

بررسی آزمایشگاهی شیروانی‌های خاکی تسلیح شده با تایر فرسوده بر مبنای جابجایی افقی

میرهادی میرنقی زاده^۱، محمد حاجی عزیزی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

*mhazizi@razi.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۵

چکیده

در سال‌های اخیر تعداد لاستیک‌های فرسوده در سراسر جهان با سرعت زیادی در حال افزایش است و تبدیل به یک مشکل زیست‌محیطی و اقتصادی شده است. امروزه انباشت تایرهای فرسوده در محیط‌زیست یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای حفظ محیط‌زیست به شمار می‌رود و بازیافت یا استفاده مجدد تایرهای فرسوده بهترین راهبرد برای حل این معضل است. استفاده از تایرهای فرسوده در پروژه‌های عمرانی و ژئوتکنیکی یکی از راهبردهای موثر در این راستاست. در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی شیروانی‌های خاکی تسلیح شده با تایر فرسوده بر مبنای جابجایی افقی (۲۵ آزمایش) پرداخته شده است. در طی بارگذاری از مدل‌ها تصاویر دیجیتال گرفته شده است و از روش سنجش تغییر مکان ذرات در تصویر (PIV) استفاده شده است. پارامترهایی نظیر طول لایه‌های تایر، تعداد لایه‌ها و موقعیت لایه‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از تقویتی تایر تأثیر قابل توجهی بر کاهش جابجایی افقی زیر شالوده و سطح شیب دارد. ردیف‌های افقی تایر بهترین موقعیت تسلیح کننده از نظر بهبود ظرفیت باربری و جابجایی جانبی هستند. وقتی چهار لایه تایر تقویتی با طول ۶۰ سانتی‌متر در نیمه‌ی بالایی شیب قرار می‌گیرد ظرفیت باربری ۳ برابر افزایش و جابجایی جانبی در زیر شالوده ۳/۱ برابر کاهش می‌یابد. وقتی که سه لایه تایر با طول ۶۰ سانتی‌متر در یک‌سوم بالایی شیب قرار می‌گیرد ظرفیت باربری ۲/۳ برابر و جابجایی جانبی در زیر شالوده ۱/۳ برابر افزایش می‌یابد. وقتی که شش، هشت و نه لایه تایر تقویتی با طول ۶۰ سانتی‌متر در شیب قرار می‌گیرد، جابجایی جانبی در زیر شالوده بیش از ۳/۵ برابر کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: شیروانی‌های خاکی، تقویت توسط تایر، ظرفیت باربری، جابجایی جانبی.

۱- مقدمه

از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرها، چگونگی بازیافت و نحوه‌ی حذف ضایعات لاستیکی از محیط است. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی انباشت تایرهای فرسوده به دلیل ریسک آتش‌سوزی و همچنین زادوولد انواع حشرات و موجودات موزی که خود می‌تواند ناقل انواع بیماری‌ها به انسان باشند. بازیافت تایرهای فرسوده و استفاده از آن‌ها در محصولات دیگر می‌تواند راهکار مناسبی برای حذف این‌گونه معضلات باشد علاوه بر موارد ذکر شده ایجاد چشم اندازهای زشت در حومه‌ی شهرها و جاده‌ها که با ملاحظات شهرسازی کاملاً در تناقض است، از دیگر معضلات انباشت پر حجم تایرهای فرسوده است [1-4].

گزارشی که در سال (۲۰۰۵) توسط انجمن سازندگان لاستیک ایالات متحده ارائه شده است نشان‌دهنده‌ی سهم ۱۶ درصد مهندسی عمران در بازیافت تایرهای فرسوده در این کشور می‌باشد [5]. هشت کارخانه‌ی بزرگ تایرسازی در کشور به‌طور متوسط سالانه حدود ۱۳,۵ میلیون حلقه تایر تولید می‌کنند که با واردات بیش از ۴ میلیون حلقه تایر، به‌صورت جمعی به‌طور متوسط ۱۷,۵ میلیون حلقه تایر، مصرف سالانه‌ی تایر کشور است. در این میان به‌طور متوسط بیش از ۱۰۰ هزار حلقه ضایعات خط تولید کارخانه‌های مختلف تایرسازی، به همراه تایرهای مصرف‌شده و مستعمل، حجم بسیار زیاد و قابل توجهی از این ضایعات را به وجود می‌آورد [6].

