مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
تابستان ۱۴۰۰، جلد چهاردهم، شماره ۲، صفحه ۷۹ تا ۸۸

بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی کالیچ، جنوب سنندج (مطالعه موردی: سایت خدمات موتوری شهرستان سنندج)

محمدحسین قبادی * [۱]، آرام اردلان‌زاده [۲]، آوا عثمان‌پور [۲]، آزاد شاهرخی [۳]

دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۰۸ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۲۳

چکیده

هدف از این تحقیق مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی کالیچ در رسوبات عهد حاضر شهر سنندج میباشد. به این منظور اقدام به حفر ٦ گمانه حداکثر به عمق ٢٤ متر و در ماههای اردیبهشت و مرداد گردید، در حین حفاری جهت ارزیابی مقاومت لایه ها آزمایش SPT انجام شد. سپس به منظور مطالعه پارامترهای ژئوتکنیکی کالیچ آزمایشهای آزمایشگاهی شامل ارزیابی پتروگرافی (مطالعات مقطع نازک، XRD، XRF، کلسیمتری)، تعیین خصوصیات فیزیکی(چگالی خشک و اشباع، درصد رطوبت، جذب آب و تخلخل)، تعیین ویژگیهای مکانیکی و مقاومتی (مقاومت تراکمی تک محوری، بار نقطه‌ای و ارزیابی شاخص دوام) انجام گرفت. پس از تعیین خصوصیات سنگ شناسی و زمین شناسی مهندسی کالیچ، کاربرد این مصالح و روشهای بهسازی کالیچ در صورت مواجه با آن در محل پروژهها مورد بحث قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: *سنندج، شاخص بار نقطه‌ای، کالیچ، مقاومت تراکمی تک محوری، ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی آماری.*

۱. دکتری زمین شناسی مهندسی،استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا. Email: amirghobadi@yahoo.com
۲. دانشجویان دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا.
۳. مهندسین مشاور خاک و بتن کردستان
* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

نظر به گسترش شهری در شهر سنندج و احداث سازه ها بروی رسوبات آبرفتی عهد حاضر لزوم بررسی این رسوبات به منظور طراحی و در صورت نیاز بهسازی محل احداث سازه‌های شهری وجود دارد. اولین بار اصطلاح کالیچ به واحدهای شنی احاطه شده توسط کربنات کلسیم که در جنوب غرب ایالات متحده قرار گرفته اند، اطلاق شده است(Dincer et al., 2008). کالیچ یک نوع ساختار ثانویه با سیمان کربنات کلسیم است که درصد کربنات کلسیم از یک تا ۹۳ درصد می‌تواند متغیر باشد(Gile, 1961) همچنین در شرایط خاص آب و هوایی، لیتولوژی و توپوگرافی تشکیل می‌شود. این خاک معمول در مناطق خشک و نیمه خشک و در زون تهویه و در بخش فوقانی خاک ظاهر می شود(Cooley, 1966). سیمانی‌شدن در کالیچ ها به میزان خیلی کم از جنس کربنات منگنز، سیلیسی و یا سیلیکات آلومینیوم می‌باشد(Brown, 1956). همچنین کالیچ غالبا در شیب توپوگرافی کمتر از ۱۲ تا ۱۵ درصد تشکیل می‌شود (Stuart, 1958). با توجه به مشکلات حفاری در لایه های کالیچی در حین حفاری، مطالعات زمین شناسی مهندسی به منظور کاهش این مشکلات مد نظر قرار گرفت. در این ارتباط اسماعیل و همکاران (Ismail et al., 2008) ویژگی‌های تغییرشکل پذیری و مقاومتی کالیچ کواترنری جنوب ترکیه را مورد مطالعه قراردادند و رابطه معناداری را بین مقاومت فشاری تک محوری و سرعت موج، وزن واحد حجم و همچنین مدول الاستیسیته میانگین و سرعت موج پیدا کردند هرچند تاکید کرده اند که این معادلات فقط برای کالیچ با ویژگی های زمین شناسی مشابه قابل استفاده می‌باشند. اسماعیل و همکاران (Ismail et al., 2010) به ارتباط خصوصیات دینامیکی_کالیچ-ها در همین منطقه با خصوصیات مهندسی آنها پرداختند، و نشان دادند بیشترین میزان خسارت ناشی از وجود این لایه در مناطقی دیده می شود که لایه کالیچ یا هاردپن ضخامت زیاد دارد و چنانچه ضخامت لایه کالیچ کمتر از ۲ متر باشد تاثیر چندانی در افزایش مقاومت لایه‌های زیرین ندارد. در مناطق زیادی از دنیا از کالیچ با مقاومت بالا به عنوان مصالح سنگفرش جاده‌ها استفاده شده‌است. سیم و همکاران (Sim et al., 2016) ویژگی‌های کالیچ و تاثیر آن بر روی فونداسیون‌های سطحی را بررسی نمودند. همچنین گارث (Gareth, 2015) استفاده از منابع کالیچی را جهت ساخت و ساز جاده ای بررسی نمود. ولدینگ و همکاران (Wilding et al., 2001) استفاده از کالیچ به عنوان فیلتر مناسب جهت تصفیه و دفع فاضلاب را مورد مطالعه قرار دادند و کارایی آن در این مورد را بیان کردند. خالدو (Kholodov ,2007)، نحوه تشکیل کالیچ را به عنوان یک مرز تازه و چرخه بین اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر مورد بررسی قرار داد.

