

مقایسه تجربی پارامترهای دینامیکی کائولینیت عادی تحکیم یافته غیراشباع در شرایط بارگذاری سیکلی کند و تند

محسن معجزی

دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
m.mojezi@IIIES.ac.ir

محمدکاظم جعفری

استاد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
jafari@IIIES.ac.ir

مهنوش بیگلری

استادیار، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
m.biglari@Razi.ac.ir

کلید واژه‌ها: پارامترهای دینامیکی، کائولینیت غیراشباع، بارگذاری سیکلی، سه محوری سیکلی، سرعت بارگذاری

چکیده

با توسعه تجهیزات آزمایش بر روی مصالح غیراشباع در سالهای اخیر، پیشرفتهای قابل توجهی در شاخه‌های مختلف این حیطه ایجاد شده است. یکی از این زمینه‌ها بررسی رفتار سیکلی و دینامیکی مصالح غیراشباع می‌باشد که در آن محققین مختلفی به بررسی تغییرات پارامترهای دینامیکی مصالح غیراشباع به ویژه سختی برشی پرداخته‌اند.

در این زمینه بحث مربوط به تاثیر سرعت بارگذاری سیکلی بر رفتار و پارامترهای سیکلی این گونه مصالح کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مصالحی که در سطح مکش خاصی به تعادل رسیده‌اند تغییرات هرچند کوچک در نحوه و سرعت بارگذاری می‌تواند به برهم خوردن شرایط مکش و در نتیجه تغییر نتایج حاصل از آزمایش گردد، بنابراین آگاهی از این موضوع می‌تواند به تفسیر صحیحتر نتایج حاصله و شناسایی دقیقتر رفتار نمونه‌های غیراشباع منجر گردد.

در این مقاله به مقایسه پارامترهای دینامیکی حاصل از آزمایشهای سه محوری سیکلی غیراشباع انجام گرفته بر روی نمونه‌های عادی تحکیم یافته غیراشباع از یک نوع مصالح ریزدانه تجاری با شرایط اولیه یکسان، در دو حالت بارگذاری سیکلی کند و تند پرداخته شده است. آزمایشها در تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال و در سه سطح مکش و سه دامنه تنش انحرافی سیکلی انجام گرفته است. نتایج حاصل از آزمایشها نشان داد که سرعت بارگذاری تاثیر قابل توجهی بر مقادیر پارامترهای مدول برشی نمونه‌های غیراشباع داشته است. بطوریکه در مکش یکسان و سطح کرنش برابر، مدول برشی شرایط تند بزرگتر از شرایط کند می‌باشد. در مورد مقادیر نسبت میرایی در آزمایشات تند نسبت به کند (در شرایط مورد آزمایش) تغییر قابل توجهی مشاهده نشده است.

مقدمه

توسعه تجهیزات مناسب جهت انجام آزمایش بر روی نمونه‌های مصالح غیراشباع در سالهای اخیر موجب پیشرفتهای قابل توجهی در شاخه‌های مختلف این حیطه از جمله بررسی رفتار سیکلی و دینامیکی مصالح غیراشباع شده است.

محققین مختلفی به بررسی تاثیر متغیر مکش بافتی بر پارامترهای دینامیکی مصالح غیراشباع (غالباً در کرنشهای کوچک) پرداختند. از آن جمله (Marinho et al. (1995 سرعت موج برشی را در نمونه‌هایی از رس لندن با روش بندر المنت اندازه‌گیری نمودند. Cabarkapa et al. (1999) سختی نمونه‌هایی از سیلت تیز گوشه کوارتزی را در سلول سه‌محوری که شرایط کنترل مکش را اعمال می‌کرد، با استفاده از بندر المنت بدست آوردند. Mancuso et al. (2000) با ارائه نتایج آزمایشهای انجام شده در دستگاه ستون تشدید برش پیچشی (RCTS) و سه محوری غیر اشباع، بر



