفت (%)
				زمان عمل آوری (روز)
غیر واگرا (ND2)	اندکی واگرا (ND4)	واگرایی کم تا متوسط (ND3)	بسیار واگرا (D1)	۱
غیر واگرا (ND2)	اندکی واگرا (ND4)	واگرایی کم تا متوسط (ND3)	واگرا (D2)	۷
غیر واگرا (ND2)	اندکی واگرا (ND4)	واگرایی کم تا متوسط (ND3)	واگرایی کم تا متوسط (ND3)	۱۴
غیر واگرا (ND2)	اندکی واگرا (ND4)	اندکی واگرا (ND4)	واگرایی کم تا متوسط (ND3)	۲۸



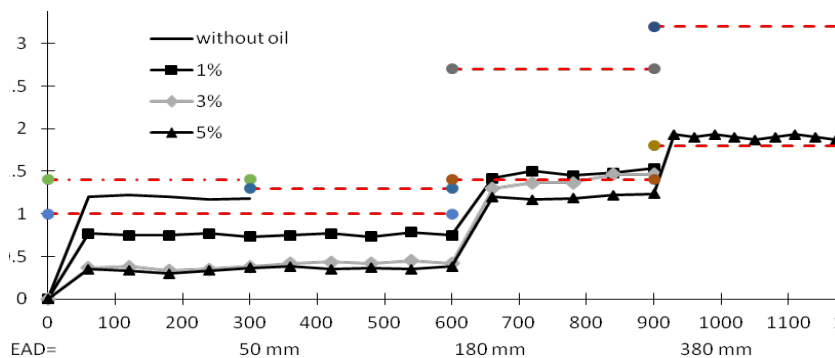
شکل ۵: دبی جریان عبوری (Q) از داخل نمونه نسبت به زمان تجمعی از اول آزمایش در headهای مختلف در آزمایش واگرایی نمونه های ۱ روزه

Fig. 5. Discharged water from soil sample versus cumulative time of test at different water head of pinhole test for 1 day curing time



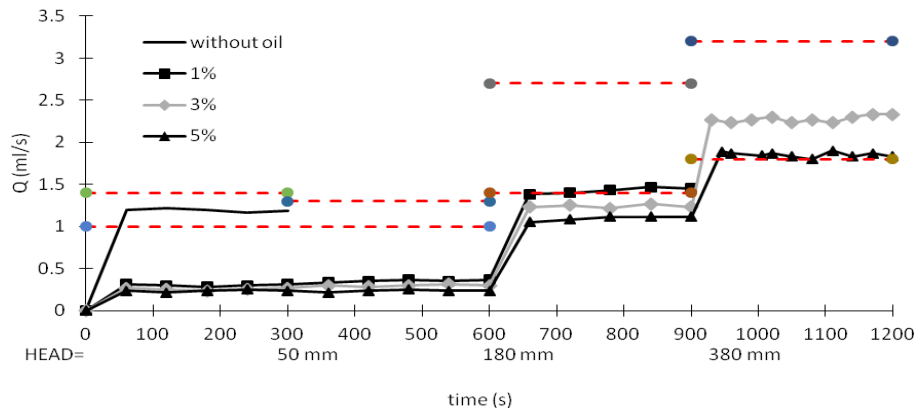
شکل ۶: دبی جریان عبوری (Q) از داخل نمونه نسبت به زمان تجمعی از اول آزمایش در آزمایش واگرایی نمونه های ۷ روزه

Fig. 6. Discharged water from soil sample versus cumulative time of test at different water head of pinhole test for 7 days curing time



شکل ۷: دبی جریان عبوری (Q) از داخل نمونه نسبت به زمان تجمعی از اول آزمایش در هدهای مختلف آزمایش واگرایی نمونه های ۱۴ روزه

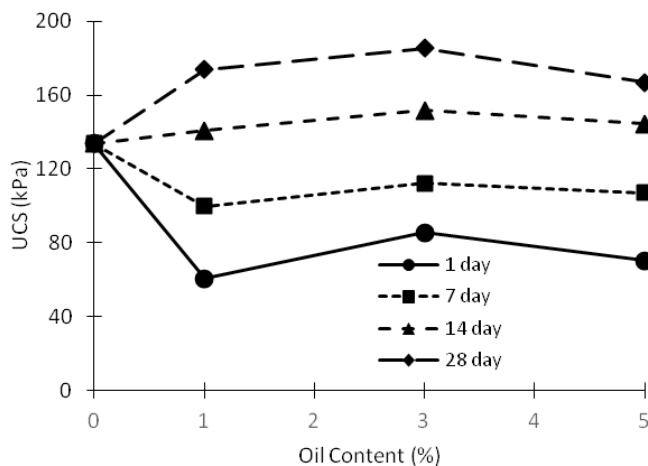
Fig. 7. Discharged water from soil sample versus cumulative time of test at different water head of pinhole test for 14 days curing time



