

اثر پارامترهای بارگذاری سیکلی بر مقاومت بیرون کشش پساسیکلی نیل

بهروز عبدالصمدی بناب^۱، محمد علیایی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

M.Olyaei@modares.ac.ir*

تاریخ پذیرش: [۹۸/۴/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۷/۱۰/۳]

چکیده

مقاومت بیرون کشش نیل در نیلینگ‌های تزریق شده با سیمان یک عامل کلیدی است که ایمنی دیوارهای نگهبان، شیب‌ها و حفاری‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لایه‌های خاک نیل شده درحین بهره‌برداری گاه تحت اثر بارهای سیکلی ناشی از عبور ترافیک، قطار و... قرار می‌گیرند. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر این نوع بارگذاری‌ها بر مقاومت بیرون کشش پساسیکلی نیل و عوامل موثر بر آن است. از جمله کاربردهای این مطالعه می‌توان به شیب‌ها و دیوارهای نگهبان نیل شده در مجاورت بارهای ترافیکی و ریل‌های راه‌آهن اشاره کرد. این پژوهش به کمک دستگاه بیرون کشش نیل که توانایی اعمال بارهای استاتیکی و سیکلی در شرایط کنترل نیرو و کنترل تغییر مکان، با فرکانس‌های مختلف و شکل سینوسی موج سیکلی را دارد، انجام گرفته است. در این مطالعه اثر تغییرات میزان بار استاتیکی و میزان بار سیکلی بررسی شده است.

مقاومت بیرون کشش پساسیکلی نیل نسبت به مقاومت بیرون کشش استاتیکی عموماً بیشتر است با این وجود هر چقدر آثار بارگذاری سیکلی بیشتر باشد این افزایش مقاومت کاهش می‌یابد و همچنین افزایش نمو جابه‌جایی در قسمت سیکلی مشاهده می‌شود. نتایج نشان دهنده آن است با افزایش دامنه بارگذاری سیکلی به ازاء نیروی بیرون کشش استاتیکی یکسان، کاهش مقاومت پساسیکلی به صورت غیر خطی است. در حالی که با افزایش دامنه بارگذاری سیکلی به ازاء کاهش نیروی بیرون کشش استاتیکی (زمانی که اثر مجموع دو پارامتر مذکور ثابت می‌ماند)، کاهش مقاومت بیرون کشش پساسیکلی به صورت خطی خواهد بود.

کلمات کلیدی: مقاومت بیرون کشش، خاک نیل، پساسیکلی، بارگذاری استاتیکی و سیکلی

۱- مقدمه

روش‌های اجرای نیلینگ در خاک به طورگسترده‌ای در پایدارسازی گودبرداری‌ها و شیب‌ها استفاده شده‌اند. هنگامی که یک شیب در حال حرکت به سمت پایین است، یک نیل در ناحیه پایدار کننده، که معمولاً زیر سطح لغزش بحرانی است، توسط یک توده خاک در حال لغزش تحت اثر نیروی بیرون کشش قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی در انجام عملیات نیلینگ بررسی مقاومت بیرون کشش نیل است که ایمنی دیوارهای نگه‌دارنده، شیب‌ها و حفاری‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پارامتر به عوامل موثری از قبیل: روش نصب، فشار سربار، فشار تزریق، درصد اشباع خاک، زبری سطح نیل و مقاومت برشی خاک بستگی دارد. لایه‌های خاک نیل شده در حین بهره‌برداری گاه تحت اثر بارهای سیکلی ناشی از عبور ترافیک، قطار، ارتعاش ماشین آلات صنعتی، ضربه ناشی از پهلویی‌گیری شناورها، اثر موج بر شیروانی‌های حفاظت شده و یا لرزش‌های ناشی از زلزله قرار می‌گیرند. در این پژوهش هدف بررسی اثر این نوع بارهای سیکلی بر مقاومت بیرون کشش پساسیکلی نیل و عوامل موثر بر آن است. با توجه به تنوع عوامل موثر بر رفتار بیرون کشش نیل مدفون در خاک پژوهشهای مختلفی در این زمینه انجام شده است که اثر فشار سربار، اثر فشار تزریق، تأثیر افزودنی بر ملات تزریق، زبری چال حفاری، فاصله بین نیل‌ها، استفاده از نیل‌های مارپیچ و مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی دستگاه بیرون کشش نیل با آزمایش برش مستقیم در فصل مشترک نیل ملات برای بدست آوردن ضرایب یکسان سازی از جمله مطالعات مهم در قالب اثر بارگذاری استاتیکی بر مقاومت بیرون کشش نیل بوده‌اند [1-2-3-4-5-6]. تاکنون اثر بارگذاری سیکلی بر مقاومت بیرون کشش پساسیکلی در نیل‌ها انجام نگرفته است و تنها این مطالعه روی ژئوگریدها بررسی شده است [7]. در این مقاله برای اولین بار اثر بارگذاری سیکلی بر مقاومت بیرون کشش پساسیکلی در نیل‌ها بررسی می‌شود. در این مطالعه از دستگاه آزمایش بیرون کشش ساخته شده در آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشگاه تربیت مدرس با قابلیت‌های پیشرفته در اعمال بارهای

سیکلی استفاده شد [8]. این دستگاه شامل: یک جعبه اصلی، تجهیزات (اعمال فشار سربار، اعمال فشار تزریق، اعمال نیروی افقی، داده‌برداری و اندازه‌گیری تغییرمکان نمونه) است. در این پژوهش یک سری آزمایش‌های بیرون کشش نیل آزمایشگاهی انجام شده است که در آنها اثر تغییرات میزان بار استاتیکی و میزان بار سیکلی بررسی شده است. تمامی آزمایش‌های بیرون کشش روی خاک ماسه ریزدانه (ماسه کد 161 فیروزکوه دارای ترکیبات SiO_2 به میزان 97.5 درصد، Fe_2O_3 به میزان 0.65 درصد و Al_2O_3 به میزان 0.95 درصد) با درصد رطوبت بهینه 9 درصد و تراکم بالا (75 درصد) انجام شده‌اند.

