بررسی ویژگی‌های مکانیکی و رفتار دینامیکی مارن‌های شمال غرب شیراز

علی کمالی[۱]، مهدی مخبری[۲]*، عباس قلندرزاده[۳]

۱. دانشجوی دکترای مهندسی عمران، گرایش ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران،
۲. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران
۳. استاد گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹

چکیده

مارن‌ها از جمله خاک‌های مسئله‌داری هستند که به دلیل ماهیت تغییرشکل‌پذیری و حساسیت به رطوبت و شرایط آب و هوائی به شدت دچار فرسایش می‌شوند. عوارض این خاک‌ها در بستر راه‌ها، تکیه‌گاه سدها، ساختگاه سازه‌های بلند مرتبه و اندرکنش خاک-سازه و مانند آن مشاهده می‌شود. هنگامی که خاک در اثر زلزله تحت ارتعاش قرار می‌گیرد ویژگی‌ها و پارامترهای ژئوتکنیکی آن تغییر می‌کند. رفتار مارن در برابر زلزله علاوه بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی از مشخصات دینامیکی که شامل سرعت موج برشی، سرعت موج فشاری، فرکانس طبیعی، مدول برشی و نسبت میرایی است نیز تأثیر می‌پذیرد. این ویژگی‌ها را می‌توان از آزمایش‌های آزمایشگاهی و درجا به دست آورد. این تحقیق با هدف شناخت رفتار دینامیکی مارن‌های شمال شیراز که ترکیبی از مارن حاوی سنگ گچ انیدریدی متورم شونده است انجام شده است. بدین منظور علاوه بر آزمایش های استاتیکی آزمایشگاهی و برجا، آزمایش سه محوری تناوبی نیز بر روی نمونه‌ها انجام شده است. نتایج تحقیق نشان داد که در مارن‌های عادی تحکیم یافته با افزایش فشار همه جانبه از ۴۰۰ به ۶۰۰ کیلو پاسکال (افزایش عمق خاک)، مدول برشی ۵۰ از به ۲۰۰ کیلوپاسکال افزایش می‌یابد. بعلاوه رفتار نسبت میرایی برای کرنش‌های کمتر و بیشتر از یک درصد نسبتاً متفاوت است، اما در حالت کلی برای کرنش‌های بالاتر از یک درصد، با افزایش فشار همه جانبه از ۱۰۰ تا ۶۰۰ کیلوپاسکال نسبت میرایی از ۰/۲۱ به ۰/۱۸ کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: مدول برشی، مارن، نسبت میرایی، بارگذاری تناوبی، موج برشی.

مقدمه

در ارزیابی پاسخ زمین به بارهای وارده و تحریکات لرزه‌ای علاوه بر ویژگی‌های مکانیکی، باید مشخصات دینامیکی خاک نیز شناخته شود. از ویژگی‌های اصلی خاک می‌توان به وزن مخصوص، سختی، ضریب پواسون، فرکانس طبیعی، میرایی و همچنین سطح تغییرات کرنش اشاره کرد. این ویژگی‌ها مستقیماً در مطالعات تأثیر ساختگاه به‌کار می‌روند و در تخمین پاسخ خاک به تحریکات زلزله راهنمای خوبی هستند. بنابراین برای شناخت رفتار دینامیکی خاک‌ها در حل مسائل ژئوتکنیکی

* نویسنده مسئول: mehdi.mokhberi@iau.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.2.1019081

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]

باید دقت و بررسی زیادی کرد. در این زمینه دامنه وسیعی از آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی موجود است که هر یک از آن‌ها دارای محدودیت‌ها و یا امتیازهای خاصی هستند. برخی از آزمایش‌ها مخصوص اندازه گیری پارامترهای خاک در کرنش‌های کم و تعداد زیادی هم مربوط به‌اندازه گیری ویژگی‌هائی هستند که در کرنش‌های بزرگ بروز پیدا می‌کنند. از میان این ویژگی‌ها سختی، فرکانس طبیعی و میرایی تأثیر بیشتری بر رفتار دینامیکی خاک دارند. این موضوع نه تنها برای کرنش‌های کوچک، بلکه به علّت غیرخطی بودن حتّی در کرنش‌های متوسط و بزرگ نیز صادق است. در کرنش‌های بزرگ اثر سرعت بارگذاری و تعداد سیکل‌ها بر مقاومت برشی حائز اهمیت است. از این رو شناخت عواملی که بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی و دینامیکی خاک‌ها مؤثر بوده و رفتار اندر کنش خاک-سازه را اعم از کرنش‌های کوچک یا بزرگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد ضروری است.

تاکنون مطالعات مختلفی برای شناخت ویژگی‌های دینامیکی خاک‌ها صورت گرفته است. برخی از محققین از قبیل ترزاقی (Terzagh, 1925)، ویسمن و هارت(Weissmann and Hart, 1962)، و ترزاقی(Terzaghi, 1980) بر روی رابطه مدول برشی و دامنه کرنش برشی تحقیق کرده‌اند. محققین دیگری مانند هاردین و درنویچ (Hardin and Drnevich, 1972) ، سید و همکاران(Seed et al., 1986) و واکتیک و دوبری (Vucetic and Dobry, 1991) عوامل مؤثر بر مدول برشی خاک به طور گسترده توسط آزمایش‌های آزمایشگاهی مانند دستگاه‌های ستون تشدید و سه محوری تناوبی مطالعه نموده‌اند. مطالعات ایشان نشان می‌دهد که عواملی همچون اندازه دانه‌ها، درجه اشباع، نسبت تخلخل، ضریب فشار جانبی زمین، زاویه اصطکاک داخلی و تعداد تناوب‌های تنش تأثیر اندکی روی نسبت میرایی خاک دارند. با این وجود هاردین و درنویچ (Hardin and Drnevich, 1972) و ویسمن و هارت(Weissmann and Hart, 1962) معتقدند که عامل اصلی تأثیرگذار بر نسبت میرایی، سطح کرنش القا شده در ماسه و فشار مؤثر همه‌جانبه اعمال شده بر آن است. همچمین میزان انحنای نمودار مقاومت تناوبی مخلوط رس و سیلت به ترکیب کانی شناسی ترکیب آن‌ها وابسته هست و وجود مونتموریلونیت به‌جای کائولینیت در محتوای خاک باعث افزایش مقاومت تناوبی نمونه می‌شود چرا که با افزایش شاخص پلاستیسیته مقاومت تناوبی افزایش خواهد یافت. وانگ و همکاران (Wang et al., 2013) به بررسی رفتار بررسی تناوبی خاک‌های سیلتی دارای رس با مقدار متغیر و دارای پلاستیسیته پایین در دره رودخانه می‌سی‌سی‌پی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که تغییر مقدار محتوی رس در خاک سیلتی، تغییر چشم‌گیری بر رفتار برشی نمونه شامل مقاومت و سختی آن خواهد داشت. همچنین افزایش درصد رس باعث کاهش پتانسیل روانگرایی نمونه خواهد شد. یلماز و همکاران (Yılmaz et al., 2004) به بررسی رفتار تغییر شکل و مقاومت برشی تناوبی زهکشی نشده در مخلوط رس و سیلت شهر آداپازاری (Adapazarı) در ترکیه پرداخته‌اند. نتایج آزمایش آنها نشان می‌دهد که مقاومت و صلبیت دینامیکی این نوع خاک رس در اثر زلزله از بین نمی‌رود و کرنش پلاستیک آن‌ها به‌صورت بحرانی به نوع بارگذاری و همچنین مقدار بارگذاری اعمال شده بستگی دارد. برویا و همکاران (Beroya et al., 2009) و برویا و آیدین (Beroya and Aydin, 2007) به بررسی اثر کانی شناسی رس موجود در رفتار تناوبی مخلوط‌های رس و سیلت پرداخته و به این نتیجه رسیدند که میزان کانی‌های رسی در این ترکیب نقش مهمی در رفتار تناوبی مخلوط خواهد داشت. بولانگر و ادریس(Boulanger and Idriss, 2006) و برویا و آیدین (Beroya and Aydin, 2007)نشان دادند که در بین خاک‌های رسی، مارن ها به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص رفتار دینامیکی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]

ویژه‌ای از خود بروز می‌دهند. این خاک‌ها بویژه در شرایطی که حالت اشباع داشته و با سایر مواد از جمله گچ و غیره ترکیب می‌شوند رفتار متفاوتی را از خود بروز می‌دهند. هوشمند و همکارن(Hooshmand et al., 2012)، کمالی و همکاران (Kamali et al., 2019) و سمیر بدر وهمکاران (Semir Bedr et al., 2019) به بررسی رفتار استاتیکی و دینامیکی مارن ها در الجزیره پرداختند و نشان دادند که رفتار دینامیکی و استاتیکی خاک مارن تفاوت قابل توجهی دارند. با توجه به مطالعات فوق مشاهده می‌گردد که هنوز رفتار دینامیکی مارن های ترکیبی متورم شونده تاکنون به‌صورت جامع مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا هدف تحقیق حاضر آن است که ویژگی‌های مارن‌های شمال غربی شیراز که ترکیبی از مارن و سنگ گچ انیدریدی متورم شونده است را مورد مطالعه قرار دهد. بویژه هدف آن است که ویژگی‌های دینامیکی ارتعاشات ورودی به سازه مستقر بر آن‌ها را با توجه به محتوای فرکانسی در نظر بگیرد تا با شناخت بهتر از ویژگی‌های فنی و رفتار لرزه‌ای آن‌ها ساختگاه‌های وسیع مارنی را در ساخت و ساز بهتر قضاوت نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی مارن‌های واقع در شمال غربی شهر شیراز انجام شده است. این منطقه که در محدوده عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۹//۴ و ۵۲/۳ قرار گرفته، بخشی از شمال غربی شیراز است که در طرح توسعه شیراز قرار دارد. در طرح تفصیلی شهر شیراز این محل برای احداث مناطق مسکونی، مناطق اداری، آموزشی، بیمارستان و غیره پیشنهاد شده است. در این گستره علاوه بر وجود گسل فعال سبزپوشان۲، لایه‌های چین خورده، طاقدیس- ناودیس‌های فراوان، جریان آب بین‌لایه‌ای، انیدرید فعال و ژیپس قرار دارد. این گونه خاک در بخش‌های مختلفی از استان فارس، بوشهر و هرمزگان نیز قرار دارد. بخش‌های زیادی از خاک مطالعه شده علاوه بر ویژگی‌های مارن رسی حاوی کانی‌های ژیپس و سنگ گچ است که گاهی باعث تورم نیز می‌شود. شکل(۱) موقعیت برداشت نمونه خاک و انجام آزمایش‌های صحرایی را بر روی نقشه ماهواره نشان می‌دهد.