شکل ۸: دبی جریان عبوری (Q) از داخل نمونه نسبت به زمان تجمعی از اول آزمایش در آزمایش واگرایی نمونه های ۲۸ روزه

Fig. 8. Discharged water from soil sample versus cumulative time of test at different water head of pinhole test for 28 days curing time

اثر زمان تقریباً از بین رفته است. به عنوان مثال مدول الاستیسیته خاک بدون آلایندهگی  $8/25$  MPa بوده و در زمان نگهداری ۱ روزه و مقدار نفت ۱٪ به مقدار  $22$  MPa ( $2/67$  برابر) و در مقدار نفت ۵٪ به مقدار  $5/81$  ( $0/71$  برابر) رسیده است. علاوه بر این، از شکل ۱۱ مشخص است که با افزایش مقدار نفت و زمان نگهداری از ۱ تا ۱۴ روز، کرنش متناظر با پیک نمودارهای تنش - کرنش ابتدا تا مقدار نفت ۱ درصد کاهش و سپس افزایش می یابد ولی در زمان نگهداری ۲۸ روز، حضور نفت به طور پیوسته باعث افزایش کرنش نظیر نقطه شکست نمونه ها (انعطاف پذیری) می یابد.



شکل ۹: مقاومت تک محوری نمونه های رس واگرا با درصدهای مختلف نفت

Fig. 9. Unconfined compression test strength of dispersive clay with different oil content

۳-۳ نتایج آزمایش های تک محوری بر روی خاک واگرا در شکل ۹ مقاومت تک محوری نمونه ها، در شکل ۱۰، مدول الاستیسیته ثانویه E50 و در شکل ۱۱ کرنش متناظر با نقطه پیک نمودارهای تنش - کرنش حاصل از آزمایش های تک محوری بر روی خاک واگرا نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۹ مشاهده می شود که ابتدا تا زمان های نگهداری ۱ و ۷ روزه، مقاومت نمونه ها با اضافه شدن مقدار نفت به خاک، کاهش یافته و سپس در زمان های نگهداری ۱۴ و ۲۸ روزه، مقاومت آنها افزایش یافته است. موضوع اخیر تاییدی بر اثر کاهش واگرایی توسط نفت خام می باشد. همچنین می توان بیان کرد که حداکثر مقاومت تک محوری نمونه ها با زمان نگهداری یکسان، در نمونه های با مقدار ۳٪ نفت اتفاق می افتد یعنی با افزایش مقدار نفت از ۱٪ به ۳٪، مقاومت افزایش و سپس با افزایش مقدار نفت تا ۵٪، مقاومت کاهش می یابد. به عنوان مثال مقاومت تک محوری نمونه از مقدار  $134$  kPa در زمان نگهداری ۲۸ روزه و مقدار نفت ۳٪ به مقدار  $185$  kPa (حدوداً ۳۸٪ افزایش) رسیده است. همان طور که بیان شد حضور نفت در بین ذرات رس دو اثر متفاوت دارد. به این صورت که حضور نفت در بین دانه ها هم اثر روغن کاری دارد و هم اثر افزایش چسبندگی (به خاطر ویسکوزیته نفت) و مقدار بهینه آن ۳ درصد است. کمتر از این مقدار اثر اول غالب است و بیشتر از این مقدار، اثر دوم موثر است. به نظر می رسد به دلیل اندازه بزرگ مولکول های نفت، احتمال ورود آنها در لایه دوگانه اطراف پولک های رس بعید باشد.