محققین زیادی ارتباط بین پارامترهای لیتولوژیکی و مقاومت سنگ‌های مختلف را ارائه کرده‌اند هرچند این معادلات برای تمامی انواع خاک‌ها و سنگ‌ها قابل استفاده نیستند. اسماعیل-زاده و همکاران (Esmailzadeh et al., 2017) رابطه بین بافت و مقاومت تراکمی تک محوری سنگ را در چهل نوع سنگ بررسی کردند و بر اساس تحلیل رگرسیون خطی رابطه ای را جهت تخمین مقاومت تراکمی تک محوری سنگ بر اساس بافت آن ارائه نمودند. اسماعیل و همکاران (Ismail et al 2007) رابطه بین ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی و پارامترهای مهندسی کالیچ در جنوب ترکیه را بررسی نمودند، که نشان‌دهنده رابطه خطی بین ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی و پارامترهای مهندسی کالیچ است و بیان داشتند که مقاومت کالیچ ها براساس ویژگی های میکرومورفولوژیکی (چهار پارامتر ریزساخت، حفره، مصالح درشت و ماتریکس) کنترل می‌شود. حیدری و همکاران در سال ۱۳۸۸ انحلال رسوبات کربناته در محور اول سد نعمت آباد واقع در ۴۵ کیلومتری همدان را بررسی نمودند که بر اساس نتایج بدست آمده بیان داشتند که نمونه ها دارای انحلال زیادی بوده و چنانچه سازه ای در این محدوده احداث شود احتمال وقوع نشست در اثر انحلال وجود دارد.

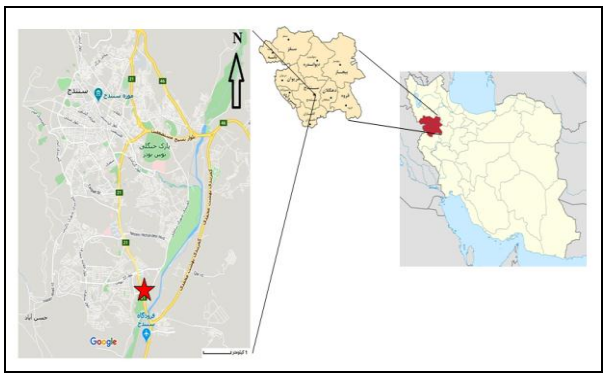
کالیچ یک لایه سخت با خصوصیات مقاومتی متغییر و کم ضخامت می‌باشد که در صورت عدم تشخیص ممکن است

در پی سازه‌ها قرار گیرد و مشکل ساز باشد. لذا در این پژوهش ویژگی های زمین شناسی مهندسی این نهشته در شهر سنندج، واقع در غرب ایران مورد مطالعه قرارگرفته است. پس از تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی کالیچ، رابطه بین ویژگی‌های پترولوژیکی و خصوصیات فیزیکی – مکانیکی و دوام مورد بررسی قرار گرفته است و در پایان با توجه به پارامترهای ذکر شده کاربرد این مصالح و روش‌های بهسازی در صورت مواجه با آن در محل پروژه‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

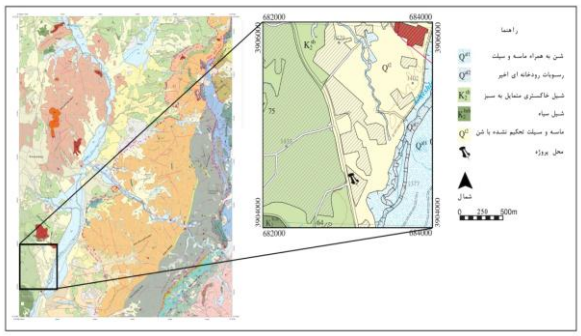
۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

محدوده مورد مطالعه در جنوب شهر سنندج با مختصات ٦٨٣١٢٢ و ٣٩٠٤٤٥٧ و در حاشیه رسوبات آبرفتی رودخانه قشلاق واقع شده است(شکل ۱). در سنوات اخیر با گسترش شهرنشینی ساختمان‌سازی در حاشیه رود مذکور توسعه پیدا کرده است. بازدیدهای صورت گرفته در امتداد رسوبات مذکور بیانگر تشکیل لایه‌های کالیچی در رسوبات امتداد این رود می‌باشد. بدلیل ساختمان‌سازی رخنمون کالیچ در سطح زمین وجود نداشته لذا نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های مهندسی در بیشتر قسمت‌ها غیرقابل انجام است.