یک نوع خاک ماسه سیلتی، نشان دادند که بافت خاک باعث تغییرات مهمی در سختی شده است. (Becker & Li (2003) با استفاده از دستگاه سه محوری و یک دستگاه تحکیم غیر اشباع که یک تنسیومتر کوچک در آنها کار گذاشته شده بود، آزمایشهایی بر نمونه‌های بازسازی شده انجام دادند. (2006) Cabarkapa and Cuccovillo با ساخت سه سیستم سه محوری اتوماتیک به مطالعه رفتار مکانیکی- هیدرولیکی سیلت کوارتزی غیرپلاستیک غیراشباع پرداختند. (2008) Ng & Yung با استفاده از یک دستگاه سه محوری ارتقا یافته مجهز به سه جفت بندر المنت، سرعت موج برشی در امتداهای مختلف، در یک نوع سیلت رسی را اندازه گیری نمودند. (2008) d'Onza et al. اثرات تنش میانگین خالص و مکش را بر سختی برشی اولیه (G_0) و نسبت میرایی اولیه (D_0) دو نوع مصالح سیلت رسی و ماسه سیلتی متراکم در رطوبت بهینه مورد بررسی قرار دادند. Biglari et al. (2011a) به مدلسازی سختی برشی اولیه خاکهای غیراشباع به صورت تابعی از اثرات ترکیبی نسبت تخلخل و درجه اشباع پرداختند. Biglari et al. (2012) نیز سختی برشی اولیه کائولینیت زنون را در شرایط غیراشباع مورد مطالعه قرار دادند.

در تحقیقات مختلفی که به بررسی تغییرات پارامترهای دینامیکی مصالح غیراشباع پرداخته شده است، بحث مربوط به تاثیر سرعت بارگذاری سیکلی بر رفتار و پارامترهای سیکلی این گونه مصالح کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای مصالحی که در سطح مکش خاصی به تعادل رسیده اند تغییرات هرچند کوچک در نحوه و سرعت بارگذاری می تواند به برهم خوردن شرایط مکش و در نتیجه تغییر نتایج حاصل از آزمایش گردد، آگاهی از این موضوع می تواند به تفسیر صحیحتر نتایج حاصله و شناسایی دقیقتر رفتار نمونه های غیراشباع منجر گردد. در برخی از پروژه های عملی مهندسی، خاک فونداسیون بار دینامیکی با فرکانس های مختلفی را تحمل می کند و در نتیجه مشخصات دینامیکی متفاوتی را در پی خواهد داشت (Luo et al., 2011).

Biglari et al. (2011b) به مطالعه مدول برشی و نسبت میرایی کائولینیت زنون غیراشباع با استفاده از دستگاه سه محوری ارتقا یافته مکش کنترلی در کرنشهای متوسط تا بزرگ و شریط مکش ثابت حین سیکلهای بارگذاری کند پرداختند. (2011) Luo et al. در تحقیقی به منظور بررسی اثر فرکانس ارتعاش بر پارامترهای دینامیکی مصالح غیراشباع، با استفاده از ابزار برش پیچشی تستهایی را بر روی نمونه های دست نخورده غیراشباع از نوعی خاک ریزدانه بادرفتی (loess of Yangling) تحت فرکانسهای ارتعاش مختلف انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که در فرکانسهای بالاتر، مدول برشی ماکزیمم (G_0) افزایش یافته ولی تاثیر فرکانس بارگذاری بر روی نسبت میرایی مصالح مورد آزمایش مشخص و واضح نبوده است.

در تحقیق حاضر نتایج دو دسته آزمایشهای سیکلی غیراشباع انجام گرفته بر روی نمونه های غیراشباع از یک نوع مصالح ریزدانه تجاری، با استفاده از تجهیزات سه محوری سیکلی مکش کنترلی، در دو حالت بارگذاری سیکلی کند و تند ارائه و مقایسه شده است. نتایج مربوط به آزمایشهای کند از تحقیق Biglari et al. (2011b) استخراج شده است. در هر دو گروه تست، شرایط نمونه سازی و نیز شرایط اولیه حاکم بر نمونه ها شامل درصد رطوبت اولیه و دانسیته اولیه یکسان بوده است. آزمایشها در سطح تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال و در سه سطح مکش ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و سه دامنه تنش انحرافی سیکلی ۱۸، ۴۲ و ۸۱ کیلوپاسکال انجام گرفته است.

تجهیزات مورد استفاده

در این تحقیق از تجهیزات سه محوری سیکلی با قابلیت کنترل مکش توسعه یافته در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (Biglari et al., 2011b)، استفاده شده است. بخشهای مختلف این تجهیزات به صورت هماهنگ و قابل برنامه ریزی توسط یک سیستم کنترل کننده کامپیوتری مدیریت و برنامه ریزی می گردد. این بخشها شامل سیستم های کنترل مکش، اعمال و اندازه گیری تنشهای محوری و هم‌جانبه، اندازه گیری تغییرات آب منفذی، درصد رطوبت، اعمال و اندازه گیری فشار آب منفذی، اعمال و اندازه گیری فشار هوای منفذی، اندازه گیری تغییرشکلهای محوری و حجمی، بوسیله سیستم کنترل کامپیوتری است.

