

## ارزیابی اثر استفاده از ضایعات نفتی پالایشگاه‌ها برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی مناطق مرکزی ایران و تاثیر شرایط اشباع بر روی مقاومت آن‌ها

البرز حاجیان‌نیا<sup>۱</sup>، غیاث‌الدین یاری<sup>۲\*</sup>، شهرزاد کسائیان<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، Alborzahn@yahoo.com

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یاسوج، Ghias.yari@gmail.com

۳- دانشجوی دکترای عمران، دانشگاه کوپنلند، استرالیا، Shahrzad834@yahoo.com

### چکیده

بخش قابل توجهی از کشور ایران را بیابان‌های وسیع پوشانیده است که اکثر خاک‌های این مناطق را ماسه‌های ریزدانه بادرفتی تشکیل می‌دهند. این ماسه‌ها از جمله خاک‌های مسئله‌دار می‌باشند و شاید یکی از دلایل عدم توسعه پروژه‌های عمرانی به ویژه راه‌ها در مناطق مرکزی کشور وجود این نوع ماسه‌ها می‌باشد؛ که تثبیت این خاک‌ها را ضروری می‌نماید. در این تحقیق از ضایعات حاصل از تقطیر نفت خام (پسماندهای نفتی)، که به وفور در کشور یافت می‌شوند برای تثبیت و بهسازی این ماسه‌ها استفاده شده است. از این‌رو محدوده وسیعی از ماسه‌های بادرفتی مناطق مرکزی ایران در استان اصفهان انتخاب گردید تا ضمن ارزیابی کارایی پسماندهای نفتی برای ماسه‌های بادرفتی این نواحی، اثر اشباع شدن نمونه‌های تثبیت شده بر روی مقاومت آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری و سه محوری انجام شده حاکی از آن است که مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی منطقه مورد بررسی برابر ۷ درصد وزنی می‌باشد. هم-چنین نتایج نشان دهنده کاهش قابل توجه در خواص مقاومتی نمونه‌های اشباع شده می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ماسه بادرفتی، پسماند نفتی، اشباع، تثبیت، مقاومت سه‌محوری، مقاومت تک‌محوری

### ۱- مقدمه

مناطق خشک آسیا سرزمین وسیعی را در داخل نواحی معتدله، استوایی و نیمه استوایی می‌پوشاند. کشور پهناور ایران نیز در این منطقه قرار داشته و بیش از دو سوم خاک آن تحت تأثیر اقلیم خشک قرار دارد. سطح وسیعی از این مناطق به مساحت تقریبی دوازده میلیون هکتار، تپه‌های ماسه‌ای ریزدانه پوشانده است [۱]. از این‌رو می‌توان گفت که بیش از ۱۰٪ از سطح کشور را ماسه‌های ریزدانه بادی تشکیل می‌دهد [۲].

ماسه‌های بادی با توجه به خصوصیات دانه‌بندی و نوع تشکیل دارای خصوصیات مقاومتی پائین می‌باشد. از این رو ساخت راه‌ها و پروژه‌های عمرانی بر روی این خاک‌ها با توجه به خواصشان میسر نمی‌باشد. از طرف دیگر هزینه جای‌گزینی این خاک با مصالح مرغوب بسیار زیاد می‌باشد. در نتیجه برای بهبود خواص این خاک‌ها نیاز به بهسازی و تثبیت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از این رو روش‌های مختلفی به‌منظور بهسازی و اصلاح ماسه‌های بادرفتی مورد بررسی قرار گرفته است، که از آن میان می‌توان به تثبیت با مواد هیدروکربنی سنگین نظیر قیر و پسماندهای نفتی اشاره کرد.

تا کنون تحقیقات متعددی در زمینه اصلاح خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از مواد هیدروکربنی و مشتقات نفت خام صورت گرفته‌است. نتایج تحقیقی در بررسی خاک‌های تثبیت شده با مواد قیری نشان داد که با افزایش

مقدار قیر، میزان رطوبت بهینه برای به دست آوردن حداکثر چگالی کاهش می‌یابد. در صورتی که در واقع مقدار کل متناظر مایع اضافه شده (آب و قیر) افزایش می‌یابد [۳]. تحقیقی دیگر در منطقه اوهایو آمریکا، در خصوص تثبیت ماسه با قیر، نشان - دهنده اهمیت درجه خلوص ماسه می‌باشد. افزایش درجه خلوص می‌تواند استحکام خاک را افزایش دهد و آغشته شدن ماسه با املاح و مواد آلی باعث کاهش عمده چسبندگی بین خاک و قیر می‌شود [۴]. همچنین تحقیقات نشان داده است که علاوه بر PH خاک، میزان نمک خاک نیز در انجام واکنش مکانیکی مربوط به قیر و خاک مؤثر می‌باشد. به طوری که با افزایش نمک، نتایج حاصل از اصلاح با قیر افت می‌کند [۵]. علاوه بر این، نتایج تحقیقی دیگر بیان گر آن است که در میزان قیر ۳٪، افزایش در وزن واحد خشک ماکزیمم، ظرفیت باربری کالیفرنیا<sup>۱</sup> و مقاومت فشاری تک‌محوری<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود و با افزایش قیر از این مقادیر کاسته می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان داده‌است که استفاده از تثبیت کننده‌های مرکب (قیر- آهک و قیر- سیمان) که هر دو به نسبت ۴ به ۱ آماده شده باشند، باعث افزایش مقاومت ماسه تثبیت شده می‌گردد [۶].

در تثبیت با قیر، اگر در ماسه مقدار کمی مصالح ریزدانه موجود باشد، مقاومت خاک تثبیت شده بیشتر بوده و نتیجه عمل تثبیت بهتر خواهد بود. ولی افزایش میزان ریزدانه به بیش از ۲۵ درصد در ماسه، منجر به نتیجه خوبی نخواهد شد [۵]. یانگ<sup>۳</sup> و محمد<sup>۴</sup> نیز در سال ۱۹۹۴ نشان دادند که در تثبیت لوم‌های ماسه‌ای با پسماند نفتی چسبندگی افزایش قابل توجهی یافته، اما زاویه اصطکاک تغییرات چندانی نداشته است [۷]. در تحقیقی دیگر، نتایج نشان دهنده بهبود نفوذپذیری ماسه‌های بادی تثبیت شده با پسماند نفتی می‌باشد. همچنین مشخص شد که رطوبت تاثیر نامطلوبی روی مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با پسماند نفتی دارد [۸].