شکل ۱: طرحواره دستگاه بیرون کشش

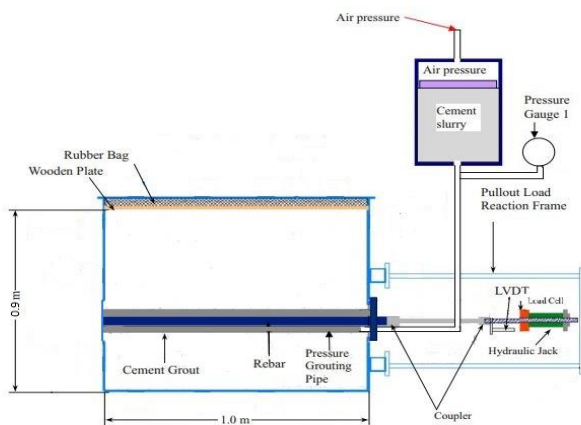


Fig. 1. Schematic of the nail pullout set

۲- دستگاه آزمایش، مشخصات مصالح و فرآیندهای انجام آزمایش

۲-۱ دستگاه آزمایش

شکل (۱) طرحواره دستگاه بیرون کشش را در مقطع و شکل (۲) نمای عمومی از آن را نشان می‌دهد. ابعاد داخلی جعبه بیرون کشش این پژوهش همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده دارای 1000 میلی‌متر طول، 800 میلی‌متر عرض و 900 میلی‌متر ارتفاع است [8]. در این دستگاه چندین اجزای ویژه برای اهداف خاص وجود دارد. نیروی بیرون کشش از طریق جک هیدرولیکی با ظرفیتی معادل 20 تن اعمال شده

صورت تنش قائم بر سطح خاک وارد شده و به صورت دستی در طول آزمایش قابل تنظیم و کنترل است.

شکل ۳. سیستم دریافت، تحلیل و ارسال داده به همراه نرم افزار



Fig. 3. System for receiving, analyzing and sending data with software

برای اعمال تزریق نیز از شیوه‌ای مشابه با اعمال سربار استفاده شده است. ابتدا دوغاب سیمان در مخزنی با حجم ۱۸ لیتر و دارای ورودی هوا و خروجی ملات قرار می‌گیرد. سپس جریان هوای تحت فشار تولید شده توسط پمپ هوا به مخزن وصل شده و توسط سیستم رگلاتور تنظیم و به کمک سنسور فشار کنترل می‌شود.

۲-۲ مشخصات مصالح

در این پژوهش از ماسه کد ۱۶۱ فیروزکوه که منحنی دانه بندی آن مطابق شکل (۴) هست استفاده شده است. که این خاک یکنواخت ماسه‌ای دارای مقادیری سیلت (کمتر از ۵ درصد) می‌باشد. دوغاب سیمان با نسبت آب به سیمان ۰/۵ تهیه شده است. سیمان مصرفی، سیمان تیپ ۲ تهران است. سایر پارامترهای اساسی و پارامترهای مقاومت برشی خاک و دوغاب سیمان از آزمایش‌های آزمایشگاهی بدست آمده است و در جداول (۱ و ۲) خلاصه شده‌اند.

است و توسط یک لودسل با ظرفیت ۲۰ تن در حد فاصل جک و سر نیل اندازه‌گیری می‌شود که در شکل (۱) دیده می‌شود. جک هیدرولیک از یک فرمانیار^۱ پیشرفته با قابلیت تعریف مسیرهای متنوع بارگذاری، فرمان دریافت می‌کند که امکان اعمال بارگذاری‌های استاتیکی و سیکی با فرکانس‌های ۰.۰۱ تا ۱۵ هرتز و اشکال مختلف موج دینامیکی مانند: سینوسی و پله‌ای را در هر دو شرایط کنترل نیرو و کنترل تغییر مکان دارد.

شکل ۲: نمای عمومی دستگاه بیرون کشش



Fig. 2. General shape of the nail pullout set

از کرنش سنج (LVDT) با کورس حداکثر ۱۵۰ میلی‌متر برای اندازه‌گیری مقدار جابه‌جایی جک استفاده شده است.

برای تفسیر و تحلیل داده‌های ارسالی سیستم و ایجاد رابطه کاربردی با اپراتور از نرم‌افزار Lab view استفاده شده است. در شکل (۳) سیستم داده‌برداری به همراه نرم‌افزار آن ارائه شده است.

فشار سربار توسط بالشتک هوا به ضخامت ۲ میلی‌متر، طول ۱۰۰۰ میلی‌متر و عرض ۸۰۰ میلی‌متر به سطح خاک وارد می‌شود که قابلیت تحمل فشار داخلی تا بیش از ۴۰۰ کیلوپاسکال را دارد. هوا از طریق پمپ باد وارد بالشتک شده و به دلیل محصور بودن آن در طول آزمایش فشار داخلی به

1. Servo Valve

جدول ۲. مشخصات ملات مصرفی

Density	ρ_d	gr/cm ³	1.93
Uniaxial compressive strength	σ_c	MPa	34.9
Elasticity modulus	E_{50}	MPa	14410
Poisson's ratio	ν	-	0.22

Table 2. Grouting mortar parameters

۳-۲ فرآیندهای انجام آزمایش

فرآیندهای آزمایش شامل: آماده سازی جعبه بیرون کشش، تراکم نمودن خاک تا محل قرار گیری کیسینگ، جاگذاری کیسینگ به همراه میلگرد فولادی و در پایان ادامه عملیات تراکم، اعمال فشار سربار، بیرون کشیدن کیسینگ، تزریق تحت فشار دوغاب سیمان، خارج کردن نیل و واریسی پس از آزمایش است. نمونه سازی برای انجام یک آزمایش به شرح زیر است:

۲-۳-۱ تراکم سازی خاک

با توجه به وزن مخصوص خشک خاک که برابرست با $\gamma_d = 1.7 \text{ gr/cm}^3$ و حجم مخزن خاک که 0.64 m^3 است. مقدار خاک خشک مورد نیاز برای رسیدن به وزن مخصوص خشک مورد نظر ۱۱۰۰ کیلوگرم است. در این پژوهش از روش بازسازی نمونه با تکنیک تراکم مرطوب استفاده شده است [9]. به این صورت که ابتدا کل نمونه خشک خاک ماسه‌ی ریزدانه کد ۱۶۱ فیروزکوه به وزن ۱۱۰۰ کیلوگرم در هشت قسمت تقسیم شده است. هر قسمت لایه‌ای به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر هست که مجموعاً ۸ لایه را تشکیل می‌دهد. هر یک از لایه‌ها با رطوبت ۹ درصد (معادل ۱۲/۳۷ کیلوگرم آب) که بیان‌گر درصد رطوبت بهینه است به طور کامل مخلوط می‌شود. هر لایه به وسیله وزنه به صورت دستی به طور کامل تراکم می‌شود.

۲-۳-۲ ایجاد چال حفاری به روش کیسینگ

در تراز لایه چهارم (فاصله ۴۰ سانتی‌متر از کف جعبه) به منظور ایجاد چال حفاری برای تزریق دوغاب سیمان و

شکل ۴: منحنی دانه‌بندی ماسه ۱۶۱ فیروزکوه

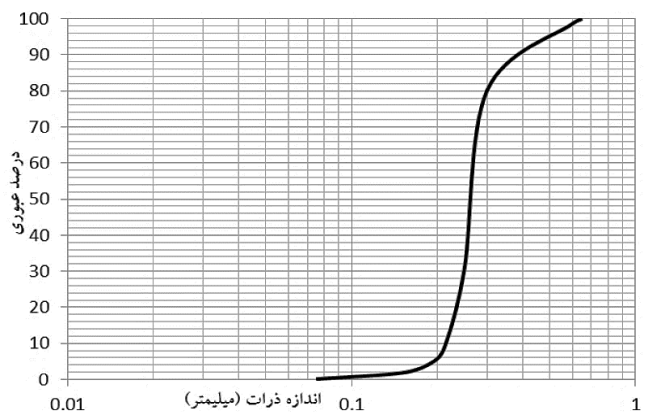


Fig. 4. 161 firoozkooch sand grading curve

جدول ۱. خواص خاک مصرفی

Soil type	SP		
Specific gravity	G_s	-	2.65
Uniformity coefficient	C_u	-	1.32
Curvature coefficient	C_c	-	1.06
Maximum dry unit weight	$\gamma_{d_{max}}$	gr/cm ³	1.72
Optimum moisture	ω_{opt}	%	9
Internal friction angle	ϕ	Deg.	38
Cohesion	C	kPa	5
Elasticity modulus	E_{50}	MPa	26.7
Poisson's ratio	ν	-	0.3

Table 1. Soil properties

در آزمایش‌های بیرون کشش نیل از میلگرد فولادی به قطر ۲۸ میلی‌متر از نوع A3 با طول ۱/۴ متر و مدول الاستیسیته ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ استفاده شده است.

زمانی که ته نشینی اولیه دوغاب سیمان تقریباً به پایان رسید، فشار تزریق دوغاب به مقدار مورد نظر افزایش می‌یابد و در حدود ۳۰ دقیقه نگه داشته می‌شود.

۲-۳-۶ بیرون کشش نیل

مطابق پیشنهاد FHWA مدت زمان ۷۲ ساعت برای گیرش کامل دوغاب سیمان و شروع بارگذاری بیرون کشش لازم است. نیل دوغاب شده با سیمان با استفاده از جک هیدرولیکی روی یک قاب فولادی همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است بیرون کشیده می‌شود. بارگذاری بیرون کشش در این پژوهش در هر آزمایش در سه مرحله که عبارتند از: مرحله استاتیکی، مرحله سیکلی و مرحله پسا سیکلی انجام می‌گیرد. مراحل استاتیکی و سیکلی به صورت کنترل نیرو و مرحله پسا سیکلی به صورت کنترل تغییر مکان با نرخ جابه‌جایی 1 mm/Min هستند [8-9]. از آنجا که معمولاً مقاومت حداکثر در تست‌های بیرون کشش در جابه‌جایی ۱ تا ۵ میلی‌متر در تست‌های کنترل تغییر مکان رخ می‌دهد، بنابراین جابه‌جایی نهایی ۲۵ میلی‌متر به عنوان حد نهایی بیرون کشش انتخاب شد تا بتوان رفتار نیل در مقاومت حداکثر را به خوبی مشاهده کرد [10].

۳-۳ اطلاعات و مشخصات آزمایش‌ها

در این مطالعه تعدادی آزمایش‌های بیرون کشش نیل آزمایشگاهی انجام شده است، که در آنها اثر تغییرات میزان بار استاتیکی و میزان بار سیکلی بررسی شده است.

ساخت نیل از کیسینگی فولادی با مقاومت بالا و قطر خارجی ۱۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۸ میلی‌متر (برای ایجاد صلبیت لازم و عدم تغییر شکل در اثر سربار) استفاده می‌شود. در داخل کیسینگ میلگرد فولادی قرار می‌گیرد. سپس عملیات تراکم تا لایه آخر ادامه دارد.

۲-۳-۳ اعمال فشار سربار

پس از اینکه آخرین لایه درون جعبه متراکم شد، روی آن یک تخته چوب MDF به منظور یکنواخت سازی توزیع سربار قرار می‌دهیم. در نهایت ایربگ لاستیکی روی تخته چوب MDF قرار می‌گیرد. پس از بسته شدن درب جعبه بیرون کشش ایربگ لاستیکی به وسیله پمپ باد برای اعمال فشار سربار تا مقدار مشخصی برای شبیه‌سازی فشار سربار در یک شیب خاک پر می‌شود [9].