فشارهای محوری، سلولی، آب منفذی و هوای منفذی در این سیستم با استفاده از یک منبع فشار هوا با فشار حداکثر ۱ مگاپاسکال اعمال می شود. تغییرات حجم آب منفذی و تغییرات حجم نمونه مستغرق در حمام آب محیطی نمونه نیز بوسیله دو ترانسدوسر تفاضلی فشار قابل تعیین است.

تغییرات درصد رطوبت از طریق کنترل مقدار ورود یا خروج آب نمونه به سیستم زهکشی متصل به یک بورت آب (که از آن جهت اعمال فشار آب منفذی به نمونه استفاده می شود) و مقایسه با تراز آب موجود در یک بورت مرجع جداگانه تعیین می شود.

جهت اندازه گیری و کنترل مکش از روش انتقال محورها (Hilf, 1956) استفاده شده است. تغییرشکل های محوری نمونه با استفاده از یک LVDT (محدوده ۵۰ میلیمتر و دقت % 60.1) واقع در بیرون سلول و نیز یک گپ سنسور (با محدوده ۸ میلیمتر و دقت % 60.02) واقع در داخل سلول اندازه گیری می گردد.

به منظور به حداقل رساندن تاثیر دمای محیط بر نتایج، کلیه ابزار در اتاقک ایزوله و در دمای ثابت ۲۲ درجه سانتیگراد قرار داده شده اند.



شکل ۱: تجهیزات سه محوری تناوبی با قابلیت کنترل مکش

مصالح مورد آزمایش

مصالح مورد استفاده در این تحقیق کائولینیت زنوز با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) بوده است. ابتدا نمونه هایی از این مصالح در دسیکاتور و در مجاورت سیلیکاژل به مدت چند روز خشک شده اند سپس با آب مقطر به مقادیر مشخص مخلوط و در ظرف شیشه ای دربسته به مدت ۱۶ الی ۲۴ ساعت به تعادل رطوبتی رسانده شده است. نمونه ها به صورت استوانه ای با قطر ۳۸ میلیمتر و ارتفاع ۷۶ میلیمتر به روش زیر تراکم ((under compaction method (Ladd, 1978) در ۷ لایه متراکم و آماده شده اند. همچنین به منظور دستیابی به شرایط عادی تحکیم یافته، نمونه ها در درصد رطوبت ۱۱/۹ درصد (۳/۵ درصد کمتر از رطوبت بهینه) و وزن مخصوص ۱۲ kN/m^3 (۶۹ درصد وزن مخصوص خشک ماکزیم حاصل از آزمایش پراکتور استاندارد) ساخته شده اند.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی مصالح مورد آزمایش

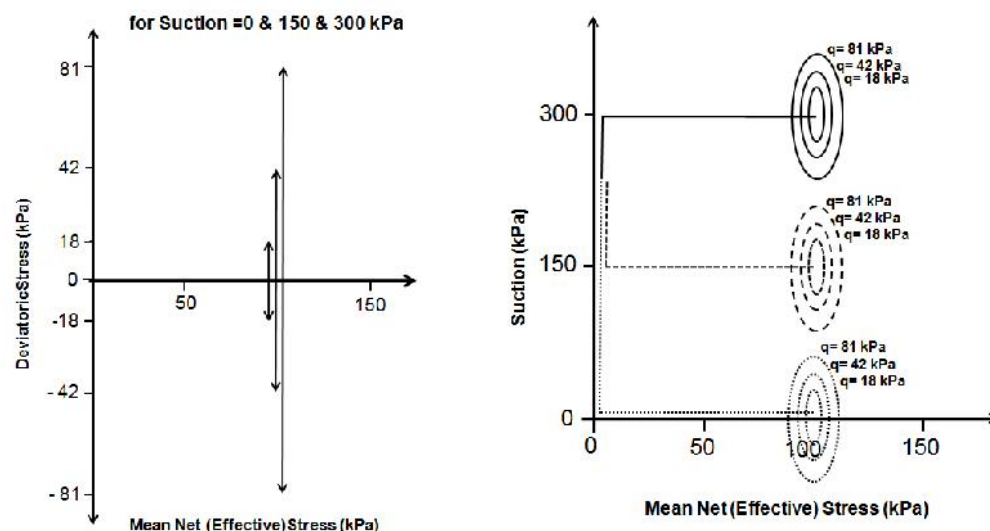
classification	Clay Friction (%)	Silt Friction (%)	Plasticity Index (%)	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Specific Gravity	e_0^{opt} (%)	e_0^{opt} (g/cm^3)	e_0	Sr_0 (%)
CL	18	60	12	29	17	2.65	15.4	1.74	1.19	27

روش انجام آزمایشها و مسیرهای تنش

در این مقاله نتایج حاصل از دو تحقیق شامل سری آزمایشهای تناوبی غیراشباع با استفاده از تجهیزات سه محوری سیلیکی مکش کنترلی ارائه شده است. در تحقیق اول (Biglari et al., 2011b)، به منظور برهم نخوردن شرایط مکش نمونه ها حین سیکلهای بارگذاری، آزمایشات در شرایط بارگذاری سیلیکی کند انجام گرفته و در تحقیق دیگر همان آزمایشات بر روی مصالح یکسان و شرایط یکسان نمونه سازی، شرایط اولیه نمونه ها و نیز مسیر تنش یکسان ولی در شرایط بارگذاری سیلیکی تند انجام گرفته است.