تحقیقات مختلفی نیز بر روی اثرات زیست محیطی خاک‌های تثبیت شده با مواد نفتی انجام شده‌است. سالم<sup>۵</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۵ نشان دادند که افزودن قیر به ماسه پایداری خاک را افزایش می‌دهد و باعث کاهش آزادسازی عناصر شیمیایی مثل مواد معدنی و فلزات سنگین می‌شود [۹]. مطالعات دیگری توسط یارون<sup>۶</sup> در سال ۱۹۸۹ بر روی رفتار واجدبی هیدروکربن‌های نفت خام از خاک‌هایی با اختلاط مواد آلی و خاک رس صورت گرفته است که نشان داد رفتار واجدبی هیدروکربن‌ها از سطح خاک‌های مورد بررسی شدیداً تحت تاثیر نوع خاک و هیدروکربن می‌باشد [۱۰]. همچنین نتایج تحقیقی نشان می‌دهد قابلیت اغلب مواد مرکب موجود در پسماند نفتی برای حل شدن در آب پایین می‌باشد. در نتیجه در حالت محلول در آب، پتانسیل جابه‌جایی کمی در محیط اطراف دارند [۱۱]. تحقیقات انجام گرفته توسط الاطیبی<sup>۷</sup> در سال ۲۰۰۶ بر روی تثبیت نمونه‌های ماسه حاشیه جنوبی خلیج فارس با پسماند نفتی، نشان داد که حمل و جابه‌جایی مواد نفتی از بطن نمونه‌های تثبیتی کمتر از حد مجاز استاندارد برای کلیه نمونه‌ها بوده است [۱۲]. در بررسی‌های مختلف دامنه محدودی از اثرات زیست محیطی انواع مختلف هیدروکربن‌ها گزارش شده‌است که نشان می‌دهد هیدروکربن‌های سنگین‌تر با توجه به نوع ترکیبات غیر قطبی پتانسیل آلودگی زیست محیطی کمتری دارند.

با مرور مطالعات صورت گرفته، مشاهده می‌شود که مواد هیدروکربنی سنگین در تثبیت و بهسازی ماسه‌ها کارایی مناسبی را نشان داده‌اند. از طرفی با توجه به اینکه ایران یکی از سرزمین‌های نفت خیز جهان به‌شمار می‌رود که دارای میدان‌های عظیم نفتی است، تعدد و گستردگی صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاه‌ها و در نتیجه فراورده‌های حاصل از آن‌ها در کشور قابل توجه می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق که بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی استوار می‌باشد، سعی شده‌است تثبیت و بهسازی ماسه‌های ریزدانه بادرستی موجود در شهرستان خور و بیابانک استان اصفهان، با استفاده از ضایعات نفتی پالایشگاه‌ها که در فرآیند تقطیر نفت خام، در انتهای برج تقطیر باقی می‌مانند مورد ارزیابی قرار گیرد.

<sup>1</sup>California Bearing Ratio(CBR)

<sup>2</sup> Uniaxial Compression Strength(UCS)

<sup>3</sup>Yong

<sup>4</sup> Mohammed

<sup>5</sup>Salem

<sup>6</sup>Yaron

<sup>7</sup>AL-Otaibi

همچنین از آنجا که می‌توان از پسماندهای نفتی برای کف‌سازی و دیواره‌سازی مخزن و حوض‌های تصفیه فاضلاب استفاده نمود [۸]، در نتیجه تماس مداوم آب با ماسه تثبیت شده، در کنار دیگر عوامل احتمالی نظیر بارندگی طولانی مدت و سیل‌های فصلی و ... احتمال اشباع شدن نمونه ماسه تثبیت شده را افزایش می‌دهد. از طرفی بررسی تحقیقات قبلی حاکی از آن است که تاثیر اشباع شدن نمونه‌های تثبیت شده بر روی مقاومت ماسه‌های تثبیت شده با پسماندهای نفتی هنوز مورد ارزیابی قرار نگرفته است، از این‌رو در این تحقیق تاثیر اشباع شدن نمونه‌های تثبیت شده بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری و سه‌محوری آن‌ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در ادامه، ضمن اشاره‌ای به مواد و روش‌های مورد استفاده در تحقیق، نتایج و بحث بر روی آن‌ها ارائه شده و سپس نتیجه‌گیری صورت می‌گیرد.

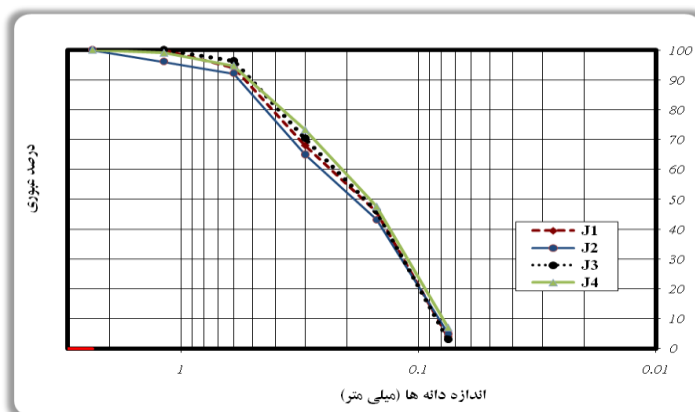
### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- نمونه ماسه‌های بادرفتی