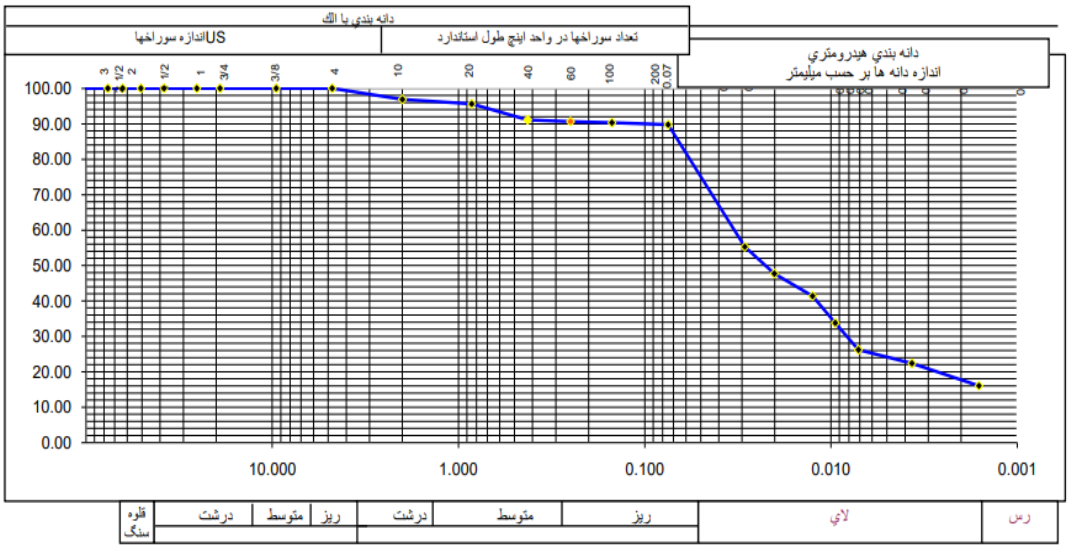
مشخصات خاک مورد مطالعه

برای شناخت و طبقه بندی خاک، نمونه ها از ۱۰ نقطه که دارای ویژگی ها و شرایط یکسان بودند انتخاب و به صورت دست نخورده به آزمایشگاه منتقل و آزمایش‌های اولیه شامل دانه بندی، برش مستقیم، مقاومت تک محوری، تحکیم و حدود اتربرگ صورت گرفته است. برای یافتن نتایج مناسب، هر آزمایش ۳ بار تکرار و میانگین نتایج به عنوان ویژگی مورد نظر انتخاب شد. در سیستم طبقه‌بندی متحدّ این خاک در رده رس‌های با خاصیت خمیری زیاد تا کم (CH-CL) قرار دارد. شکل(۲) نتایج ازمایش دانه‌بندی خاک مورد آزمایش را نشان می‌دهد. جدول (۱) مشخصات اولیه خاک و استانداردهایی که برای انجام آزمایش مورد استفاده قرار گرفته را بیان می کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

شکل ۱. موقعیت انجام پروژه در منطقه شمال‌غرب شیراز(برفروشان)

Fig. 1. The location of the studied area in the north-west region of Shiraz City



شکل ۲. نمونه منحنی دانه بندی در محل انجام تحقیق

Fig. 2. A sample of gradation analysis curve (sieve curve) of studied soil

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190 81]

جدول ۱. مشخصات ژئوتکنیکی و استانداردهای استفاده شده در انجام آزمایش
Table1. Mechanical Properties of Studied Marl and ASTM standard codes

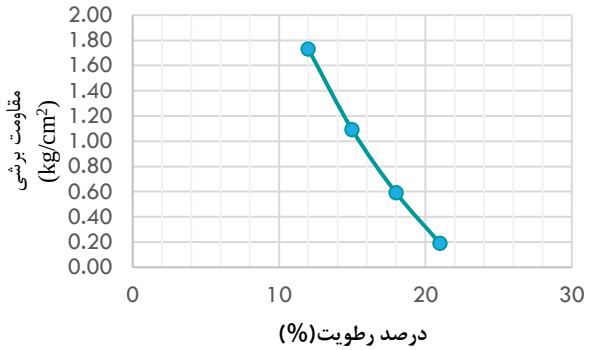
پارامتر	مقدار	کد استاندارد ASTM
وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	۱/۷	D4254
درصد رطوبت بهینه	٪۱۹/۰	D4254
چسبندگی زهکشی شده (Kg/cm^2)	۰/۱۸	D3080
زاویه اصطکاک زهکشی شده (deg)	۲۱	D3080
مقاومت تک محوری q_u (Kg/cm^2)	۰/۹۸	D2166
CBR	٪۷	D1833
تعیین درصد آهک خاک	٪۳۷/۵	C25
درصد ریز دانه	٪۸۸/۹	D422
درصد تورم خاک	٪۱۶/۴۵	D4546
حدروانی	٪۳۱	D4318
شاخص خمیری	۱۵/۵۶	D4318
طبقه بندی به روش متحدً	CL ؛ CH	-

نتایج و بحث

ارزیابی تغییر درصد رطوبت بر ویژگی های ژئوتکنیکی مارن

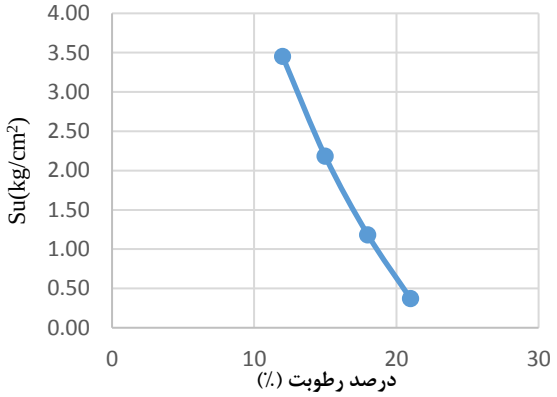
آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت فشاری و برشی مارن‌ها به شدت تابع تغییرات درصد رطوبت است. اشکال ۳ تا ۶ تغییرات در ویژگی های ژئوتکنیکی خاک (سنگ هوازده) مارن را با تغییرات درصد رطوبت نشان می‌دهد. روند تغییرات رفتار خاک در ۴ نقطه در نظر گرفته شده است . بیشترین درصد رطوبت ۲۱٪ انتخاب شده که در محدوه رطوبت بهینه است. مابقی به ترتیب با اختلاف ۳ درصد، ۱۸٪ ، ۱۵٪ و ۱۲٪ درصد انتخاب شده است تا روند تغییرات مشخص شود. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌شود با افزایش رطوبت مقاومت مارن تقریباً به صورت خطی کاهش می‌یابد. وزن مخصوص خاک نیز با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]



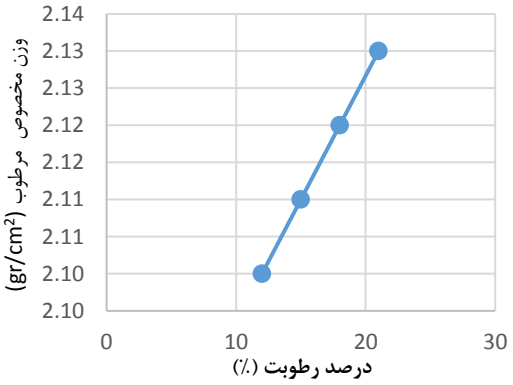
شکل ۳. تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت

Fig. 3. Unconfined pressure changes of Marl based on moisture content



شکل۴. تغییرات مقاومت برشی مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت

Fig. 4. Shear strength changes of Marl based on moisture content

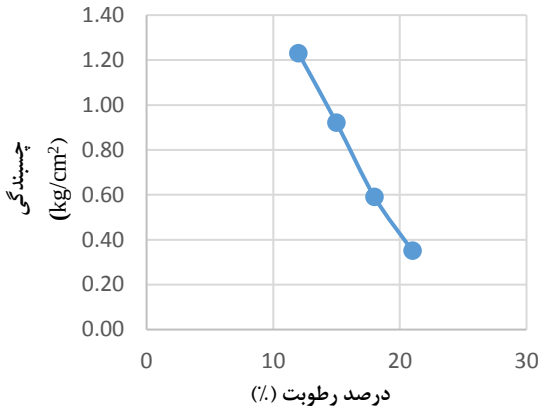


شکل ۵. تغییرات دانسیته مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت

Fig. 5. Specific gravity of Marl based on moisture content changes

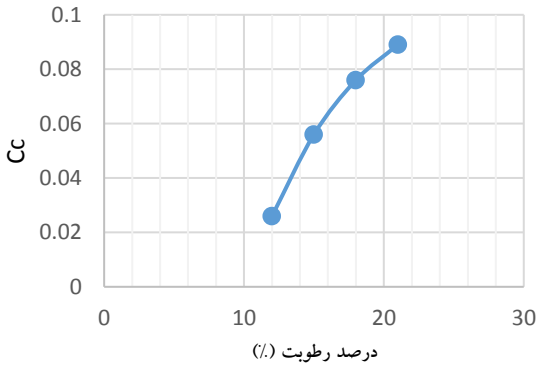
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190 81]



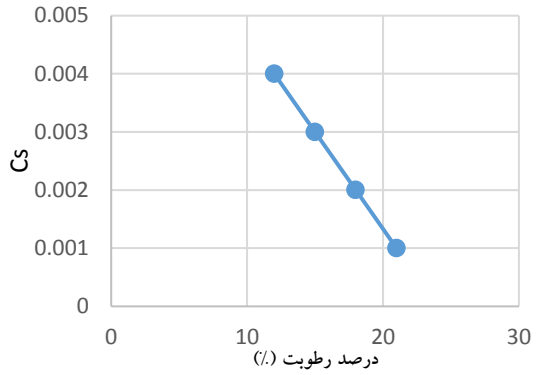
شکل ۶. تغییرات چسبندگی مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت
Fig. 6. Cohesion amount of Marl based on moisture content changes

بررسی روند تغییرات رطوبت بر شاخص فشردگی (Cc) در آزمایش تحکیم نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت مارن شیراز به میزان ۱۲، ۱۵، ۱۸ و۲۱ درصد، شاخص فشردگی افزایش ولی شاخص تورم (Cs) مطابق شکل ۸ کاهش مختصری پیدا می‌کند. بعلاوه بررسی روند تغییرات رطوبت بر نسبت تخلخل مارن شیراز مطابق شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت، نسبت تخلخل کاهش می‌یابد.