شرایط نمونه سازی و نیز شرایط اولیه حاکم بر نمونه ها شامل درصد رطوبت اولیه و دانسیته اولیه یکسان بوده است. آزمایشهای مذکور در تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال ($p-u_a=100 \text{ kPa}$) و در سه سطح مکش صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال ($u_a-u_w=0, 150, 300 \text{ kPa}$) و سه دامنه تنش انحرافی سیلیکی (۱۲ یا ۱۸، ۴۲ و ۸۱ کیلوپاسکال برای آزمایشهای کند و ۱۸، ۴۲ و ۸۱ کیلوپاسکال برای آزمایشهای تند) انجام گرفته است. در شکل (۲) مسیرهای تنش در آزمایشهای انجام گرفته ارائه شده است. در جدول (۲) نیز جزئیات مسیرهای تنش طی شده در آزمایشهای کند و تند ارائه شده است. در جدول (۲) نمونه ها متناسب با شرایط تنش آنها به صورت $S_{suction \ level}$ $D_{deviatoric \ stress \ level}$ نامگذاری شده اند.





شکل ۲: مسیره‌های تنش طی شده در تست‌های کند و تند

جدول ۲: جزئیات آزمایشات انجام گرفته و مسیره‌های تنش در تست‌های کند و تند

Test Group	No.	Sample Name	end of Initial Equalization			end of Isotropic Consolidation (before Cyclic Loading)					Cyclic Amplitude (kPa)
			u_a (kPa)	u_w (kPa)	$1\uparrow_1=\uparrow_3$ (kPa)	u_a (kPa)	u_w (kPa)	$1\uparrow_1=\uparrow_3$ (kPa)	Suction (kPa)	Mean Net Stress (kPa)	
Slow Tests	1	S0D18,42,81	---	50	55	---	50	150	0	100	18, 42, 81
	2	S150D18,42,81	200	50	250	200	50	300	150	100	18, 42, 81
	3	S300D18,42,81	350	50	400	350	50	450	300	100	18, 42, 81
Fast Tests	1	S0D18	---	50	55	---	50	150	0	100	18
	2	S0D42	---	50	55	---	50	150	0	100	42
	3	S0D81	---	50	55	---	50	150	0	100	81
	4	S150D18	200	50	250	200	50	300	150	100	18
	5	S150D42	200	50	250	200	50	300	150	100	42
	6	S150D81	200	50	250	200	50	300	150	100	81
	7	S300D18	350	50	400	350	50	450	300	100	18
	8	S300D42	350	50	400	350	50	450	300	100	42
	9	S300D81	350	50	400	350	50	450	300	100	81

در آزمایش‌های کند سرعت بارگذاری به نحوی بوده است که در کل مسیر آزمایش شرایط تعادل مکش نمونه‌ها تغییر نکند. بنابراین سیکلهای بارگذاری در آزمایش‌های کند در فرکانس بسیار کم انجام گرفته است. در آزمایش‌های تند نیز تا رسیدن به سطح تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال و قبل از اعمال سیکلهای تنش انحرافی، شرایط تعادل مکش برقرار بوده است، ولی به دلیل سرعت بارگذاری تناوبی حین اعمال سیکلها، فشار آب و هوای منفذی در نمونه‌ها تغییر یافته و در نتیجه شرایط مکش تغییر نموده است.

مراحل مشترک انجام گرفته در هر دو گروه آزمایش‌های کند و تند پس از کارگذاری نمونه در دستگاه، شامل رساندن نمونه‌ها به شرایط اولیه یکسان (تعادل اولیه) و تحکیم همسان در مکش ثابت بوده است. در مرحله تعادل اولیه، نمونه‌ها از شرایط اولیه پس از ساخت با تغییرات هماهنگ فشارهای آب و هوای منفذی به شرایط تعادل مکش در سطوح مورد نظر رسانده شده‌اند. در ادامه پس از اطمینان از تعادل اولیه مکش، با اعمال تنش همه جانبه با نرخ ۸ کیلوپاسکال در ساعت، نمونه‌ها تا رسیدن به تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال، در مکش ثابت به صورت ایزوتروپ تحکیم شده‌اند.