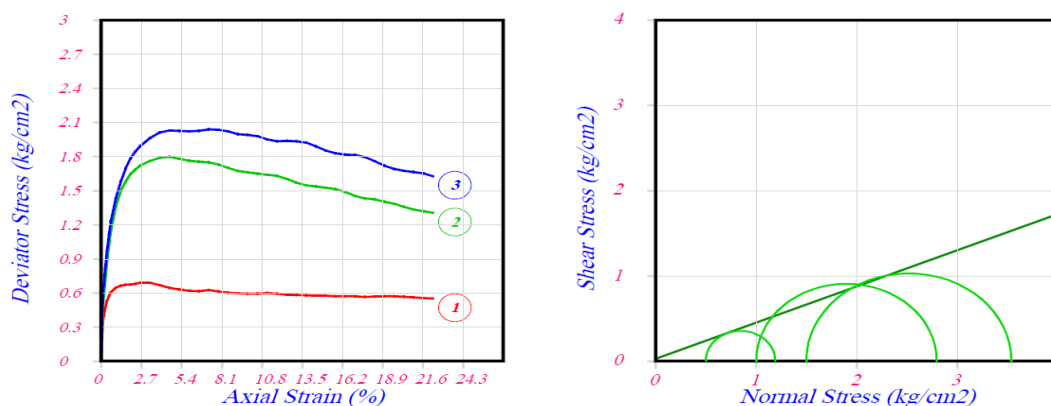
برای نمونه‌گیری منطقه وسیعی به مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع (با ابعاد تقریبی ۵ و ۲ کیلومتر) در نظر گرفته شد. با بررسی و تشخیص صحرایی و نمونه‌گیری اولیه که در منطقه صورت گرفت، سعی شد که نمونه‌های ماسه به گونه‌ای انتخاب شود که معرف خاک ناحیه مورد بررسی باشد. سپس پنج نمونه ماسه از عمق‌های ۰/۲ الی ۱/۵ متری از سطح زمین تهیه گردید. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بررسی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌ها نشان داد که ماسه‌های بادرفتی منطقه خصوصیات مشابهی دارند. از این‌رو نمونه J<sub>1</sub> به عنوان نماینده خاک منطقه جهت بررسی اثر پسماند نفتی در تثبیت ماسه بادرفتی انتخاب شد. نمودار دانه‌بندی ماسه‌های بادرفتی تهیه شده در شکل ۲ و نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری انجام شده بر روی نمونه‌ها در شکل ۳ و جدول ۲ نشان داده شده‌است.

جدول ۱: مشخصات عمومی نمونه‌های ماسه بادرفتی تهیه شده از منطقه مورد بررسی (خور و بیابانک)

	نمونه					توضیحات
	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	
طبقه‌بندی خاک	SP	SP	SP	SP	SP	UNIFIED
عمق نمونه‌گیری (M)	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۱	-----
درصد رطوبت طبیعی	۲	۲/۲	۲/۷	۳/۵	۳/۶	ASTM-D2216
G <sub>s</sub> رد شده از الک ۱۰۰	۲/۷۴	۲/۷۴	۲/۷۴	۲/۷۳	۲/۷۴	ASTM-D854
G <sub>s</sub> رد شده از الک ۴۰	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۳	۲/۶۴	ASTM-D854
W <sub>opt</sub>	۸/۱	۸	۸/۳	۸/۱	۸	AASHTO-T99
γ <sub>d Max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	۱۸	۱۷/۹	۱۷/۹	۱۸	۱۸/۰۵	AASHTO-T99
PI	NP	NP	NP	NP	NP	ASTM-D4318
PH	۸	۷/۹	۷/۹	۸	۷/۸	ASTM-D4972
Cl(%)	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۵۵	ASTM-D1411
CaSO <sub>4</sub> (%)	۰/۷۶	۱/۳۶	۳/۲۵	۱/۲	۰/۹	ASTM-D516



شکل ۲: منحنی دانه بندی ماسه‌های تهیه شده از منطقه مورد بررسی



شکل ۳: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه محوری بر روی نمونه J<sub>1</sub> (به عنوان نماینده)

جدول ۲: خلاصه پارامترهای به دست آمده از آزمایش مقاومت فشاری سه محوری بر روی نمونه J<sub>1</sub>

E (kg/Cm <sup>2</sup> )	φ (Deg)	C (kg/Cm <sup>2</sup> )
۶۸	۲۴/۶	۰/۰۲

### ۳-۲- نمونه پسماند نفتی

به طور کلی پسماند مواد نفتی، مواد باقیمانده در قسمت انتهایی و پایینی برج تقطیر نفت می‌باشد. این ماده یک ترکیب کمپلکس است که اغلب شامل ترکیبات سنگین مواد اشباع و هیدروکربن‌های آروماتیک (معطر) می‌باشد و حاوی مقدار جزئی آسفالتین و رزین‌ها هستند [۱۲]. به طور کلی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که پسماند مواد نفتی دارای نقطه جوش بالا، لزجت زیاد، وزن مخصوص نزدیک به ۱ و وزن مولکولی بالا هستند [۷]. در این تحقیق از پسماند نفتی پالایشگاه اصفهان جهت تثبیت ماسه‌های منطقه مورد بررسی استفاده شده است که خصوصیات آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی پسماند نفتی

وزن واحد	گرانروی در ۱۰۰°C (CS)	نقطه جوش (°C)	وانادیوم (ppm)	نیکل (ppm)	رزین (%)	آسفالتین (%)	هیدروکربن-های اشباع (%)	هیدروکربن-آروماتیک (%)	وزن مولکولی (g/mole)
۰/۹۶	۵۵	<۳۷۰	۴۰	۱۵	۱۵	۱۰	۲۶	۴۹	<۹۰۰

### ۳-۳- آب مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق از دو نمونه آب (آب مقطر و آب محل) استفاده گردید. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی آب شور محل در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: مشخصات آب شور محل مورد بررسی

شرح آزمایش	PH	کلر	پتاسیم	سدیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	باقیمانده محلول در آب
واحد	P.P.M	P.P.M	P.P.M	P.P.M	P.P.M	P.P.M	P.P.M	P.P.M
مقدار	۷/۸۱	۲۸۳۶/۲۵	۶/۵۱	۱۵۲۰	۱۱۰/۵۳	۳۱۱/۱۸	۱۳۰۸/۸۸	۶۷۹۳

