



Surface Evaluation of the Strength and Hardness of Improved Soil at Lake Urmia

Milad Soleimani Vares Abad¹, Solmaz Darsanj², Mehrdad Emami Tabrizi^{3*},
Sadegh Ghavami⁴

1- M.Sc. Student, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University of Technology, Tabriz, Iran.

2- Ph.D. Candidate, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University of Technology, Tabriz, Iran.

3- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University of Technology, Tabriz, Iran.

4- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University of Technology, Tabriz, Iran.

m.emami@sut.ac.ir

Abstract

In recent years, dust storms have affected many cities in Iran, causing serious problems for residents. One major source of dust production in Iran is the dried shoreline of Lake Urmia. In this study, different ratios of cement and wind-blown sand were used as a chemical mulch to control wind erosion and dust storms, and the surface resistance of the improved soil mass was evaluated using a pocket penetrometer as an in-situ method. This tool offers several advantages, including simplicity, low cost, and high speed. Furthermore, because laboratory methods are time-consuming and expensive, in-situ approaches should be prioritized. Accordingly, this study aimed to investigate the relationship between the unconfined compressive strength of the samples and the results of the penetration test by preparing cement-stabilized samples at different treatment levels. Based on the experiments, an empirical relationship was developed to estimate the unconfined compressive strength from the penetrometer penetration index in the improved soil studied. However, the penetrometer test has limitations, including a relatively high margin of error and low measurement accuracy in some device models.

Keywords: Pocket penetrometer, Soil surface strength, Soil improvement, Cement-based mulch, Wind erosion



ارزیابی سطحی مقاومت و سختی توده خاک بهسازی شده دریاچه ارومیه

میلاد سلیمانی وارث آباد^۱، سولماز دارسنج^۲، مهرداد امامی تبریزی^{۳*}، صادق قوامی جمال^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی تبریز، تبریز، ایران.

۲- دانشجوی دکترای ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی تبریز، تبریز، ایران.

۴- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی تبریز، تبریز، ایران.

* m.emami@sut.ac.ir

چکیده

در سال‌های گذشته طوفان گرد و غبار شمار زیادی از شهرهای ایران را تحت تأثیر قرار داده که باعث بروز مشکلاتی عمده‌ای برای مردم شده است. یکی از منابع تولید گرد و غبار در ایران، سواحل خشک شده دریاچه ارومیه است؛ در این پژوهش برای کنترل فرسایش بادی و طوفان گرد و غبار از نسبت‌های مختلف سیمان و ماسه بادی به عنوان مالچ شیمیایی استفاده گردید و همچنین ارزیابی مقاومت سطحی توده خاک بهسازی شده با استفاده از ابزار نفوذسنج جیبی که از روش‌های برجا می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. از مزایای این ابزار می‌توان به سادگی، هزینه کم و سرعت بالا اشاره کرد؛ همچنین از آنجایی که روش‌های آزمایشگاهی زمان‌بر و هزینه‌بر هستند؛ لازم است که روش‌های برجا در اولیت قرار گیرند، لذا در این پژوهش سعی شده است که با ساخت نمونه‌های سیمانته در درجات سیماناسیون مختلف، ارتباط بین مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها با نتایج آزمایش نفوذ، بررسی گردد. با بررسی‌های انجام شده، یک رابطه‌ی تجربی برای برآورد مقاومت فشاری محصورنشده از شاخص نفوذ پنترومتر در خاک بهسازی شده مورد مطالعه، بدست آمد. با این حال، از جمله محدودیت‌های آزمون پنترومتر می‌توان به خطای نسبتاً زیاد در نتایج و دقت پایین اندازه‌گیری در برخی از مدل‌های دستگاه اشاره کرد.