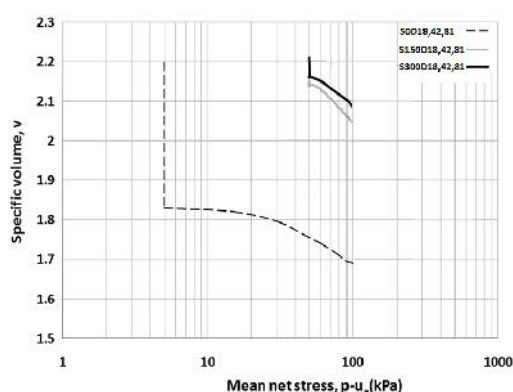
پس از رساندن نمونه‌ها به تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال (در شرایط مکش ثابت)، بلافاصله سیکلهای تنش انحرافی دو طرفه تا دامنه‌های در نظر گرفته شده اعمال شده است.

در آزمایش‌های کند سرعت بارگذاری سیکلی تابع ثابت ماندن تعادل مکش در نمونه‌ها می‌باشد و بنابراین فرکانس اعمال بار سیکلی بسیار پائین خواهد بود. اما در آزمایش‌های تند ثابت ماندن مکش در نمونه‌ها تا قبل از اعمال سیکلهای تنش انحرافی اهمیت داشته و در نتیجه بارگذاری سیکلی با فرکانس ۰/۰۳ هر تری انجام گرفته است. در آزمایش‌های کند به دلیل برهم خوردن شرایط مکش در نمونه‌ها حین سیکلهای تنش انحرافی، هر سه دامنه تنش انحرافی در هر سطح مکش بر روی یک نمونه اعمال شده ولی در آزمایش‌های تند با توجه به برهم خوردن شرایط تعادل مکش نمونه‌ها حین انجام سیکلها (ناشی از سرعت بارگذاری) برای هر دامنه تنش انحرافی یک نمونه مجزا مورد آزمایش قرار گرفته است.