واحدهای زمین‌شناسی شهر سنندج از سنگ های تخریبی ریزدانه شامل شیل‌های خاکستری تیره , سیاه، خاکستری متمایل به سبز وزرد رنگ، آبرفت عهد حاضر، کنگلومرا و لایه‌ای نازک آهک میکریتی به صورت بین لایه تشکیل شده است (شکل ۲). ازآنجا که شهرسنندج بر روی این شیل واقع شده بنام شیل‌های سنندج (K_{sh} [2]) معروف شده است. مورفولوژی این شیل‌ها بصورت تپه ماهورهای کوچک و بزرگ گنبدی شکل دیده می‌شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی پروژه



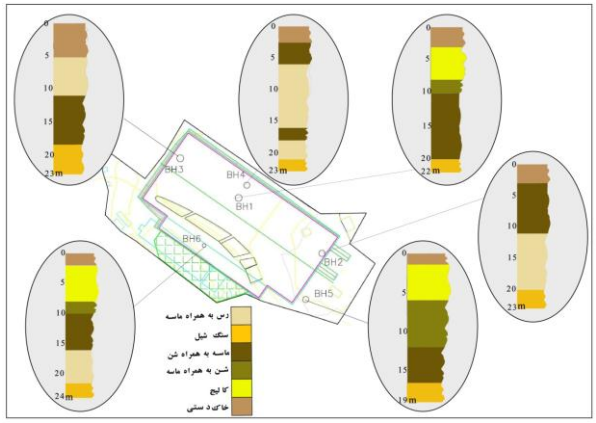
شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سنندج)

۳- مواد و روش ها: مطالعات در دوبخش به صورت بررسی های صحرایی و انجام آزمون های آزمایشگاهی به شرح زیر انجام شده است:

۳-۱- مطالعات صحرایی:

۳-۱-۱- گمانه‌زنی:

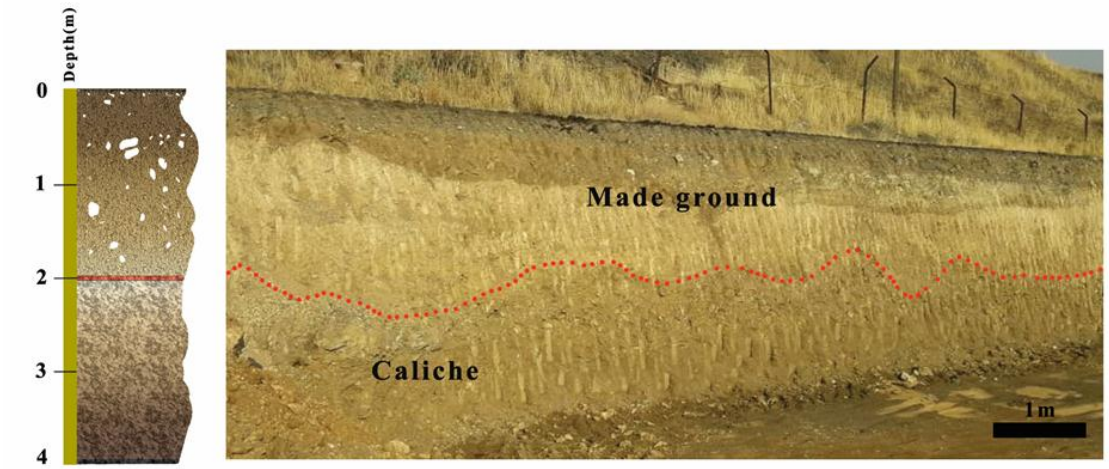
جهت شناسایی زمین شناسی زیر سطحی محل مورد مطالعه از حفاری ماشینی(روش دورانی و مغزه‌گیری پیوسته) استفاده و به وسیله کربارل یک جداره و با سایز ۹۳ میلیمتر اقدام به نمونه‌گیری گردید(مهندسین مشاور خاک و بتن کردستان، ۱۳۹۸). دراین مرحله شش حلقه گمانه در محل مورد نظر حفر و لاگ گمانه‌ها رسم گردید(شکل۳).



شکل ۳. محل حفر گمانه ها بر روی سایت پلان پروژه و لاگ ترسیمی گمانه‌ها

پس از کنترل لاگ گمانه‌ها وسعت لایه کالیچ در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت، که بر این اساس ضخامت لایه کالیچ حداکثر حدود ٦ متر برآورد گردیدکه گسترش وتداوم آن در محدوده گمانه‌هایBH1 ، BH5 و BH6 می باشد.

پس از گودبرداری در قسمتی از زمین پروژه مشخص شد رخنمون کالیچ به صورت شکل (٤) گسترده می‌باشد.



شکل ٤. رخنمون کالیچ در محل پروژه و ستون خاک (مرز بین خاک دستی و کالیچ با خط چین مشخص شده است).