۲-۳-۴ خارج کردن کیسینگ

پس از گذشت ۲۴ ساعت و تعادل تنش‌های وارد شده مطابق پیشنهاد پژوهشگران اقدام به خارج کردن کیسینگ، به کمک جرثقیل زنجیری با سرعت یکنواخت می‌شود [9]. پس از بیرون کشیدن کیسینگ چال در محل خود ایجاد شده است. میلگرد فولادی با قطر 28 میلی‌متر در وسط چال قرار داده می‌شود. پس از قرار دادن میلگرد، پکرهای ابتدایی و انتهایی دستگاه برای آبدی چال نصب می‌شوند.

۲-۳-۵ فشار تزریق

چال در ابتدا به آرامی با دوغاب سیمان تحت یک فشار کم (۲۰ کیلوپاسکال) در عرض چند دقیقه پر می‌شود. سپس

جدول ۳. مشخصات و اطلاعات آزمایش‌ها

Test No.	Fs/Rsm	Fca/Rsm	Fcm/Rsm	f (Hz)	Cycle No.	GP (kPa)	OP (kPa)
1	0.5	0.2	0.6	0.1	100	100	100
2	0.5	0.4	0.7	0.1	100	100	100
3	0.5	0.6	0.8	0.1	100	100	100
4	0.45	0.3	0.6	0.1	100	100	100
5	0.4	0.4	0.6	0.1	100	100	100

Table 3. Tests information

Rsm: حداکثر مقاومت بیرون کشش استاتیکی (kN)، Fs: نیروی بیرون کشش استاتیکی (kN)، Fca: دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی (kN)، Fcm: حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی (kN)، $Fs + Fca / 2 = Fcm$ ، f: فرکانس (Hz)، GP: فشار تزریق (kPa)، OP: فشار سربار (kPa)

شکل ۵. طرحواره نمودارهای آزمایش‌های بیرون کشش نیل استاتیکی و پسا سیکلی

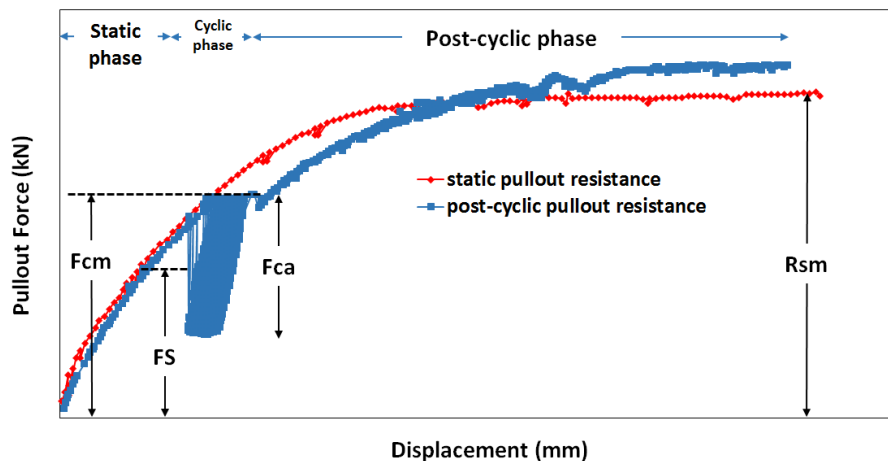


Fig. 5. Schematic diagrams of the static and post-cyclic Nile pullout tests

نیز به صورت درصدی از حداکثر مقاومت بیرون کشش استاتیکی (R_{sm}) انتخاب شده است. در این مطالعه فرکانس بارگذاری سیکلی 0.1 هرتز در نظر گرفته شده است [11]. در تمامی آزمایش‌های این پژوهش فشار سربار و فشار تزریق 1 بار (۱۰۰ کیلوپاسکال) و تعداد سیکل‌ها معادل ۱۰۰ عدد انتخاب شده است.

۴- تحلیل نتایج

۴-۱ اثر تغییرات F_{cm} و F_{ca} به ازاء F_s یکسان

در جدول (۳) که مشخصات و اطلاعات آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. کلیه پارامترهای F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی)، F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی) و F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی) درصدی از R_{sm} (حداکثر مقاومت بیرون کشش استاتیکی) است که در این جدول ملاحظه می‌شود. با توجه به جدول (۳) آزمایش‌های اول، دوم و سوم تغییرات F_{cm}/R_{sm} و F_{ca}/R_{sm} به ازاء F_s/R_{sm} یکسان را نشان می‌دهند. در این سه آزمایش $F_s = 0.5R_{sm}$ در نظر گرفته شده است. با توجه به آنکه آئین نامه‌ی FHWA ضریب اطمینان مقاومت بیرون کشش استاتیکی نیل را ۲ لحاظ می‌کند، بنابراین F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی اعمالی) در حد $R_{sm}/2$ (حداکثر مقاومت بیرون کشش استاتیکی نیل) در نظر گرفته می‌شود.

مشخصات و اطلاعات آزمایش‌های انجام شده در جدول (۳) آورده شده است. در شکل (۵) طرحواره‌ای از نمودارهای آزمایش‌های بیرون کشش نیل استاتیکی و پسا سیکلی مشاهده می‌شود. در این شکل جانمایی هر یک از پارامترهای جدول (۳) در نمودار یک آزمایش استاتیکی و یک آزمایش پسا سیکلی بیرون کشش نیل ملاحظه می‌شود. بارگذاری سیکلی در سطح باری معادل F_{cm} که معرف سطح تنش بهره‌برداری در عمل است و درصدی از R_{sm} یا حداکثر مقاومت بیرون کشش استاتیکی است شروع می‌شود. برای اعمال F_{cm} باید از رابطه: $F_{cm} = F_s + F_{ca}/2$ استفاده کرد. در این رابطه F_s نیروی بیرون کشش استاتیکی و F_{ca} دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی می‌باشند. به دلیل آنکه قبل از اعمال بارگذاری سیکلی بر نیل، نیل در تراز از خاک قرار دارد بنابراین باید اثر تنش وارد شده بر نیل قبل از اعمال بارگذاری سیکلی دیده شود. به همین دلیل F_s در رابطه اعمال F_{cm} قرار می‌گیرد. از آنجا که دستگاه بیرون کشش مورد استفاده در این پژوهش دامنه بارگذاری‌های سیکلی را به صورت دامنه ریاضی اعمال می‌کند بنابراین برای شروع بارگذاری سیکلی و ایجاد F_{cm} مقدار $F_{ca}/2$ در رابطه مذکور به F_s اضافه می‌شود. در بارگذاری سیکلی سه مشخصه‌ی اصلی شامل: شکل موج، فرکانس و دامنه موج در نظر گرفته می‌شود. شکل موج با توجه به ماهیت غالب بارهای دینامیکی به صورت سینوسی و دامنه سیکل‌ها (F_{ca})