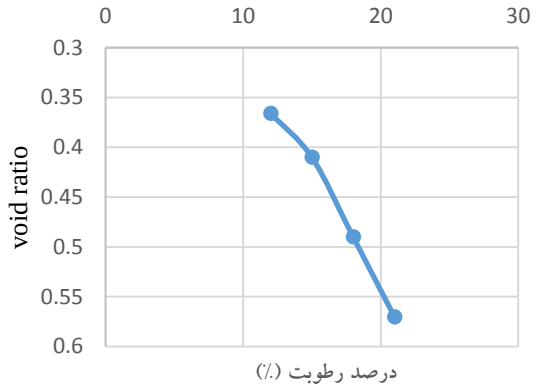


شکل۷. تغییرات Cc مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت
Fig. 7. The compression index Cc of Marl based on moisture content changes

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]



شکل۸. تغییرات Cs مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت
Fig. 8. The swelling index Cs of Marl based on moisture content changes

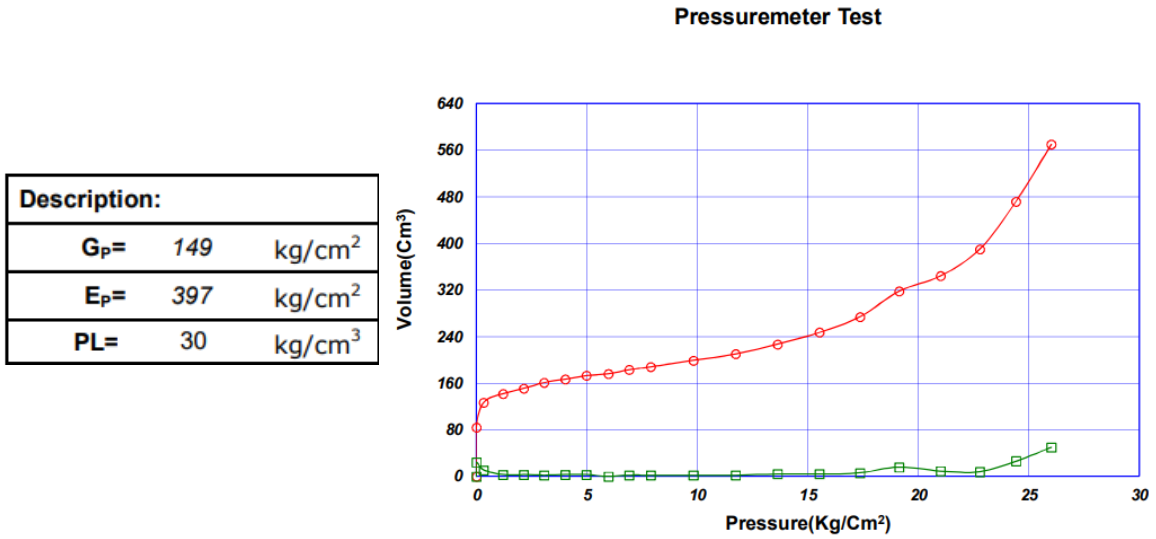


شکل۹. تغییرات نسبت تخلخل مارن بر حسب تغییرات درصد رطوبت
Fig. 9. The initial void ratio V_0 of Marl based on moisture content changes

آزمایش‌های صحرایی

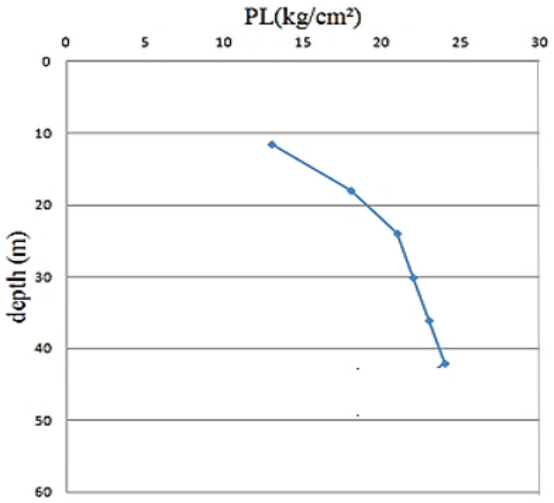
از آزمایش پرسیومتری برای بدست آوردن مدول الاستیسیته پرسیومتری و مقاومت فشار حدی استفاده شده است. این آزمایش در دو گمانه ۲۷ و ۴۲ متری انجام شده است. شکل ۱۰ به عنوان نمونه نتایج آزمایش پرسیومتری را در عمق ۱۵ متری نشان می‌دهد. برای تخمین روند تغییرات مدول الاستیسیته Ep، و فشار حدی PL، این پارامترها در عمق‌های مختلف اندازه گرفته شده است. خلاصه نتایج در اشکال ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]



شکل ۱۰. نمونه نتایج ازمایش پرسیومتری که در عمق ۱۵ متری اندازه گرفته شده است.

Fig. 10. A sample of pressure test results measured at a depth of 15 meters.

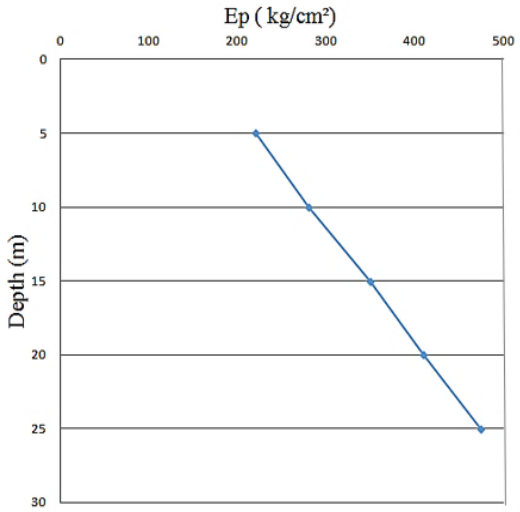


شکل ۱۱. تغییرات فشار حدی بر حسب عمق در آزمایش پرسیومتری

Fig. 11. Changes of limit pressure on persumeter test based on depth changes

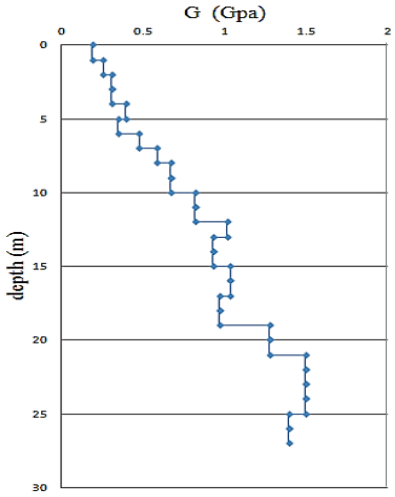
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]



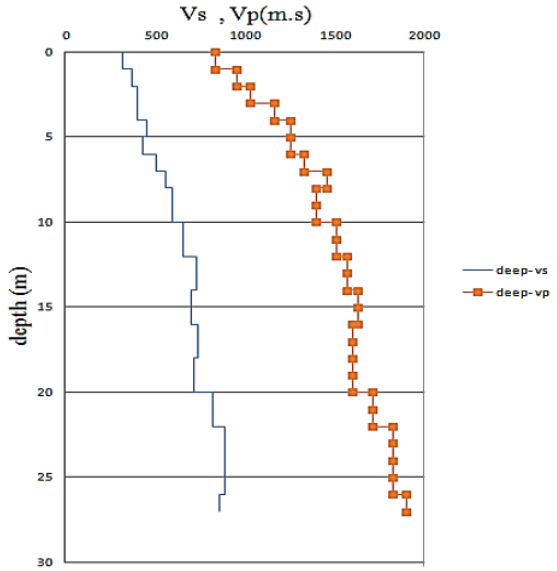
شکل ۱۲. تغییرات مدول الاستیسیته بر حسب عمق در آزمایش پرسیومتری
Fig. 12. Elasticity modulus changes based on depth in pressure meter test

همچنین برای بدست آوردن مشخصات محلّی دینامیکی خاک از آزمایش دان‌هول استفاده شده است. آزمایش دان‌هول در دو گمانه عمق ۳۵ متری و ۲۷ متری انجام شده است. در این روش با استفاده از یک چشمه لرزه زا در یک نقطه مشخص در سطح زمین، امواج لرزه ای فشاری و برشی تولید شده وتوسط گیرنده در داخل گمانه دریافت می‌گردند. برداشت‌های لرزه نگاری با قراردادن لرزه سنج سه مؤلفه‌ای درون گمانه در عمق‌های مختلف با تولید موج توسط منبع تولید موج مکانیکی (توسط ضربه چکش بر صفحه فلزی برای تولید موج اولیه یا فشاری (P) و ضربه افقی چکش به الوار چوبی برای تولید موج ثانویه یا برشی (S) انجام می‌گردد. موج ایجاد شده به لرزه سنج رسیده و توسط دستگاه ثبات ثبت می‌شود. اشکال ۱۳ و ۱۴ نتایج آزمایش دانهول را بر روی خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. تغییرات مدول برشی خاک بر حسب عمق در گمانه
Fig. 13. Soil shear modulus changes based on depth in the studies site

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]