۳-۱-۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی:

با توجه به اینکه عملیات حفاری گمانه‌های BH1,BH2,BH3 در اردیبهشت ماه و گمانه های BH4,BH5,BH6 در مرداد ماه انجام گرفت سطح آب زیرزمینی در دو تراز متفاوت ثبت گردید(مهندسین مشاور خاک و بتن کردستان، ۱۳۹۸). که نشان دهنده حدود ٤ متر تغییر تراز آب زیرزمینی است که شرایط لازم برای تشکیل کالیچ فراهم کرده است. تغییر تراز آب زیرزمینی سبب شسته شدن کربنات کلسیم از طبقات فوقانی و ته نشین شدن در لایه میانی شده است که با گذشت زمان فرآیند تشکیل کالیچ از سافت پن به هاردپن صورت پذیرفته است.

جدول۱. تغییرات سطح آب زیرزمینی

Groundwater level in Mordad (m)	Groundwater depth in Ordibehesht (m)	Borehole No.
-8.00	-4.00	BH1
-5.00	-3.50	BH2
-8.00	-4.00	BH3
-8.00	-4.00	BH4
-7.50	---	BH5
-10.50	---	BH6

۳-۱-۳- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT):

این آزمایش بر اساس استاندارد (ASTM-D1586 - 18) در حین حفاری در اعماق مختلف گمانه‌ها انجام شده است(مهندسین مشاور خاک و بتن کردستان، ۱۳۹۸). که با شمارش تعداد ضربات برای نفوذ نمونه‌گیری استاندارد به

طول ٤٥ سانتیمتر در هر نقطه به وسیله چکش به وزن ٦٣/٥ کیلوگرم با ارتفاع سقوط ٧٦ سانتی‌متر می‌توان به میزان مقاومت خاک در آن نقطه پی برد. تعداد ضربات برای سه مرحله نفوذ ۱۵ سانتیمتری شمارش شده و عدد حاصل برای آن عمق مجموع تعداد ضربات چکش برای نفوذ ۳۰ سانتیمتر آخر از طول نمونه‌گیر می‌باشد (جدول ۲).

بر اساس نتایج بدست آمده مقدار SPT در عمق‌های سطحی(حداکثر ۸ متری) در گمانه‌های BH1 ، BH5 و BH6 بیشتر از ۵۰ ضربه به ازائ نفوذ ۳۰ سانتی‌متری بوده در حالی که در بقیه گمانه و اعماق دیگر حداکثر مقدار SPT در حدود ٤٠ ضربه بوده و بیانگر توسعه و گسترش لایه کالیچ در محدوده این گمانه‌ها می‌باشد. ولی در سایر گمانه(BH2, BH3.BH4) لایه کالیچ وجود ندارد. بنابراین و با توجه به وجود تفاوت در مقاومت و باربری لایه کالیچ با سایر لایه های آبرفتی ممکن است نشست‌های غیریکنواخت در محل احداث سازه بوقوع به پیوندد.

جدول ۲. نتایج آزمایش SPT در گمانه ها (ضرباتی که پررنگ شده است مربوط یه ارزیابی مقاومت لایه کالیچ بوده است)

BH6				BH5				BH4				BH3				BH2				BH1			
N_{spt}			Depth (m)	N_{spt}			Depth (m)	N_{spt}			Depth (m)	N_{spt}			Depth (m)	N_{spt}			Depth (m)	N_{spt}			Depth (m)
N_1	N_2	N_3		N_1	N_2	N_3		N_1	N_2	N_3		N_1	N_2	N_3		N_1	N_2	N_3		N_1	N_2	N_3	
11	**16**	**20**	**4**	**20**	**32**	**34**	**3**	11	17	24	5	7	10	12	6	9	14	21	5	**11**	**10/1cm**		**6**
16	**10/1cm**		**6**	**50/1cm**			**5**	4	7	8	7	5	8	11	8	7	11	17	7	**11**	**21**	**33**	**8**
13	**20/3cm**		**8**	17	11	13	7	12	16	22	10	8	11	16	10	6	12	21	9	6	9	10	10
9	12	15	10	5	11	12	9	5	8	11	13	11	17	23	13	9	10	16	11	5	7	11	12
6	11	16	12	10	15	20	12	9	17	24	15	9	15	23	15	11	18	23	13	4	6	9	14
8	10	15	14	12	18	20	15	7	11	11	17	10	13	22	18	9	13	15	15	7	10	14	16
9	12	17	16													7	11	16	19				

۳-۲- *مطالعات آزمایشگاهی:*

جهت شناسایی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی کالیچ مطالعات و آزمایش های آزمایشگاهی شامل مطالعات سنگ شناسی، تعیین چگالی و وزن مخصوص، دوام پذیری، بارگذاری نقطه ای، مقاومت تراکمی تک محوری و کلسیمتری به شرح زیر انجام گرفت. لازم به ذکر است که آماده‌سازی نمونه‌ها از کالیچ شهر سنندج بدلیل مقاومت پایین و انحلال‌پذیر بودن مشکلاتی را بهمراه داشت. به عنوان مثال امکان اخذ بیش از سه نمونه مناسب جهت انجام آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری وجود نداشت.

