

بررسی علل فرسایش شدید خاک‌های گچ دار مجتمع پتروشیمی مسجدسلیمان با تأکید بر واگرایی و انحلال پذیری

محمدحسین جوکار^۱، ماشاالله خامه چیان^{۲*}، محمدرضا نیکودل^۳

دریافت مقاله: ۹۵/۰۶/۱۳ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۶/۳۱

چکیده

واگرایی پدیده‌ای فیزیکی- شیمیایی است که در اثر آن ذرات خاک رس در مجاورت با آب چسبندگی خود را از دست داده و یکدیگر را دفع می‌نمایند، به طوری که ذرات مذکور به صورت معلق در آب درآمده و به سهولت با انرژی کمی از محیط خارج می‌شوند. پتانسیل واگرایی در یک خاک بستگی به عوامل متعددی از جمله نوع کانی‌های رسی، میزان pH، مواد آلی، دما، درصد رطوبت، نوع و غلظت یون‌های موجود در مایع منفذی خاک و خصوصیات مایع فرسایش دهنده دارد و معمولاً مقدار کاتیون سدیم بالایی دارند. از شواهد واگرایی خاک ایجاد اشکال فرسایشی در مناطق شیب‌دار و مسطح می‌باشد. از آنجا که این اشکال فرسایشی در ساختگاه پتروشیمی مسجدسلیمان، با لایه‌های سازند گچساران مشاهده گردیدند، لذا به منظور ارزیابی علل فرسایش پذیری، از نقاط مختلف ساختگاه نمونه‌برداری صورت پذیرفت و سپس با انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و آزمایش‌های مشخص‌کننده واگرایی خاک مشاهده گردید که مقدار کاتیون سدیم نمونه‌ها پایین بوده و خاک غیر واگرا است. با مشاهده کانی ژپس، منافذ و فضای خالی موجود در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی، مقدار کانی ژپس نمونه‌ها تعیین و با ارتباط آن با مشاهدات صحرایی مشخص گردید که اشکال فرسایشی ناشی از شستگی، انحلال و در نهایت پوک شدن خاک در نتیجه وجود کانی ژپس می‌باشد که باعث ایجاد یک نوع فرسایش مکانیکی در منطقه شده است.

کلید واژه‌ها: واگرایی، پتروشیمی مسجدسلیمان، ژپس، شستگی، فرسایش مکانیکی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس h.jowkar@modares.ac.ir

۲- استاد، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس khamechm@modares.ac.ir

۳- استاد، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس nikudelm@yahoo.com

*مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

خاک‌های واگرا، خاک‌های ریزدانه‌ای هستند که در صورت قرار گرفتن در معرض آب‌های نسبتاً خالص چسبندگی خود را از دست داده و در آب پراکنده می‌شوند. این خاک‌ها دارای مقدار زیادی یون سدیم در کاتیون‌های جذبی خود می‌باشند (عسکری و فاخر، ۱۳۷۲). البته همیشه مقدار بالای سدیم نشان‌دهنده واگرایی نیست. به طور مثال خاک‌های دشت سیستان علی‌رغم بالا بودن کاتیون سدیم واگرا نیستند. آن‌ها رس‌های سدیم بالای غیر واگرا هستند که در اثر فرسایش مکانیکی ناشی از شسته شدن ذرات درشت‌تر در آستانه خاصی از سرعت جریان ایجاد شده‌اند (خامه چیان و هم‌کاران، ۱۳۸۴). خاک‌های واگرا جزء خاک‌های ریزدانه می‌باشند که حداقل مقدار رس در آن‌ها ۱۰ درصد می‌باشد و در طبقه‌بندی مهندسی خاک به روش یونیفاید در گروه‌های CL تا CH قرار می‌گیرند (عسکری و فاخر، ۱۳۷۲). دلیل اصلی پدیده واگرایی بیشتر شدن نیروی دافعه الکتریکی بین ذرات از نیروی جاذبه واندروالسی در بین آن‌ها می‌باشد (Sherard and Decker, 1977). این نیروی دافعه از وجود لایه دوگانه در اطراف ذرات کانی‌های رسی ناشی می‌شود. ضخامت لایه آب نیز تأثیر قابل توجهی در رفتار خاک‌های رسی می‌گذارد. به عنوان مثال، با افزایش ضخامت لایه آب، نیروی جاذبه بین کانی‌های رسی کاهش یافته و بر اثر یک جریان آرام پراکنده می‌شوند (Vázquez et al., 2013). شناسایی خاک‌های واگرا در مناطق با شیب تند بسیار آسان است، در این مناطق بر اثر بارندگی‌ها و فرسایش سریع، بریدگی‌های بسیار عمیق و مشخصی در سطح زمین حاصل می‌شود که مشخصه اصلی خاک‌های واگرا است. در مناطق مسطح نمی‌توان به آسانی خاک‌های واگرا را شناسایی کرد، چون در اثر بارندگی‌ها وقتی ذرات رس واگرا شسته می‌شوند، لایه‌ای از ماسه لای دار یا لای ماسه‌ای به صورت پوشش محافظی در سطح زمین باقی می‌ماند و روی لایه‌های عمیق را می‌پوشاند و مشخصه اصلی که فرسایش و آب‌بریدگی‌های

عمیق می‌باشند دیده نمی‌شود و در نتیجه خاک واگرا قابل تشخیص نیست (Sherard and Decker, 1977).

کانی ژپس ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) شامل ۳۲/۶٪ کلسیم اکسید (CaO)، ۶/۵٪ سولفات (SO_4) و ۲۹/۹٪ آب (H_2O) است که در دمای ۶۵-۷۰ درجه با از دست دادن آب به کانی بازائیت ($\text{CaSO}_4, 0.5\text{H}_2\text{O}$) تبدیل و با افزایش دما در ۹۵ درجه به کانی انیدریت (CaSO_4) تبدیل و کل آب خود را از دست می‌دهد (Klein and Hurlbut, 1985).

خاک‌های ژپسی در سرتاسر جهان در اقلیم خشک و نیمه‌خشک گسترده شده‌اند به طوری که حدود ۱/۵ درصد (حدود ۱۸۶ تا ۲۰۷ میلیون هکتار) از خاک جهان را با مقدار ژپس بین ۵ تا ۵۰٪ تشکیل می‌دهند (FAO, 1993) (Adams et al., 2008) (Eswaran and Zi-Tong, 1991) (AL-) (Dabbas et al., 2012). ژپس از مستعدترین کانی‌های انحلال‌پذیر است که می‌تواند در هر نوع از مواد مادری خاک حضور داشته باشد و فرایند تشکیل آن به در دسترس بودن یون سولفات و عدم آب کافی برای حذف املاح در ژپس وابسته است. این کانی به ۴ روش می‌تواند در خاک تشکیل گردد:

۱- هوازدگی برجا از سنگ منشأ ۲- بارش غنی از سولفات از یک منبع اقیانوسی ۳- ورودی‌های بادی یا رودخانه‌ای رسوبات غنی از سولفات یا ژپس ۴- اکسیداسیون برجا کانی‌های سولفیدی (Podwojewski and Arnolod, 1994) (Carter and Inskip, 1988) (Taimeh, 1992) (Van Mermut) (Buck and Van Hoesen, 2002) (Hoesen 2000) (and Arshad, 1987). بعلاوه می‌توان از شکل، اندازه و موقعیت بلورهای ژپس در داخل ماتریس خاک برای تعیین منبع تولید ژپس استفاده کرد (Buck and Van Hoesen, 2002). خاک‌های ژپسی از چالش برانگیزترین خاک‌ها در گروه خاک‌های مسئله‌دار می‌باشند و انجام پروژه بر روی این خاک‌ها بدون در نظر گرفتن و پیش‌بینی تغییر شکل‌ها می‌تواند منجر به بروز یک فاجعه گردد (Al-Sauodi et al., 2013). در ارتباط با کانی‌های ژپس و انیدریت می‌توان دو مشکل

انحلال‌پذیری و انبساط را حتی بدون حضور کانی‌های متورم شونده مطرح کرد که مشکل انحلال در این خاک‌ها رایج‌تر است (Isik, 2000). ژپس در حالت خشک چون به صورت سیمان عمل می‌کند، خصوصیات مهندسی خاک را بهبود می‌دهد اما زمانی که بر روی خاک ژپس دار سازه‌های هیدرولیکی احداث گردد یا در اثر بارش یا تغییر سطح آب زیرزمینی مرطوب شوند در این حالت نمک و املاح خاک شسته و حل می‌شوند (Fauziah et al., 2012). این مشکل زمانی شدیدتر می‌شود که جریان آب در داخل خاک باعث از دست رفتن جرم به دلیل شستگی گردد. شستگی فرایندی است که در آن مایعاتی به صورت طبیعی و مصنوعی به داخل خاک نفوذ کنند و در نتیجه باعث حل و شست و شوی ترکیبات انحلال‌پذیر خاک شوند (Al-Zgry, 1993). انحلال انواع مختلف نمک‌های موجود در داخل توده خاک ژپس دار منافذ جدیدی را در داخل اسکلت خاک تولید می‌کند و اتصال بین سیمان و ذرات خاک را سست می‌نماید (Al-Sauodi et al., 2013). انحلال‌پذیری خاک ژپس به اندازه ذرات، درصد رطوبت، خصوصیات خاک، تغییرات آب زیرزمینی و سطحی، تغییرات اقلیم و دما، شرایط جریان و نوع و مقدار ژپس در خاک بستگی دارد. همچنین انحلال‌پذیری آن‌ها با حضور کلریدها به خصوص کلرید سدیم و منیزیم افزایش می‌یابد (Eswaran and Zi-Tong, 1991) (IPNI, 2008) (Al-Sauodi et al., 2013)). از آنجا که اندازه ذرات هر چه کوچک‌تر باشد نرخ نفوذ و به صورت قابل توجهی انحلال ژپس کاهش می‌یابد بنابراین مستعدترین بافت برای انحلال، بافت درشت دانه مثل ماسه می‌باشد (Tatlari, 1996).

