

## An Investigation on Pore Water Pressure Distribution in Clay – Aggregate Mixtures under Cyclic Confining Pressure

Javad Jalili

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
j.jalili@iiees.ac.ir

This research describes findings of a series of numerical and experimental studies to investigate the effect of Variable Confining Pressure (VCP) on Excess Pore Water Pressure (EPWP) distribution in a mixture of gravelly inclusions floating in matrix of clay, called “mixed clay” material. Mixed clay material has frequently been used as core of embankment dams in seismically active areas of Iran. The mixture naturally exists in rainfall active areas and also is made manually. The matrix provides sealing while the inclusions increase strength and deformation modulus. Previous studies reveal noticeable increase of EPWP among inclusions under cyclic or dynamic loadings, keeping the initial confining pressure constant. This study aims to probe effect of cyclic confining pressure variation on EPWP variation inside such mixtures. A series of tests and numerical analyses were conducted in order to achieve the targeted behaviour in both macro and mezo scales.

The study probes macro-scale pattern of stress /excess pore water pressure variation during experiments by conducting typical cyclic triaxial tests, adding capability of cyclic variation of confining pressure to the existing apparatus at geotechnical laboratory of International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. The experiments were simulated by PLAXIS2D 2017 finite element code.

The experiments in this study also confirm the existence of heterogenous pore water pressure distribution. In all experiments comparing pure clay without the presence of aggregate and mixed clay (areas adjacent to the aggregate), the effect of the presence of aggregate on the pore water pressure was obvious. The increase of EPWP depends on:

- clay permeability (plasticity)
- loading frequency
- stress amplitude

The meso scale was investigated utilizing some miniature pressure transducers inside specimens loaded by the cyclic triaxial apparatus. The same triaxial specimen geometry may also be modeled by finite element code to explore such trend of behavior, results of which would be beneficial for the final conclusion. However, the 3D simulations of meso scale tests were not fulfilled satisfactorily due to the lack

## بررسی تغییرات فشار آب حفره‌ای در مصالح مخلوط رس – سنگدانه تحت بار همه‌جانبه متناوب

جواد جلیلی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک j.jalili@iiees.ac.ir

هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر فشار همه‌جانبه متناوب بر گسترش فشار آب حفره‌ای در مصالح مخلوط رس-سنگدانه در مقیاس ماکرو و مشاهده ناهمگنی فشار آب حفره‌ای در ماتریس رسی در اثر وجود دانه‌ها در مخلوط رس - سنگ دانه در اثر بارگذاری متناوب در مقیاس مزو بوده است. مطالعات قبلی در این زمینه وجود این گونه نواحی را توجیه رفتار مشاهده شده از مصالح مخلوط (از حیث گسترش فشار آب حفره‌ای در اثر بارگذاری کنترل کرنش) مد نظر قرار داده بودند.

مشاهدات عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته در این مطالعه در شرایط مشابه، مؤید یافته‌های ادبیات فنی در موضوع مورد نظر (ناهمگنی فشار آب حفره‌ای اضافی در مخلوط رس - سنگدانه) در مسیرهای بارگذاری متنوع می‌باشد. این موضوع در بررسی پایداری اینیه حاوی این مصالح -تخمین صحیح مقدار فشار آب حفره‌ای و تنش مؤثر- مدنظر قرار گیرد.

آزمایش‌های انجام شده در این مطالعه نیز مؤید وجود چنین ناحیه‌هایی می‌باشد. در تمام آزمایش‌هایی که مقایسه‌ای بین رس خالص بدون حضور سنگ دانه و رس مخلوط (مجاور سنگ دانه) صورت گرفت، اثر وجود سنگ دانه در افزایش فشار آب حفره‌ای نمایان بود. اما اینکه میزان این افزایش به چه اندازه باشد، به عواملی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

- نفوذپذیری مصالح رسی (پلاستیسیته)؛
- فرکانس بارگذاری؛

- دامنه تنش و نسبت تنش اعمالی به مصالح.

همچنین انجام آزمایش در ۳ نسبت تنش ( $\eta$ ) متفاوت مؤید آن است که با افزایش  $\eta$  و یا به بیان دیگر با تغییر متناوب فشار همه‌جانبه، مقدار فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در نمونه خالص رسی و نمونه مخلوط رس و سنگ‌دانه در مقایسه با فشار همه‌جانبه ثابت کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است آزمایش‌های سه محوری فشاری ( $q \geq 0$ ) با فشار همه‌جانبه ثابت، دارای کمترین مقدار  $\eta$  یعنی ۰٫۳ می‌باشند. این بدین معناست که یافته‌های پیشین در مورد فشار آب حفره‌ای مصالح مخلوط که بر مبنای آزمایش‌های با فشار همه‌جانبه ثابت بدست آمده‌اند، محافظه‌کارانه‌تر می‌باشند.