۳-۲-۱- مطالعات سنگ شناسی:

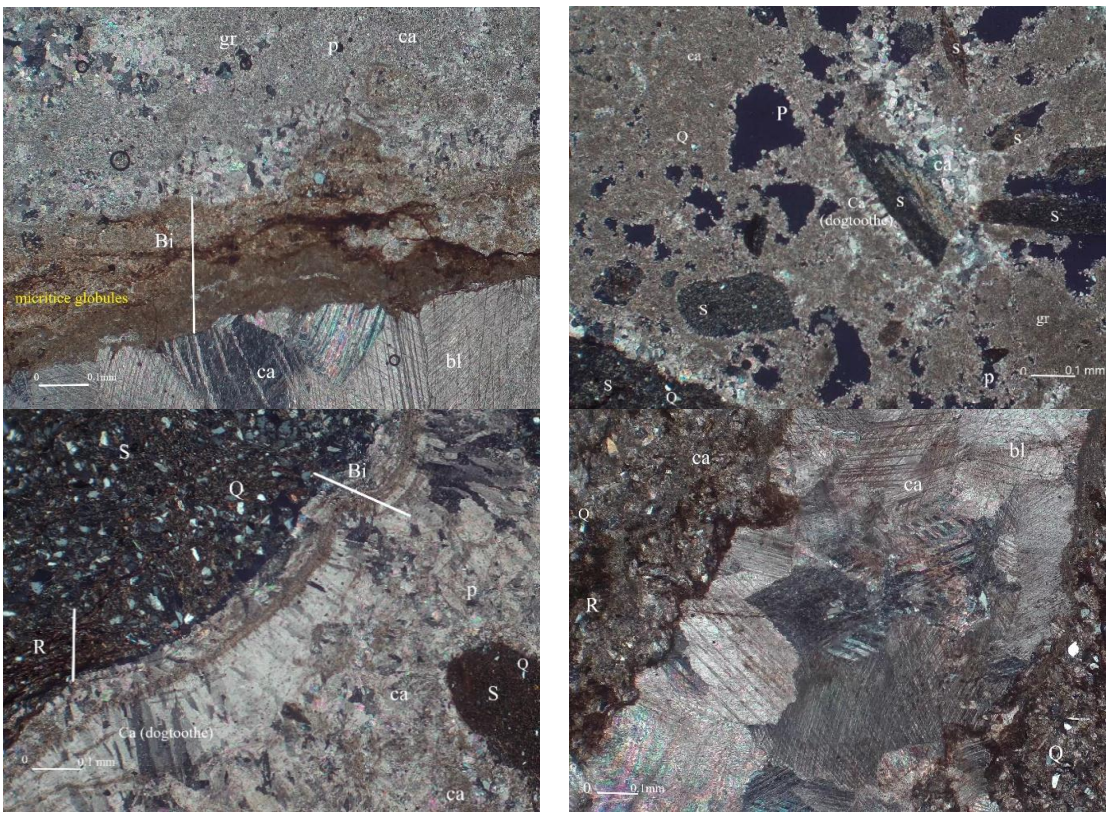
پس از تهیه مقاطع نازک، مطالعات کانی‌شناسی و بافت‌شناسی اولیه با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان صورت گرفته است. برای تشخیص دقیق‌تر کانی‌ها و تعیین مقدار کمی عناصر پس از خرد کردن نمونه‌ها و عبور دادن آن‌ها از الک شماره ۲۰۰ برای رسیدن به حد مطلوب، نمونه‌ها را در هاون دوباره آسیاب و پودر تهیه شده مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور شناسائی کانی‌ها، از روش پراش اشعه ایکس(XRD) مطابق با استاندارد (Bs EN 13925-1:2003) استفاده شده است. همچنین برای تعیین ترکیب شیمیایی نمونه مورد مطالعه آزمایش تجزیه شیمیایی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مطابق با استاندار (ASTM E 1621 -13) انجام شد و درصد اکسیدهایAl_2O_3, MgO, SiO_2, CaO برای نمونه مورد آزمایش تعیین گردید. درصد کربنات کلسیم از عوامل مهم کنترل کننده انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی می‌باشد. در این تحقیق کلسیمتری به روش وزنی جهت تعیین درصد کربنات کلسیم سیمان موجود در نمونه سنگ‌های کالیچ مورد مطالعه انجام شد. در این آزمایش از محلول اسید کلریدریک یک نرمال استفاده شد. جهت اطمینان بیشتر از نتایج به دست آمده، این آزمایش دو بار تکرار شد. که میانگین آن برابر با ٤٢ درصد می‌باشد. در نمونه سنگ کالیچی براساس نتایج XRD درصد بالای سیلیس ناشی از ذرات درشت ماسه سنگی