### ۳-۴- روش تحقیق

#### ۳-۴-۱- تعیین مقدار بهینه پسماند برای تثبیت

جهت تعیین مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی و تاثیر آن بر روی مقاومت فشاری خاک، نمونه ماسه با درصد‌های مختلف از پسماند نفتی، طبق استاندارد ASTM D4223 مخلوط گردید. مقدار پسماند نفتی در نظر گرفته شده در این آزمایش‌ها ۳٪، ۵٪، ۷٪ و ۹٪ درصد می‌باشد. نمونه‌های تثبیت شده با میزان انرژی مصرفی برابر با تراکم استاندارد متراکم و ساخته شد. این نمونه‌ها در درجه حرارت آزمایشگاهی ساخته شده‌اند (۲۲ °C). با گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت از ساخت نمونه‌ها، آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. هدف از انجام این آزمایش تعیین اثر مقدار پسماند نفتی بر مقاومت نمونه‌ها و تعیین مقدار بهینه برای تثبیت می‌باشد. آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری مطابق استاندارد ASTM D2166-87 انجام شد. هم‌چنین برای تعیین پارامترهای مقاومتی نیز از آزمایش مقاومت فشاری سه-محوری طبق استاندارد ASTM D 2850 استفاده گردید.

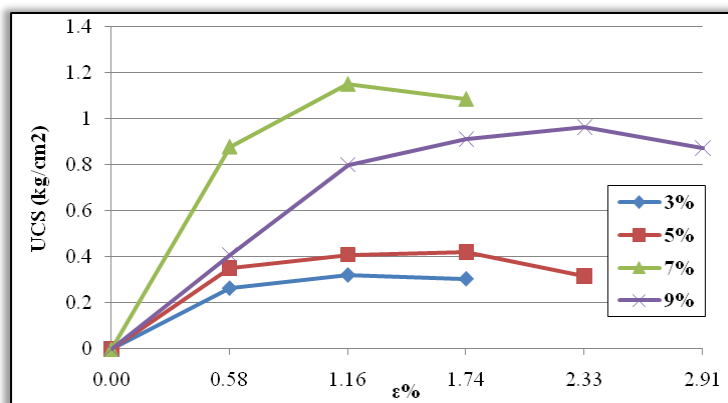
#### ۳-۴-۲- بررسی اثر شرایط اشباع بر روی مقاومت نمونه‌ها

برای تعیین اثر شرایط اشباع بر روی نمونه‌ها سه حالت برای نمونه‌ها در نظر گرفته شد. در سه حالت مورد بررسی نمونه‌های تثبیت شده با مقدار بهینه مدت ۴۰ روز به ترتیب در شرایط عادی آزمایشگاه، غوطه‌ور در آب محل و غوطه‌ور در آب مقطر نگهداری گردید. سپس بر روی نمونه‌های آماده شده آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری و سه‌محوری طبق استانداردهای فوق‌الذکر انجام شده و نتایج با هم مقایسه گردید.

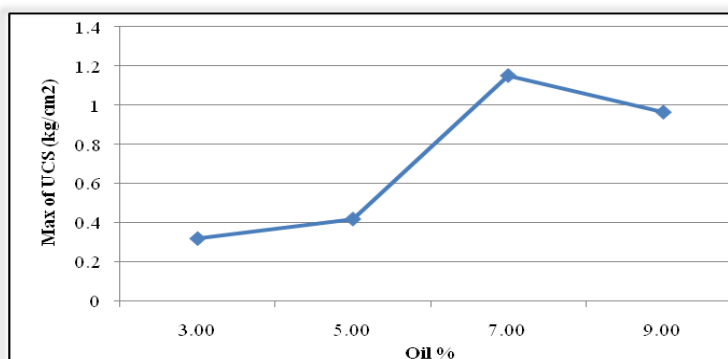
### ۴- نتایج و بحث

#### ۴-۱- تعیین مقدار بهینه پسماند برای تثبیت

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری انجام شده بر روی نمونه‌های تثبیت شده با درصد‌های مختلف پسماند نفتی در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل ۴: نتایج مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با درصد‌های مختلف پسماند نفتی [۱۳]

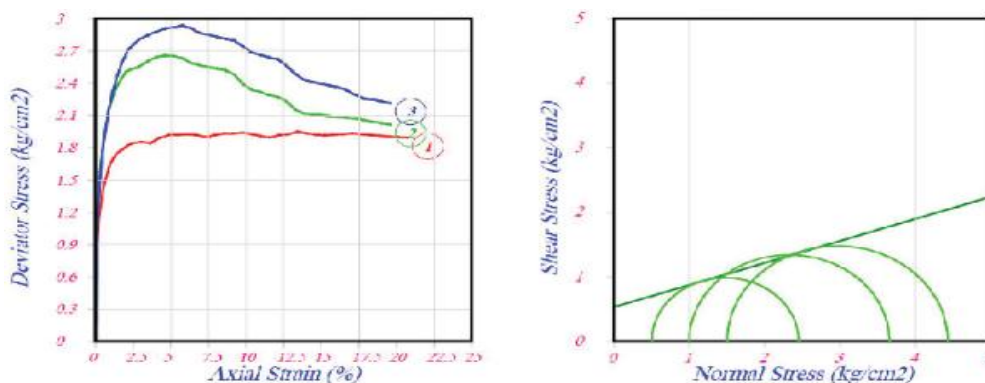


شکل ۵: روند تغییرات مقاومت فشاری تک‌محوری حداکثر به ازای درصد‌های مختلف پسماند نفتی