در این آزمایش $F_s = 0.5R_{sm}$ است. در این آزمایش $F_{ca}/2 = 0.3R_{sm}$ است. بنابراین $F_{cm} = 0.8R_{sm}$ بدست می‌آید. با توجه به نمودار آزمایش سوم در شکل (۶)، حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی ۲۳/۹ کیلونیوتن در جابه‌جایی ۸ میلی‌متر بدست آمده است. که نسبت به آزمایش‌های اول و دوم کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی و نمو بسیار زیاد جابه‌جایی در مرحله سیکلی ملاحظه می‌شود.

نتیجه‌ای که با توجه به نمودارهای بدست آمده از این سه آزمایش در شکل (۶) می‌توان گرفت آن است که با ثابت ماندن F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی) در این سه آزمایش هم‌چنین افزایش توأمان F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی) و F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی) در آزمایش‌های دوم و سوم نسبت به آزمایش اول کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی و هم‌چنین افزایش نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی ملاحظه می‌شود.

مطالعه و مقایسه نتایج بدست آمده در این مجموعه از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اعمال بارگذاری سیکلی با دامنه پایین و کمتر از $0.6R_{sm}$ ، چیدمان دانه‌ها و آرایش آنها را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که بعد از اتمام بارگذاری سیکلی قادر به تأمین مقاومت بیرون کششی بیشتر از ظرفیت بیرون کشش استاتیکی بوده و در واقع خاک در شرایط کسب مقاومت مجدد قرار می‌گیرد. ولی با افزایش دامنه بارگذاری سیکلی به $0.6R_{sm}$ و بیشتر مقاومت بیرون کشش پسا سیکلی در انتهای آزمایش نسبت به مقدار متناظر استاتیکی کاهش یافته است. علاوه بر این اعمال بارگذاری با دامنه کم، نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی کمتری را نسبت به بارگذاری با دامنه بالا در پی داشته است. گرچه نسبت مشخصی بین افزایش دامنه بارسیکلی و نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی وجود ندارد و بیشترین نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی معادل ۱۰ برابر به ازاء ۳ برابر شدن دامنه بار است. در شرایطی که بار سیکلی در $F_{cm} = 0.8R_{sm}$ اعمال شود سهم زیادی از مقاومت برشی سطح مشترک نیل و خاک مستهلک شده و در بارگذاری پسا سیکلی کاهش مقاومت نسبت به شرایط استاتیکی اتفاق

در شکل (۶)، نمودار مقاومت بیرون کشش پسا سیکلی نیل آزمایش‌های اول، دوم و سوم (مطابق جدول ۳) در مقایسه با مقاومت بیرون کشش استاتیکی (با مشخصات آزمایشگاهی مشابه، [8])، که با استفاده از دستگاه بیرون کشش نیل دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است، ملاحظه می‌شود. در آزمایش اول $F_s = 0.5R_{sm}$ و $F_{ca}/2 = 0.1R_{sm}$ هم‌چنین در این آزمایش مطابق با رابطه‌ی اعمال:

$$F_{cm} = F_s + F_{ca}/2$$

که پیش‌تر بیان شده بود، $F_{cm} = 0.6R_{sm}$ بدست می‌آید. با توجه به نمودار آزمایش اول در شکل (۶)، حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی در این آزمایش ۳۷/۳ کیلونیوتن در جابه‌جایی ۵/۱ میلی‌متر بدست آمده است. در آزمایش دوم هم (مطابق آزمایش اول) $F_s = 0.5R_{sm}$ است.

شکل ۶. مقاومت بیرون کشش پسا سیکلی در مقایسه با مقاومت بیرون کشش استاتیکی (اثر بارگذاری سیکلی به ازاء بارگذاری استاتیکی یکسان)

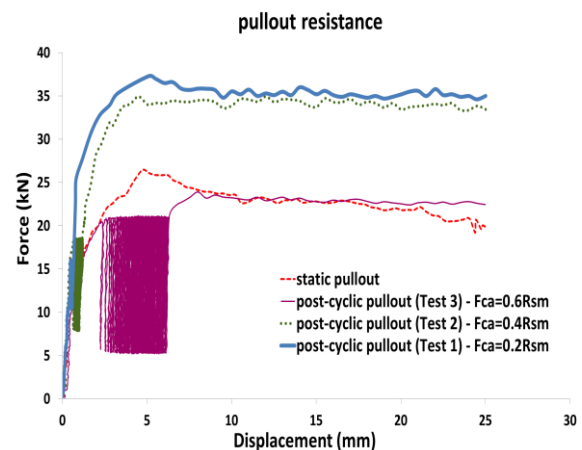


Fig. 6. Post-cyclic pullout resistance compared with static pullout resistance (Cyclic Effect in exchange for Same Static Load)

در این آزمایش $F_{ca}/2 = 0.2R_{sm}$ است. بنابراین $F_{cm} = 0.7R_{sm}$ بدست می‌آید. با توجه به نمودار آزمایش دوم در شکل (۶)، حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی ۳۴/۹ کیلونیوتن در جابه‌جایی ۴/۵ میلی‌متر بدست آمده است. که نسبت به آزمایش اول کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی و هم‌چنین نمو بیشتر جابه‌جایی در مرحله سیکلی ملاحظه می‌شود. در آزمایش سوم هم مانند دو آزمایش قبلی

مقاومت بیرون کشش استاتیکی نیل) در نظر گرفته می‌شود. $R_{sm}/1.5$ معادل $0.66R_{sm}$ بوده که برای اطمینان $0.6R_{sm}$ در نظر گرفته شده است.