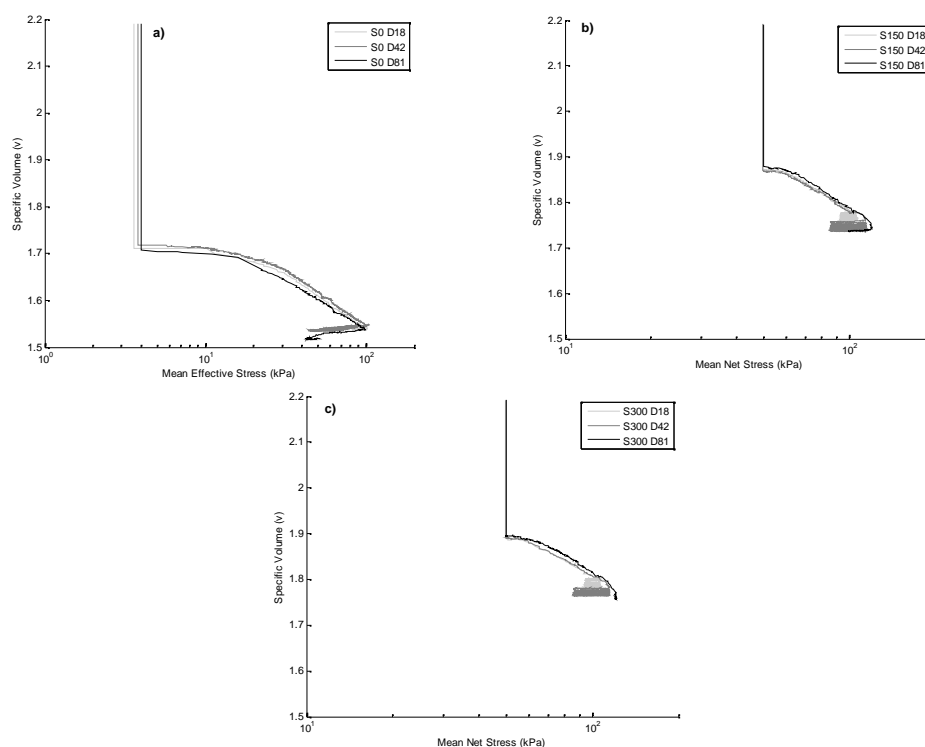
نتایج آزمایشها

در شکل‌های ۳ و ۴، تغییرات حجم ویژه در مقابل تنش میانگین خالص به ترتیب برای تست‌های کند و تند ارائه شده است. باتوجه به اینکه سعی شده شرایط نمونه سازی در هر دو گروه تست یکسان باشد، نقطه شروع مسیر تقریباً مشابه بوده است. همانطور که در شکل‌های مذکور مشاهده می شود، در آزمایش‌های مکش صفر (S0D18,42,81) در آزمایش‌های کند و S0D18, SD18 و S0D42، در آزمایش‌های تند) کاهش حجم ویژه به خصوص در مرحله تعادل اولیه بیشتر از آزمایش‌های مکش ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال بوده است. به دلیل اینکه نمونه ها ابتدا در شرایط عادی تحکیم یافته آماده شده اند (عادی تحکیم یافتگی نمونه ها از نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۳ و ۴ قابل استنتاج است)، در اثر ورود سریع آب در مرحله تعادل اولیه در تست‌های مکش صفر و فروریزش بافت نمونه ها، کاهش حجم آنها نیز بیشتر بوده است.

با رسیدن به سطح تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال، بارگذاری سیکلی تا دامنه های تنش انحرافی از پیش تعیین شده (۱۸، ۴۲ و ۸۱ کیلوپاسکال) با فرکانس های مشخص شده برای تست‌های کند و تند اعمال شده است. در آزمایش‌های کند به دلیل سرعت بسیار کم بارگذاری و زمان طولانی آزمایش، تعداد ۵ سیکل انجام شده است، ولی در آزمایشات تند بارگذاری سیکلی تا ۴۰ سیکل در نظر گرفته شده است. البته در برخی از تست‌های تند به دلیل گسیختگی ایجاد شده حین اعمال بار تناوبی، آزمایش در تعداد کمتری سیکل متوقف شده و در دو مورد (S150D81 و S300D81) نیز در همان سیکل اول نمونه به گسیختگی رسیده و سیکل بارگذاری کامل نشده است.



شکل ۳: تغییرات حجم ویژه در مقابل تنش میانگین خالص در آزمایشات کند (Biglari et al., 2011b)



شکل ۴: تغییرات حجم ویژه در مقابل تنش میانگین خالص در آزمایشات تند: تست‌های

(a) مکش صفر (b) مکش ۱۵۰ کیلوپاسکال (c) مکش ۳۰۰ کیلوپاسکال



مدول الاستیک از روی نمودار تنش انحرافی در مقابل کرنش محوری برای هر سیکل بارگذاری با محاسبه تفاضل مقادیر حداکثر و حداقل

تنش انحرافی (Δq) و کرنش محوری (ΔV_a) مطابق رابطه (۱) محاسبه شده است:

$$E = \frac{\Delta q}{\Delta V_a} \quad (1)$$

با تعیین مقدار مدول الاستیسیته (E)، مقدار مدول برشی (G) از رابطه (۲) بدست آمده است:

$$G = \frac{E}{2(1+\epsilon)} \quad (2)$$

در این رابطه، نسبت پواسون است که از نسبت کرنش شعاعی (ϵ_r) به کرنش محوری (ϵ_a) محاسبه می شود. کرنش شعاعی نیز از تغییر کرنش حجمی (ϵ_v) و کرنش محوری با استفاده از رابطه (۳) بدست می آید.

$$V_r = \frac{V_v - V_a}{2} \quad (3)$$

X کرنش برشی نیز از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$x = V_a(1+\epsilon) \quad (4)$$

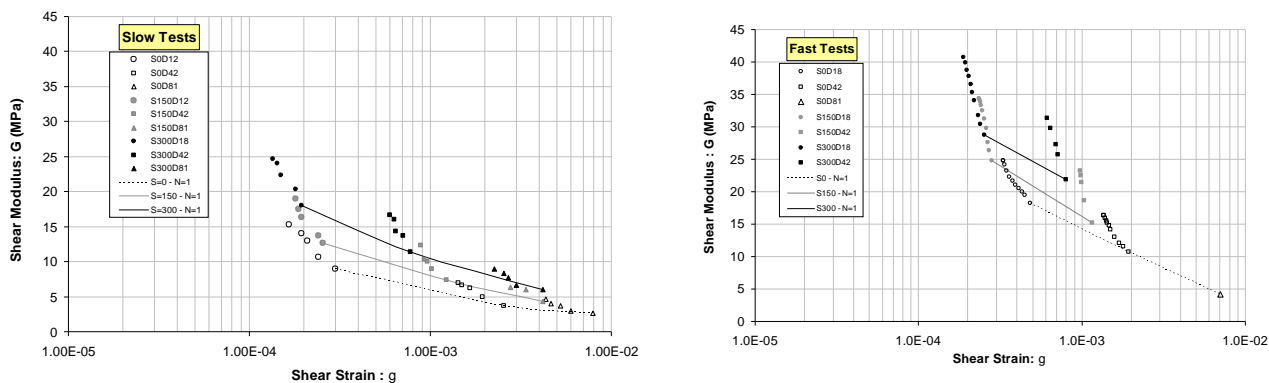
همچنین نسبت میرایی در آزمایش سه محوری سیکلی از حاصل نسبت مساحت داخلی نمودار سیکل بارگذاری به مساحت مثلث حاصل از امتداد محوری سیکل با محور افقی، با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شده است:

$$D = \frac{1}{4f} \frac{\text{area of the hysteresis loop}}{\text{area of triangle}} \quad (5)$$