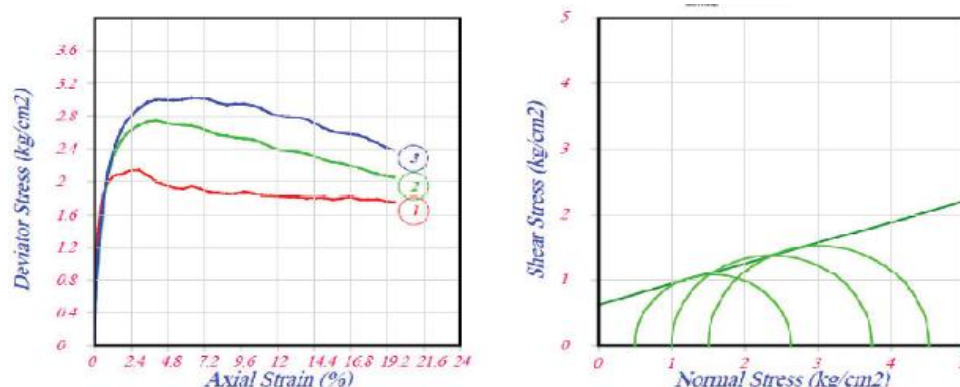
با مقایسه نتایج شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری به دست آمده به ازاء ۷٪ پسماند نفتی به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. این مقدار برابر با ۱/۱۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که در مقایسه بانمونه‌های تثبیت شده با ۳٪ و ۵٪ پسماند نفتی به مقدار قابل توجهی بالاتر می‌باشد. در این شکل هم‌چنین مشاهده می‌شود که مقادیر بیش از ۷٪ پسماند نفتی اثرات چندان مطلوبی بر تثبیت و بالا بردن مقاومت فشاری ندارد. به طوری که مقاومت نمونه‌های تثبیتی با ۹٪ پسماند نفتی به میزان ۱۶ درصد کمتر از نمونه تثبیت شده با ۷٪ پسماند نفتی می‌باشد و به ۰/۹۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خواهد رسید. بنابراین میزان بهینه ۷٪ پسماند نفتی برای افزایش قابل توجه ویژگی‌های چسبندگی و مقاومتی خاک‌های مورد آزمایش مناسب می‌باشد.

برای بررسی بهتر اثرات مقادیر مختلف پسماند نفتی بر روی ماسه‌های تثبیت شده و تعیین پارامترهای مقاومتی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) آن‌ها چند آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری انجام شد که نتایج آن‌ها در شکل‌های ۶ الی ۸ و جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج مربوط به خاک تثبیت نشده نیز برای مقایسه بهتر در جدول ۵ دوباره ذکر شده است.

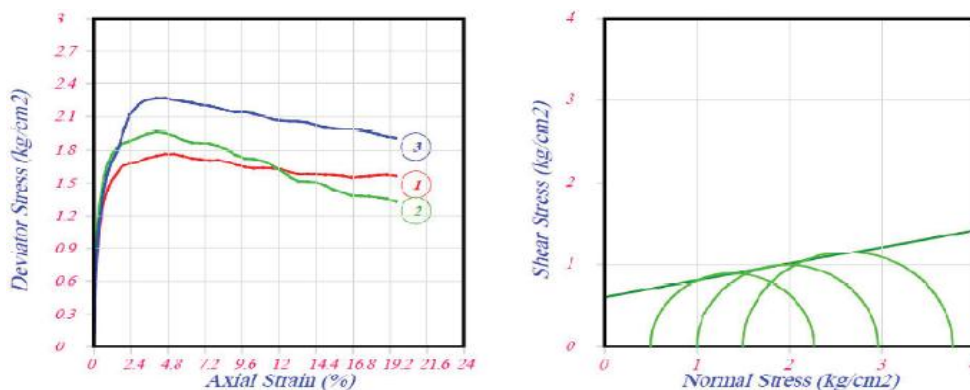
مشاهده نمودارهای تنش-کرنش در شکل‌های ۶ الی ۸ نشان می‌دهد که نمونه‌های تثبیت شده حالت خمیری داشته به هیچ عنوان حالت شکنندگی ندارند. این رفتار به خصوص در  $\sigma_3$  های پائین و همین‌طور برای نمونه‌های تهیه شده با ۹ درصد پسماند نفتی به خوبی نمایان می‌باشد. هم‌چنین نمودارها نشان می‌دهد که نمونه‌ها حالت خمیری داشته و پس از شکست، با افزایش کرنش، مقاومتی در حدود ۷۰٪ الی ۹۰٪ مقاومت حداکثر را از خود نشان می‌دهند. اما باید دقت نمود که بررسی‌های انجام شده بیان‌گر آن است که اگرچه رفتار ماسه‌های بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی تحت بارگذاری حاکی از شکل



شکل ۶: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری ماسه‌های تثبیت شده با ۵ درصد پسماند نفتی



شکل ۷: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری ماسه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی



شکل ۸: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری ماسه‌های تثبیت شده با ۹ درصد پسماند نفتی

جدول ۵: خلاصه نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری بر روی نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف پسماند نفتی

E (kg/Cm <sup>2</sup> )	φ (Deg)	C (kg/Cm <sup>2</sup> )	مقدار پسماند نفتی (%)
۶۸	۲۴/۶	۰/۰۲	۰
۱۰۸	۱۹/۵	۰/۵۴	۵
۱۱۷	۱۸/۱	۰/۶۳	۷
۸۸	۱۱/۵	۰/۶۱	۹

پذیری و عدم شکنندگی آن‌ها می‌باشد، که تابع خاصیت روغنی شکل پسماندهای نفتی است. اما جنس ماسه‌ها نیز در میزان شکل‌پذیری نمونه‌ها بسیار تاثیرگذار می‌باشد [۱۴].

مقایسه نمودارهای تنش-کرنش شکل‌های ۶ تا ۸ نشان می‌دهد که بالاترین مقاومت برای نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی حاصل گردیده و مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با ۵ و ۹ درصد پسماند نفتی، نسبت به نمونه‌های مخلوط شده با ۷ درصد پسماند کاهش می‌یابد. مقایسه نمودارهای  $\tau-\sigma_n$  و همین‌طور نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار پسماند نفتی به ماسه بادرفتی، به تدریج زاویه اصطکاک نمونه‌های تثبیتی کاهش می‌یابد. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که با افزایش پسماند نفتی درون نمونه‌ها به تدریج چسبندگی ایجاد شده تا رسیدن به مقدار ۷ درصد افزایش یافته و به ازای مقادیر بالاتر چسبندگی تغییرات چندانی از خود نشان نمی‌دهد. از طرفی بررسی سختی نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مقدار پسماند نفتی سختی نمونه‌ها افزایش یافته و به ازای ۷ درصد پسماند به حداکثر مقدار خود، یعنی ۱۱۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌رسد. اما سختی نمونه‌های تثبیت شده با ۹ درصد پسماند نفتی کاهش یافته و به ۸۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خواهد رسید.