به دلیل ویژگی‌های خاص منطقه مورد مطالعه که پوشیده از رسوبات تبخیری سازند گچساران با مقدار نمک و املاح بالایی می‌باشد، نقش چندین پدیده را در فرسایش منطقه می‌توان بررسی کرد، از جمله پدیده بافت و پوشش گیاهی خاک، واگرایی خاک‌ها و خاک‌های انحلال‌پذیر است. خاک‌های ژپسی معمولاً رفتار مهندسی یکسانی از خود نشان نمی‌دهند. این تضاد ناشی از نوع ژپس (هیدراته، غیر

هیدراته)، نوع خاک و محدوده مقدار ژپس می‌باشد (Al-Sauodi et al., 2013). گزارش‌ها در ارتباط با این گونه خاک‌ها اغلب پراکنده بوده و به سختی می‌توان نتایج آن‌ها را به علت پیچیدگی رفتار ناشی از تغییر کاتیون‌های موجود و ساختار خاک با همدیگر مقایسه نمود، به طوری که اگر از یک منطقه سه نمونه با مقدار گچ یکسان تهیه شود به هیچ وجه نمی‌توان انتظار داشت که پارامترهای شیمیایی و فیزیکی این خاک‌ها یکسان باشد (منصوری کیا و همکاران، ۱۳۸۷). از آنجا که کانی ژپس دارای وزن مخصوص پایین‌تری نسبت به دیگر ذرات خاک است، در نتیجه وزن واحد حجم نمونه‌ها با افزایش مقدار ژپس کاهش می‌یابد. به دلیل آنکه افزایش دما باعث تغییر در ساختار کانی ژپس می‌گردد، محققین پیشنهاد می‌کنند که برای جلوگیری از این خطا از دمای ۶۰ درجه به جای دمای استاندارد ۱۰۵ درجه برای خشک کردن خاک‌های ژپس دار استفاده گردد (Arakelyan, 1986) (تاتلاری، ۱۳۷۵) (رحیمی و همکاران، ۱۳۷۷)). ناجح و همکاران (Najah et al., 2013) با انجام آزمایش‌های حدود اتبرگ، تراکم و مقاومت برشی بر روی نمونه‌های خاک SM و ML با درصد‌های وزنی ژپس ۰.۵٪، ۱.۰٪، ۱.۵٪، ۵.۰٪، ۸.۵٪، ۹.۰٪، ۹۵٪ مشاهده کردند که با افزایش مقدار ژپس، حد روانی و حد خمیری افزایش ولی شاخص خمیری کاهش می‌یابد. همچنین حداکثر وزن واحد حجم خشک نمونه‌های ماسه‌ای با افزایش مقدار ژپس افزایش می‌یابد، اما در نمونه سیلتی تقریباً روند ثابت و تغییرات چندانی مشاهده نمی‌گردد. در ارتباط با پارامترهای مقاومت برشی در هر دو خاک با افزایش مقدار ژپس روند مشخصی گزارش نگردید. اصغری و همکاران (Asghari et al., 2014) مشاهده کردند که با افزایش مقدار ژپس در خاک‌های SM و ML حد روانی و حد خمیری افزایش می‌یابد. کارگر و همکاران (۱۳۸۹) و پتروخین (Petrukhin, 1993) مشاهده کردند که وجود گچ نه تنها بر ساختمان خاک بلکه بر تخلخل، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن نیز تأثیرگذار است. گچ به دلیل تبادل یونی، موجب فلکوله شدن کانی‌های رسی و ایجاد فعل و انفعالاتی

انحلال‌پذیری و انبساط را حتی بدون حضور کانی‌های متورم شونده مطرح کرد که مشکل انحلال در این خاک‌ها رایج‌تر است (Isik, 2000). ژپس در حالت خشک چون به صورت سیمان عمل می‌کند، خصوصیات مهندسی خاک را بهبود می‌دهد اما زمانی که بر روی خاک ژپس دار سازه‌های هیدرولیکی احداث گردد یا در اثر بارش یا تغییر سطح آب زیرزمینی مرطوب شوند در این حالت نمک و املاح خاک شسته و حل می‌شوند (Fauziah et al., 2012). این مشکل زمانی شدیدتر می‌شود که جریان آب در داخل خاک باعث از دست رفتن جرم به دلیل شستگی گردد. شستگی فرایندی است که در آن مایعاتی به صورت طبیعی و مصنوعی به داخل خاک نفوذ کنند و در نتیجه باعث حل و شست و شوی ترکیبات انحلال‌پذیر خاک شوند (Al-Zgry, 1993). انحلال انواع مختلف نمک‌های موجود در داخل توده خاک ژپس دار منافذ جدیدی را در داخل اسکلت خاک تولید می‌کند و اتصال بین سیمان و ذرات خاک را سست می‌نماید (Al-Sauodi et al., 2013). انحلال‌پذیری خاک ژپس به اندازه ذرات، درصد رطوبت، خصوصیات خاک، تغییرات آب زیرزمینی و سطحی، تغییرات اقلیم و دما، شرایط جریان و نوع و مقدار ژپس در خاک بستگی دارد. همچنین انحلال‌پذیری آن‌ها با حضور کلریدها به خصوص کلرید سدیم و منیزیم افزایش می‌یابد (Eswaran and Zi-Tong, 1991) (IPNI, 2008) (Al-Sauodi et al., 2013)). از آنجا که اندازه ذرات هر چه کوچک‌تر باشد نرخ نفوذ و به صورت قابل توجهی انحلال ژپس کاهش می‌یابد بنابراین مستعدترین بافت برای انحلال، بافت درشت دانه مثل ماسه می‌باشد (Tatlari, 1996).

به دلیل ویژگی‌های خاص منطقه مورد مطالعه که پوشیده از رسوبات تبخیری سازند گچساران با مقدار نمک و املاح بالایی می‌باشد، نقش چندین پدیده را در فرسایش منطقه می‌توان بررسی کرد، از جمله پدیده بافت و پوشش گیاهی خاک، واگرایی خاک‌ها و خاک‌های انحلال‌پذیر است. خاک‌های ژپسی معمولاً رفتار مهندسی یکسانی از خود نشان نمی‌دهند. این تضاد ناشی از نوع ژپس (هیدراته، غیر

آزمایش‌های شیمیایی از روش‌های ارزیابی واگرایی خاک به شمار می‌آیند که تاکنون معیارهای مختلفی توسط محققین برای استفاده از آن‌ها ارائه شده است. شرارد و همکاران (Sherard et al., 1976) با ارائه یک نمودار برحسب درصد سدیم و کل نمک‌های محلول سه منطقه غیر واگرا، متوسط واگرا و واگرا را معرفی کردند. بر اساس تحقیقی که بر روی ۲۲۳ نمونه از ۶ گروه مختلف خاک از مناطق ایالت متحده انجام شد روش شیمیایی املاح محلول در آب منفذی برای تشخیص رس‌ها نامناسب معرفی گردید (Craft and Acciardi, 1984). اما با توجه به تناقض آزمایش‌های فیزیکی انجام‌شده بر روی خاک‌های شور منطقه خوزستان با نتایج معیار شیمیایی شرارد و با توجه به اینکه معیار افریقای جنوبی این تناقض را کمتر می‌ساخت معیار دیگری مشابه معیار افریقای جنوبی از سوی رحیمی و دلفی برای رس‌های ایران ارائه شد (Rahimi and Delfi, 1993). همچنین معیار واقع‌بینانه‌تری توسط بازرگان و اسمعیلی برای ارزیابی پتانسیل واگرایی خاک‌ها ارائه شد (بازرگان و اسمعیلی، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه ترکیب خاصی از آزمایش‌ها نتایج دقیق‌تری جهت ارزیابی خاک‌های واگرا ارائه می‌دهند بنابراین بل و همکاران (Bell et al., 1994) ترکیب متنوعی از نتایج آزمایش‌های کرامب، پین هول، مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) و نتایج نمودارهای ظرفیت تبادل کاتیونی با درصد سدیم تبادلی (CEC VS. ESP) و میزان کل نمک‌های محلول با درصد سدیم (TDS VS. Na) ارائه کردند. بل و الکر (Bell and Walker, 2000) سیستم رتبه دهی جدیدی را تحت عنوان سیستم رتبه دهی اصلاح شده ارائه دادند که در این سیستم بیشترین رتبه به نتایج آزمایش پین هول داده شده است. مشخصات این سیستم در جدول ۱ قابل مشاهده است. فان و کونگ (Fan and Kong, 2013) مقدار واگرایی خاک را به حد روانی، مقدار رس، درصد سدیم و pH خاک مربوط دانستند و با ارائه سه رابطه (۱، ۲ و ۳) و یک فلوجارت (شکل ۱) واگرایی خاک را ارزیابی کردند.