در آزمایش اول (مطابق جدول ۳) به دلیل آنکه $F_{cm} = 0.6R_{sm}$ است و همچنین با توجه به رابطه اعمال F_{cm} : $F_{cm} = F_s + F_{ca}/2$ که پیش‌تر بیان شد. در نتیجه در این آزمایش $F_s = 0.5R_{sm}$ و $F_{ca}/2 = 0.1R_{sm}$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نمودار آزمایش اول در شکل (۸)، حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی $37/3$ کیلونیوتن در جابه‌جایی $5/1$ میلی‌متر بدست آمده است.

شکل ۸. مقاومت بیرون کشش پسا سیکلی در مقایسه با مقاومت بیرون کشش استاتیکی (اثر بارگذاری سیکلی به ازاء بارگذاری استاتیکی متغیر)

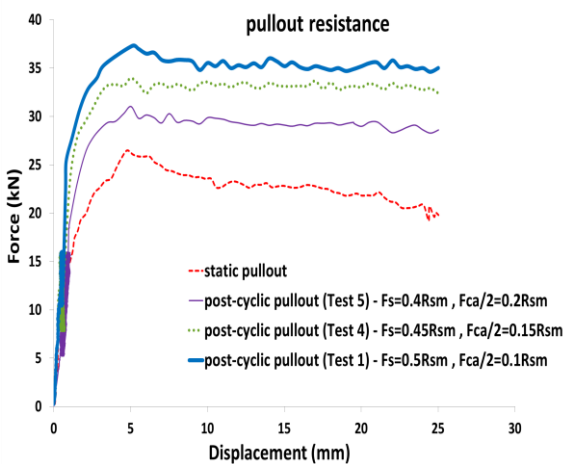


Fig. 8. Post-cyclic pullout resistance compared with static pullout resistance (Cyclic Effect in Exchange for Variable Static Load)

در آزمایش چهارم (مطابق جدول ۳) به دلیل آنکه $F_{cm} = 0.6R_{sm}$ است. در نتیجه در این آزمایش $F_s = 0.45R_{sm}$ و $F_{ca}/2 = 0.15R_{sm}$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نمودار آزمایش چهارم در شکل (۸)، حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی $33/9$ کیلونیوتن در جابه‌جایی 5 میلی‌متر بدست آمده است. که نسبت به آزمایش اول کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی و همچنین افزایش نمو بسیار جزئی جابه‌جایی در مرحله سیکلی دیده می‌شود.

افتاده است. در شرایط بارگذاری در سطوح پایین نیروی F_{cm} ، مقاومت ماسه بعد از اتمام بارگذاری سیکلی و شروع مرحله پسا سیکلی قابلیت کسب مجدد ظرفیت بیشتر از شرایط استاتیکی را دارد.

در شکل (۷) تغییرات حداکثر نیروی بیرون کشش پسا سیکلی در هر یک از آزمایش‌های اول، دوم و سوم نسبت به $F_{ca} - F_{ca}$ های متناظرشان ملاحظه می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود رفتار فوق یک رفتار دو خطی بوده و با افزایش دامنه بیرون کشش سیکلی مقاومت پسا سیکلی با شدت بیشتری کاهش می‌یابد.

شکل ۷. تغییرات نیروی حداکثر بیرون کشش پسا سیکلی با دامنه بارگذاری سیکلی

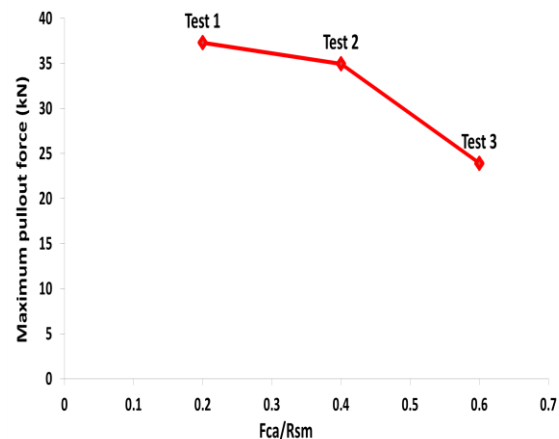


Fig. 7. Maximum force changes of post-cyclic pullout with cyclic loading range

۴-۲ اثر تغییرات F_{ca} و F_s به ازاء F_{cm} یکسان

با توجه به جدول (۳) آزمایش‌های اول، چهارم و پنجم تغییرات F_s/R_{sm} و F_{ca}/R_{sm} به ازاء F_{cm}/R_{sm} یکسان را نشان می‌دهند. در این سه آزمایش $F_{cm} = 0.6R_{sm}$ در نظر گرفته شده است. با توجه به آنکه آئین نامه FHWA ضریب اطمینان مقاومت بیرون کشش دینامیکی را $1/5$ لحاظ می‌کند. بنابراین F_{cm} حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی نیل) در حد $R_{sm}/1.5$ (حداکثر R_{sm}).

بارگذاری سیکلی مقاومت بیرون کشش پساسیکلی کاهش یافته است. ولی این کاهش مقاومت به مقدار متناظر استاتیکی نرسیده و از آن بیشتر است. در شرایط بارگذاری در سطوح بالای نیروی F_s مقاومت ماسه بعد از اتمام بارگذاری سیکلی و شروع مرحله پساسیکلی قابلیت کسب مجدد ظرفیت بیشتر از شرایط استاتیکی را دارد. به بیان دیگر، نیل‌های موجود در نزدیکی سطح زمین که تحت ارتعاش بالاتر قرار می‌گیرند نسبت به نیل‌های مدفون در عمق که ارتعاش کمتری به آنها می‌رسد، مقاومت پساسیکلی کمتری دارند.