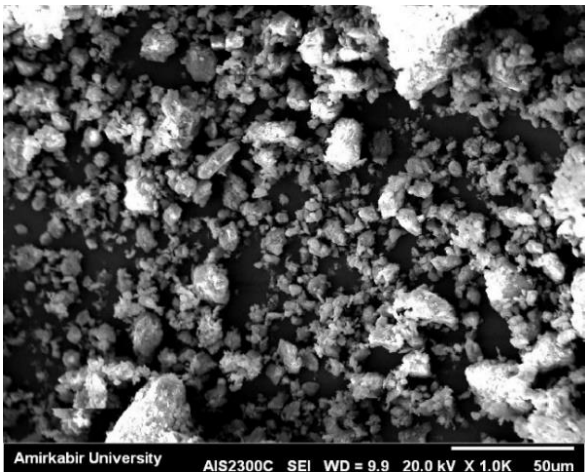
شکل(۱۴): تغییرات سرعت موج برشی و فشاری خاک بر حسب عمق
Figure 14: Soil pressure and shear wave velocity changes based on depth

بررسی میکروسکوپی ساختار مارن شیراز

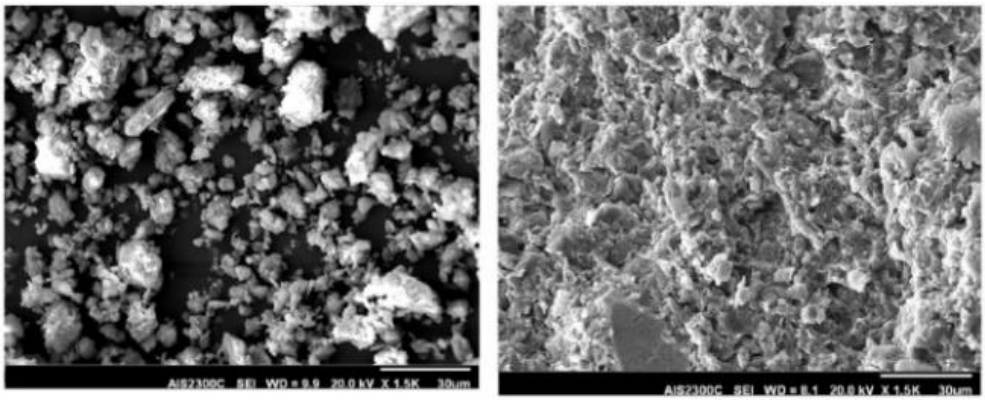
جهت شناخت بهتر از مصالح مورد استفاده، در دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) توسط میکروسکوپ الکترونی از خاک منطقه مورد مطالعه عکس گرفته شده است. شکل ۱۵ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) را نشان می‌دهد. این میکروسکوپ نوعی میکروسکوپ الکترونی است که قابلیت عکس‌برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۵۰۰۰۰۰ برابر باقدرت تفکیکی کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتر (بسته به نوع نمونه) را دارا هست. شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ نمونه‌هایی از عکس‌های گرفته شده نمایش داده شه است.

شکل ۱۵. نمای میکروسکوپی الکترونی روبشی
Fig. 15. Scanning electron microscope

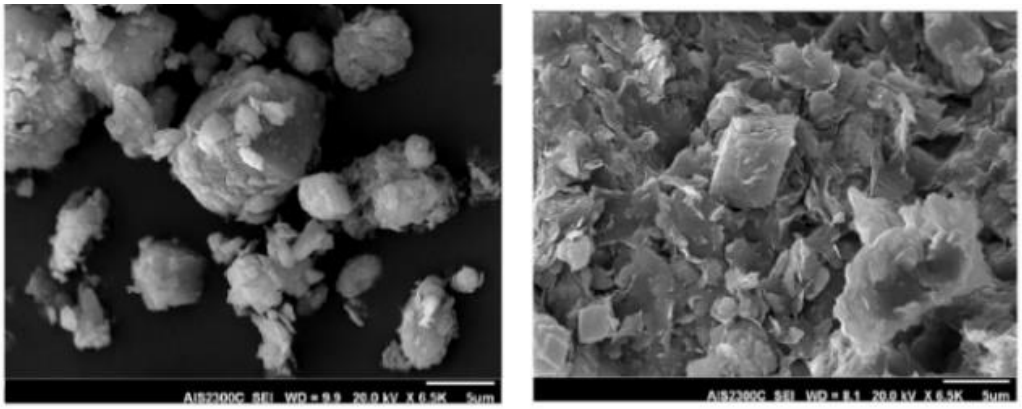
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190 81]



شکل ۱۶. عکس میکروسکوپی نمونه در مقیاس ۵۰ میکرومتر
Fig. 16. Microscopic photo of sample at 50 mm scale



شکل ۱۷. عکس میکروسکوپی نمونه در مقیاس ۳۰ میکرومتر
Fig. 17. Microscopic photo of sample at 30 mm scale



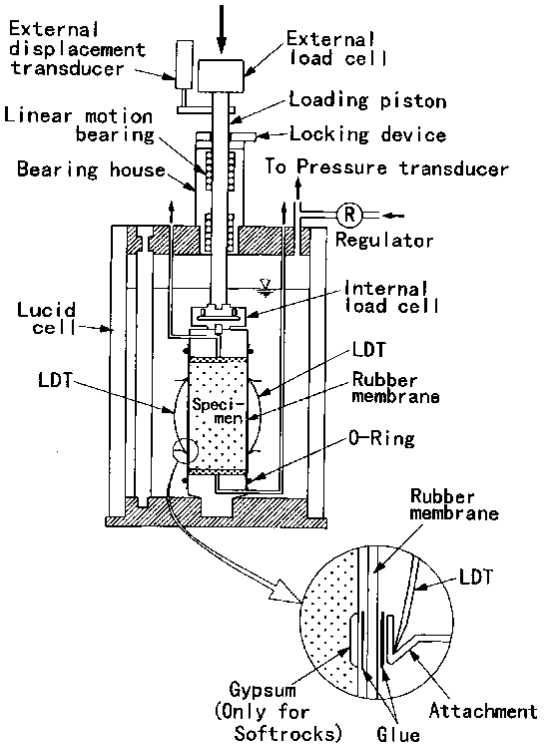
شکل ۱۸. عکس میکروسکوپی نمونه در مقیاس ۵ میکرومتر
Fig. 18. Microscopic photo of sample at 5 mm scale

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

مطابق شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ مارن‌های مطالعه شده دارای عدسی‌هایی از ماسه و سیلت بوده که منشأ بادی دارند که این نوع مارن‌ها می‌توانند به‌عنوان مرز سیکل‌های رسوب‌گذاری در نظر گرفته شوند.

آزمایش‌های تناوبی

آزمایش سه محوری تناوبی متداول‌ترین آزمایش جهت تعیین ویژگی‌های دینامیکی خاک در کرنش‌های زیاد است. در شکل ۱۹ نمای شماتیکی این دستگاه نشان داده شده است. در آزمایشگاه از دستگاه آزمایش سه محوری به‌طور وسیع برای انجام آزمایش روی نمونه‌های خاک هم تحت شرایط مونوتنیک و هم تناوبی استفاده شد. در دستگاه‌های پیشرفته سه محوری با قرار دادن سلول اندازه گیری نیروی محوری در داخل محفظه ، اثر اصطکاک پیستون بارگذاری حذف می‌شود و همچنین قابلیت انجام بارگذاری کششی با محکم بسته شدن صفحه بارگذاری قائم نمونه به کلاهک روی نمونه بررسی می‌شود.



شکل ۱۹. نمونه دستگاه سه محوری تناوبی
Fig. 19. Scheme of cyclic triaxial Device

برای اندازه گیری مدول برشی در کرنش‌های بسیار کوچک 10^{-6} در دستگاه سه محوری از سه طریق می‌توان عمل کرد. در دستگاه سه محوری از حسگرهای جابجایی سنج بسیار حساس در بالای نمونه و در داخل محفظه استفاده شود.این حسگرها حسگرفاصله دار(Gap sensor) نامیده می‌شوند و شامل دو دیسک غیر تماسی کوچک است که داخل هرکدام یک کوپل مغناطیسی قرار دارد. تنها تغییر بسیار کوچکی در فاصله بین این دو دیسک می‌تواند جابجایی نظیر را حس و توسط آمپلی فایر نشان دهد. دو مجموعه از این حسگرها در دو طرف بالای نمونه به‌صورت مقابل هم قرار می‌گیرد و با گرفتن متوسط داده های اندازه گیری شده می‌توان داده‌های کرنش برشی را از 10^{-6} تا 10^{-3} اندازه گیری کرد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

برای انجام آزمایش از دستگاه سه محوری تناوبی در دانشگاه تهران استفاده شد. برای یکسان بودن شرایط نمونه گیری، پارامتر انرژی وارد شده به خاک مدنظر قرار داده شده است؛ به عبارت دیگر با ثابت نگه داشتن سطح انرژی وارد شده به خاک، اقدام به نمونه گیری می‌گردد. برای این منظور تعداد لایه‌ها، وزن چکش، ارتفاع سقوط و تعداد ضربات را برای همه نمونه‌ها ثابت نگه داشته تا بتوان نمونه‌های یکسانی تهیّه نمود. برای متراکم کردن نمونه از وزنه‌ای به وزن ۵۰۰ گرم و با ارتفاع سقوط ۵ سانتی متر استفاده می‌گردد. قالب نمونه گیری، دارای ابعادی به قطر ۷ و ارتفاع ۱۴ سانتی متر است. بعد از تحکیم نمونه، بارگذاری سیکلی آغاز می‌شود. بارگذاری با دوره تناوب ۱ ثانیه صورت گرفته است. شرایط بارگذاری مانند دوره تناوب و سطح تنش‌های اعمالی برای همه نمونه یکسان در نظر گرفته شده است. در ادامه نمودارهای مربوط به بارگذاری سیکلی، منحنی‌های تغییرات نسبت میرایی و مدول برشی خاک آمده است. برای هر ترکیبی از خاک، آزمایش‌ها در ۸ فشار همه جانبه مختلف انجام شده که اعمال فشارهای همه جانبه ی مختلف، جهت بررسی اثر بارگذاری سیکلی روی رفتار خاک در عمق‌های متفاوت هست. فشارهای همه جانبه مورد آزمایش ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۴۷۰، ۵۲۰ و ۶۰۰ کیلو پاسکال می‌باشند.