موجود در نمونه مورد آزمایش بوده است. نتایج آنالیزهای شیمیایی سنگ‌های کالیچی مورد مطالعه درجدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. نتایج آنالیزهای شیمیایی کالیچ سنندج

XRF	Oxide (%)	XRD	$Caco_3$(%)
Sio_2	31.29	24.15	-
Cao	26.32	48.3	42
Al_2o_3	11.62	-	-
Tio_2	0.52	-	-
Mgo	1.36	-	-
Fe_2o_3	4.32	-	-
P_2o_5	0.09	-	-
Na_2o	0.68	-	-
K_2o	1.62	-	-
L.O.I	22.18	-	-

نمونه کالیچ مورد مطالعه عمدتا از کلسیت تشکیل شده است. در این نمونه همچنین پوشش جلبکی (کراست زیستی) که از مشخصه های کالیچ است قابل مشاهده می باشد(شکل۵). در محل کراست زیستی کلسیت های دندان سگی در مقیاس کوچک رشد پیدا کرده اند. اسم سنگ کالکریت یا سنگ کالیچ می‌باشد. حدودا ۲۸ درصد کوارتز در کل مقطع وجود دارد. زمینه مقطع آهک میکرایتی ریز دانه و بلورهای کریستالیزه کلسیت در محدوده کراستی به وضوح قابل مشاهده است. تخلخل قابل مشاهده در مقطع ۲۰ درصد می باشد.



شکل ۵. مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از کالیچ در نور XPL با بزرگنمایی۵

Qکوارتز، Ca: کلسیت، S: ماسه سنگ ، P: تخلخل، bl: کلسیت با آرایش بلوکی، gr: کلسیت با آرایش دانه‌ای دارای بافت میکرایتی، Bi: بیوکراست یا کراست زیستی که ناشی از وجود جلبک در بافت کالیچ است، R: ریشه های گیاهان

۳-۲-۲- مطالعه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی:

۳-۲-۲-۱- آزمایش تعیین چگالی و تخلخل موثر به روش اشباع و غوطه وری:

هدف از انجام این آزمایش ها، تعیین تخلخل، دانسیته خشک و دیگر ویژگی‌ها ی وابسته به آن است. بر روی سنگ‌های مورد مطالعه این آزمایش بر اساس استاندارد(ISRM; 1979b) انجام شده است. این روش برای نمونه های سنگی با اشکال هندسی منظم، نامنظم و یا قطعات سنگی استفاده می شود. همچنین نمونه نباید ترد و شکننده باشد و بدون تورم بوده و به دلیل قرار گرفتن در آب یا گرمخانه تجزیه و متلاشی نشود (جدول ٤).

۳-۲-۲-۲- تعیین شاخص دوام وارفتگی:

شاخص دوام وارفتگی، مقدار درصد وزن باقی‌مانده نمونه پس از مراحل تر و خشک شدن می‌باشد. از این شاخص می‌توان برای تعیین پایداری سنگ در مقابل اثر تخریبی آب بر روی سنگ استفاده کرد. بر روی سنگ‌های مورد مطالعه این آزمایش بر اساس استاندارد(ASTM D4644;2016a) انجام شده است. این آزمون اساساً برای سنگ‌های حاوی کانی‌های رسی و آرژیلیتی کاربرد دارد، اما می‌توان برای سایر سنگ‌ها نیز به منظور تعیین پایداری در مقابل آب بهره گرفت. که بر اساس رده‌بندی (Gamble, 1971) که سنگ‌ها را بر اساس شاخص دوام دومین مرحله بیان کرده است نمونه کالیچ جنوب سنندج در رده کمی مقاوم قرار می‌گیرد (جدول ٤).

۳-۲-۲-۳-آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای:

آزمون بار نقطه‌ایی به عنوان جایگزینی برای آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری عمل نموده و جهت تعیین مقاومت قطعات نامنظم مغزه‌های سنگی مطابق استاندارد (ASTM D5731-16) مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌های سنگی به شکل مغزه، بلوکه‌ای بریده شده یا کلوخه های نامنظم، توسط اعمال بار متمرکز یک جفت فک مخروطی شکل شکسته می-شوند. با توجه به اینکه نتیجه آزمایش بارگذاری نقطه‌ای تحت تاثیر پارامترهای زیادی بوده و مقادیر مختلفی جهت یک نمونه ارائه می دهد به ازاء هر نمونه مقاومت فشاری تک محوری(نمونه با رطوبت طبیعی) چهار نمونه جهت انجام این آزمون تهیه شد. نتایج آن به شرح جدول (٤) می‌باشد. که دارای میانگین ۱/۵۸ مگاپاسکال می‌باشند.