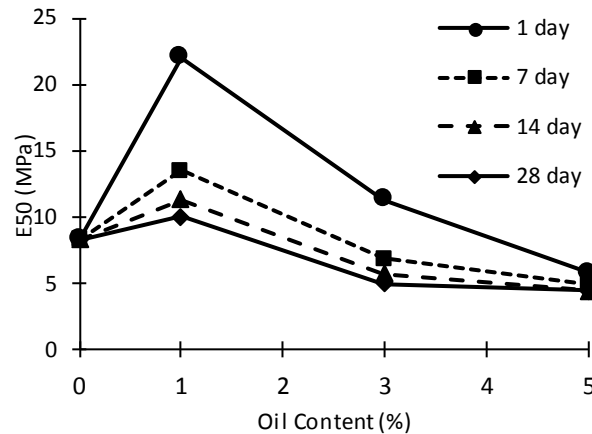
با توجه به شکل ۱۰ می توان مشاهده کرد که با افزایش مقدار نفت، ابتدا تا مقدار نفت ۱٪ مدول الاستیسیته نمونه های خاک (E50) افزایش و سپس با افزایش نفت از ۱ تا ۵ درصد، کاهش یافته است. افزایش زمان نیز اثر کاهشی بر روی مدول الاستیسیته داشته است ولی در مقدار نفت ۵ درصد

شده با مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد نفت صورت گرفت. پس از انجام آزمایش‌ها نتایج زیر حاصل شد:

۱. در خاک طبیعی با افزایش مقدار نفت تغییری در میزان واگرایی خاک دیده نشد و خاک طبیعی غیرواگرا باقی ماند.
۲. با افزایش درصد هگزامتافسفات سدیم خاک غیر واگرا به سمت واگرایی پیش می‌رود. در خاک آغشته به محلول ۱۲٪ هگزامتافسفات سدیم، خاک کاملاً واگرا گردید و در درصد‌های کمتر خاک به طور کامل واگرا نشد.
۳. در نمونه‌های آغشته به محلول ۱۲٪ هگزامتافسفات سدیم (خاک واگرا)، با افزایش مقدار نفت و بیشتر شدن زمان نگهداری نمونه‌های آلوده، از واگرایی خاک کاسته شده و نمونه به سمت غیرواگرا شدن پیش می‌رود.
۴. در نمونه‌های واگرا، با افزایش مقدار نفت، میزان دبی کاهش می‌یابد که نشان دهنده کاهش واگرایی می‌باشد. همچنین در این نمونه‌ها، دبی مربوط به هر هد با بیشتر شدن زمان نگهداری، کاهش می‌یابد که نشان از کاهش واگرایی خاک است.
۵. تا زمان‌های نگهداری ۱ و ۷ روزه مقاومت نمونه‌ها با اضافه شدن مقدار نفت به خاک، کاهش یافته و سپس در زمان‌های نگهداری ۱۴ و ۲۸ روز مقاومت آن‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار نفت از ۱٪ به ۳٪ مقاومت افزایش و سپس با افزایش مقدار نفت تا ۵٪، مقاومت کاهش می‌یابد. به عنوان مثال مقاومت تک محوری نمونه از مقدار ۱۳۴ kPa در زمان نگهداری ۲۸ روزه و مقدار نفت ۳٪ به مقدار ۱۸۵ kPa (حدوداً ۳۸٪ افزایش) افزایش می‌یابد.
۶. با افزایش مقدار نفت تا مقدار ۱٪ مدول الاستیسیته سکانت E50 نمونه‌ها افزایش و سپس تا مقدار نفت ۵٪ کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان نگهداری نمونه‌های آلوده به نفت، E50 کاهش می‌یابد. در مقدار نفت ۵٪، اثر زمان بر روی مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد. به عنوان مثال مدول الاستیسیته خاک بدون آلاینده ۸/۲۵ MPa بوده و در زمان نگهداری ۲۸ روزه و مقدار نفت ۱٪ به مقدار ۲۲ MPa (۶۷/۲ برابر) و در مقدار نفت ۵٪ به مقدار ۵/۸۱ MPa (۷۱/۰ برابر) رسیده است.
۷. در زمان نگهداری ۱ تا ۱۴ روز، با افزایش درصد آلودگی نفتی، ابتدا کرنش متناظر با پیک نمودارهای تنش-کرنش کاهش و سپس افزایش می‌یابد ولی در زمان نگهداری ۲۸ روز، کرنش نظیر نقطه حداکثر نمودار تنش-کرنش به طور پیوسته افزایش می‌یابد.

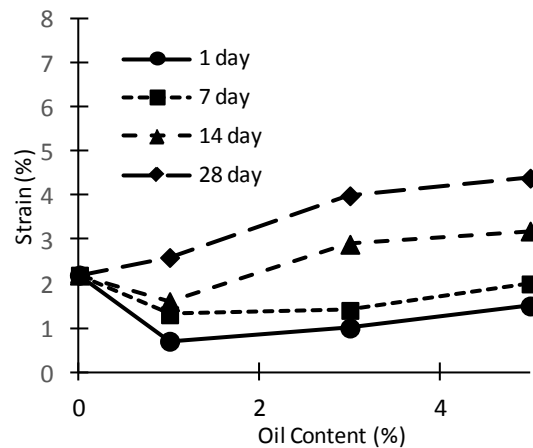
#### مراجع

- [1] J. L. Sherard, E. F. Steele, R. S. Decker and L. P. Dunnigan, Pinhole test for identifying dispersive soils, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 102(1), (1976), 69-85.