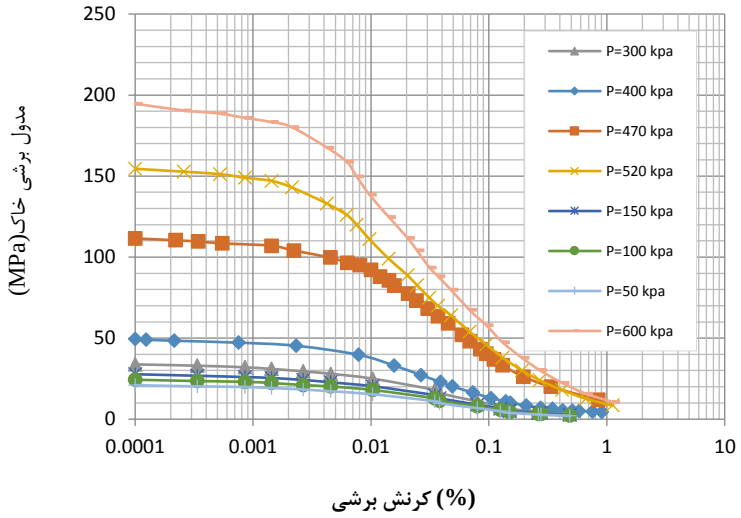
نتایج آزمایش‌های تناوبی

آزمایش در فشارهای همه جانبه مختلف صورت گرفته شده است. در واقع اثر عمق روی رفتار خاک مورد نظر بررسی شده است. بارگذاری اعمالی برای همه نمونه‌ها با فرکانس ثابت یک هرتز صورت گرفته است و بارگذاری به‌صورت افزایشی تا گسیختگی نمونه‌ها ادامه یافته است. در شکل ۲۰ تغییرات مدول برشی خاک مورد نظر در فشار همه جانبه مختلف نسبت به کرنش برشی با مقیاس لگاریتمی ترسیم شده است. در شکل ۲۱ نیز تغییرات نسبت میرایی خاک مورد نظر در فشار همه جانبه مختلف نشان داده شده است.

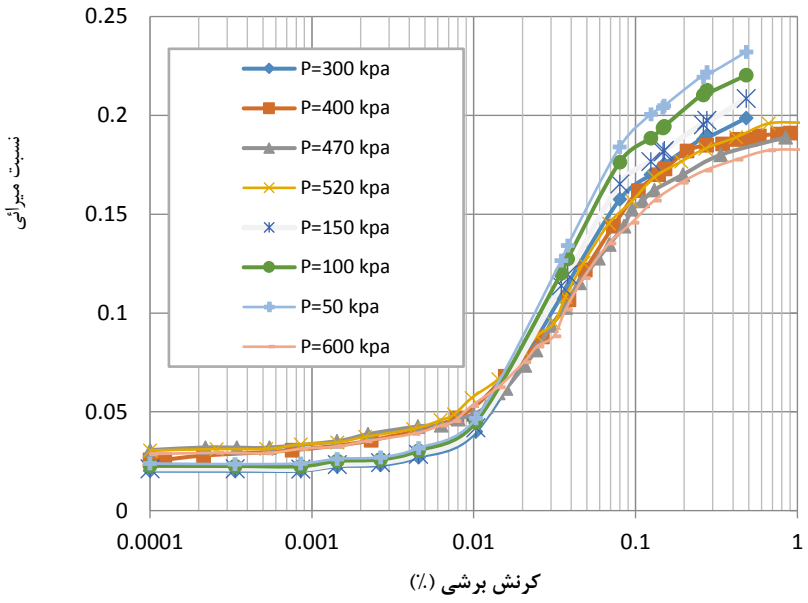
تحت فشار همه جانبه نمونه تحکیم می‌شود، هرچه فشار همه جانبه بیشتر باشد این تحکیم نیز بیشتر خواهد بود در نتیجه نمونه نشست کمتری خواهد داشت. این نشست‌های رخ داده در نمونه به‌صورت کرنش‌های تجمعی در نمونه باقی می‌ماند. در شکل ۲۲ برای تنش‌های محصور کننده مختلف ۳۰۰ تا ۵۲۰ کیلو پاسکال، یک حلقه از نمودار تاریخچه زمانی بار-جابجایی در آزمایش بارگذاری تناوبی نمایش داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

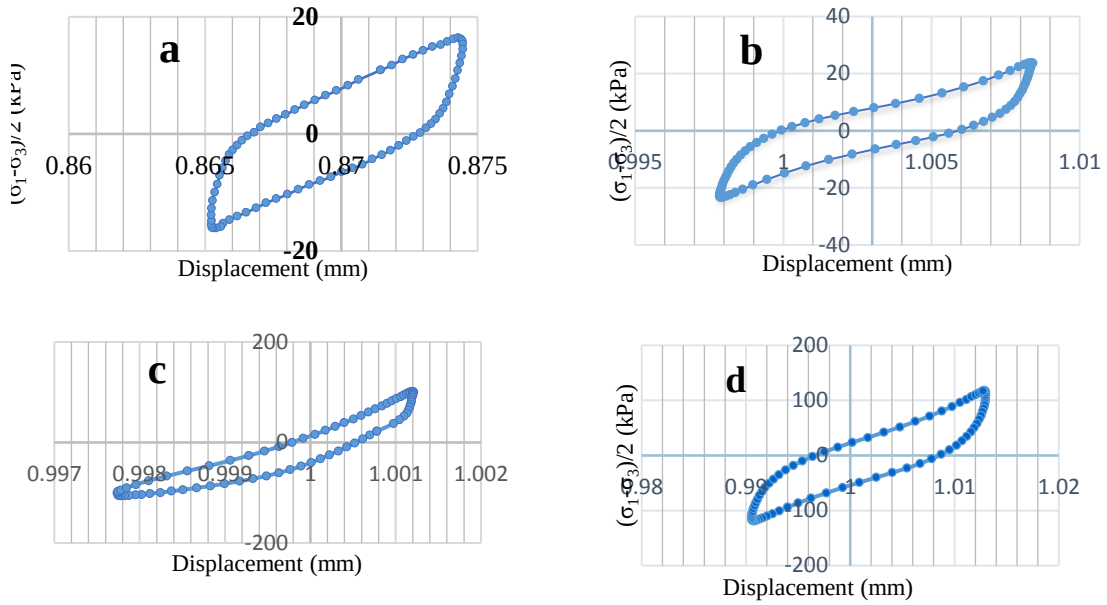


شکل(۲۰): تغییرات مدول برشی خاک بر حسب میزان کرنش برشی
Figure 20: Shear modulus diagram of the studied soil



شکل ۲۱. تغییرات نسبت میرایی خاک
Fig. 21. Damping ratio diagram of the studied soil

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]



شکل ۲۲. نمودار بار- جابجایی بر حسب تنش محصور کننده :
p=520kPa (d ،p=470kPa (c و ،p=400kPa (b ،p=300kPa(a)
Fig. 22. Load-transmission diagram based on enclosing strain:
(a): p=300kPa, (b): P=400 kPa, (c): P=470kPa, (d): P=520 kPa

اندازه گیری تنش برشی در حالت استاتیکی

برای بدست آوردن مقدار تنش برشی استاتیکی خاک از رابطه G=E'/2(1+υ') استفاده شده است که مقدار E' در این رابطه ضریب ائودومتری است که از نتیجه منحنی تحکیم در دستگاه سه محوری بدست آمده است. مقدار E' با در نظر گرفتن سطح تنش را از رابطه (۱) تخمین زده می‌شود.

$$\boldsymbol{E'} = 2.3(\frac{\mathbf{1+e}}{C_c})\sigma_0' \qquad (۱)$$

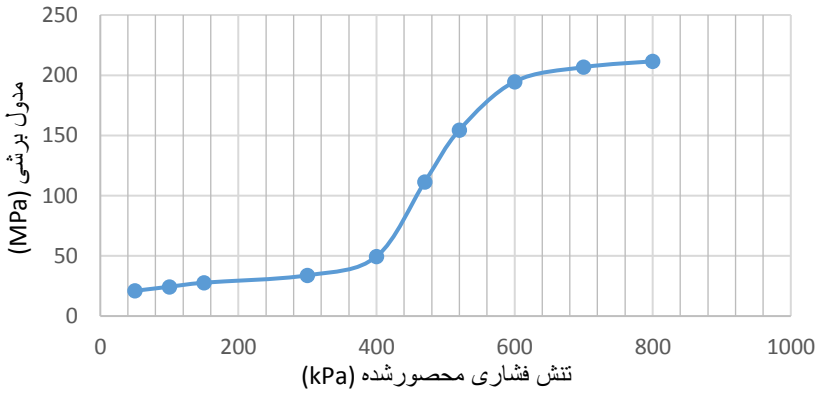
که در این رابطه Cc ضریب فشردگی، E' ضریب ائودومتری و σ_0' تنش در عمق مورد نظر می‌باشد.