بین کانی‌های محلول رس با یون کلسیم می‌گردد که به موجب آن کلسیم سیلیکات هیدرات و ترکیبات کلسیم آلومینات هیدرات تشکیل شده و خاصیت خمیری خاک‌های رسی کاهش می‌یابد. با ساخت نمونه‌های مصنوعی در مقدار مختلف گچ و انجام آزمایش تراکم استاندارد مشاهده گردید که حداکثر وزن واحد حجم خشک نمونه‌ها با افزایش مقدار گچ به خاطر جایگزینی ذرات سبک گچ به جای ذرات خاک کاهش و رطوبت بهینه افزایش می‌یابد ((کارگر و همکاران، ۱۳۸۹) (Subhi, 1987) (Al-Daood et al., 2014)). همچنین با افزایش مقدار ژپس می‌توان مشاهده کرد که حداکثر وزن واحد حجم نمونه‌ها تا ۱۵٪ افزایش می‌یابد، سپس به صورت تدریجی پایین می‌آید ((Al-Dilaimy, 1989) (Kattab, 1986)). ال-هتی (Al-Heeti, 1990) مشاهده کرد که خاک‌های سیلتی رسی رفتار متفاوتی با افزایش مقدار ژپس از خود نشان می‌دهند در یک سری از آن‌ها با افزایش مقدار ژپس حداکثر وزن واحد حجم خشک افزایش می‌یابد در حالی که برای سری دیگر این روند تا یک حدی کاهش است و پس از آن شروع به افزایش می‌کند. برای خاک‌های با مقدار ژپس بالا حداکثر وزن واحد حجم خشک نمونه‌ها تأثیرپذیری کمی از خود نشان می‌دهد که با افزایش مقدار ژپس رطوبت بهینه کاهش می‌یابد (Al-Layla and Al-Obaydi, 1993). مطالعات ال-گبری (Al-Gabri, 2003) نشان داد که با افزایش مقدار ژپس نمونه‌ها رطوبت بهینه کاهش و حداکثر وزن واحد حجم خشک نمونه‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش شوری و املاح خاک نیز به دلیل کاهش ضخامت لایه دوگانه و افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات رس در اثر افزایش غلظت آب منفذی، رطوبت بهینه کاهش و حداکثر وزن واحد حجم خشک افزایش می‌یابد ((Shariatmadari et al., 2011) (Alainachi and Alobaidy, 2010) (Emami Azadi, 2008) (Mansour et al., 2008)).

۲. معیارهای شیمیایی ارزیابی واگرایی خاک

$$F_1 = 4 - 0.01(2W_L + P_C) \quad (۱)$$

که در این روابط، W_L : حد روانی، P_C : مقدار رس، P_S : درصد سدیم، pH : اسیدیته خاک می‌باشد.

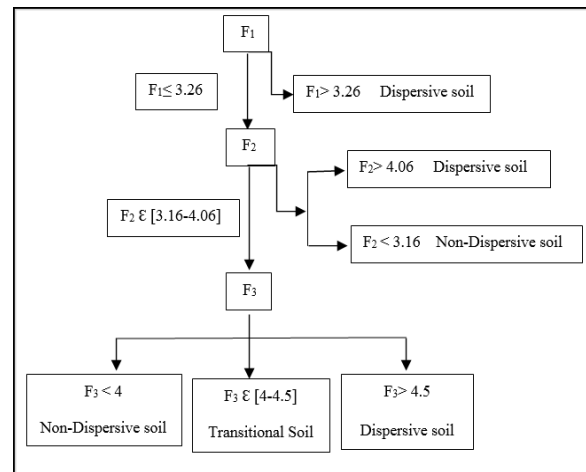
$$F_2 = 4 - 0.01(2W_L + P_C - P_S) \quad (۲)$$

$$F_3 = 4 - 0.01(2W_L + P_C + P_S) + 0.1pH \quad (۳)$$

جدول ۱. سیستم رتبه دهی بل و والکر (Bell and Walker, 2000) برای شناسایی خاک‌های واگرا

Test	Class and Rate		Description of dispersivity			
	Class	Rate	Dispersive	Moderate	Slightly	Non- dispersive
Pinhole test	Class	Rate	5	3	1	0
CEC vs.ESP	Class	Rate	Highly dispersive 4	Dispersive 3	Marginal 1	Non- dispersive 0
Crumb test	Class	Rate	Strong reaction 3	Moderate 2	Slight 1	No reaction 0
SAR	Class	Rate	>2 2	1.5-2 1		<1.5 0
TDS VS.% Na	Class	Rate	Dispersive 2	Intermediate 1		Non-dispersive 0
	Total	Rate	Highly dispersive > 12	Moderately 8-11	Slightly 5-7	Non- dispersive <4

گچساران و نهشته‌های تبخیری (شکل ۲) در مساحت ۵۱۰ هزار مترمربع در حال احداث است. فروافتادگی دزفول یک پهنه از زمین‌شناسی ایران است که توسط گسل بلارود و گسل کازرون در برگرفته شده است. با انجام فاز یک مطالعاتی پتروشیمی که شامل بیش از ۲۵۰۰ متر حفاری، نمونه‌گیری دست‌خورده و دست‌نخورده، آزمایش‌های ژئوفیزیکی، GPR و دان‌هول و آزمایش‌های برجا چون نفوذ استاندارد و بارگذاری صفحه است، مشخص گردید که در غرب و جنوب شرق ساختگاه مورد مطالعه حفره‌هایی با ابعاد کوچک در بالای سطح آب زیرزمینی وجود دارد و در شمال و شمال شرق ساختگاه بعضی از حفره‌ها در اعماق سطحی و بعضی عمیق‌تر در سنگ‌های ژئوس خورد شده در حفاری گمانه‌ها به دست آمد که احتمال داده شد این حفرات در ارتباط با انحلال ژئوس در طی فرایند نفوذ آب یا شسته شدن خاک واگرا باشد. همچنین سطح آب زیرزمینی در ساختگاه عمدتاً بین ۷-۱۱ متر و عمق سنگ بستر پس از حفر ۱۱۱ گمانه، در جنوب غرب ساختگاه در عمق بیش از ۲۰ متر، در مرکز ساختگاه بین ۱۵-۲۰ و در شمال و شمال غرب ساختگاه در



شکل ۱. فلوجارت ارزیابی واگرایی خاک‌ها (Fan and

(Kong, 2013

۳. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی گستره طرح

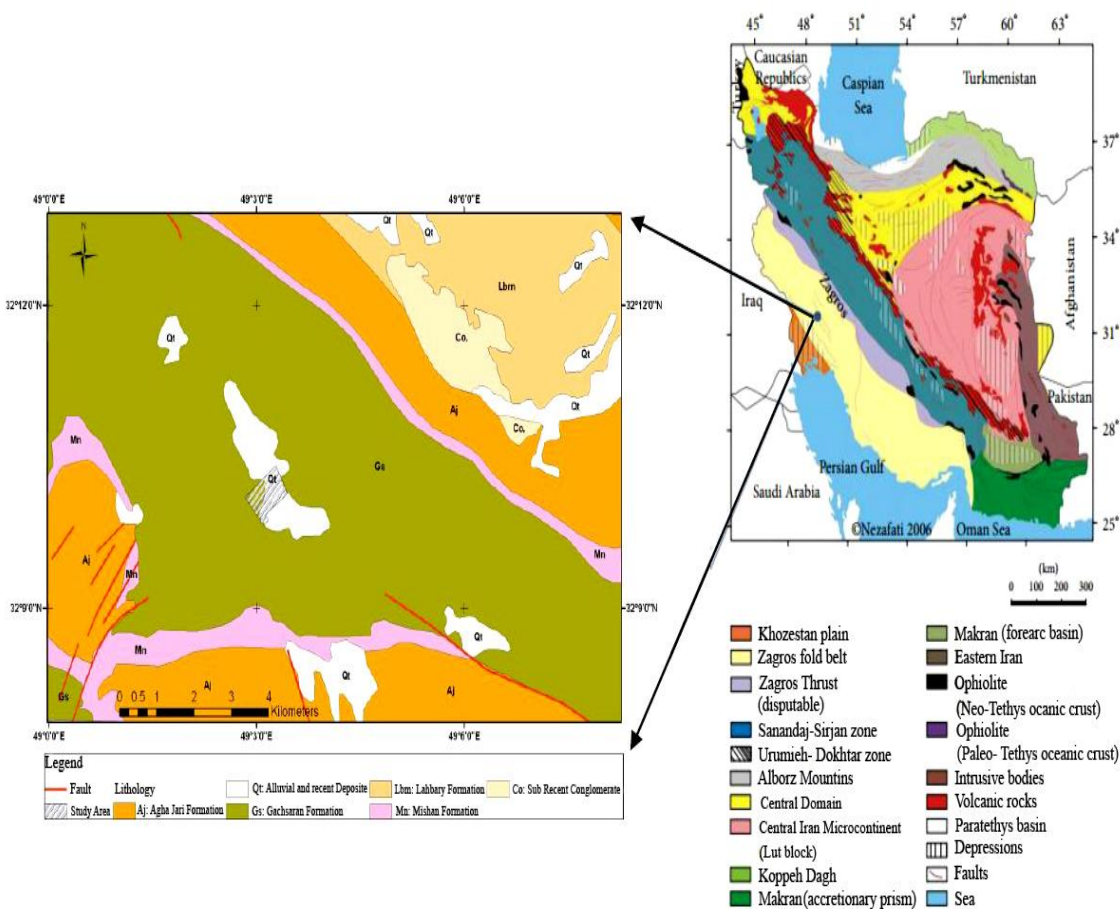
پروژه پتروشیمی اوره و آمونیاک مسجد سلیمان در حد فاصل بین دو شهر ستان لالی و مسجد سلیمان در نزدیکی روستای هفت شهیدان قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان در پهنه زمین‌شناسی فروافتادگی دزفول روی خاک‌های ریزدانه حاوی ژئوس و سنگ‌های تبخیری سازند