۳-۳-۲-٤- آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری سنگ:

آزمون تراکم تک محوری رایج ترین روش تعیین مقاومت فشاری سنگ بکر است. مقاومت فشاری تک محوری سنگ براساس حداکثر بار قائم که به طور محوری بر روی یک نمونه استوانه‌ای اعمال می‌شود تعیین می‌گردد. این آزمون به تعداد سه مورد از یک محل اخذ و مطابق استاندارد (ASTM 7012-14) بر روی نمونه‌های اخذ شده انجام که نتیجه آن در جدول (٤) ارائه شده‌است. حداکثر مقدار آن برابر با ۱۱/۷ مگا پاسکال و حداقل آن ۵/۹ مگاپاسکال می‌باشد.

شکل ٦- شکست نمونه در آزمایش بارگذاری نقطه ای و آزمون مقاومت فشاری تک محوری

جدول ٤. نتایج آزمون های فیزیکی و مکانیکی کالیچ سنندج

$Id_{2(\%)}$	$Id_{1\%)}$	Is (MPa)	UCS (MPa)	γ_d(gr/cm^3)	QAI (%)	n (%)	Sample
93.35	95.99	1.95		2.35	4.45	10	
-	-	1.73		-	-	-	
-	-	2.01	11.7*	2.05	-	-	-
-	-			2.3	-	-	-
-	-			0.41	-	-	-
-	-	1.15	5.9**	1.61	-	-	-
-	-			0.58	-	-	-
-	-			0.58	-	-	-
-	-			2.14	-	-	-
-	-	1.57	6.8***	1.56	-	-	-
-	-			1.11	-	-	-
-	-			1.48	-	-	-
93.35	95.99	1.58	8.13	2.35	4.45	10	Mean

(sanandaj)

n= Porosity (%); QAI= Water absorption (%); $\gamma_{_d}$= Dry Density; UCS= Uniaxial compressive strength; Is= Point load Index I_{d1}= durability $Index_1$; I_{d2}= durability $Index_2$

Sample number three *** Sample number Two ** Sample number one*

٤- بحث:

لایه کالیچی واقع در محدوده مورد مطالعه، دارای سیمان کلسیتی است که دارای مقدار سنگدانه است و اندازه سنگدانه‌های آن تفاوت زیادی دارد به همین دلیل نیز مقاومت فشاری آن متفاوت بوده است که با افزایش سنگدانه‌های درشت در کالیچ مقاومت فشاری آن افزایش خواهد یافت که در نمونه شماره یک این افزایش واضح می باشد.

درصد کربنات کلسیم از عوامل مهم کنترل کننده انحلال-پذیری سنگ‌های کربناته می‌باشد و با توجه به بالا بودن کربنات کلسیم در نمونه های مورد مطالعه امکان انحلال لایه کالیچ در گذر زمان وجود دارد که ازبین رفتن سیمان آن نیز در حین نمونه گیری کاملا مشخص بود.

با توجه به ترکیب کربناته کالیچ در مناطق با سطح متغییر آب زیرزمینی خصوصا در مناطق شهری می‌تواند با گذشت زمان طی فرآیند انحلال پذیری و کارستی شدن، نشست سازه را به همراه داشته باشد.

با توجه به ضخامت و گسترش محدود لایه کالیچ در زمین پروژه بایستی نسبت به حذف و گودبرداری آن اقدام و یا در صورت امکان از شمع جهت انتقال بار ناشی از احداث سازه به بستر سنگی اقدام گردد.

با توجه به اینکه کالیچ نوع هاردپن دارای درصد رس پایین بوده لذا در صورت ترکیب با سایر مصالح سنگدانه ای، مانع خرد شدن، جذب آب و یخ بستن مصالح در فصل های سرد می گردد در نتیجه مانع از خارج شدن مصالح از قشر زیر اساس می گردد.

با توجه به درشت دانه بودن و آهکی بودن مصالح کالیجی موجود در صورت برداشت میتوان دوباره از این مصالح جهت احداث خاکریز و یا بستر مناسب جهت احداث فونداسیون سازه بر روی خاک رس موجود استفاده کرد.

به دلیل وسعت کالیچ در سطح شهر سنندج و قرار گیری قسمتی از شهر در امتداد رودخانه بایستی مطالعات بیشتری انجام گردد تا ویژگی‌های مختلف این لایه در سطح شهر سنندج و همچنین امکان وقوع آن در عمق‌های پایینی بررسی شود و بر این اساس تاثیر این لایه بر سازه‌های مهندسی احداث شده بر روی آن کنترل گردد.

۵- نتیجه گیری:

در این پژوهش، خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی کالیچ به عنوان لایه سخت مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج مربوط به آن در زیر بیان شده‌اند:

۱. ضخامت لایه کالیچ حداکثر حدود ٦ متر برآورد گردیدکه گسترش وتداوم آن در محدوده گمانه‌های BH1 ، BH5 و BH6 می باشد..