بحث و بررسی

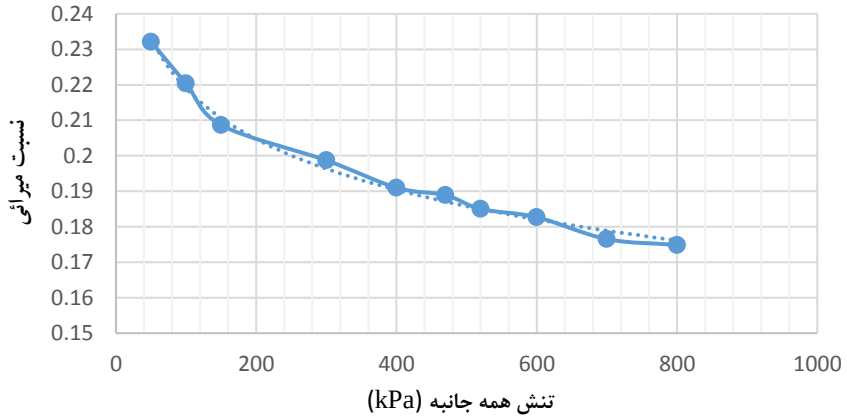
مطابق شکل ۱۳ با افزایش فشار همه جانبه (افزایش عمق خاک) مدول برشی خاک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش کرنش برشی در خاک، میزان مدول برشی کاهش می‌یابد. علت این امر را می‌توان اصطکاک میان دانه‌ای ذرّات به دلیل بروز فشار بین ذرات در فشارهای بالاتر و افزایش چسبندگی دانست. شریف‌پور و دانو (Sharifipour and Dano, 2006) معتقدند که افزایش اندازه میانگین دانه‌ها موجب کاهش ضریب یکنواختی و به دنبال آن باعث افزایش سرعت موج برشی و مدول برشی میشود. همچنین رفتار نسبت میرایی برای کرنش‌های کمتر و بیشتر از حدوداً یک درصد رفتار نسبتاً متفاوتی دارد اما در حالت کلی برای کرنش‌های بالاتر از یک درصد، افزایش فشار همه جانبه باعث کاهش نسبت میرایی می‌شود. . این افزایش را

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

میتوان به افزایش نقاط تماسی بین دانه‌ها و تئوری تماسی هرتز نسبت داد. جهت مقایسه بهتر تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی نسبت به فشارهای همه جانبه، مقادیر این دو پارامتر دینامیکی خاک در مقابل فشاری‌های محصور کننده مختلف به ترتیب در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ ترسیم شده است. مطابق شکل ۲۳ برای فشارهای ۵۰ تا ۴۰۰ کیلو پاسکال، با افزایش فشار مدول برشی خاک نیز با شیب ثابتی افزایش می‌یابد. اما از تنش ۴۰۰ تا ۵۲۰ کیلو پاسکال میزان شیب افزایش مدول برشی خیلی زیاد می‌شود و دوباره از تنش ۵۲۰ تا ۸۰۰ کیلو پاسکال از میزان افزایش مدول کاسته و شیب نمودار کاهش می‌یابد. این پدیده را می‌توان با دو دلیل متفاوت تفسیر کرد. در منحنی شکل ۲۳ تا فشار حدود ۴۰۰ کیلو پاسکال یعنی تا عمق حدود ۲۰ متری خاک در شرایط بیش‌تحکیمی قرار دارد و لذا افزایش عمق و فشار محصور کننده تأثیر زیادی بر افزایش مدول برشی نداشته است. پس از این عمق یعنی در ناحیه دوم منحنی، خاک در شرایط تحکیم عادی قرار می‌گیرد و با افزایش عمق فشار محصور کننده افزایش یافته و به همین تناسب مدول برشی نیز افزایش می‌یابد. در قسمت سوم منحنی پس ازعمق حدود ۳۰ متری به دلیل اینکه اثر افزایش عمق بر فشار جانبی خاک خنثی می‌شود، لذا از این عمق به بعد که عمق بحرانی نامیده می‌شود، افزایش مدول برشی خاک نیز با نرخ خیلی کمی صورت می‌پذیرد.



شکل۲۳. تغییرات مدول برشی دینامیکی خاک در مقابل تنش محصور کننده
Fig. 23. Soil dynamic shear modulus changes against confining pressure



شکل ۲۴. تغییرات نسبت میرایی در مقابل تنش محصور کننده
Fig. 24. Soil damping ratio changes against confining pressure

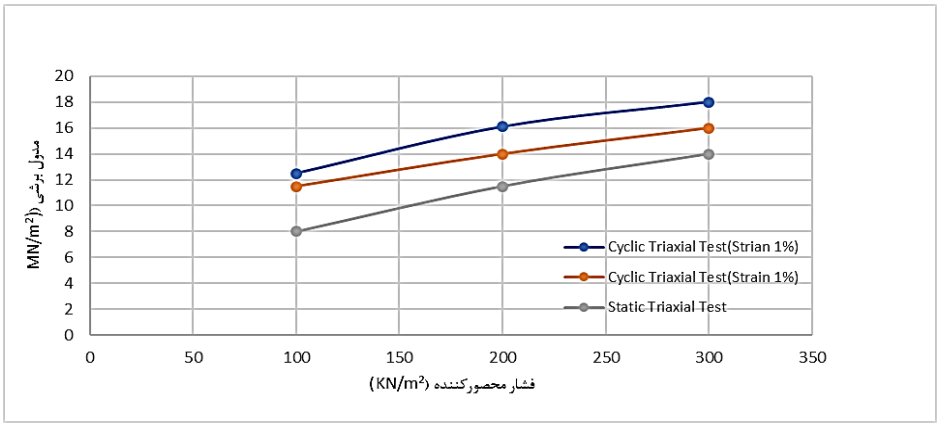
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

مطابق شکل ۲۴ روند کلی نسبت میرایی با افزایش تنش محصور کننده نزولی است. برای مقایسه نتایج به دست آمده برای مدول برشی نمونه‌های مارنی در حالت تناوبی، نتایج مدول برشی به دست آمده در آزمایش سه محوری تناوبی در جدول ۲ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل ۲۵، برای سه فشار محصور کننده ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال و در دو کرنش ۱ و ۱۰ درصد، نتایج مدول برشی به دست آمده از دو آزمایش سه محوری تناوبی (سیکلی)، آزمایش سه محوری استاتیکی و آزمایش پرسیومتری با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق این شکل ، مدول برشی در هر دو حالت تناوبی و استاتیکی ، با افزایش تنش محصورکننده، افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر مدول برشی در حالت دینامیکی بیشتر از حالت استاتیکی هست به‌طوری که برای مثال در تنش ۱۰۰ کیلو پاسکال مدول برشی تناوبی در کرنش ۱٪ حدوداً ۶۶ درصد بیشتر از مدول برشی استاتیکی است لذا در تحلیل دینامیکی بخصوص لرزه‌ای که محیط خاک تحت تأثیر کرنش‌های بالا قرار می‌گیرد اهمیت استفاده از مدول برشی تناوبی به‌جای مدول برشی استاتیکی آشکار می‌گردد. مطابق شکل ۲۵ و جدول ۲ ، با افزایش تنش محصور کننده، میزان اختلاف مدول برشی دینامیکی (تناوبی) و استاتیکی کاهش می‌یابد به‌طوری که در کرنش ۱٪ با افزایش تنش محصور کننده از ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلو پاسکال، درصد تغییرات مدول برشی تناوبی نسبت به استاتیکی از ۶۶ تا ۲۷ درصد کاهش می‌یابد که میزان این کاهش برای کرنش ۱۰٪ بیشتر است. نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایجی که توسط هوشمند و همکاران (Hooshmand et al., 2012) در شهر تبریز و همچنین بدر سمیر و همکاران (Bedr Semir et al., 2019) در الجزایر انجام داده اند مشابه می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه مدول برشی (مگاپاسکال) در حالت‌های مختلف

Table 2. Comparison of shear modulus results for static triaxial test and two tests of cyclic triaxial

آزمایش	تنش ۱۰۰ KPa	تنش ۲۰۰ KPa	تنش ۳۰۰ KPa
سه محوری تناوبی (کرنش ۱٪)	۱۲,۸	۱۶,۳	۱۸,۰
سه محوری تناوبی (کرنش ۱۰٪)	۱۱,۴	۱۴,۱	۱۶,۰
سه محوری استاتیکی	۷,۷	۱۱,۴	۱۴,۲
تغییرات (تناوبی نسبت به استاتیکی-کرنش ۱٪)	۶۶	۴۳	۲۷
تغییرات (تناوبی نسبت به استاتیکی-کرنش ۱۰٪)	۴۸	۲۴	۱۳



شکل ۲۵. مقایسه نتایج مدول برشی از آزمایش سه محوری تناوبی و سه محوری استاتیکی

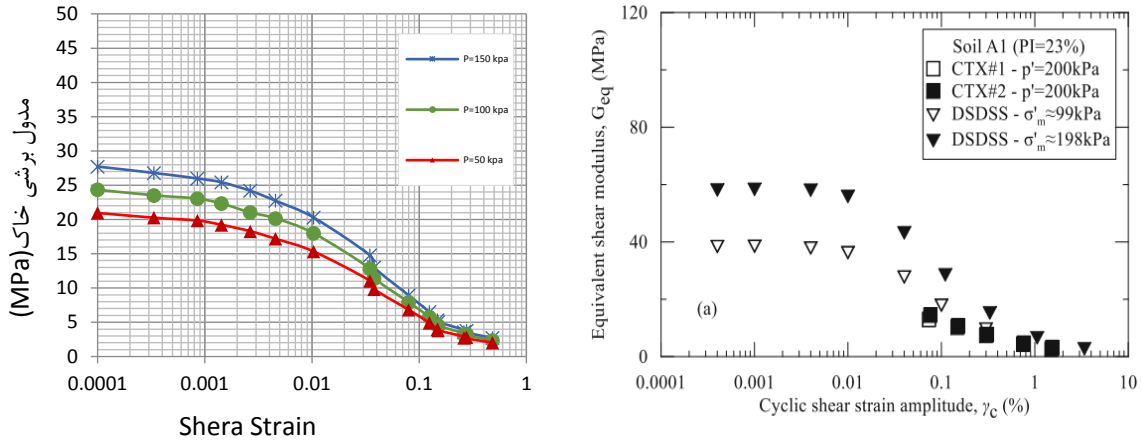
Fig. 25. Comparison of shear modulus results for static triaxial test and two tests of cyclic triaxial

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

ارزیابی نتایج در مقایسه با تحقیقات قبلی

نتایج این تحقیق را می‌توان با نتایج مطالعات قبلی مقایسه نمود. هوشمند و همکاران (Hooshmand et al., 2012) نشان دادند که مقدار مدول برشی خاک حاصل از آزمایش‌های لرزه‌ای حدود ۳۰ تا ۵۰ برابر مقادیر حاصل از آزمایش‌های استاتیکی است. این نتایج مقادیر مندرج در جدول ۲ را تأیید می‌کند. همچنین بدر سمیر و همکاران (Bedr Semir et al., 2019) در تحقیق خود به تأثیر رفتار دینامیکی مارن‌ها پرداختند که طی نتایج مبسوطی در مقاله خود ارائه کرده‌اند. نتایج حاصل همخوانی یافته‌های هر دو تحقیق را نشان می‌دهد. شکل(۲۶) به مقایسه مقادیر مدول برشی حاصل از این تحقیق با مطالعات ایشان داده شده است. همانطور که در جدول(۳) نشان داده شده است مقادیر مدول برشی برای تنش محصور کننده ۹۹ و ۱۹۸ کیلونیوتن بر مترمربع می‌باشد. در تحقیق بدر سمیر و همکاران (Bedr Semir et al., 2019) این مقادیر به ترتیب ۹/۱ و ۶ می‌باشد. این نتیجه برای فشار محصور کننده ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلونیوتن بر متر مربع در این تحقیق به ترتیب ۶/۲ و ۳/۰ مگاپاسکال می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر مدول برشی در خاک مطالعه شده در حدود ۵۰٪ کمتر از مقادیر مربوط به مطالعه انجام شده در مطالعات بدر سمیر و همکاران (Bedr Semir et al., 2019) است. علت این نتیجه را می‌توان به جنس خاک و سطح تنش محصور کننده ناشی از عمق خاک مرتبط دانست. همچنین از مقایسه دو نتیجه مشاهده می‌شود که منحنی کرنش- مدول برشی خاک شیراز دارای رفتار غیرخطی بیشتری می‌باشد و آستانه رفتار غیرخطی نیز در این خاک بیشتر است. این پدیده احتمالاً به دلیل درصد کانی‌های رسی تشکیل دهنده مارن شیراز است که خاصیت خمیری خاک را بیشتر و در نتیجه آستانه افزایش مدول برشی را افزایش داده است.