آزمایش بارگذاری صفحه‌ای حفر شده بودند (با حرف P)، نمونه‌برداری صورت گرفت که موقعیت آن‌ها در شکل ۳ و تصاویری از اشکال فرسایشی و نقاط نمونه‌برداری به ترتیب در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. سپس در راستای شناسایی علل فرسایش آزمایش‌های میکروسکوپی (۹ عدد)، شیمیایی (۹۰ عدد، فیزیکی (۵۰ عدد)، مکانیکی (۱۰ عدد) و آزمایش‌های تعیین‌کننده واگرایی خاک (۳۰ عدد) مطابق با استاندارد ASTM صورت پذیرفت و در انتها هم‌خوانی نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

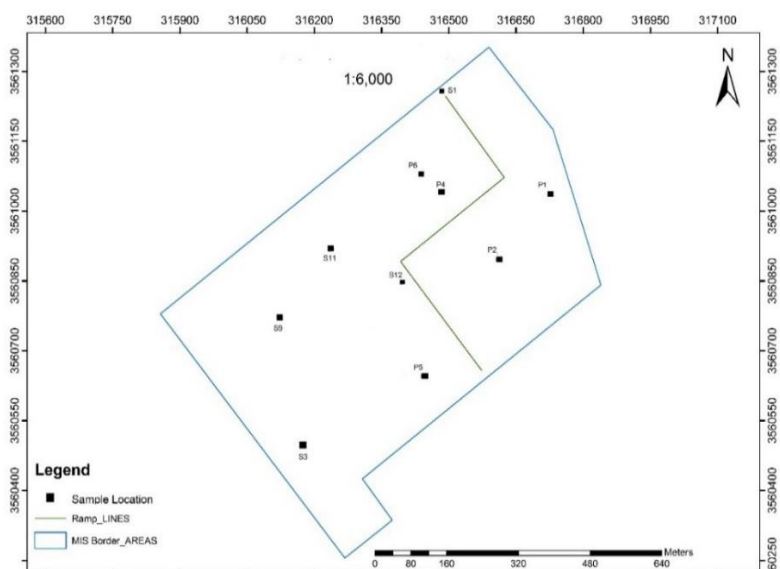
کمتر از ۱۰ متر، گزارش شده است (شرکت زمین فیزیک پویا، ۱۳۹۴)

۴. روش تحقیق

با توجه به مشاهده گوره‌ها، بریدگی‌ها، خندقی‌ها و دیگر اشکال فرسایشی در ساختگاه پتروشیمی مسجدسلیمان به منظور بررسی علل فرسایش از ۱۰ نقطه مختلف ساختگاه، متشکل از اشکال فرسایشی (با حرف S) و گودی‌هایی که برای انجام



شکل ۲. موقعیت و نقشه زمین‌شناسی گستره‌ی طرح



شکل ۳. موقعیت محل برداشت نمونه‌ها



شکل ۴. تصاویری از اشکال فرسایشی



شکل ۵. تصاویری از نقاط نمونه برداری

۵. آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی

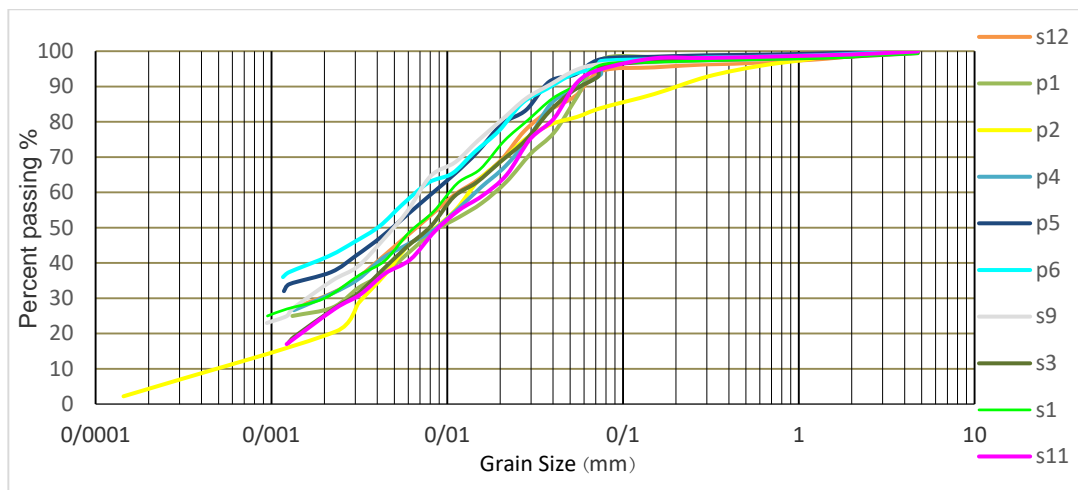
پس از انجام نمونه‌برداری صحرائی، آزمایش‌های فیزیکی شامل تعیین وزن واحد حجم طبیعی کلوخه خاک (CMW) با استفاده از پارافین و درصد رطوبت نمونه‌ها (ASTM D2216)، دانه‌بندی به روش الک (ASTM D422) و هیدرومتری (ASTM D421)، حدود اتربرگ (ASTM D4318) به منظور تعیین حد روانی و خمیری نمونه‌ها و تراکم استاندارد (ASTM D698) نیز برای تعیین حداکثر وزن واحد حجم خشک (MDW) نمونه‌ها و رطوبت بهینه (OMC) و استفاده در آزمایش پین هول صورت پذیرفت که نتایج آن‌ها در جدول ۲ و منحنی دانه‌بندی آن‌ها در شکل ۶ برای ۱۰ نمونه قابل مشاهده است. همچنین به منظور تعیین خصوصیات بافتی و مورفولوژی خاک با استفاده از طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این طبقه‌بندی در جدول ۳ قابل مشاهده است.

۶. آزمایش‌های تعیین‌کننده واگرایی خاک

به منظور بررسی واگرایی خاک آزمایش کرامب (ASTM D6572)، آزمایش هیدرومتری دوگانه (ASTM D4221) و آزمایش پین هول (ASTM D4647) بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. در آزمایش کرامب (شکل ۷) اندرکنش بین نمونه‌ها با آب در زمان‌های ۲ دقیقه، یک ساعت و شش ساعت بررسی شد که نتایج نشان‌دهنده عدم واگرایی (ND) و واگرایی متوسط (MD) نمونه‌ها بود (جدول ۴). با انجام آزمایش هیدرومتری دوگانه پس از مشخص کردن اندازه ذرات کوچک‌تر از ۵ میکرون در آزمایش هیدرومتری با ماده پراکنده ساز و بدون آن نتایج بررسی شد (جدول ۴) که نشان‌دهنده غیر واگرا بودن (ND) خاک‌ها است. آزمایش پین هول (شکل ۸) با عبور دادن آب از داخل سوراخی به قطر ۱ میلی‌متر میزان واگرایی خاک‌های ریزدانه را بر اساس کدورت آب خروجی، دبی آب و اندازه سوراخ پس از آزمایش تعیین می‌کند. در این پژوهش آزمایش پین هول بر اساس روش A تا ارتفاع آب ۱۰۲۰ میلی‌متر بر روی نمونه‌ها صورت گرفت که نتایج نشان‌دهنده غیر واگرا بودن (ND2) خاک است (جدول ۴).

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها

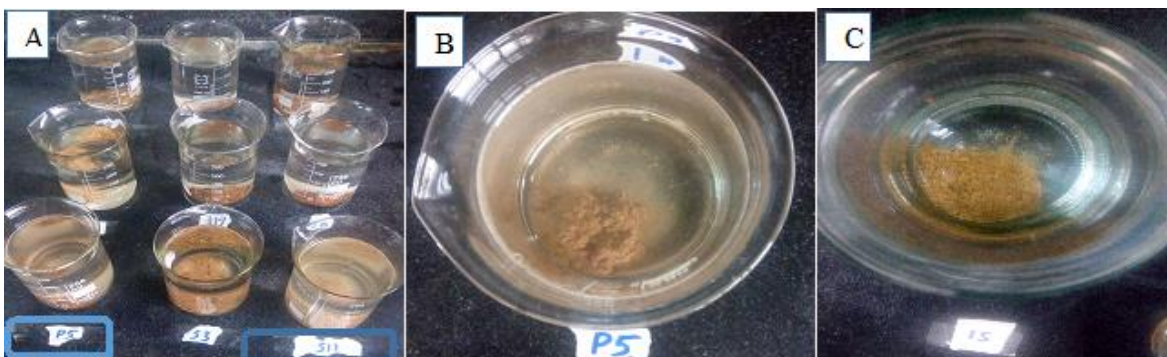
OMC %	MDW (kN/m ³)	W(%)	CMW (kN/m ³)	Soil Class	LL% (Cone penetration)	PI%	PL%	LL%	Location
15.5	17.32	2.6	17.2	CL	36.3	14.9	22.9	37.8	P1
12	17.61	2.4	16.65	CL	30.9	9.3	22	31.3	P2
17	17	3.3	20.2	ML	34.8	8	25.4	33.4	P4
16.6	18.08	2.5	17.9	CL	37	15	23.5	38.5	P5
16.7	17.52	2	19.8	CL	39.4	18.1	20.2	38.3	P6
14	17.58	1.3	20.6	CL	36.8	17	21.2	38.2	S1
15.4	17.4	1.7	18	CL	34	10.7	22	32.7	S3
14.7	17.6	0.5	17.1	CL	40.41	18.1	20.7	38.8	S9
14.5	17.51	2.1	18.2	CL	31.65	14	20.3	33.3	S11
15.7	17.21	1.4	18.6	CL	35.21	16.2	21.3	37.5	S12