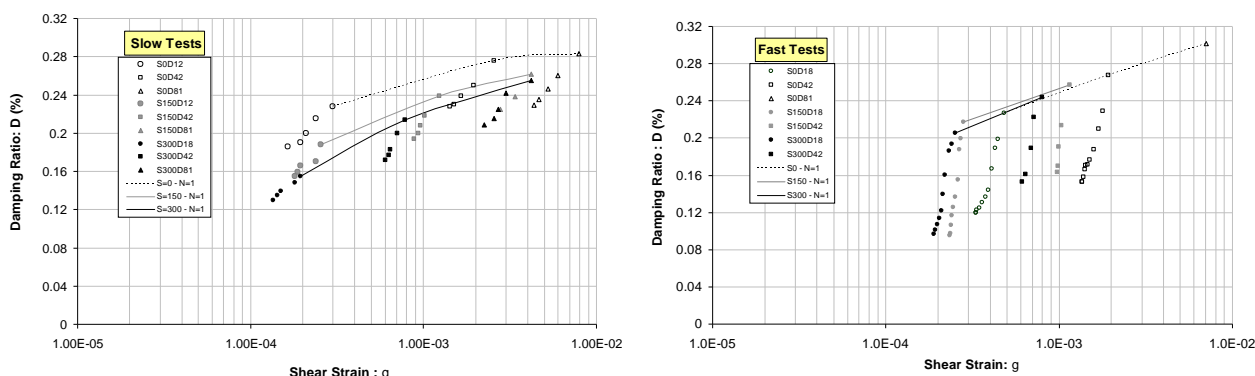
تغییرات مقادیر مدول برشی در سطوح کرنش مختلف، بدست آمده از آزمایشهای کند و تند در شکل (۵) و تغییرات نسبت میرایی در شکل (۶) ارائه شده است. در نمودارهای مربوط به آزمایشهای کند، مقادیر به صورت نقاطی برای سیکلهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و برای آزمایشهای تند برای سیکلهای ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ در سطوح مکش و دامنه بارگذاری سیکلی مختلف نشان داده شده است. همچنین مقادیر مربوط به سیکلهای اول در هر دسته تنش انحرافی سیکلی با خط یا خط چین به هم متصل شده است.

تأثیر قابل توجه مکش بر پارامترهای دینامیکی مورد بررسی از نمودارهای ارائه شده به خوبی قابل استنتاج است. به طوریکه در سطح تنش میانگین خالص مورد مطالعه (۱۰۰ کیلوپاسکال)، در سطح کرنش و تعداد سیکل یکسان، با افزایش سطح مکش پارامتر مدول برشی (G) افزایش یافته است. همچنین روند تغییرات مقادیر نسبت میرایی (D) در سطح کرنش یکسان، با افزایش سطح مکش، کاهش نشان داده است. این مساله نشان می دهد که افزایش مکش با القاء یک چسبندگی مجازی بین ذرات نمونه به افزایش سختی آن منجر شده است.

از طرف دیگر، مقایسه نتایج حاصل از آزمایشهای تند و کند نشان می دهد که در سطح کرنش یکسان، مقادیر مدول برشی بدست آمده از آزمایشهای تند به میزان قابل توجهی بیشتر از مقادیر متناظر آن در آزمایشهای کند می باشد. در واقع افزایش سرعت بارگذاری سیکلی (ناشی از افزایش فرکانس) ممکن است سختی برشی نمونه های مورد آزمایش را افزایش داده باشد. البته این مساله تنها ناشی از افزایش سرعت بارگذاری نبوده و می تواند تاحدی تحت تأثیر برهم خوردگی و تغییرات مکش (ناشی از سرعت بالاتر) هم باشد. ولی در مورد نسبت میرایی، مقایسه مقادیر بدست آمده در دو گروه آزمایش کند و تند، تغییرات قابل توجه و مشخصی را نشان نداده است.