در مقیاس مزو نیز، با قرار دادن سنسور درون نمونه‌ای بین دو سنگدانه در مقایسه با رس خالص، افزایش فشار آب حفره‌ای ناشی از حضور سنگدانه‌ها مشاهده گردید. البته در آزمایش‌های متعدد صورت گرفته در این مقیاس، رفتارهای متفاوت و بعضاً متناقضی مشاهده گردید که می‌تواند ناشی از تفاوت برخی شرایط آزمایشگاهی باشد. مدلسازی سه‌بعدی صورت گرفته در این راستا نیز تنها مؤید یافته‌های پیشین در این مورد بود و رفتار اتساعی مشاهده شده در برخی آزمایش‌های مقیاس مزو در قالب این پروژه پژوهشی مورد مذاقه بیشتر واقع نشد. در واقع، به رغم پیگیری ایده پروفیسور وستیک در افزایش ابعاد سنگدانه، کماکان در مقیاس مزو با تجهیزات آزمایشگاهی فعلی نمی‌توان به صورت اقتصادی مسأله مورد نظر این تحقیق را به‌صورت جامع و تکرارپذیر و با دقت مناسب بررسی نمود.

lack of time for this research.

Based on findings of this study, cyclic variation of confining and deviatoric stress at the same time would cause increase of EPWP within inclusions of the matrix. By decrease of inclusion distance to diameter, EPWP increase among inclusions is dominant, which weakens as the distance increases. The EPWP increase is maximum at constant confining pressure situation. This shows that neglecting the cyclic variation of confining pressure is conservative regarding stability of structures made up of such mixtures during strong ground motions. Findings of this study is in agreement with those of previous ones. The increase of EPWP among inclusions affected by loading direction relative to inclusions locations and geometry was evident.

One of the findings of this research project is the addition of a miniature internal water pressure sensor to one of the cells of the cyclic triaxial apparatus, as well as the ability to modify the confining pressure periodically in cyclic triaxial experiments at the Geotechnical Laboratory of the Institute.

**Keywords:** Clay-aggregate mixture, Cyclic confining pressure, Cyclic triaxial, Excess pore water pressure

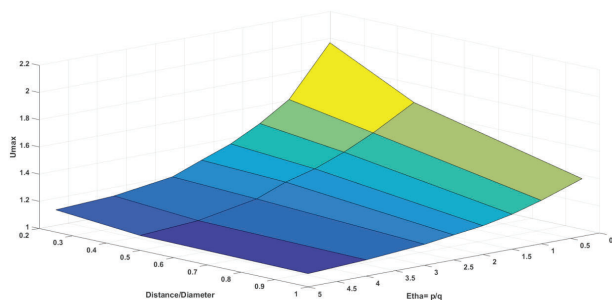


Figure 1: Variation of "UmaxNum" with the ratio of "inclusion distance to inclusion diameter" and the parameter "η" (Numerical Studies)

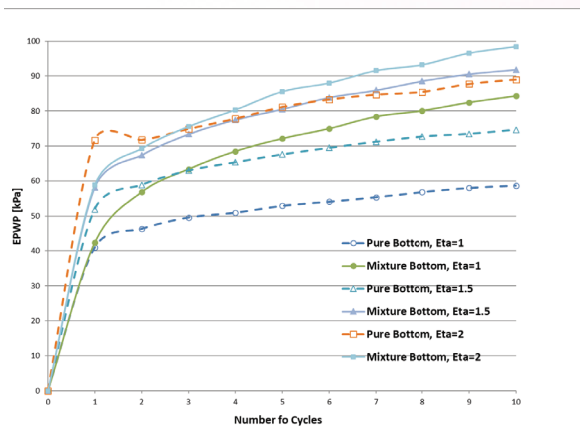


Figure 2: Comparison of EPWP variation at bottom of the pure and the mixed specimens with different values of  $\eta$

از ثمرات این پروژه پژوهشی، اضافه شدن یک سنسور فشار آب حفره‌ای درون نمونه‌ای به یکی از سلولهای دستگاه سه محوری تناوبی و همچنین ایجاد قابلیت تغییر تناوبی فشار همه جانبه در آزمایش‌های سه محوری تناوبی در آزمایشگاه ژئوتکنیک پژوهشگاه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مصالح مخلوط، فشار آب حفره‌ای، آزمایش سه محوری تناوبی، تحلیل عددی محیط متخلخل اشباع

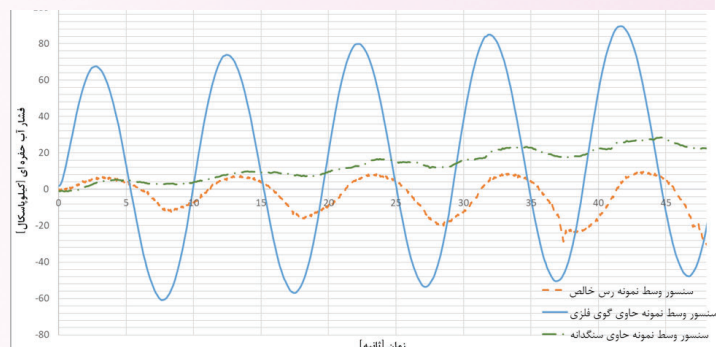


Figure 3: Effect of inclusions on EPWP generated near different inclusion types (meso scale experiments)



Figure 4: Miniature internal pore pressure sensor