۲. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار SPT در عمق‌های سطحی(حداکثر ۸ متری) در گمانه‌های BH1 ، BH5 و BH6 بیشتر از ۵۰ ضربه به ازائ نفوذ ۳۰ سانتی‌متری بوده در حالی که در بقیه گمانه و اعماق دیگر حداکثر مقدار

SPT در حدود ٤٠ ضربه بوده و بیانگر توسعه و گسترش لایه کالیچ در محدوده این گمانه‌ها می‌باشد.

۳. بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی میکروسکوپی و ماکروسکوپی و نتایج آنالیزهای شیمیایی صورت گرفته کربنات کلسیم در این منطقه نقش سیمان را در بین ذرات ریز و درشت ماسه سنگ و شن دارد.

٤. بر اساس نتایج آزمایش دوام نمونه کالیچ سنندج در رده کمی مقاوم قرار می‌گیرد.

۵. میانگین شاخص بارگذاری نقطه‌ای ۱/۵۸ مگاپاسکال می‌باشند.

حداکثر مقدار مقاومت تراکمی تک محوری سنگ برابر با ۱۱/۷مگا پاسکال و حداقل آن ۵/۹ مگاپاسکال می‌باشد.

منابع

حیدری، مجتبی.، قبادی، محمد حسین .، عابدینی، محمد علی.، ۱۳۸۸. بررسی انحلال رسوبات کربناته (کالیچ) (مطالعه موردی: محور اول سد نعمت آباد)، ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۸۲۸-۸۲۳.

سازمان زمین شناسی کشور و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ سنندج.

مهندسین مشاور خاک و بتن کردستان، ۱۳۹۸، گزارش مطالعات ژئوتکنیک سایت خدمات موتوری شهرستان سنندج.

ASTM D7012-14, Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures1.

ASTM D5731-16, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.

ASTM D 4644-16. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks. Annual Book of ASTM Standards Concrete and Aggregates, West Conshohocken, United States.

ASTM E 1621 -13.Standard Guide for Elemental Analysis by Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry.

ASTM-D1586 – 18. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils1.

Bs EN 13925-1:2003. Non-destructive testing. X-ray Diffraction from polycrystalline and amorphous materials. General principles.

Brown, C. N ., 1956, The origin of caliche on the northeast Llano Estacado, Texas: Jour. Geol., Vol. 64, No. 1, p. 1-16.

Cooley, D. B., 1966, Geological environment and engineering properties of caliche in the Tucson area, Tucson, Arizona:Univ. Ariz., MS Thesis, 96 p.

Dincer, I. Acar, A. Ural, S., 2008. Estimation of strength and deformation properties of Quaternary caliche deposits. Bull Eng Geol Environ, 67:p353–366.

Esmailzadeh Akbar, Behnam Shekar, Mikaeil Reza, Zare Naghadehi Masoud, Saei Salar., 2017. Relationship between Texture and Uniaxial Compressive Strength of Rocks, Civil Engineering Journal Vol. 3, No. 7, p.480-486.

Gareth J. Hearn., 2015. Mapping calcretes in Inhambane province, Mozambique for use in road construction, Bull Eng Geol Environ (2015) 74:405–426 DOI 10.1007/s10064-014-0688-3.

Gamble. J. C., 1971. Durability plasticity classification on shale and order argiliaceous rocks. Ph. D. Thesis. University of Illinots.

Gile, L. H., 1961, A classification of calcium horizons in soils of a desert region, Dona Ana County, New Mexico: Soil Sci. Soc. Am. Proc., v. 25. p. 52.

ISRM., 1979. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science V. 16. P 141-156.

İsmail Dïnçer, Altay Acar, Donatello Magaldï., 2007. Relationship Between Micro morphological Characteristics And Engineering Parameters Of Caliche (Calcrete).Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 20(2), –p. 137-150.

İsmail Dinçer, Altay Acar, Argun Kocaoğlu., 2010. Engineering properties and dynamic behavior of caliche deposits in a seismically active region in southern Turkey. Engineering Geology, 111 73–89.

Kholodov, V. N., 2007. Caliches: A Newly-Formed Boundary Carbonate Material in Soils. Lithology and Mineral Resources, 2007, Vol. 42, No. 3, pp. 246–256.

Sim, A.C.Y.1, Ong, D.E.L.1, 2, Tai, L.Y.3, Ting, W.H.4, Chai, E.P.S.1 & Bachat, J.1., 2016. Characteristics of Hardpan Calcrete of the Nyalau Formation and Impact on Design of Shallow Foundations. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA ISSN 0046-5828..

Stuart, D. M., 1958, the formation of cemented hardpans and their relation to slick spots in some southwestern Idaho soils: Unpub. Univ. of Idaho Master's thesis, Moscow, Idaho

Wilding,l.P., Woodruff Jr., C.M., Owens, P.R., 2001. Study of caliche soil as a fiter medium for treatment and disposal of wastewater. Texas Natural Resource Conservation Commission, Final report to Texas On-Site wastewater treatment research Council (MC-178), Contract No. 582-1-83209. Pp 1-77.