شکل ۵: تغییرات مدول برشی در آزمایشات کند و تند



شکل ۶: تغییرات نسبت میرایی در آزمایشات کند و تند

نتیجه گیری

در این مقاله نتایج حاصل از دو گروه آزمایشهای سه محوری تناوبی با استفاده از تجهیزات سه محوری تناوبی با قابلیت کنترل مکش انجام گرفته بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته غیراشباع از کائولینیت زنوز که به روش زیرتراکم (under compaction) بازسازی شده اند، در دو شرایط بارگذاری تناوبی کند و تند ارائه شده است. نتایج حاصل از آزمایشها نشان داد که سرعت بارگذاری تاثیر قابل توجهی بر مقادیر پارامترهای مدول برشی و نسبت میرایی نمونه های غیراشباع داشته است. بطوریکه در مکش یکسان و در سطح کرنش برابر، مدول برشی حاصل از تستهای شرایط تند بزرگتر از شرایط کند بوده است. ولی مقایسه مقادیر نسبت میرایی بدست آمده از دو گروه آزمایش کند و تند، تغییرات قابل توجه و مشخصی را نشان نداده است. در مجموع نتایج حاصل از دو گروه آزمایش انجام گرفته نشان می دهد که در مطالعه و تفسیر رفتار سیکلی و پارامترهای دینامیکی مصالح غیراشباع، فرکانس یا سرعت بارگذاری اهمیت ویژه ای داشته و باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در صورتیکه خاک غیراشباع تحت بارگذاری تند (فرکانس بالاتر) قرار داده شود ممکن است در آن افزایش کاذب مدول برشی (به علت سرعت بالای بارگذاری یا برهم خوردگی و تغییرات مکش حین سیکلها) ایجاد گردد که لازم است در مسائل تحلیلی و طراحی با احتیاط با آن برخورد شود.

مراجع

- Becker T and Li T (2003) *Behavior of unsaturated soils subjected to cyclic loading*, Proc. of Int. Workshop on Unsaturated Soils, Weimar, Germany, Springer, pp. 347–364
- Biglari M, Mancuso C, d'Onofrio A, Jafari MK and Shafiee A (2011a) *Modelling the initial shear stiffness of unsaturated soils as a function of the coupled effects of the void ratio and the degree of saturation*, Computers and Geotechnics, Elsevier, 38, pp: 709-720
- Biglari M, d'Onofrio A, Mancuso C, Jafari MK, Shafiee A and Ashayeri I (2012) *Small strain stiffness of Zenoz Kaolin in unsaturated conditions*, Canadian Geotechnical Journal, ISI, Vol. 49, No. 3, pp. 311-322
- Biglari M, Jafari MK, Shafiee A, Mancuso C and d'Onofrio A (2011b) *Dynamic properties of unsaturated kaolin measured in a wide strain range with new suction controlled cyclic triaxial device*, Geotechnical Testing Journal, ASTM, AIP ID: 001105GTJ
- Cabarkapa Z, Cuccovillo T and Gunn M (1999) *some aspects of the pre-failure behavior of unsaturated soil*, Proceedings of second international conference on prefailure behavior of geomaterials, Torino, pp. 159–65
- Cabarkapa Z and Cuccovillo T (2006) *Automated Triaxial Apparatus for Testing Unsaturated Soils*, Geotechnical Testing Journal, Vol. 29, No. 1
- d'Onza F, d'Onofrio A and Mancuso C (2008) *Effects of unsaturated soil state on the local seismic response of soil deposits*, Unsaturated Soils: Advances in Geo-Engineering, Taylor & Francis Group, London
- Hilf JW (1956) *An Investigation of Pore Water Pressure in Compacted Cohesive Soils*, Technical Memo, Bureau of 479 Reclamation, Denver
- Ladd RS (1978) *Preparing testing specimens using under- compaction*, Geotechnical Testing Journal, 1, pp. 16–23
- Luo YS, Wang ZJ, Li Y and Guo H (2011) *Effects of vibration frequencies on dynamic characteristics of unsaturated undisturbed loess* Unsaturated Soils: Theory and Practice, Kasetsart University, Thailand
- Mancuso C, Vassallo R and d'Onofrio A (2000) *Soil behaviour in suction controlled cyclic and dynamic torsional shear tests*, In Proc. of the Asian Conference on Unsaturated Soils, Singapore, Vol. 1, pp. 539-544
- Marinho EAM, Chandler RJ and Crilly MS (1995) *Stiffness measurements on a high plasticity clay using bender elements*, In Unsaturated Soils. Proceedings of the First International Conference on Unsaturated Soils, UNSAT 95, Paris, France, A.A. Balkema, Rotterdam. Vol. 1, pp. 535- 539
- Ng CWW and Yung SY (2008) *Determination of the anisotropic shear stiffness of an unsaturated decomposed soil*, Géotechnique, 58(1), pp. 23–35