بنابراین آزمایش‌های سه‌محوری بیان‌کننده این واقعیت است که اگرچه با افزایش مقدار پسماند نفتی زاویه اصطکاک به تدریج کاهش می‌یابد، ولی مقدار ۷ درصد وزنی پسماند نفتی باعث افزایش قابل توجه چسبندگی و سختی نمونه‌ها شده و این نقص را جبران می‌نماید. به عبارت دیگر می‌توان گفت که مقدار بهینه پسماند نفتی برای ماسه‌های بادرفتی ناحیه خور و بیابانک استان اصفهان برابر ۷ درصد وزنی ماسه‌ها می‌باشد که تایید کننده نتایج حاصل از آزمایشات مقاومت فشاری تک-محوری است.

از مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج دیگر تحقیقات انجام شده بر روی تثبیت ماسه‌ها با مواد هیدروکربنی سنگین، می‌توان دریافت که مقدار بهینه برای اصلاح ماسه‌های ریزدانه مابین ۴٪ و ۸٪ بوده است که تفاوت در میزان بهینه بیشتر مربوط به سطح مخصوص دانه‌های ماسه، دانه‌بندی ماسه، میزان ریزدانه درون ماسه، تخلخل ذرات ماسه، زبری سطوح، طریقه اختلاط و در نهایت به مقدار لزجت مواد نفتی مرتبط است. هرچه ماسه مورد بررسی ریزدانه‌تر بوده و سطح مخصوص، مقدار ریزدانه، تخلخل و زبری سطوح دانه‌های ماسه و لزجت ماده نفتی کمتر باشند میزان ماده نفتی مورد نیاز برای رسیدن به حداکثر مقاومت افزایش می‌یابد.

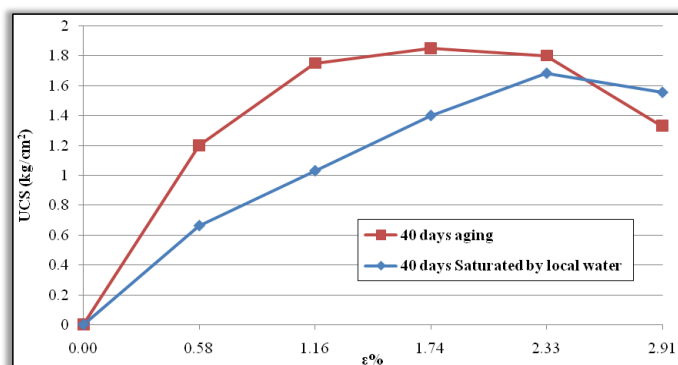
به طور کلی می‌توان علت افزایش مقاومت ماسه‌ها هنگامی که با پسماند نفتی مخلوط می‌شود را به چند عامل نسبت داد. یکی از این عوامل مربوط به مشخصات و خصوصیات شیمیایی و فیزیکوشیمیایی موجود در رده‌های پسماند نفتی می‌باشد که شامل درصد مواد چسبنده و رزین موجود در پسماند نفتی می‌باشد و عامل دوم مربوط به پوشش سطح ماسه توسط پسماند نفتی در هنگام اختلاط می‌باشد.

این نتایج با نتایج به دست آمده در ارتباط با تثبیت ماسه‌ها با قیر طبیعی، بسیار مشابه می‌باشد [۱۱]. هم‌چنین می‌توان گفت که نتایج این تحقیق با تحقیق ارائه شده در ارتباط با خاک‌های آغشته شده با نفت خام مشابهت دارد. زیرا نتایج این مطالعات حاکی از کاهش مقاومت ماسه‌ها در هنگام آغشته شدن آن‌ها با مقادیر بالایی از نفت خام می‌باشد [۱۵].

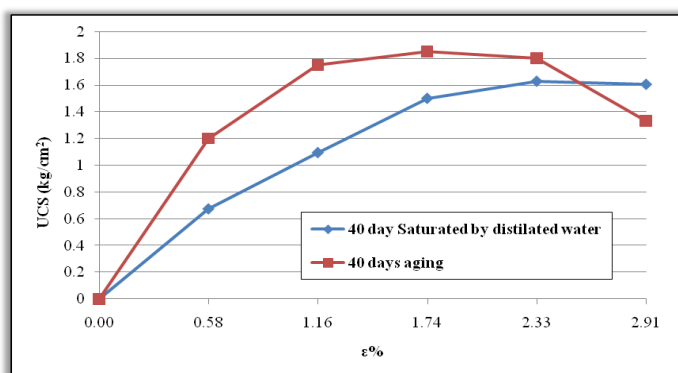
#### ۴-۲- بررسی اثر شرایط اشباع بر روی مقاومت نمونه‌ها

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه‌های خور و بیابانک تثبیت شده با ۷ درصد (مقدار بهینه) پسماند نفتی که به مدت ۴۰ روز به ترتیب در آب محل و آب مقطر اشباع شده‌اند، ارائه گردیده و با مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی که به مدت ۴۰ روز در شرایط خشک نگهداری شده، مقایسه گردیده‌اند.