کلمات کلیدی: نفوذسنج جیبی، مقاومت سطحی خاک، بهسازی خاک، مالچ سیمان، فرسایش بادی

۱- مقدمه

فرسایش بادی امروزه یکی از مهمترین تهدیدهای طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشورمان محسوب می‌شود؛ یکی از این مناطقی که بحران زیست محیطی در آن در حال وقوع است، واقع در حاشیه شمال غربی دریاچه ارومیه و فاصله ۳۰ کیلومتری شهر ارومیه، منطقه جبل کندی می‌باشد (شکل ۱)؛ که یکی از مهمترین کانون‌های ریزگرد در منطقه شمال غرب کشور است؛ ماسه‌های منطقه جبل کندی عمدتاً از کانی آراگونیت و کلسیت تشکیل یافته و از نوع ماسه‌ی کربناته است. همچنین بر اساس تصاویر میکروسکوپی، دانه‌های خاک شامل ذرات کروی و سوزنی شکل می‌باشد. ماسه‌های این ناحیه، از نوع بسیارریز بوده و نسبت به تپه‌های ماسه‌های دیگر نقاط در ایران مرکزی، قطر متوسط کمتر و حساسیت بالاتری به باد بردگی داشته و خطری مهم در این منطقه به حساب می‌آید؛ به طوری که طوفان باعث ایجاد گرد و غبار و حرکت ماسه روان به سمت زمین‌های کشاورزی و مناطق روستایی شده و زندگی بسیاری از مردم را با تهدید جدی مواجه ساخته است (شکل ۲) [۱ و ۲].

برای تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از پیشروی و ایجاد ریزگردها روش‌های مختلفی از جمله کشت گونه‌های گز، قره‌داغ و درختچه، استفاده از کمربند سبز و باد شکن زنده و پاشش مالچ‌های طبیعی و مصنوعی در قالب پروژه‌های اصلی و تحقیقاتی استفاده شده است [۳، ۴]. یکی از روش‌های تثبیت^۱

¹Stabilization

و بهسازی خاک^۱ ماسه‌های روان، بصورت سطحی است؛ چراکه لایه سطحی مقاوم به علت صرفه زمانی و اقتصادی که دارد در بسیاری از عملیات‌های کنترل فرسایش بادی استفاده می‌شود. در این روش از موادی همچون آب، پلیمر و مالچ‌های نفتی به عنوان مقاوم سازی در لایه سطح استفاده می‌شود. ولی استفاده از برخی از مواد همانند مالچ‌های نفتی می‌تواند اثرات مخربی بر محیط زیست به همراه داشته باشد [۵].



شکل ۱- موقعیت منطقه جبل کندی در حاشیه دریاچه ارومیه شکل ۲- طوفان گرد و غبار ناشی از حرکت ماسه در منطقه جبل کندی

در این تحقیق تثبیت سطحی نمونه‌های ماسه‌های روان منطقه جبل کندی واقع در حاشیه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون پنترومتر جیبی^۲ و آزمون مقاومت فشاری محدود نشده^۳ مورد ارزیابی و ارتباط مابین آنها بررسی شد.

۲- مواد و پژوهش‌ها

۲-۱- ابزار و قالب‌های مورد استفاده برای بهسازی ماسه

با توجه به اینکه ماسه‌های منطقه شور و خورنده می‌باشند، جهت ساخت نمونه‌های استوانه‌ای شکل برای آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده از قالب‌های پلیمری که در برابر خوردگی مقاوم هستند، به قطر داخلی ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۳- الف)؛ همچنین برای انجام آزمایش پنترومتر از ظروف پلاستیکی مقاوم به طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض ۱۶ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۳- ب).