شکل ۱۰: اثر آلاینده نفت خام و زمان نگهداری نمونه‌ها بر روی مدول الاستیسیته

Fig. 10. The effect of crude oil and curing time on the elasticity modulus of samples



شکل ۱۱: کرنش متناظر با پیک نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های رس واگرا با مقادیر مختلف نفت

Fig. 11. Corresponding strain at the stress-strain graphs peak point

#### ۴- نتیجه‌گیری

به طور کلی در این تحقیق به بررسی تاثیر نفت خام به عنوان یک اثر مثبت بر میزان واگرایی و مقاومت تک محوری خاک رسی پرداخته شد. پس از انجام آزمایش سوراخ سوزنی مشخص گردید که خاک طبیعی در رده غیرواگرا قرار گرفته است. لذا جهت واگرا نمودن خاک از محلول هگزامتافسفات سدیم در درصد‌های ۴، ۸ و ۱۲ درصد استفاده گردید. سپس یک سری آزمایش سوراخ سوزنی و مقاومت تک محوری بر روی خاک آلوده

- [10] F. G. Bell, Lime stabilization of clay minerals and soils." Engineering Geology 42(4), (1996), 223-237.
- [11] H. Ghasemi, Laboratory investigation of dispersivity potential of dispersive clay soil contaminated with gasoil, Islamic Azad University, Zanjan Branch M.Sc. Thesis, 2013, (In Persian)
- [12] A. H. Vakili, M. R. Selamat, H. Moayedi and H. Amani, Stabilization of dispersive soils by pozzolan, FORENSIC Engineering, (2013).
- [13] M. Turkoz, H. Savas, A. Acaz and H. Tosun, The effect of magnesium chloride solution on the engineering properties of clay soil with expansive and dispersive characteristics. Applied Clay Science 101, (2014), 1-9.
- [14] T. S. Umesha, S. V. Dinesh and P. V. Sivapullaiah, Control of dispersivity of soil using lime and cement, International Journal of Geology, 3, (2009), 8-16.
- [15] M. Malmir, Investigation of acidic contaminant on the Dispersivity of Clay Soil using Pinhole Test, Imam Khomeini International University. M.Sc. Thesis, 2013, (In Persian).
- [16] H. R. Jafari, M. Hassanlourad and M.R. Hassanlou, "Dispersion potential of a clay soil stabilized by Alum. A Case Study." Soils and Rocks 36(2), (2013), 221-228.
- [17] ASTM D 4647. Standard Test Method for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test.
- [2] NRC, Safety of existing dams, Evaluation and Improvement. National Academy Press, National Research Council, (1983).
- [3] M. Haroon, S. S. Shah and S. A. Khan, Identification and stabilization of the dispersive soil by admixture of lime. Proceedings of the Second International Seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tehran, Iran. (2014).
- [4] K. S. Richards and K. R. Reddy, Critical appraisal of piping phenomena in earth dams, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 66(4), (2007), 381-402
- [5] C. F. Wan and R. Fell, Investigation of rate of erosion of soils in embankment dams, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (2004), 130-373.
- [6] V. R. Ouhadi and A.R. Goodarzi, Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum, Engineering Geology, 85, (2006), 91-101.
- [7] V.R. Ouhadi, and A.R. Goodarzi, Pore fluid characteristics effect on the dispersivity behaviour of soils from macro and micro structure aspects. 2nd International Symposium on Contaminated Sediments. Quebec City, Canada, (2003).
- [8] USBR 5410, Determining dispersibility of clayey soils by the pinhole test method, Earth Manual II. (1989), 425-437
- [9] Ingles O. G., Piping in earth dams of dispersive clay, Performance of Earth and Earth Supported Structures." ASCE, (1985), 111-117.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



Please cite this article using:

H. Khabbazi, M. Hasanlourad, Oil Contamination Effect on the Dispersivity Potential and Shear Strength of Dispersive Clay Soils, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(2) (2018) 401-408.

DOI: 10.22060/ceej.2016.870