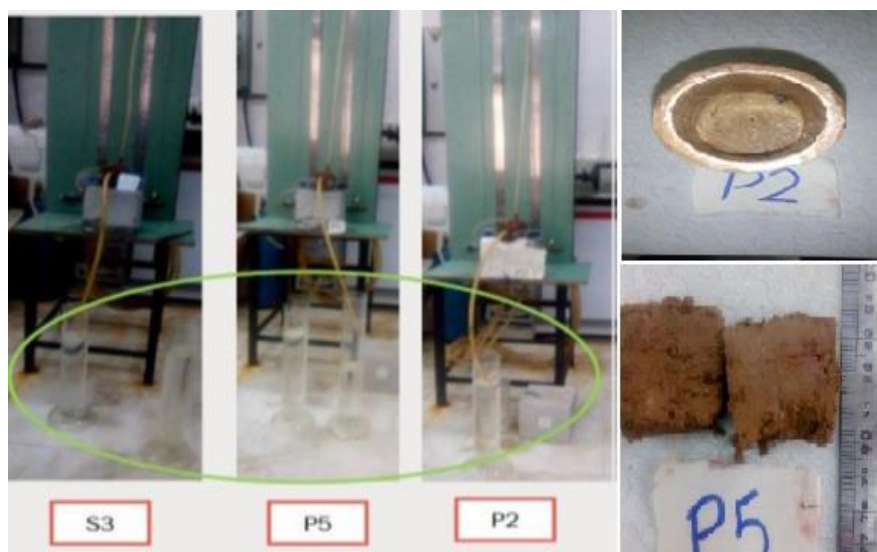
شکل ۶. منحنی دانه‌بندی نمونه‌ها

جدول ۳. طبقه‌بندی خاک‌ها بر مبنای بافت به روش USDA

Soil Class	Sand Percent %	Clay Percent %	Silt Percent %	Location
Silty Clay Loam	14.5	27.15	58.35	P1
Silt Loam	19.85	19.3	60.85	P2
Silty Clay Loam	10	31.3	58.7	P4
Silty Clay Loam	6.3	37.45	56.25	P5
Silty Clay	5.85	42.35	51.8	P6
Silty Clay Loam	7.95	30.5	61.55	S1
Silty Clay Loam	9.9	27.4	62.7	S3
Silty Clay Loam	4	35.5	60.5	S9
Silty Clay Loam	8.15	27.25	64.6	S11
Silty Clay Loam	11.4	31.8	56.8	S12



شکل ۷. A: تصاویری از انجام آزمایش‌های کرامب، B: نمونه با واگرایی متوسط، C: نمونه غیر واگرا



شکل ۸. تصاویری از انجام آزمایش پین هول

جدول ۴. نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین‌کننده واگرایی خاک

Location	Crumb		Test			Double	Hydrometer	Pinhole
	2 min	1 hour	6 hour	Result	Temperature ©	A/B (%)	Result	Result
P1	D1	D1	D1	ND	21	2.53	ND	ND2
P2	D2	D1	D1	ND	21	6.5	ND	ND2
P4	D1	D1	D1	ND	21	1.86	ND	ND2
P5	D3	D2	D2	MD	21	1.8	ND	ND2
P6	D2	D1	D1	ND	21	0.74	ND	ND2
S12	D2	D1	D1	ND	21	1.36	ND	ND2
S3	D2	D1	D1	ND	21	2.07	ND	ND2
S11	D3	D2	D2	MD	21	3.16	ND	ND2
S1	D1	D1	D1	ND	21	4.77	ND	ND2
S9	D2	D1	D1	ND	21	2	ND	ND2

۱-۷. آزمایش‌های شیمیایی

به منظور تعیین واگرایی، ماهیت و شیمی خاک از نمونه‌ها عصاره اشباع تهیه گردید. در ابتدا مقدار pH، EC نمونه‌ها اندازه‌گیری شد سپس به منظور تعیین درصد کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نمونه‌ها پس از ساخت محلول نمک استاندارد و رقیق‌سازی آنالیز ICP صورت گرفت. بدین صورت مقدار SAR و درصد سدیم (PS) تعیین گردید. از آنجا که امکان اندازه‌گیری مقدار ESP از خاک خشک فراهم نشد، این مقادیر

از طریق رابطه ۴ که به روش ریچاردز معروف است محاسبه گردید (Satton and Mitchel, 1976). نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۵ قابل مشاهده است.

$$ESP = \frac{100 - (-0.0126 + 0.01475 SAR)}{100 + (-0.0126 + 0.01475 SAR)} \quad (4)$$

در ادامه به منظور کانی‌شناسی نمونه‌ها آنالیز XRD - Clay بر روی سه نمونه پس از جدایش کانی‌های رسی از سنگ‌های تخریبی، کربناته، سولفات و حذف مواد آلی خالص‌سازی صورت گرفت و پس از اشباع‌شدگی، اثر دادن گلیکول و تیمار

شیمیائی اندازه‌گیری شده و معیارهای شیمیایی واگرایی خاک، مطابق با معیار شرارد (Sherard, 1976) همه نمونه‌ها غیر واگرا، مطابق معیار شیمیایی رحیمی و دلفی (Rahimi and Delfi, 1993) نمونه S11 متوسط واگرا، مطابق با معیار بازرگان و اسمعیلی (۱۳۸۹) نمونه P1 متوسط واگرا، از نظر سیستم رتبه دهی بل و والکر (Bell and Walker, 2000) همه نمونه‌ها غیر واگرا و بر اساس معیار فان و کونگ (Fan and Kong, 2013) همه نمونه‌ها غیر واگرا هستند.

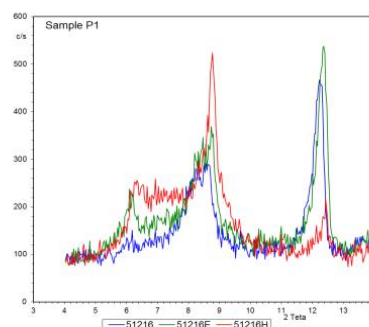
دما در هر سه نمونه کانی‌های رسی کلریت و ایلیت- میکا با توجه به یکسان بودن طیف میکا و ایلیت تشخیص داده شد (شکل ۹) و اثری از کانی‌های رسی گروه مونت موریونیت دیده نشد. همچنین به منظور شناسایی اکسیدهای تشکیل‌دهنده نمونه‌های طبیعی ساختگاه پتروشیمی، سه نمونه از طریق آزمایش فلورسانس اشعه ایکس توسط آنالیز X-Ray شناسایی شدند. با توجه به نتایج (جدول ۶) مشاهده می‌شود که مقدار اکسید سدیم نمونه‌ها پایین و مقدار سیلیس و کربنات نمونه‌ها بین ۲۰ تا ۳۵ درصد می‌باشد. همچنین بر اساس ویژگی‌های

جدول ۵. نتایج ارزیابی مشخصات شیمیایی نمونه‌ها

PS	ESP	SAR	TDS (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	EC (ds/m)	pH	Location
6.23	1.000123	0.44	22.82	12	9	1.42	0.39	5.03	8.56	P1
1.66	1.000171	0.27	132.41	81.01	48.85	2.2	0.35	2.69	8.24	P2
2.29	1.000153	0.33	103.73	59.47	41.72	2.38	0.15	2.7	8.48	P4
3.3	1.000161	0.31	42.15	24.88	15.59	1.39	0.29	1.19	8.43	P5
2.76	1.000153	0.33	70.96	40.61	28.06	1.96	0.33	1.48	8.28	P6
2.03	1.000158	0.32	120.14	66.64	50.67	2.44	0.38	2.83	8.25	S1
4.23	1.000134	0.4	42.89	22.95	17.96	1.81	0.16	1.09	8.58	S11
4.41	1.00099	0.52	65.40	27.41	34.68	2.88	0.43	1.39	8.07	S12
1.95	1.00017	0.28	98.03	47.85	47.87	1.91	0.39	2.57	8.35	S3
2.19	1.000173	0.27	71.83	35.72	34.17	1.57	0.37	2.4	8.37	S9

جدول ۶. نتایج آنالیز XRF بر روی سه نمونه

P2	P1	S12	Oxides
17.15	21.32	22.45	LOI
0.308	0.339	0.297	Na ₂ O
4.011	4.319	4.168	MgO
6.763	9.593	9.191	Al ₂ O ₃
23.288	35.037	32.78	SiO ₂
15.006	0.111	0.886	SO ₃
0.071	0.142	0.112	P ₂ O ₅
1.177	1.453	1.429	K ₂ O
28.895	24.804	24.302	CaO



Clay Minerals
Chlorite (Mg,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Mica_illite (K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂



شکل ۹. آنالیز کانی‌شناسی نمونه P1

0.369	0.6	0.568	TiO ₂
2.753	4.053	3.755	Fe ₂ O ₃
0.172	0.038	0.042	Sr
0.037	0.018	0.017	Zr