شکل ۳- ب: قالب برای تهیه نمونه جهت انجام آزمایش پنترومتر

شکل ۳- الف: قالب تهیه نمونه‌های استوانه‌ای

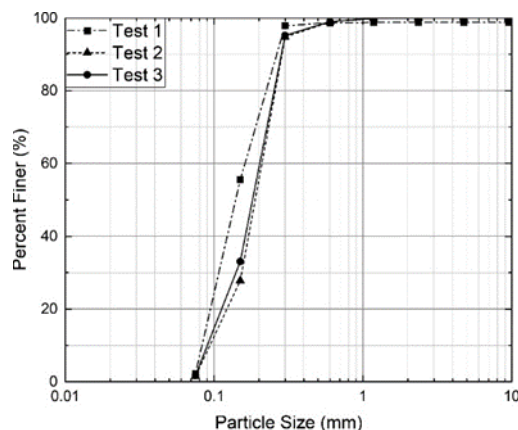
¹ Soil treatment

² Pocket Penetrometer

³ Unconfined Compressive Strength (UCS)

۲-۲- انجام آزمایش‌های اولیه و ویژگی‌ها خاک مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق نمونه خاک ماسه‌ای منطقه جبل کندی به آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی تبریز منتقل گردید و آزمایش‌های شناسایی فیزیکی خاک با انجام آزمایش دانه‌بندی طبق استاندارد ASTM_D2487_11 انجام گرفت. مطابق شکل ۴، ۹۰ درصد ذرات خاک بین ۰/۰۷۵ الی ۰/۳۰۰ میلی‌متر قطر دارند، ضریب یکنواختی خاک $C_u = ۲/۲۲$ ، ضریب انحصار $C_c = ۰/۹۶$ و $D_{50} = ۰/۱۷۰$ mm می‌باشد و در رده‌بندی متحد خاک در گروه ماسه بد دانه‌بندی شده (SP^1) قرار می‌گیرد [۶].



شکل ۴: نمودار دانه‌بندی خاک ماسه‌ای منطقه جبل کندی

با آزمایش تعیین چگالی ویژه خاک طبق استاندارد ASTM-D854-14، مقدار $G_s = ۲/۷۴$ تعیین شد [۷]؛ همچنین تعیین هدایت الکتریکی خاک در عصاره ۱ به ۲ (خاک:آب) توسط دستگاه EC متر انجام گرفت که مقدار آن در حدود ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده [۸] و خاک در دسته خاک‌های با شوری کم قرار می‌گیرد [۹]؛ همچنین با انجام آزمایش pH روی عصاره با نسبت ۱ به ۲ خاک به آب، مشخص شد که خاک ماسه‌ای مورد مطالعه خاصیت بازی دارد [۱۰]. خلاصه‌ای از تعیین ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱- آمده است.

جدول ۱: خلاصه ویژگی‌های خاک ماسه‌ای جبل کندی

۲/۷۴	چگالی ویژه
۲۱۸۵ میکروزیمنس	هدایت الکتریکی
ماسه بد دانه‌بندی شده (SP)	طبقه‌بندی خاک در سیستم متحد
۸/۷	pH

۳-۲- ماده تثبیت کننده

جهت تثبیت و بهسازی سطحی ماسه از سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ صوفیان در این پژوهش استفاده شده است؛ که مشخصات شیمیایی آن در جدول ۲- آمده است.

جدول ۲: مشخصات شیمیایی سیمان [۱۱]

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	C ₃ A (%)
64.11	21.35	5.27	3.75	2.20	7.62

¹ Poorly graded sand



۴-۲- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای شکل برای آزمایش مقاومت تک محوری

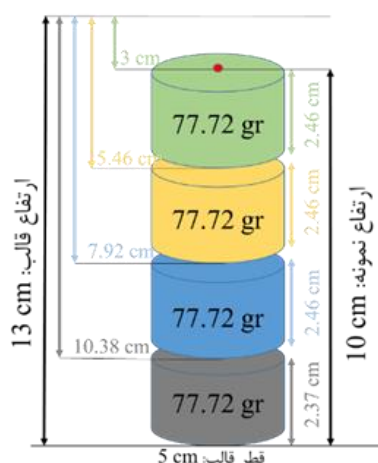
نمونه‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر، جهت تعیین مقاومت فشاری محدود نشده با دانسیته خشک gr/cm^3 ۱/۵۱، رطوبت ۴/۸۵ درصد، با سه درصد سیمان‌تاسیون مختلف ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد ساخته شدند و در دو حالت خشک و مرطوب مورد آزمایش قرار گرفتند. حداقل ۳ تکرار در هر حالت انجام گرفت که در جدول ۳ انواع نمونه‌های استوانه‌ای شکل ارائه شده است؛ ساخت نمونه‌ها در چهار مرحله ریخته و متراکم شده است تا تراکم در تمام جهات نمونه، حدالمکان یکسان باشد [۱۲]؛ که خلاصه‌ای از جزئیات طرح اختلاط در جدول ۴ و تصویر شماتیک از جزئیات تراکم در شکل ۵ آماده است. پس از ساخت، هریک از نمونه‌ها ۷ روز عمل آوری شدند.