در شکل (۹) تغییرات حداکثر نیروی بیرون کشش پساسیکلی در هر یک از آزمایش‌های اول، چهارم و پنجم را نسبت به F_{ca} های متناظرشان ملاحظه می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود رفتار فوق یک رفتار خطی بوده و با افزایش دامنه بیرون کشش سیکلی همزمان با کاهش نیروی بیرون کشش استاتیکی (در حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی ثابت) مقاومت پساسیکلی خطی کاهش می‌یابد.

شکل ۹. تغییرات نیروی حداکثر بیرون کشش پساسیکلی با دامنه بارگذاری سیکلی

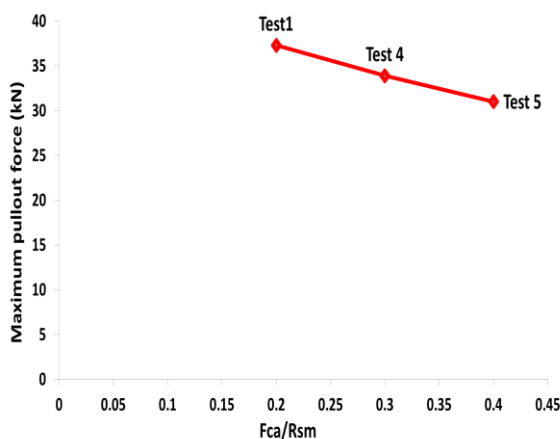


Fig. 9. Maximum force changes of post- cyclic pullout with cyclic loading range

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در آزمایش پنجم (مطابق جدول ۳) به دلیل آنکه $F_{cm} = 0.6R_{sm}$ است. در نتیجه در این آزمایش $F_s = 0.4R_{sm}$ و $F_{ca}/2 = 0.2R_{sm}$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نمودار آزمایش پنجم در شکل (۸)، حداکثر نیروی بیرون کشش پساسیکلی ۳۱ کیلو نیوتن در جابه‌جایی ۵ میل‌متر بدست آمده است. که نسبت به آزمایش‌های اول و چهارم کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پساسیکلی و افزایش جزئی نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی دیده می‌شود.

نتیجه‌ای که با توجه به نمودارهای بدست آمده از این سه آزمایش در شکل (۸) می‌توان گرفت آن است که با ثابت ماندن F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی) در این سه آزمایش هم‌چنین با کاهش F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی) و افزایش F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی) در آزمایش‌های چهارم و پنجم نسبت به آزمایش اول کاهش نیروی بیرون کشش پساسیکلی و هم‌چنین نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی ملاحظه می‌شود.

مطالعه و مقایسه نتایج بدست آمده در این مجموعه از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اعمال بارگذاری سیکلی با دامنه F_{ca} پایین و کمتر از $0.4R_{sm}$ چیدمان دانه‌ها و آرایش آنها را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که بعد از اتمام بارگذاری سیکلی قادر به تأمین مقاومت بیرون کششی بیشتر از ظرفیت بیرون کشش استاتیکی بوده و در واقع خاک در شرایط کسب مقاومت مجدد قرار می‌گیرد. ولی با افزایش دامنه بارگذاری سیکلی به $0.4R_{sm}$ ، مقاومت بیرون کشش پساسیکلی کاهش یافته ولی این کاهش مقاومت به مقدار متناظر استاتیکی نرسیده و از آن بیشتر است. علاوه بر این اعمال بارگذاری با دامنه کمتر نمو جابه‌جایی کمتری را نسبت به بارگذاری با دامنه بالاتر را در پی داشته است. گرچه نسبت مشخصی بین افزایش دامنه بار سیکلی و نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی وجود ندارد و بیشترین نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی تقریباً ۵۰ درصد به ازاء ۲ برابر شدن دامنه بار است. در شرایطی که بار سیکلی در $F_s = 0.4R_{sm}$ اعمال می‌شود به دلیل کاهش سهم تنش وارد شده بر نیل قبل از اعمال

نیل از دیگر محدودیت‌های این پژوهش است به عبارت دیگر استفاده از تجهیزات پیشرفته‌تر از جمله دستگاه میز لرزه یا اعمال بار سیکلی در سطح خاک علاوه بر بار سیکلی بر نیل می‌تواند منجر به نتایج واقعی‌تر شود.

۶- تقدیر

از شرکت سنگ آهن گوهر زمین به عنوان حامی ساخت دستگاه تعیین مقاومت بیرون کشیدگی نیل که بخشی از این پژوهشها با دستگاه مذکور انجام شده است، تقدیر و تشکر می‌شود.

References

۷- مراجع

- [1] Yin J. H., Zhou W. H. 2009 Influence of Grouting Pressure and Overburden Stress on the Interface Resistance of a Soil Nail. *ASCE*, 135(9), 1198-1208
- [2] Nicknezhad H. 2018 Experimental Study on the Effect of Grout Component's, Grouting Pressure, Overburden Pressure and Grout Hardening Time on soil Nail pullout Resistance. *MSc Thesis, Tarbiat Modares University* (In Persian)
- [3] Hong C. Y., Zhang Y. F., Li G. Y. 2015 Experimental Study on the Influence of Drillhole Roughness on the Pullout Resistance of Model Soil Nails. *ASCE*, 16(2), P.04015047
- [4] Hong Y. S., Wu C. S., Yang S. H. 2003 Pullout Resistance of Single and Double Nails in a Model Sandbox. *Can. Geotech*, 40(5), 1039-1047
- [5] Tokhi H., Ren G., Li J. 2018 Laboratory Pullout Resistance of a New Screw Soil Nail in Residual Soil. *Can. Geotech*, 55(5), 609-619
- [6] Chu L. M., Yin J. H. 2005 Comparison of Interface Shear Strength of Soil Nails Measured by Both Direct Shear Box Tests and Pullout Tests. *ASCE*, 131(9), 1097-1107
- [7] Nayeri A., Fakharian K. 2010 Design and Development of Cyclic Pullout Test Apparatus. *Amirkadir civil and Environmental Engineering*, 41(2), 137-146 (In Persian)
- [8] Behzadian A. R. 2016 Analysis the Effect of Grouting Pressure, Overburden Pressure and Matric Suction on Soil Nail Pullout Resistance. *MSc Thesis, Tarbiat Modares University* (In Persian)
- [9] Su L. J., Chan T. C., Yin J. H., Shiu Y. K., Chiu S. L. 2008 Influence of Overburden Pressure on Soil-nail