(A): آزمایش بر روی مارن شیراز

(B): : آزمایش بر روی مارن در کشور الجزایر

شکل ۲۶. مقایسه مقادیر مدول برشی در دو خاک مطالعه شده در شمال‌غرب شیراز (A) و الجزایر(B)

Fig. 26. Comparison of shear modulus results for two studied soils in Shiraz City and Algeria City

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

جدول ۳. مقایسه مقادیر مدول برشی از تحقیق حاضر با مطالعات هوشمند و همکاران(۲۰۱۸)
Table 3. Comparison of shear modulus results for two studied soils in Shiraz City and Tabriz City

مطالعات هوشمند و همکاران (Hooshmand et al., 2018)	تنش برشی محصور کننده	۹۹	۱۹۸
	مقدار (GPa)	۹/۱	۶
تحقیق حاضر	تنش برشی محصور کننده	۱۰۰	۱۵۰
	مقدار (GPa)	۶/۲	۳/۰

نتیجه گیری

این تحقیق به منظور ارزیابی ویژگی‌های دینامیکی خاک که برای مطالعه پاسخ دینامیکی ساختگاه مارنی انجام شده است. ساختگاه مورد نظر در شمال غرب شیراز قرار دارد ترکیبی از مارن‌های سبز یا خاکستری، قرمز و زرد جنوب ایران همراه با ترکیبی از سنگ گچ فعال(انیدرید) میباشد. با درنظر گرفتن همزمان تأثیر عمق با ویژگی‌های ژئوتکنیکی و دینامیکی نتایج زیر حاصل شده است:

- پارامترهای دینامیکی و ژئوتکنیکی خاک مارن در آزمایش‌های مختلف نتایج متفاوتی را می‌دهد که این مسئله باید در طراحی‌ها بخصوص مطالعه پاسخ دینامیکی مورد توجه قرار بگیرد. در مناطق دارای پتانسیل لغزش (مانند مناطق اطراف شهر شیراز) آزمایش‌های دینامیکی به شناخت بیشتر رفتار خاک کمک می‌کند.
- با مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعاتی که در سایر نقاط کشور ایران و جهان انجام شده است، مشاهده می‌گردد که جنس، رنگ و مصالح ترکیبی مارن‌ها بر نتایج آزمایش‌ها تأثیر دارد. اهمیت این موضوع در مارن‌های شیراز به خاصیت تورمی ناشی از وجود گچ‌های فعال، وجود حفره ها می‌باشد.
- با افزایش عمق(افزایش فشار همه جانبه) مقادیر سرعت موج برشی، مدول الاستیسیته و مدول برشی خاک افزایش یافته است. علی رغم همگن و ایزتروپ بودن خاک، این افزایش به دلیل وجود فشار بیش‌تحکیمی تا عمق حدود ۱۰ متر افزایش قابل ملاحظه ای ندارد. پس از آن نرخ افزایش مقادیر مشخصات خاک زیاد می‌گردد. پس از عمق ۳۰ متر به بعد نیز به دلیل رسیدن خاک به عمق بحرانی فشار جانبی، افزایش قابل ملاحظه ای مشاهده نمی‌گردد.
- با افزایش عمق خاک نسبت میرائی خاک کاهش می‌یابد. روند این کاهش به صورت لگاریتمی با افزایش عمق کاهش می‌یابد.
- با افزایش تنش محصور کننده، نرخ کاهش اختلاف مدول برشی دینامیکی و استاتیکی در کرنش ۱٪ به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۴ و در کرنش ۰/۱٪ به ترتیب ۰/۵۰ و ۰/۲۷ می‌باشد.
- مقادیر مدول برشی در حالت دینامیکی (تناوبی) بیشتر از حالت استاتیکی است که میزان این افزایش با افزایش کرنش برشی، بیشتر خواهد شد.
- در تحلیل دینامیکی بخصوص در تحلیل لرزه‌ای که محیط خاک تحت تأثیر کرنش‌های بالا قرار می‌گیرد استفاده از مدول برشی تناوبی به‌جای مدول برشی استاتیکی از اهمیت بالایی جهت رسیدن به نتایج دقیق، برخوردار است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

قدردانی

نویسندگان برخود لازم می‌دانند از مدیریت محترم دانشگاه خوراسگان، مدیر محترم بخش تخصصی و همچنین دانشگاه های تهران و امیرکبیر بابت همکاری صمیمانه برای انجام آزمایش ها تشکر نمایند.

منابع

Ajmera, B., Tiwari, B., 2017. Damping and shear moduli of laboratory-prepared mineral mixtures. In Geotechnical Frontiers.10-18

Bedr, S., Mezouar, N., Verrucci, L., Lanzo, G., 2019, Investigation on shear modulus and damping ratio of Algiers marls under cyclic and dynamic loading conditions: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78, 2473-2493.

Beroya, M., Aydin, A. J. N. H., 2007, First-level liquefaction hazard mapping of Laoag City, Northern Philippines, 43(3), 415-430.

Beroya, M., Aydin, A., Katzenbach, R., 2009, Insight into the effects of clay mineralogy on the cyclic behavior of silt–clay mixtures: Engineering Geology, 106(3), 154-162.

Boulanger, R. W., Idriss, I., 2006, Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays: Journal of geotechnical geo-environmental engineering, 132(11), 1413-1426.

Das, B. M., 2016, Principles of Foundation Engineering, Cengage Learning.

Hardin, B. O., Drnevich, V. P., 1972, Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects (terzaghi leture): Journal of the soil mechanics foundations division, 98(6), 603-624.

Hooshmand, A., Aminfar, M. H., Asghari, E., Ahmadi, H., 2012, Mechanical and physical characterization of Tabriz Marls, Iran: Geotechnical and Geological Engineering, 30(1), 219-232.

Kamali, A., Mokhberi, M., Ghalandarzadeh, A.2019, Experimental Evaluation of Marly Soil's Mechanical and Dynamical Behavior: Geotechnical Geology, 15(1), 273-281.

Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I., Tokimatsu, K., 1986, Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils: Journal of geotechnical engineering, 112(11), 1016-

Sharifipour, M., Dano, C., 2006. Effect of grains roughness on waves velocities in granular packings, in Proceedings 1st Euro-Mediterranean Symposium in Advances on Geomaterials and Structures.

Terzaghi, K., 1925, Principles of soil mechanics, IV—Settlement and consolidation of clay: Engineering News-Record, 95(3), 874-878.

Terzaghi, K., 1980, Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range., Volume 20: Chuo University, 45–60.

Urbaitis, D., Lekstutytė, I., Gribulis, D., 2016. Overconsolidation ratio determination of cohesive soil, in Proceedings 13th Baltic Sea region geotechnical conference. Historical experience and challenges of geotechnical problems in Baltic Sea region: 22-24 September 2016 Vilnius, Lithuania: conference proceedings, Technika, 108-113.

Vucetic, M., Dobry, R., 1991, Effect of soil plasticity on cyclic response: Journal of geotechnical engineerings, 117(1), 89-107.

Weissmann, G., Hart, R., 1962. The damping capacity of some granular soils, Proceedings Symposium on Soil Dynamics, ASTM International.

Yılmaz, M., Pekcan, O., Bakır, B. J. S. D., Engineering, E., 2004, Undrained cyclic shear and deformation behavior of silt–clay mixtures of Adapazarı, Turkey, 24(7). 497-507.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.10190081]

Geotechnical and dynamic characterization assessment of North-West region of Shiraz city

Ali kamali[1], Mehdi Mokhberi[2]* Abbas Ghalandarzade[3]

1. Ph D. Candidate, Department of Civil Engineering, Khorasgan Branch, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran
3. Professor, Department of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 19 Jun 2022 Accepted: 10 Aug 2022

Abstract

Marls are one of the problematic soils that undergo more erosion due to their deformability and sensitivity to humidity and weather conditions. The effects of these soils have been observed on subgrades of pavements, abutment of dams, foundation of high-rise structures, the interaction of soil-structure and etc. The strength and deformation of marls are more effective to moisture content. In addition, the dynamic parameters of theses soil are considerable as well as static geotechnical specifications. Soil dynamic parameters can be obtained from both laboratory experiments and field experiments. With the aim of understanding the dynamic behavior of marl soils, this study was carried out to evaluate the marls of northwest region of Shiraz City which is mixture of marls containing the expansive anhydride gypsum. For this purpose, the laboratory cyclic triaxial test and in situ downhole test has been performed. The results showed that for normal consolidated marls, with increasing the confined pressure from 400 to 600 kPa (increasing soil depth), the shear modulus increases from 50 to 200 kPa. In addition, the behavior of the damping ratio is relatively different for strains less than and greater than 1%, but in general, for strains higher than 1%, the damping ratio decreases from 0.21 to 0.18 with the increase confined pressure from 100 to 600 kPa.

Keywords: Shear modulus, marl, damping ratio, cyclic loading, site effect.