جدول ۳- نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده برای انجام آزمایشات مقاومت تک محوری

انواع حالت‌ها برای آزمایش	درصد سیمان‌تاسیون	تعداد
نمونه‌های نظیر حالت خشک	۱/۵	۳ عدد
	۲	۳ عدد
	۲/۵	۳ عدد
نمونه‌های نظیر حالت مرطوب	۱/۵	۳ عدد
	۲	۳ عدد
	۲/۵	۳ عدد

جدول ۴- جزئیات طرح اختلاط ساخت نمونه‌های استوانه‌ای

انواع درصد سیمان‌تاسیون	سیمان‌تاسیون ۱.۵٪	سیمان‌تاسیون ۲٪	سیمان‌تاسیون ۲.۵٪
طرح اختلاط نمونه			
دانسیته خشک هدف	$14/8 \text{ kN/m}^3$	$14/8 \text{ kN/m}^3$	$14/8 \text{ kN/m}^3$
دانسیته تر هدف	$15/49 \text{ kN/m}^3$	$15/49 \text{ kN/m}^3$	$15/49 \text{ kN/m}^3$
رطوبت هدف	۴/۸۵٪	۴/۸۵٪	۴/۸۵٪
درصد سیمان	۱/۵٪	۲٪	۲/۵٪
وزن کل خاک خشک با پرت	۳۰۶/۷۱۲ gr	۳۰۵/۲۰ gr	۳۰۳/۷۱ gr
وزن خاک روی الک ۱۰۰	۱۸۴/۰۲۷ gr	۱۸۳/۱۲ gr	۱۸۲/۲۳ gr
وزن خاک روی الک ۲۰۰	۱۲۲/۶۸ gr	۱۲۲/۰۸ gr	۱۲۱/۴۸ gr
وزن سیمان	۴/۶۰ gr	۶/۱۰ gr	۷/۵۹ gr
وزن آب با ۱ گرم اضافه	۱۱/۷۳۵ gr	۱۳/۲۰۸ gr	۱۴/۶۶ gr
وزن تر برای هر لایه تراکم	۷۷/۷۲ gr	۷۷/۷۲ gr	۷۷/۷۲ gr
ارتفاع لایه اول از بالای قالب	۱۰/۳۸ cm	۱۰/۳۸ cm	۱۰/۳۸ cm
ارتفاع لایه دوم از بالای قالب	۷/۹۲ cm	۷/۹۲ cm	۷/۹۲ cm
ارتفاع لایه سوم از بالای قالب	۵/۴۶ cm	۵/۴۶ cm	۵/۴۶ cm
ارتفاع لایه چهارم از بالای قالب	۳ cm	۳ cm	۳ cm



شکل ۵: تصویر شماتیک از جزئیات ساخت نمونه استوانه‌ای

۵-۲- ساخت نمونه جهت انجام آزمایش پنترومتر

آزمایش پنترومتر در مقایس آزمایشگاهی و در سه حالت مختلف (اختلاط ماسه با سیمان، پاشش دوغاب سیمانی روی ماسه و غرقاب کردن ماسه توسط دوغاب سیمانی) انجام شده است، که حالت اختلاط ماسه با سیمان در این پژوهش آورده شده است؛ برای ساخت مدل فیزیکی از قالب‌های پلاستیکی که در قسمت قبل اشاره شد، استفاده گردید؛ بعد از ساخت، نمونه کاملاً فویل پیچ شده و داخل دستگاه عمل آوری قرار داده شد تا هیچ گونه تبادل با محیط اطراف نداشته و فرآیند عمل آوری ۷ روزه بطور صحیح اجرا شود؛ مراحل آماده سازی نمونه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: ساخت نمونه جهت انجام آزمایش پنترومتر و عمل آوری آن