در این پژوهش آزمایش‌های آزمایشگاهی بیرون کشش پساسیکلی نیل روی خاک ماسه فیروزکوه تحت شرایط فشار تزریق و فشار سربار یکسان (۱ بار) در دو حالت انجام گرفته است. حالت اول: تغییر ضرایب پارامترهای F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی) و F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی) به ازاء یکسان بودن ضریب پارامتر F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی). حالت دوم: تغییر ضرایب پارامترهای F_{ca} و F_s به ازاء یکسان بودن ضریب پارامتر F_{cm} بر این اساس نتایج بدست آمده عبارتند از:

۱- هنگامی که F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی) ثابت باشد با افزایش توأمان ضریب پارامتر F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی) و ضریب پارامتر F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی)، نیروی بیرون کشش پساسیکلی نیل به صورت دو خطی کاهش می‌یابد.

۲- هنگامی که F_{cm} (حداکثر نیروی بیرون کشش سیکلی) ثابت باشد توأمان با کاهش F_s (نیروی بیرون کشش استاتیکی) و افزایش F_{ca} (دامنه نیروی بیرون کشش سیکلی)، کاهش حداکثر نیروی بیرون کشش پساسیکلی به صورت خطی است.

۳- با افزایش دامنه بارگذاری (F_{ca})، حتی اگر کاهش قابل ملاحظه و تعیین کننده‌ای در مقاومت پساسیکلی به گونه‌ای که باعث ناپایداری نمونه ناشی از بیرون کشش شود، اتفاق نیفتد؛ ولی نمو جابه‌جایی در مرحله سیکلی افزایش یافته و احتمال می‌رود که در تعداد بالا حتی منجر به گسیختگی نیل و بیرون آمدن آن از خاک شوند. بنابراین در طراحی مهندسی پیشنهاد می‌شود ملاحظات ویژه‌ای در مورد وقوع جابه‌جایی‌های زیاد در مرحله سیکلی در خلال بار سیکلی و تشدید این رفتار با افزایش دامنه بارگذاری مبذول شود.

شایان به ذکر است که در این پژوهش پارامترهای فرکانس، تعداد سیکل، فشار تزریق و فشار سربار ثابت در نظر گرفته شده است. بنابراین ذکر این نکته ضروری است که اعتبار دستاوردهای این پژوهش برای محدوده پارامترهای مذکور است. بنابراین خاطر نشان می‌شود اعمال بار سیکلی فقط بر

[11] Raju D. M., Fannin R. J. 2003 Load-strain-displacement Response of Geosynthetics in Monotonic and Cyclic Pullout. *Canadian Geotechnical Journal*, 35: P. 183-93

Pullout Resistance in a Compacted Fill. *ASCE*, 134(9), 1339-1347

[10] Elias V. 1991 Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations. FHWA-RD-89-198

Effect of cyclic loading parameters on post-cyclic pullout resistance of soil nail

Behrouz abdolsamadi bonab¹, Mohammd Oliaei^{*2}

1 M.Sc. Student, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University

2 Assistant Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

^{*}M.Olyaei@modares.ac.ir^{*}

Abstract:

Pullout resistance of cement-grouted soil nails is a key factor affecting the safety conditions of retaining walls, slopes and excavations. Hence, survey of resistance of pullout nail is the one of the most important parameters in designing of nailing functions. This parameter depends on critical factors including: instalation method, overburden pressure, grouting pressure, degree of saturation of the soil, the roughness of nail surface, changes of lengh & diameter of nail and the shear strengh of the soil. Sometimes, used soil nail layers affected by cyclic loads due of traffic passing, train and so on. Hence the research aimed to study influence of this kind loadings on resistance of nail post-cyclic pullout and affective factors on it. The study pointed to apply slopes and nailed retaining walls next to traffic loads and rail-roads. Several studies conducted; according to, vary factors influence on nail pullout behavior that buried into soil. Key studies carried out in form of impression of static loading on nail pullout resistance including: overburden stress, grouting stress, impression of an addition to grouting, nail geometry, nail spaces, using spiral nails, comparison laboratory results of pullout set with direct shear test in interface grouted-nail to earn identical ratio and etc. yet, it not examinated cyclic loading impression on post-cyclic pullout resistance in nails. The study just focus on geogrid. For the first time, this research provide impression of cyclic loading on post-cyclic pullout resistance in nails. This research used nail pullout set; able to apply static and cyclic loads in conditions of force or displacement controlling with differnt frequencies and sinus shape of cyclic wave. This search used the notes of specifications of pullout set; also, sampling due to test and tables of done tests. In this research examined affection of variation of static, cyclic load rate. Resistance of post-cyclic pullout nail generally is more to static pullout resistance; even though , more affections of cyclic loading lead to decrease of resistance; also, observed in the cyclic part developing in displacement. Results shown increasing amplitude of cyclic loading in exchange of same satatic pullout force; is unlinear decreasing post cyclic resistance. Even though, increasing amplitude of cyclic loading in exchang of decreasing of static pullout force (when affection of complex of two mentioned parameters is unchanged), it is linear decreasing post cyclic pullout.

Key words : pullout resistance , soil nail , post-cyclic , static and cyclic load