شکل ۱۲: مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و ۴۰ روز نگهداری شده در شرایط خشک و غوطه‌ور در آب محل

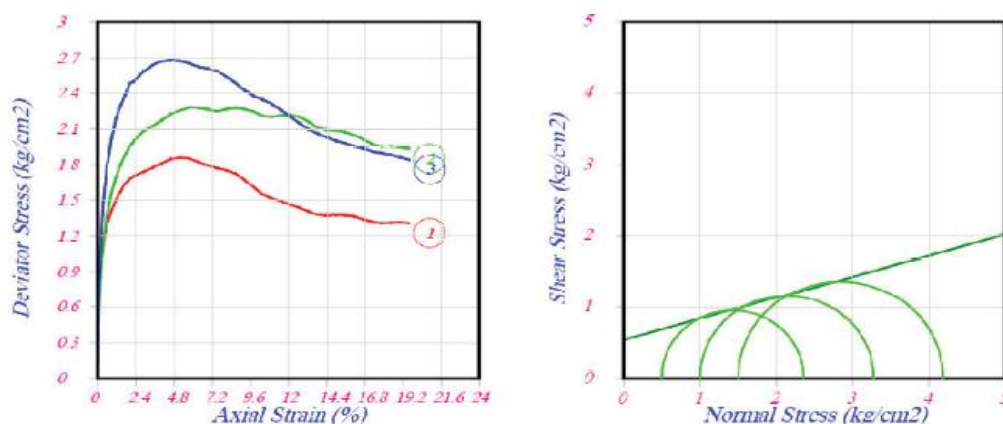


شکل ۱۳: مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و ۴۰ روز نگهداری شده در شرایط خشک و غوطه‌ور در آب مقطر

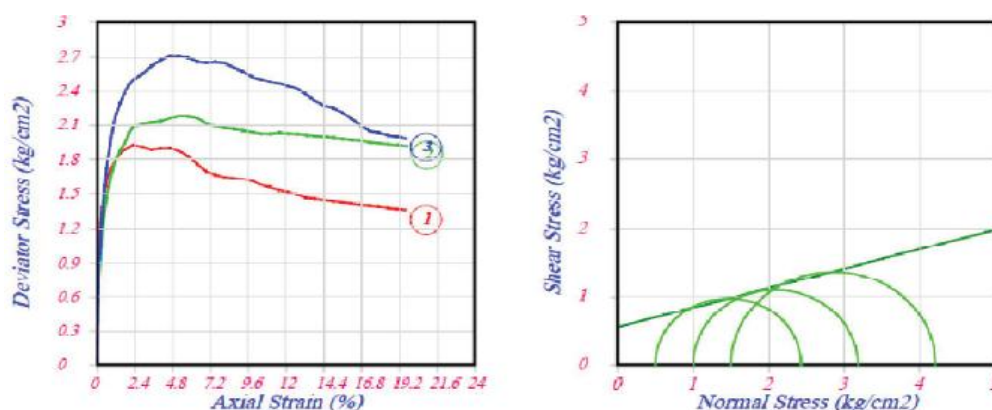
نتایج شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به وضوح نشان دهنده اثر منفی شرایط اشباع بر روی مقاومت تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده می‌باشد. به طوری که مقاومت نمونه‌های اشباع شده در آب شور محل و آب مقطر، به ترتیب ۱۰ و ۱۴ درصد نسبت به مقاومت نمونه‌های نگهداری شده در شرایط خشک آزمایشگاه کاهش یافته‌اند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های تثبیتی اشباع شده در آب مقطر افت بیشتری نسبت به نمونه‌های اشباع شده در آب شور محل تجربه خواهند کرد. چرا که برخی از املاح موجود در ماسه که باعث ایجاد پیوندهای ضعیف بین پسماند نفتی و دانه‌های ماسه می‌شوند [۱۶]، در تماس با آب مقطر حل گردیده و در نتیجه با گسسته شدن این پیوندهای ضعیف، تأثیر بیشتری در میزان افت مقاومت خواهد داشت.

هم‌چنین نتایج آزمایش سه‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و نگهداری شده در شرایط اشباع در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ و جدول ۶ ارائه شده است.

مقایسه نتایج شکل‌های ۱۴ و ۱۵ با شکل ۷ (نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و نگهداری شده به مدت یک روز در شرایط خشک آزمایشگاه) نشان می‌دهد که مقاومت برشی نمونه‌های تثبیت شده و نگهداری شده در شرایط اشباع به میزان ۱۰ الی ۱۲ درصد کمتر از نمونه‌های غیر اشباع یک روزه می‌باشد. هم‌چنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که چسبندگی نمونه‌های اشباع شده در آب محل و آب مقطر به ترتیب ۱۴ و ۱۲ درصد، و زاویه اصطکاک آن‌ها به ترتیب ۶ و ۱۰ درصد نسبت به نمونه‌های یک روزه کاهش نشان می‌دهند.



شکل ۱۴: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری ماسه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و ۴۰ روز نگهداری شده در آب محل



شکل ۱۵: نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری ماسه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی و ۴۰ روز نگهداری شده در آب مقطر

جدول ۶: خلاصه نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوری بر روی نمونه‌های تثبیت شده با ۷ پسماند نفتی

E (kg/Cm <sup>2</sup> )	φ (Deg)	C (kg/Cm <sup>2</sup> )	شرح
۸۹	۱۷	۰/۵۴	۴۰ روز نگهداری در آب محل
۹۰	۱۶/۴	۰/۵۶	۴۰ روز نگهداری در آب مقطر

نکته قابل توجه در نمودارهای ۱۲ و ۱۳ میزان کرنش نمونه‌های اشباع شده تا لحظه شکست می‌باشد. این نمودارها نشان می‌دهند که نمونه‌های اشباع شده کرنش بیشتری را نسبت به نمونه‌های نگهداری شده در شرایط خشک آزمایشگاه تحمل می‌کنند. به عبارتی سختی آن‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که این امر با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های سه‌محوری که در جدول ۶ ارائه گردیده است هم‌خوانی دارد. دلیل این امر را می‌توان به کاهش چسبندگی و زاویه اصطکاک نمونه‌های اشباع نسبت داد. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که در شرایط خشک با گذشت زمان به تدریج به مقدار چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده افزوده می‌گردد که در نتیجه باعث افزایش مقاومت آن‌ها خواهد گردید [۱۴]. گذشت زمان حتی می‌تواند باعث افزایش جزئی در زاویه اصطکاک نمونه‌های تثبیتی (نسبت به نمونه‌های تثبیت شده یک روزه) گردد [۱۶]. اما نتایج آزمایش‌های سه‌محوری نشان دهنده کاهش در زاویه اصطکاک، چسبندگی و در نتیجه کاهش مقاومت بعد از مدت زمان ۴۰ روز نگهداری در شرایط اشباع می‌باشد که نشان از عدم عمل‌آوری مناسب نمونه می‌باشد.