۶-۲- دستگاه پنترومتر جیبی

آزمایش‌های فشاری نامحدود (UC)، سه محوری (UU)، پره‌های آزمایشگاهی (LV)، مخروط سقوط (FC) و پنترومتر جیبی (PP) روش‌های رایج هستند. که در سال‌های اخیر، تست پنترومتر جیبی (PP) برای ارزیابی مقاومت خاک‌های چسبنده مورد استفاده قرار گرفته و به دلیل سادگی،

هزینه کم و سرعت بالا مورد توجه قرار گرفته است؛ همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، این دستگاه به طول ۱۷ سانتی‌متر، عرض ۲ سانتی‌متر، قطر نوک ۶ میلی‌متر و با وزن ۲۰۰ گرم می‌باشد [۱۳]؛ پنترومتر جیبی مستقیماً به داخل خاک رانده می‌شود. مقاومت فشاری نامحدود (Q_u) توسط فنر کالیبره شده اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه هم در آزمایشگاه و هم در صحرا قابل استفاده است [۱۴].



شکل ۷: دستگاه پنترومتر جیبی

۳- نتایج

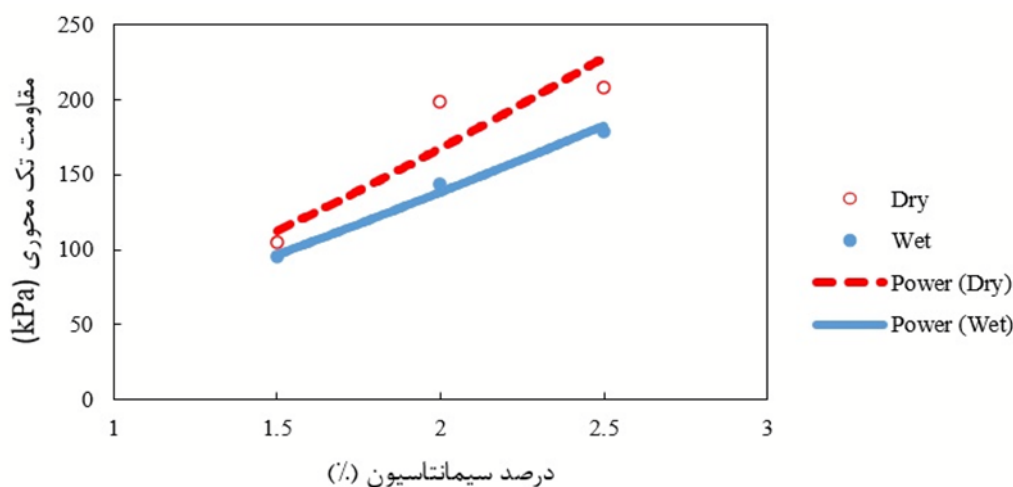
۳-۱- تغییرات مقاومت فشاری تک محوری با درصد سیمان

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری در شکل ۸ ارائه شده است. در این نمودار، محور عمودی نشان‌دهنده مقدار مقاومت فشاری و محور افقی نمایانگر درصد سیمانتاسیون در سه سطح ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد است. برای نمایش شرایط مختلف رطوبتی، از دایره‌های توپر برای میانگین نمونه‌ها در حالت مرطوب و از دایره‌های توخالی برای میانگین نمونه‌ها در حالت خشک استفاده شده است. بر اساس نتایج، افزایش درصد سیمانتاسیون در هر دو حالت مرطوب و خشک باعث افزایش مقاومت فشاری شده است. همچنین، به‌طور کلی مشاهده می‌شود که در تمام درصدهای سیمانتاسیون، مقاومت نمونه‌ها در حالت خشک بالاتر از حالت مرطوب است.