۷. ارزیابی انحلال‌پذیری و آب شستگی نمونه‌ها

با مشاهده آب شستگی‌های سطحی و افزایش قطر گمانه‌هایی که در چند متر اول حفاری با قطر ۱۱۰ میلی‌متر حفر شده و پس از یک بارندگی دچار آب شستگی و افزایش قطر تا ۱۷۰ میلی‌متر (محل نمونه‌برداری S۱۱) شده و همچنین وجود ژپس و منافذ در نمونه‌های دستی (شکل ۱۰)، به منظور مطالعات دقیق‌تر از نمونه‌ها مقاطع نازک (جدول ۷) تهیه و مقدار ژپس آن‌ها تعیین گردید. مقدار گچ در خاک‌ها توسط ۸ روش استون، کربنات سدیم، رزین، تفاضل کلسیم و منیزیم، سولفات عصاره رقیق شده، کربنات آمونیوم، سترات سدیم و اسیدکلریدریک اندازه‌گیری می‌گردد که از میان آن‌ها روش کربنات سدیم دقیق‌ترین و روش استون اگرچه اشکالات زیادی دارد اما معمول‌ترین آزمایش تعیین مقدار ژپس در آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی است (یغمائیان مهابادی و گیوی، ۱۳۸۶). در این راستا، حسنی (۱۳۹۲) برای تعیین گچ از روش‌های عصاره‌گیری با آب و هدایت سنجی و کربنات سدیم و کدورت سنجی و عصاره‌گیری متوالی با آب و کدورت سنجی استفاده کرد و روش عصاره‌گیری متوالی با آب و کدورت سنجی را با صحت بالاتری گزارش نمود، در این پژوهش نیز از این روش استفاده شد که در آن ابتدا ۰/۵ گرم خاک به لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد سپس ۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۵۰ درصد برای خارج شدن سولفات‌های محلول و کاستن حلالیت گچ به خاک اضافه شد. پس از سانتریفیوژ محلول الکلی و خاک، محلول رویی دور ریخته شد و خاک انتهایی لوله با ۴۵ میلی‌لیتر آب مخلوط شد این سو سپانسیون به مدت ۱۵ دقیقه روی دستگاه لرزنده رفت و برگشتی قرار گرفت. سو سپانسیون سانتریفیوژ شد و محلول رویی صاف شده و جمع‌آوری گردید. این عمل ۵ بار تکرار و هر بار محلول رویی به محلول قبلی اضافه شده و پس از کامل

شدن عصاره‌گیری، مقدار یون سولفات به روش کدورت سنجی با ساختن نمونه‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری سولفات از محلول بافر (A)، ۳۰ گرم منیزیم کلرید، ۵ گرم سدیم استات، ۱ گرم پتاسیم نترات و ۲۰ میلی‌لیتر استیک اسید ۹۹٪ را در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و تا یک لیتر رقیق شده بود، استفاده شد و طول موج دستگاه کدورت سنج بر روی ۴۲۰ تنظیم گردید (بینای مطلق، ۱۳۸۹). مقدار یون سولفات و مقدار ژپس نمونه‌ها در جدول ۸ آورده شده است. همچنین ال-مفتی و نهشت (Al-Muftly and Nashat, 2000) در سال ۲۰۰۰ با ارائه (روابط ۵ و ۶) به تعیین مقدار ژپس پرداختند. که نتایج حاصل از این روش پس از سه بار انجام و میانگین‌گیری در جدول ۵ قابل مشاهده است.

$$\chi_{caso4.eh2o} = \frac{W_{s,45} - W_d}{W_{s,45}} * \frac{136+18\varepsilon}{36} * 10 \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{2(W_{s,45} - W_d)}{W_{s,45} - W_d} \quad (6)$$

در این روابط $W_{s,45}$: وزن نمونه که به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه قرار داده شده است، $W_{s,45}$: وزن نمونه پس از آنکه با آب مقطر مستغرق و سپس در دمای ۴۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده باشد است، W_d : وزن نمونه که به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه قرار داده شده است، ε : تعداد مولکول آب هیدراته در شبکه کلسیم سولفات (برای ژپس برابر با ۲) و χ : مقدار ژپس است.

بعلاوه از آنجا که کربنات کلسیم یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات و خاک است، لذا از دستگاه کلسیمتر برنارد که واکنش اسید و کربنات را در یک محیط بسته انجام می‌دهد به منظور تعیین درصد کربنات نمونه‌ها استفاده گردید. نتایج پس از سه بار انجام و میانگین‌گیری در جدول ۵ قابل مشاهده است.

۸. ارزیابی تأثیر مقدار ژپس بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها

از آنجا که نمونه‌های برداشت‌شده از مناطق سطحی تحت تأثیر فرسایش و شستگی ژپس و املاح خود را از دست داده‌اند، اکثراً مقدار ژپس در آن‌ها کمتر از ۵ درصد به دست آمد. با رسم منحنی‌های نشانه خمیری (PI)، رطوبت بهینه (OMC) و حداکثر وزن واحد حجم خشک (MDW) نمونه‌ها، در کنار مقدار ژپس به دست آمده از دو روش ال-مفتی و نهشت (AI- (Mufty and Nashat, 2000) (AMN) و کدورت سنجی (TM) (شکل ۱۱) می‌توان مشاهده کرد که:

وزن واحد حجم نمونه‌ها تحت تأثیر ترکیب شیمیایی، تخلخل، درجه پوکی، کانی‌های موجود (تفاوت در میزان کانی‌های چگال)، بافت و شسته شدن کانی‌های انحلال‌پذیر است. نمونه

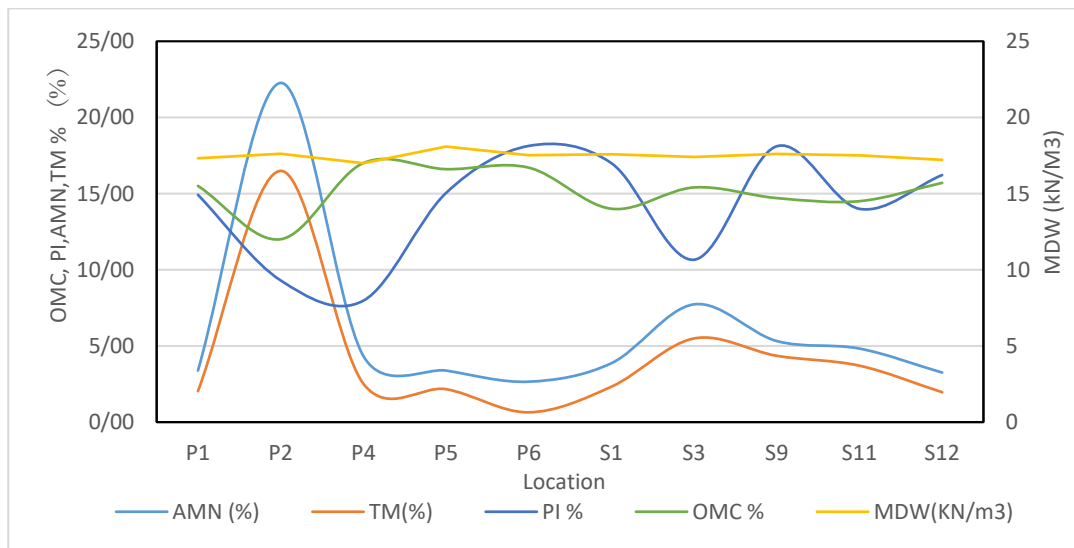
P2 به دلیل مقدار بالای ژپس و دارا بودن وزن مخصوص پایین‌تر کانی ژپس نسبت به دیگر کانی‌ها دارای وزن واحد حجم پایین‌ترین مقدار است.

روند نتایج حد روانی و نشانه خمیری به دلیل شستگی مقدار ژپس نمونه‌ها و داشتن ژپس کمتر از ۵ درصد در اکثر نمونه‌ها یکنواخت و در نمونه‌های P2 و S3 به دلیل مقدار ژپس بیش از ۵ درصد کاهش یافته است.

در حداکثر وزن واحد حجم خشک نمونه‌ها و رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم استاندارد نمونه‌ها تغییرات چندانی جز در نمونه P2 که با داشتن بیشترین مقدار ژپس، کمترین رطوبت بهینه را دارا بود مشاهده نگردید همچنین رطوبت بهینه پایین نمونه P1 را می‌توان به شوری بالای آن نسبت به سایر نمونه‌ها مربوط دانست.

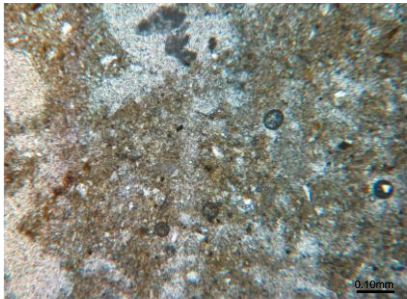

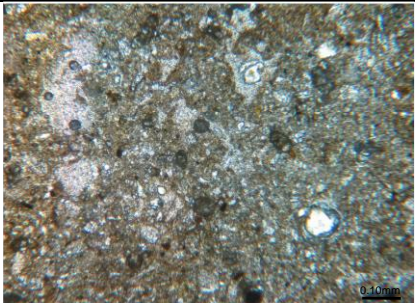
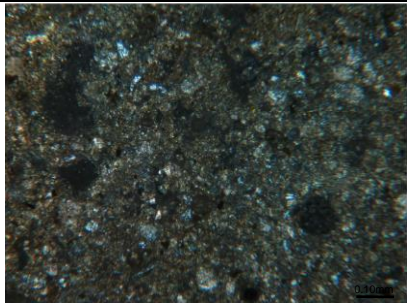
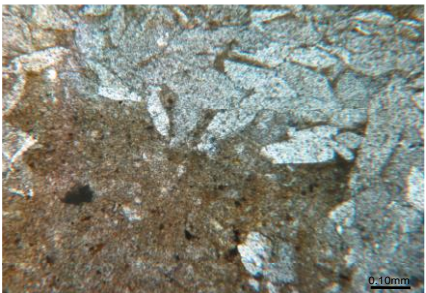
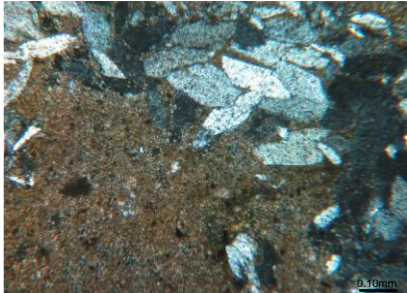


شکل ۱۰. تصاویری از اشکال فرسایشی ناشی از انحلال و نمونه‌های دستی برداشته شده



شکل ۱۲. تأثیر مقدار ژپس بر روی نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی

جدول ۷. مقاطع نازک از نمونه‌های خاک ساختگاه پتروشیمی مسجدسلیمان

Description	location	Pictures of sections in polarized light	Pictures of sections in normal light
Carbonate mud with crushed Quartz, and minerals such as Feldspar, Albite and Calcite as well as evaporate minerals with high empty space	S12		
Carbonate mud with crushed Quartz, and minerals such as Feldspar, Albite and Calcite as well as evaporate minerals with high empty space	P1		
Carbonate mud with crushed Quartz, and minerals such as Feldspar, Albite and Calcite as well as evaporate minerals with relatively moderate empty space	P2		

جدول ۸. مقدار یون سولفات، درصد کربنات و مقدار ژئوپس نمونه‌ها به دو روش ال-مفتی و نشهت (Al-Muftly and Nashat, 2000)

، و کدورت سنجی

Gypsum percent by Al-Muftly and Nashat (2000)	percentage of carbonate %	Gypsum per hundred grams of (soil)	concentration of sulfate (ppm)	Location
22.26	26.85	16.49	26.102	P2
7.73	27.5	5.49	34.06	S3
5.35	27.95	4.35	26.98	S9
4.83	27.35	3.70	22.93	S11
4.34	27.41	2.52	15.63	P4
3.86	27.86	2.32	14.39	S1
3.38	27.26	2.16	13.38	P5
3.38	28.81	2.03	12.6	P1
3.25	28.18	1.96	12.15	S12
2.65	27.08	0.64	3.94	P6

۹. بررسی علل تشکیل اشکال فرسایشی

می‌توان گفت که چون خاک محل فاقد پوشش گیاهی است، حاصل خیزی خود را از دست داده و به خاطر بافت ریزدانه و حضور کانی‌های تبخیری مثل ژپس، خاک در هنگام تماس با آب دچار انبساط می‌شود و به طور کامل غیرقابل نفوذ می‌گردد. سپس آب روی خط بزرگ‌ترین شیب به سمت پایین دامنه جریان پیدا می‌کند، به طوری که جریان آب در ابتدا روی دامنه خطوط بسیار باریکی با عمق حدود چند سانتی‌متر ایجاد می‌کند که به آن هرز آب گفته و پس از آن به تدریج در نتیجه نیروی آب و عدم استحکام کافی خاک هرز آب‌ها ابعاد بزرگ‌تری یافته و تبدیل به شیاریهایی با عمق حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌گردند. بعلاوه با توجه به سطح آب زیرزمینی بالای منطقه در اثر بارش باران (الگوی بارندگی در منطقه کم و با شدت زیاد می‌باشد) یا تغییر سطح آب زیرزمینی با وجود ژپس و کانی‌های انحلال‌پذیر در خاک قسمتی از ذرات جامد خاک در اثر انحلال خارج می‌گردد که این پدیده در اثر تداوم می‌تواند موجب افزایش تخلخل و پوک شدن خاک و در نهایت موجب تخریب ساختمان خاک و فروریزش آن و تشکیل اشکال فرسایشی گردد. از اشکال فرسایشی دیگر که اغلب در مناطق خشک کشور که دارای سازندهای متشکل از املاح گچ و نمک به وجود می‌آید آبکندها هستند که در مناطقی که آب فرصت نفوذ داشته باشد به تدریج در اثر انحلال حفره کوچکی ایجاد می‌شود و به مرور این حفره به شکل جریان زیرزمینی درآمده و در جهت شیب گسترش می‌یابد این پدیده آن‌قدر ادامه می‌یابد تا اینکه سقف کانال تخریب و ریزش نماید و راهروی زیرزمینی به شکل کانال روباز ظاهر می‌گردد که این اشکال فرسایشی به‌وفور در منطقه قابل مشاهده است.

ریشتر و نگندانگ (۱۹۷۷) حساس‌ترین خاک به فرسایش را خاک‌هایی دانستند که دارای ۴۰ تا ۶۰ درصد سیلت می‌باشند. رفاهی (۱۳۷۵) مشاهده کرد که خاک‌های سیلتی معمولاً خوب دانه‌بندی می‌شوند ولی در اثر مرطوب شدن، خاک دانه‌ها به سهولت شکسته و ذرات سیلت جدا و منتقل می‌شوند (به نقل از احمدی، ۱۳۹۱). از آنجا که در این پژوهش نیز خاک از نظر

بافتی دارای درصد بالای سیلت می‌باشد پس شدیداً مستعد به فرسایش است.

در انتها با تطابق مقدار ژپس به دست آمده، با شواهد صحرایی محل برداشت آن‌ها مشخص گردید که نمونه‌هایی که از مناطق دارای اشکال فرسایشی برداشته شده بودند دارای مقدار ژپس کمتری بودند. به نظر می‌رسد که اشکال فرسایشی آن‌ها مرتبط با شستگی و انحلال کانی‌های تبخیری در طی فرسایش است. به طوری که نمونه P2 که به فاصله چند روز از حفر گودی بارگذاری صفحه‌ای برداشته و فاقد اشکال فرسایشی بود بالاترین مقدار ژپس را از خود نشان می‌دهد.

۱۰. نتیجه‌گیری

ساختمان مجتمع پتروشیمی مسجد سلیمان به دلیل نداشتن پوشش گیاهی مناسب، بافت ریزدانه، سطح آب زیرزمینی بالا و وجود کانی تبخیری و گچ مستعد فرسایش می‌باشد. در ابتدا به دلیل دارا بودن بافت ریز دانه و اشکال فرسایشی شبیه واگرایی ساختمان مورد نظر با دیدگاه واگرایی مورد ارزیابی قرار گرفت. اما با انجام آزمایش کرامب در نمونه‌های P5 و S11 واگرایی متوسط مشاهده و بقیه نمونه‌ها فاقد خاصیت واگرایی بودند. در آزمایش هیدرومتری دوگانه و پین هول که معتبرترین آزمایش جهت تعیین واگرایی خاک است نیز تمام نمونه‌ها غیر واگرا ارزیابی شدند.

آزمایش‌های شیمیایی نشان‌دهنده درصد پایین املاح سدیم و درصد بالاتر املاح منیزیم و کلسیم در نمونه‌هاست. از نظر معیارهای شیمیایی واگرایی خاک، مطابق با معیار شرارد (Sherard, 1976) همه نمونه‌ها غیر واگرا، مطابق معیار شیمیایی رحیمی و دلفی (Rahimi and Delfi, 1993) نمونه S11 متوسط واگرا، مطابق با معیار بازرگان و اسمعیلی (۱۳۸۹) نمونه P1 متوسط واگرا، از نظر سیستم رتبه دهی بل و والکر (Bell and Walker, 2000) همه نمونه‌ها غیر واگرا و بر اساس معیار فان و کونگ (Fan and Kong, 2013) نیز همه نمونه‌ها غیر واگرا هستند. با مشاهده فضای خالی موجود و پوکی نمونه‌ها در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی و تعیین مقدار ژپس و ارتباط

واحد حجم خشک نمونه‌ها تغییر چندانی نمی‌کند. همچنین شوری بالا باعث کاهش رطوبت بهینه می‌گردد. در آنالیز XRF نمونه‌ها درصد پایینی از اکسید سدیم مشاهده گردید و در آنالیز XRD رس نیز کانی‌های کلریت و میکا-ایلیت را دارا بودند. در مقطع میکروسکوپی، نمونه‌ها حاوی کانی‌های کلسیت، کوارتز، آلبیت، کانی‌های تبخیری و فضای خالی شناسایی شدند.

آن با اشکال فرسایشی موجود در منطقه مشخص گردید که این اشکال در طی عمل شستگی ناشی از وجود مواد انحلال‌پذیر نظیر نمک طعام و گچ می‌باشند که در اثر تماس این خاک‌ها با آب، مواد مذکور در آب حل شده و در نتیجه آن قسمتی از ذرات جامد موجود در توده خاک ضمن انحلال خارج می‌شود. این پدیده در نهایت موجب افزایش تخلخل و پوک شدن خاک شده است.

حد روانی، نشانه خمیری، وزن واحد حجم و رطوبت بهینه نمونه‌ها با افزایش مقدار ژپس کاهش می‌یابد اما حداکثر وزن

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی کاربردی. جلد ۱. چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه تهران.
- بازرگان، ج.، اسماعیلی، د.، ۱۳۸۹. ارزیابی و اصلاح معیار شیمیایی تشخیص پتانسیل واگرایی خاک‌های رسی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد چهارم، صفحات ۹۴۲-۹۱۷.
- بینای مطلق، پ.، ۱۳۸۹. دستورالعمل و روش‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکی و شیمیایی و مواد شیمیایی معدنی سمی در آب آشامیدنی، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشت، مرکز سلامت محیط و کار.
- تاتلاری، س.، ۱۳۷۵. بررسی رفتار خاک‌های گچی در مجاورت سازه‌های آبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- حسینی، ا.، ۱۳۹۲. استفاده از روش طیف بینی مرئی-فروسرخ در برآورد ویژگی‌های شیمیایی خاک در خاک‌های گچی، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- خامه چیان، م.، رحیمی، ا.، لشکری پور، غ.، سلوکی، ح.، ۱۳۸۴. بررسی علل فرسایش خاک‌های دشت سیستان از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی با نگرشی خاص به پدیده واگرایی، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۱، صفحات ۲۶۸-۲۵۳.
- خدابخش، سعید، صحرارو، ن.، ۱۳۹۲. آزمایش‌های رسوب‌شناسی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- شرکت زمین فیزیک پویا، ۱۳۹۴. گزارش مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی پروژه پتروشیمی مسجدسلیمان، فاز یک مطالعاتی، تهران.
- عسکری، ف. ا.، فاخر، ع.، ۱۳۷۲. تورم و واگرایی خاک‌ها از دید مهندس ژئوتکنیک. دانشگاه تهران.
- رحیمی، ح.، تاتلاری، س.، نژادهاشمی، ا. پ.، ۱۳۷۷. ارزیابی برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های گچی و مقایسه آن با روش‌های متداول استاندارد، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۹، شماره ۲، صفحات ۱۲۹-۱۱۷.
- کارگر، س.، ریسی، ع.، رحیمی، ح.، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر وجود گچ و آبشویی آن بر ویژگی‌های مقاومتی خاک رس، مجله تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۴۱، شماره ۲، صفحات ۲۵۶-۲۵۱.
- منصوری کیا، م. ت.، کیامنش، ح.، شاهرخ، ب.، ۱۳۸۷. ساخت کانال‌های آبیاری در خاک‌های گچ دار، محدودیت‌ها و راه‌حل‌ها، کارگاه فنی تخصصی ساخت کانال‌ها محدودیت‌ها و راه‌حل‌ها.
- یغمائیان مهابادی، ن.، گیوی، ج.، ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری گچ در برخی خاک‌های اصفهان، علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲، صفحات ۵۷۶-۵۶۵.