به طور کلی علت کاهش در مقاومت نمونه‌های تثبیتی در حضور آب را می‌توان به چند دلیل عمده نسبت داد که عبارتند از: کاهش وزن واحد خشک نمونه، عدم عمل‌آوری مناسب نمونه‌ها به دلیل وجود آب و تغییر در شرایط نمونه از حالت غیر اشباع به اشباع در حین بارگذاری. به طور کلی از مجموعه نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها می‌توان این گونه استنباط نمود که اگرچه اشباع شدن در آب باعث کاهش قابل توجه مقاومت نمونه‌ها می‌گردد، اما نوع آب تفاوت کمی ایجاد می‌نماید. از این رو شاید بتوان نتایج این تحقیق را برای دیگر آب‌هایی (نظیر فاضلاب شهری) که احتمالاً با ماسه تثبیت شده در تماس قرار گیرند تعمیم داد که این موضوع می‌تواند برای ادامه تحقیقات نیز مد نظر قرار گیرد.

## ۵- نتیجه‌گیری

بخش‌های وسیعی از ایران و خاورمیانه را ماسه‌های ریزدانه بادرستی تشکیل می‌دهد که به دلیل ظرفیت باربری پایین آن‌ها تثبیت و بهسازی آن‌ها جهت توسعه فعالیت‌های عمرانی در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق از ضایعات و پسماندهای نفتی پالایشگاه اصفهان برای تثبیت و بهسازی ماسه‌های بادرستی شمال شرقی اصفهان (خور و بیابانک) استفاده گردید. به این منظور نمونه‌گیری ماسه در منطقه وسیعی به مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع صورت گرفت. در نهایت بر روی خاک منتخب به عنوان نماینده منطقه جهت تعیین مقدار بهینه برای تثبیت ماسه‌های منطقه و تاثیر شرایط اشباع بر روی مقاومت آن‌ها از آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری و سه‌محوری استفاده گردید که نتایج کلی آن به شرح زیر می‌باشد:

- مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرستی منطقه برابر ۷ درصد وزنی خاک می‌باشد.
- این مقدار پسماند نفتی باعث گردید که ضمن کاهش در زاویه اصطکاک ماسه بادرستی، افزایش قابل توجهی در چسبندگی حاصل گردد؛ به طوری که مقدار آن از ۰/۰۲ به ۰/۶۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش یافت. در نتیجه مقاومت تک‌محوری نمونه‌های تثبیتی به ۱/۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت سه‌محوری از ۲/۰۵ به ۳/۰۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نمونه‌های یک روزه افزایش یافت.
- اشباع کردن نمونه‌ها به مدت ۴۰ روز در آب مقطر و آب شور محل باعث افت قابل توجه مقاومت فشاری تک‌محوری و سه‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی گردید.
- هم‌چنین مشاهده گردید که در شرایط اشباع ضمن کاهش چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده، زاویه اصطکاک نمونه‌های تثبیت شده نیز کاهش خواهد یافت.

## ۶- مراجع

- [۱] کلینسلی، د.، ترجمه پاشایی، ع. کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی آن، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۳۷۰.
- [۲] خسروی، ه. تثبیت ماسه‌های ریزدانه در راهسازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۳.
- [3] Kezdi A. Mitchel JK. Stabilized Earth Roads, Developments geotechnical Engineering, No.19, Elsevier, Amesterdam, 1989.
- [4] Curtis CW, Jeon YW, and Clapp DJ. Adsorption of Asphalt Functionalities and Oxidized Asphalts on Aggregate Surfaces. Fuel Science and Technology International, 7( 9): 1225-1268, 1989.
- [۵] طباطبایی، ا. م. روسازی راه، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران، ۱۳۸۰.
- [6] Mitchell JK. Fundamentals of soil behavior. 2<sup>nd</sup> ed., John and sons Inc., Newyork, 1993.
- [7] Yong RN, Mohammed LF, Mohamed AM. O'Shay TA, Hoddinott KB. Retention and transport of oil residue in a loamy soil in Analysis of Soils Contained with PetroleumConstituent. Philadelphia, 89-101, 1994.
- [۸] حاجیان‌نیا، ا.، افلاکی، ا. اصلاح ماسه‌های بادرستی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب، مجله آب و فاضلاب، شماره ۳، ۱۳۹۰.

- [9] Salem N, Verloo M, Deboodt M. Effect of bituminous emulsions on retention and release of some chemical elements in two soil samples. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 35(3): 241-249, 1985.
- [10] Yaron B, Gerstl Z, Chen Y, Mingelgrin U. On the Behavior of Petroleum Hydrocarbons in the Unsaturated Zone: Alliotic Aspects. Toxic Organic Chemical in Porous Media, Springer-Verlage, Berlin, 211-230, 1989.
- [11] Mohammed LF. Assessment of saline soil stabilization via oil residue and its geo-environmental implications. PhD Thesis, Mc'gill University, Canada, 1995.
- [12] AL-Otaibi Fahad, Sabkha soil stabilization using Kuwait oil residues and its environmental impact, PhD thesis, Cardiff university, 2006.
- [۱۳] حاجیان‌نیا، ا.، یاری، غ.، کسائیان، ش. بهسازی ماسه‌های بادی با استفاده از پسماندهای نفتی حاصل از پالایش نفت خام، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، اردیبهشت ۱۳۹۲.
- [۱۴] یاری، غ. بررسی اثر جنس خاک بر پارامترهای مقاومتی ماسه بادرقتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان، ۱۳۹۲.
- [15] Puri D. Geotechnical Properties of Crude Oil Contaminated Sand. Analysis of soils contaminated with petroleum constituents, 1994.
- [۱۶] حاجیان‌نیا، ا. تثبیت و بهسازی ماسه‌های بادرقتی با پسماندهای نفتی پالایشگاه‌ها و اثرات زیست محیطی آن، پایان نامه دکترای عمران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، شهریور ۱۳۹۰.