تغییرات داده‌ها بصورت خطی نبوده و با انجام آنالیز رگرسیون تغییرات بصورت معادله توانی برای هر دو حالت مشاهده شد، حالت مرطوب در شکل ۸ بصورت خط و رابطه (۱) و در حالت خشک بصورت خط چین و رابطه (۲) آمده است.

$$Y = 58.23 X^{1.24} \quad (R^2 = 0.99) \quad (1)$$

$$Y = 64.25 X^{1.38} \quad (R^2 = 0.85) \quad (2)$$



شکل ۸: نتایج نمونه‌های استوانه‌ای با سیمانتاسیون‌های مختلف

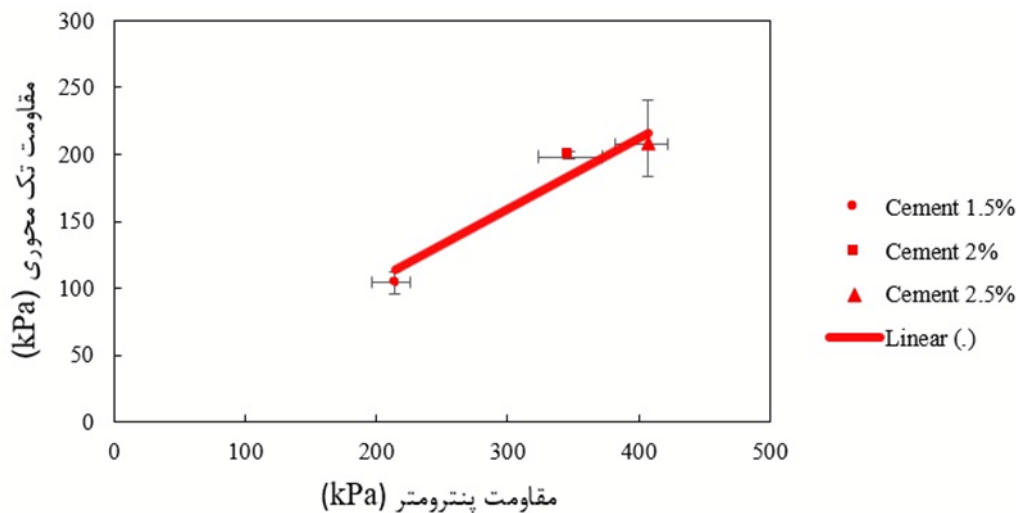
۳-۱- نتایج آزمایش پنترومتر در سیمان‌تاسیون‌های مختلف و مقایسه با نتایج آزمایش نمونه‌های استوانه

نتایج آزمایش پنترومتر در مقایسه با آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری در شرایط خشک و با درصد‌های مختلف سیمان‌تاسیون (۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد) در شکل ۹ نمایش داده شده است. در این نمودار، میانگین مقاومت به دست آمده از آزمایش تک‌محوری در محور عمودی و میانگین مقاومت حاصل از آزمایش پنترومتر در محور افقی قرار گرفته‌اند. بازه تغییرات نتایج هر دو آزمایش به صورت خط‌های بارگذاری روی نمودار مشخص شده است. برای تمایز بهترین درصد‌های مختلف سیمان‌تاسیون، داده‌های مربوط به ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد به ترتیب با نمادهای دایره، مربع و مثلث در نمودار نشان داده شده‌اند.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش درصد سیمان‌تاسیون، مقاومت فشاری در هر دو آزمایش روند افزایشی دارد. نتایج همچنین حاکی از آن است که مقاومت اندازه‌گیری شده در آزمایش پنترومتر به طور متوسط حدود دو برابر بیشتر از مقاومت حاصل از آزمایش تک‌محوری است. همچنین با برآزش انجام شده بین نتایج دو آزمایش مقاومت تک‌محوری و آزمایش پنترومتر ارتباط خطی که در رابطه (۳) آمده با ضریب همبستگی ۰/۹۴ مشاهده شد.