در سال‌های اخیر لاستیک در حوزه‌های مختلفی از مهندسی ژئوتکنیک بکار گرفته شده است. از لاستیک فرسوده در تقویت دیوارهای حائل [7-9]، شالوده [10,11]، بهبود خصوصیات خاک [12,13]، خاکریزها و شیروانی‌ها و... استفاده شده است و بنابراین اعتقاد بر این است که خاک مسلح با تایر به یک کاربرد گسترده‌تر در آینده تبدیل شود، به‌ویژه در کشورهایی که هزینه‌های نیروی کار کم است [14,15].

اولین دیوار حائل تقویت‌شده با لاستیک (ارتفاع ۵ متر و طول ۱۰ متر) به سال ۱۹۸۴ در فرانسه برمی‌گردد. دومین دیوار حائل تقویت‌شده با لاستیک (ارتفاع ۴ متر و طول ۶۰ متر) سال ۱۹۹۰ در برزیل اجرا شد [16]. تکنیک‌های دیگری از تقویت شیب و دیوارهای حائل توسط لاستیک در کشورهای زیادی امتحان شده است [17].

ظرفیت بیرون کشیدگی ضایعات تایر ۱,۲۵ برابر یک ژئوسل و یا مواد مشابه تقویت‌کننده در خاک است [18].

بلابدوهاب و کبایلی به مطالعه یک شیروانی تسلیح شده با لاستیک در مقیاس واقعی در کشور الجزایر پرداخته است. در این پروژه در حدود ۶۰۰۰ لاستیک فرسوده کامیون برای پایدارسازی شیروانی استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب تایر در افزایش پایدارسازی شیب است [19].

مندال و همکاران پژوهشی با مدل‌سازی سانتریفوژی خاک مسلح شیب‌ها با استفاده از تراشه تایر انجام داده‌اند. این مطالعه نشان داد با افزایش درصد تراشه‌های تایر (۲,۵٪ تا ۱۰٪) ضرایب اطمینان افزایش و پارامترهای مقاومت برشی (C و ϕ) بهبود می‌یابد [20]. لی و همکاران به مطالعه کوچک‌مقیاس از خاکریز تقویت‌شده با تایر پرداخته‌اند نتایج نشان داد که تقویت تایر عملکرد خاکریز را بسیار بهبود می‌بخشد [21].

اکثر مطالعات آزمایشگاهی و عددی در دیوارهای حائل و خاکریزها با ترکیب خرده تایر با خاک بررسی شده است. به علت درک ناکافی از مکانیسم تایر لاستیک به شکل کامل در خاک مسلح، آزمایش بر روی یک مدل کوچک‌مقیاس شیروانی، در این مقاله بررسی شده است. تاکنون مطالعه آزمایشگاهی کوچک‌مقیاس که آرایش‌های مختلف، تعداد لایه‌های مختلف، طول‌های مختلف تایرهای لاستیکی در سطح شیب را بررسی کند انجام نگرفته است. در این مطالعه اثرات تقویتی لایه‌های افقی تایر در شیب به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی جانبی بررسی شده است.