Alainachi, I. H., Alobaidy, G. A., 2010. The effects of Basra Gulf salt water on the Proctor compaction and CBR test results of soil samples at Baniyas city, Abu Dhabi, UAE, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, (15):1-17.

- Adams, A. G., Dukes, O. M., Tabet, W., Cerato, A. B., Miller, G. A., 2008. Sulfate induced heave in Oklahoma soils due to lime stabilization, Geo-congress, Conference Proceedings, ASCE, Pp: 444–451.
- Al-Dabbas, M. A., Schanz, T., Yassen, M. J., 2012. Proposed engineering of gypsiferous soil classification, Arabian Journal of Geosciences, (5): 111–119.
- Al-Daood, A., Bouasker, M., Al-Mukhtar, M., 2014. Geotechnical properties of lime-treated gypseous soils, Applied Clay Science, (88):39–48.
- Al-Dilaimy, F. H., 1989. Effect of Gypsum Content on Strength and Deformation of Remolded Clayey Soil. MSc, Thesis University of Salahddin, Iraq.
- Al-Gabri, M. K. A., 2003. Collapsibility of Gypseous Soils Using Three Different Methods, M.Sc. Thesis. Building and Construction Engineering Department, University of Technology, Baghdad.
- Al-Heeti, A. A. H., 1990. The Engineering Properties of Compacted Gypsified Soil. M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Baghdad.
- Al-Layla, M. T., Al-Obaydi, M. A., 1993. Lime stabilization of Gypseous soil, Proceedings of the 5th Arab Conference of Structural Engineering, Civil Engineering Department, Al-Fateh University, Tripoli, (2): 1001-10130.
- Al-Mufti, A. A., Nashat, I. H., 2000. Gypsum content determination in Gypseous soils and rocks, Third International Jordanian Conference on Mining, Amman, (3): 500-506.
- Al-Sauodi, N. K. S., Al-Khafaji, A. N., Al-Mosawi, M. J., 2013. Challenging problems of Gypseous soils in Iraq. Proceeding of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, (18):479-482.
- ASTM., 2004. Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. ASTM D2216-10.
- ASTM., 2006. Standard Test Method for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test. ASTM D6572-00.
- ASTM., 2006. Standard test method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer. ASTM D4221-99.
- ASTM., 2006. Standard Test Method for identification and classification of dispersive clay soil by pinhole test. ASTM D4647-93.
- ASTM., 2008. Standard practices for Identification of crystalline compounds in water – formed deposits by X-Ray Diffraction
- ASTM., 2010. Standard test methods for liquid limit , plastic limit , and plasticity Index of soils, ASTM D4318.
- ASTM., 2012. Standard test method for Laboratory compaction Characteristics of soil using standard effort (12 400 ft – lbf/ft³ (600 kN-m/m³)), ASTM D689 -78.
- ASTM., 2013. Standard test methods for pH of soils, ASTM D4972.
- Al-Zgry, E. A., 1993. The effect of Leaching on Lime Stabilized Gypseous Soil. M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Mousl.
- Asghari, S., Ghafoori, M., Tabatabai, S. S., 2014. The evaluation of changes in permeability and cemical composition of gypseous soils through leaching in southern mashhad, Iran, Malaysian Journal of Civil Engineering 26(3):337-348.
- Arakelyan, E. W. A., 1986. Characteristics of the determination of the physical of gypsum soils, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 23 (1):111-119.
- Bell, F. G., Maud, R. R., Jermy, C. A., 1994. Dispersive soil in south Africa and earth dams. Proceedings 13th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, (3): 1003-1008.
- Bell, F. G., Walker, D. J. H., 2000. A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South Africa, Quaterly Journal of Engineering and Hydrogeology, (33): 187- 199.
- Buck, B. J., Van Hoesen, J. G., 2002. Snowball morphology and SEM analysis of pedogenic gypsum, southern New Mexico, Journal of Arid Environments, (51): 469–487.
- Carter, B. J., Inskeep, W. P., 1988. Accumulation of pedogenic gypsum in western Oklahoma soils, Soil Science Society of America Journal, (52): 1107–1113.
- Craft, D., Acciardi, R. G., 1984. Failure of pore water pressure analyses for dispersion. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 110(4): 112-122.

- Emami Azadi, M. R., 2008. The Effects of Urmieh lake salt water on the proctor compaction and CBR test results of well graded gravel-sand mixed with clay (GSCW) soil samples, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15:1-15.
- Eswaran, H., Zi-Tong, G., 1991. Properties, genesis, classification and distribution of soil with Gypsum, In: Occurrence, Characteristic, and Genesis of Carbonate, Gypsum and Silica Accumulation in Soils, (Ed): Nettleton, W.D., SSSA special publication, (26): 89-119.
- Fan, H., Kong, L., 2013. Empirical equation for evaluating the dispersivity of cohesive soil, *Canadian Geotechnical Journal*, NRC Research Press, 50(9): 989-994.
- FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), 1993. Agriculture: Toward 2010, Rome, Italy.
- Fauziah, A., Azlin, M. D., Lamyaa, N., 2012. effect of leaching and gypsum content on proportion of gypsum soil, *International Journal of scientific and research publications*, 2(9):1-5.
- IPNI (International Plant Nutriton Institute), 2008. Ref #16- 10076 , Norcross, Georgia 30092-2844, USA.
- Isik, Y., 2000. Gypsum/anhydrite: some engineering problems, *Bulletin of Engineering Geology and the Environments*, 59: 227-230.
- Kattab, S. A., 1986. Effect of Gypsum Content on Strength of Granular Soils for Soaked and Unsoaked Specimens, M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Mosul.
- Klein, C., Hurlbut, C. S., 1985. Manual of Mineralogy, after J. D. Dana , 20th Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Mansour, Z. M., Taha, M. R., Chik, Z., 2008. Fresh- brine water effect on the basic engineering properties of Lisan marl-Dead sea- Jordan, *Journal of Applied Sciences*, (8): 3603-3611.
- Mermut, A. R., Arshad, M. A., 1987. Significance of sulfide oxidation in soil salinization of southeastern, *Soil Science Society of America Journal*, 51(1):247-251.
- Najah., L, Ahmad., F, Said., M. D., Jayed., A., 2013. Effect of additive soils on some geotechnical properties of gypseous soil, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5): 2282-2286.
- Petrukhin V. P., 1993. Construction of Structures on Saline Soils, A.A.Balkema publications.
- Podwojewski, P., Arnold, M., 1994. The origin of gypsum in Vertisols in New Caledonia determined by isotopic composition of sulfur, *Geoderma*, 63: 179-195.
- Rahimi, H., Delfi, M. 1993. New chemical method for evaluation of soil dispersivity, *Proc, Of the Second International Seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering of Iran*, Pp: 199-218.
- Satton, C,T, Mitchel, J. K., 1976, Influence of eroding solution composition on dispersive behavior of a compacted clay shale, *ASTM STP 623*.
- Shariatmadari, N., Salami, M., Karimpour Fard, M., 2011. Effect of inorganic salt solutions on some geotechnical properties of soil-bentonite mixtures as barriers, *International Journal of Civil Engineering*, 9(2): 103-110.
- Sherard, J. L., Dunnigan, L. P., Decker, R. S., 1976. Identification and nature of dispersive soils, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 120(52): 287-301.
- Sherard. J. L, Decker, R. S., 1977. Dispersive Clays, Related Pipings and Erosion in Geotechnical Projects, vol, 623, *ASTM International*.
- Subhi, R. K., 1987. Properties of Salt Contaminated Soils and their Influence the Performance of Roads in Iraq. Ph.D. Thesis, Queen Mary College, University of London.
- Taimeh, A. Y., 1992. Formation of gypsic horizons in some arid regions of Jordan, *Soil Science*, 153(6): 486-498.
- Tatlari, S., 1996. Evaluation of Gypseous Soils in Vicinity of Hydraulic structures. (in Persian), (M.Sc. Thesis). University of Tehran, Iran.
- Van Hoesen, J., 2000. Pedogenic gypsum in southern New Mexico: genesis, morphology, and stable isotopic signature. [M.Sc. Thesis]: Las Vegas, University of Nevada Las Vegas, 182p.
- Vazquez, G., Melgarejo, P., Decal, A., Larena, I., 2013. Persistence, survival, vertical dispersion, and horizontal spread of the biocontrol agent, *Penicillium oxalicum* strain 212, in different soil types, *Applied Soil Ecology*, 67: 27-36.