$$Y = 0.53 X \quad (R^2 = 0.94)$$

(۳)



شکل ۹: نتایج آزمون پنترومتر و نتایج آزمون تک‌محوری در درصد سیمان‌تاسیون‌های مختلف

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کاربرد آزمون پنترومتر در ارزیابی توده خاک بهسازی شده در منطقه جبل‌کندی واقع در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با آزمون مقاومت فشاری محصورنشده مقایسه گردید. آزمون پنترومتر، که روشی غیرمخرب به شمار می‌رود، می‌تواند ابزار مناسبی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری سنگ‌های نرم تا بسیار ضعیف باشد. در این تحقیق، با بهره‌گیری از این آزمون، ویژگی‌های توده خاک بهسازی شده در منطقه مذکور تحلیل شده و نتایج مطالعات پیشین نیز به طور خلاصه بررسی شده‌اند. حاصل این بررسی‌ها، ارائه یک رابطه‌ی تجربی با ضریب همبستگی ۰/۹۴ برای برآورد مقاومت فشاری محصورنشده از شاخص نفوذ پنترومتر در خاک بهسازی شده مورد مطالعه است. با این حال، از جمله محدودیت‌های آزمون پنترومتر می‌توان به خطای نسبتاً زیاد در نتایج و دقت پایین اندازه‌گیری در برخی از مدل‌های دستگاه اشاره کرد.

۵- مراجع

1. Emami Tabrizi, M. and Seyyedi, B.M. (2019). Evaluation of A New Injection Method for Biologically Improvement of Sandy Soils. Journal of Engineering Geology 13 (1), 29-44.



2. Maleki M., Ebrahimi, S., Asadzadeh, F. and Emami Tarbiz, M., (2016). Evaluation of the Efficiency of Microbial Induced Carbonate Precipitation For Loose Sand Dunes Fixation, Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(2), 407-415.
۳. هوشمند، ع.، امامی تبریزی، م.، ابراهیمی، س.، جواد حسینی، س.م. (۱۳۹۲). بررسی اثر دانه بندی و pH محلول سماتاسیون در بهسازی بیولوژیکی خاکهای ماسه ای، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک.
۴. تثبیت بیولوژیک اراضی محدوده جبل کندی در غرب دریاچه ارومیه ارومیه، شرکت مهندسین مشاور پردازش نقشه غرب، ۳۱۷۴.
5. Armbrust, D., and Lyles, L. (1975) Soil stabilizers to control wind erosion. In W.R. Gardner and W.C. Moldenhauer (Eds.), Soil Conditioners. Soil Science Society of America Special Publication. No.7. pp. 77-82.
6. ASTM (2017). D-18 on Soil and Rock.. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). ASTM international.
7. ASTM (2016). D854-14; standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*.
۸. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. (۱۳۸۷). "دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب (نشریه شماره ۴۶۷)". تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری.
9. United States. Division of Soil Survey. (1993). *Soil survey manual* (No. 18). US Department of Agriculture.
10. ASTM. (2016). D854-14; standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*.
۱۱. آزمایشگاه سیمان صوفیان. (۲۰۲۳). "سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱".
<https://en.soufiancement.com/wp-content/uploads/۰۱/۲۰۲۱/SCCCementAnalysis۲۳Feb.۲۰۲۰.TI-۴۲۵.pdf>
12. Ladd, R. S. (1978). Preparing test specimens using undercompaction. *Geotechnical testing journal*, 1(1), 16-23.
13. Budak, T. O., Gurbuz, A., & Eksioglu, B. (2022). Practical transitions among undrained shear strengths of remolded samples from pocket penetrometer tests and other laboratory tests. *Catena*, 213, 106148.
14. Das, B. M., Emeritus, D., Khaled Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering*, Eighth Edition, SI., Chapter 12, P: 476.