Introduction

Marls are among the problematic soils that threaten developmental projects. As moisture increases, the resistance of these types of soil decreases and their deformability increases. During an earthquake, its parameters and properties are likely to alter. In case of evaluating the response of earth to the imposed loads and seismic excitation, both mechanical and dynamic properties of soil need to be taken into consideration. These properties are directly utilized to study the seismological site effect. Among the soil properties, hardness, natural frequency, and damping ratio are more influential. During last five decades, numerous studies have been conducted to identify the dynamic properties of soils. Some researchers have focused on the relationship between shear modulus and shear strain range (Ajmera et al. (2017), Bedret et al. (2019), Boulanger and Idriss (2006)). In the previously fulfilled studies, many of the factors affecting the shear modulus have been widely examined by

*Corresponding author: mehdi.mokhberi@iau.ac.ir
DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2022.16.2.1019081

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]

researchers through running laboratory experiments and using resonant column device and cyclic triaxial device (Beroya et al. (2009), Beroya & Aydin (2007), Boulanger & Idriss(2007), Hardin et al. (1972), Weissmann & Hart (1962), Yılmaz et al. (2004)). Among clay soils, Marls, largely due to their special properties, have special dynamic behavior. These types of soils behave differently especially when they are in saturated conditions and are compounded with other materials such as plaster. The dynamic behavior of Marls has not been thoroughly investigated as yet. Therefore, the present research study tries to address such a gap by examining the properties of Marls especially their dynamic properties.

Materials and Methods

Mechanical Properties of Materials

This study was done on Marls in the northwest of Shiraz city. This type of soil is abundantly found in different parts of Fars, as well as whole area of the Iran. In addition to clay Marls, a large part of the studied soil also contains gypsum minerals, which sometimes leads to swelling. To identify soil properties, a series of basic tests have been performed. Table 1 presents the primary properties of soil in different depths.

Table1. Mechanical Properties of Marl Soil

Maximum dry density	1.7(gr/cm^3)
Optimal moisture content	19.39%
Adhesion(non-saturated)	0.18(kg /cm^3)
Angle of friction(non-saturated)	21 gegree
Soils lime percent	37.5%
Grain percent	88.9%
Soils inflation percent	16.45%
Plasty limit	15.44%
Dough index	15/56%
Classification of soil according to unified standard USCS	CL

Results and Discussion

Cyclic triaxial experiment is used to specify the mechanical properties of soil in high strains. To do the test, the cyclic triaxial device of Tehran University was utilized. For every composition of soil, the tests were done in eight different confined pressures as the effect of cyclic loading on soil behavior is different at different depths. Samples are consolidated by confined pressure. As this pressure increases, the consolidation treatment increases, as a result, the sample would have less settlement. These settlements remain in the sample in the form of cumulative strains. Figure 1 depicts a ring of load-transmission temporal history diagram in the cyclic loading experiment for 300 to 520 kPa enclosing strains.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]

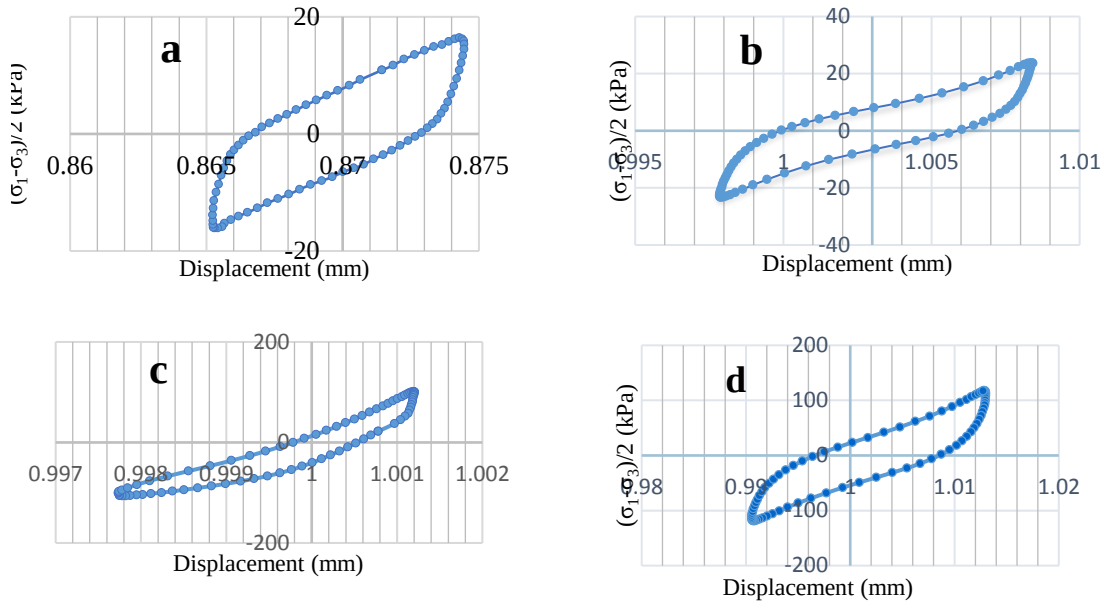


Fig. 1. Load-transmission diagram based on enclosing strain:
(a): p=300kPa, (b): P=400 kPa, (c): P=470kPa, (d): P=520 kPa

Evaluating the Soil Properties with Moisture Percentage Changes

The tests indicate that the resistance properties of Marl soil are considerably dependent on moisture percentage. The results indicate that as moisture increases, soil resistance decreases in a linear way. According tests results, examining the moist changes trend on Cc index in consolidation test implies that, as the moisture percentage of Marl soil of Shiraz city increases by 12, 15, 18, and 21%, the compression index also increases but swelling (Cs) index decreases minimally.

Evaluating the Cyclic Properties of Marl Soil

As the shear strain in soil increases, the shear modulus decreases. According to Fig. 4 the behavior of damping rate for lower strains and more than 1% is is slightly different. However, in general, for strains higher than 1%, increase of all-round pressure leads to decrease of damping ratio. For better comparison of shear modulus and damping ratio changes based on confined pressure, Figs. 2 and 3 show the values of these two parameters based on different enclosing pressure.

As Fig. 2 reveals, for pressures of 50 to 400 kPa, as pressure increases, the soil shear modulus value also increases steadily. However, from 400 to 520 kPa stress, this increase occurs more considerably and then from 520 to 800 kPa stress, this increase becomes slower and more moderate. In addition. according to Fig. 3, the general trend of damping ratio is descending as confining pressure increases. To compare the obtained results for shear modulus of Marl samples in cyclic and static cases, the results obtained in the cyclic triaxial test and static triaxial tests Figure 4 compares the shear modulus results of cyclic triaxial test and static triaxial test for three enclosing pressures of 100, 200, and 300 kPa in 1 and 10 strains.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]

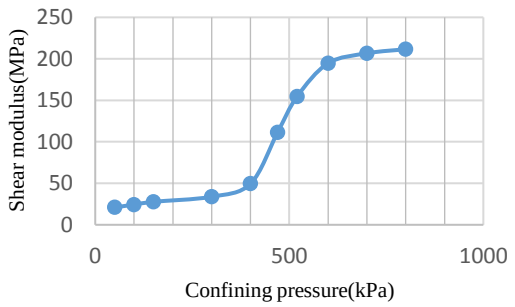


Fig. 2. Soil dynamic shear modulus changes against confining pressure

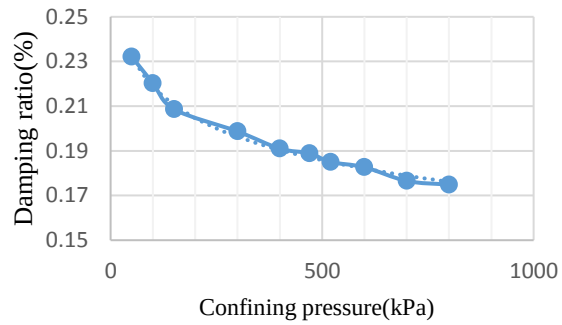


Fig. 3. Soil damping ratio changes against confining pressure

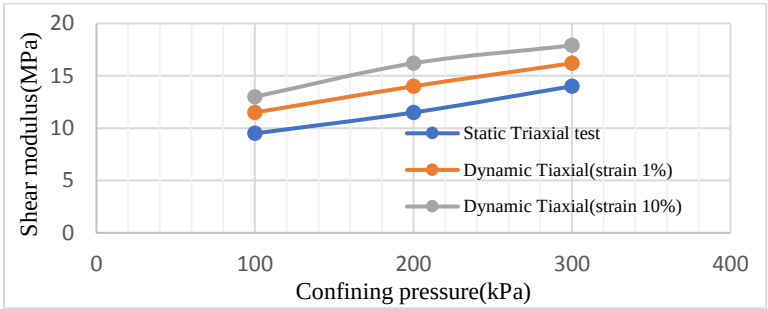


Figure 4. Comparison of obtained shear modulus results for two tests of cyclic triaxial and direct shear

According to Fig. 4, the shear modulus in the cyclic and static cases increases as confining pressure increases. Additionally, the values of shear modulus in dynamic case are more than those in static case. Therefore, using cyclic shear modulus especially when soil is affected by high strains is more effective as it provides more accurate results in comparison with static shear modulus.

Conclusions

The present study dealt with the evaluating the impact of cyclic loads on geotechnical properties of Marls in the northwest of Shiraz city. The most important obtained findings were:

• The dynamic and geotechnical parameters of marls in different tests give different results, which should be taken into consideration, specially the study of the dynamic response.

• By comparing the results of this research with studies conducted in other parts of Iran and the world, it can be seen that the type, color and combined materials of marls have no effect on the results of the experiments. The importance of this issue in Shiraz marls is due to the swelling property caused by the presence of active chalks, the presence of holes and conditions near the fault zone.

• With the increase of confining stress, the rate of reduction of dynamic and static shear modulus difference in 1% strain is 0.65 and 0.4, respectively, and in 0.1% strain, it is 0.50 and 0.27, respectively.

• The values of the shear modulus in the dynamic (periodic) state are higher than in the static state, and the amount of this increase will increase with the increase of the shear strain.

• In dynamic analysis, especially in seismic analysis where the soil environment is affected by high strains, the use of periodic shear modulus instead of static shear modulus is of great importance to achieve accurate results.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.22034/JEG.2022.16.2.1019081]