۲- بررسی آزمایشگاهی

۲-۱- تجهیزات آزمایش

تجهیزات آزمون از بخش‌های اصلی زیر تشکیل شده است: آزمون در یک باکس با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۲، ۱، ۱ متر انجام شد. باکس با سه صفحه فولادی از طرفین، یک صفحه فولادی از پایین و از جلو با ورق پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر برای بررسی تغییر شکل‌ها استفاده شده است. از یک سیستم بارش خشک برای رسیدن به یک تراکم نسبی یکنواخت و محیط همگن خاک استفاده شده است. چارچوب بارگذاری دو ستون فولاد سفت و

از دو عدد LVDT قوت ۰/۰۱ و رنج ۱۰ میلی‌متر در طرفین شالوده جهت محاسبه و تأیید نتایج روش سنجش تغییر مکان ذرات در تصویر استفاده شده است. شکل شماتیک از تجهیزات آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است. همه مدل‌ها با فرم لاستیک ضایعات از وسایل نقلیه برقی با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۵ سانتی‌متر (شکل ۲) تقویت شده‌اند. تایرها با استفاده از یک سیم فلزی به هم وصل شده‌اند.

شکل ۱. شکل شماتیک از تجهیزات آزمایشگاهی (الف) نما از روبرو (ب) نما از بالا

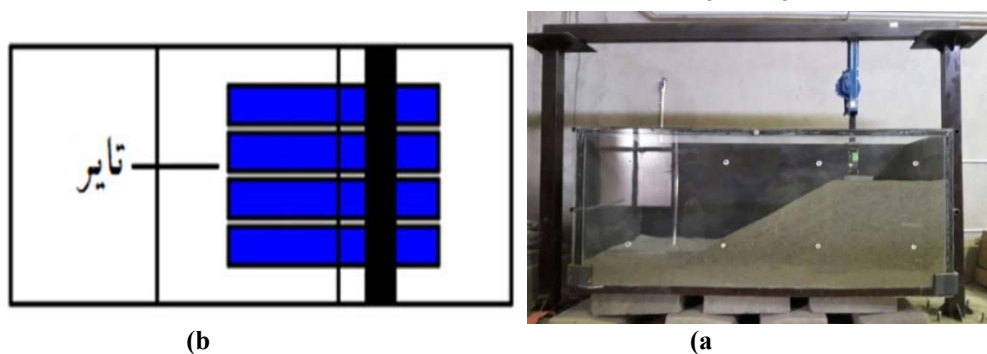


Fig. 1. Schematic view of the experimental apparatus (a) Elevation view and (b) Plan view

شکل ۲. تایرهای مورد استفاده در آزمایش



Figure. 2. Tires used in tests

شکل ۳ نشان داده است. وزن مخصوص متوسط خاک در آزمون ۱۷,۳۰ کیلو نیوتن/مترمکعب می‌باشد. زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ماسه با انجام آزمایش برش مستقیم به ترتیب ۳۸ و ۰ کیلو پاسکال اندازه‌گیری شده است.

شکل ۳. توزیع اندازه ذرات از خاک

سنگین و یک تیر افقی است که جهت پشتیبانی سیستم بارگذاری است. از جک هیدرولیکی دستی برای بارگذاری درست بر مرکز پی نواری استفاده شده است. یک لودسل با ظرفیت ۱۸ کیلو نیوتن و با دقت $\pm 0.01\%$ نیز استفاده شد و هنگام بارگذاری بین سیستم بارگذاری و شالوده نواری قرار می‌گیرد. شالوده ۹۹۵ میلی‌متر طول، ۱۵ میلی‌متر در عرض و ۳۰ میلی‌متر در ضخامت استفاده شده است. طول شالوده تقریباً با عرض مخزن یکسان در نظر گرفته شده است.

۲-۲- مصالح آزمایش

مواد آزمون مورد استفاده در این تحقیق ماسه سست در حالت خشک می‌باشد. حداکثر و حداقل تراکم خشک ماسه به ترتیب ۱۹,۴۳ و ۱۶,۳۶ کیلو نیوتن/مترمکعب می‌باشد. توزیع اندازه ذرات از طریق استفاده از روش الک خشک تعیین شده است. نتایج دانه‌بندی در

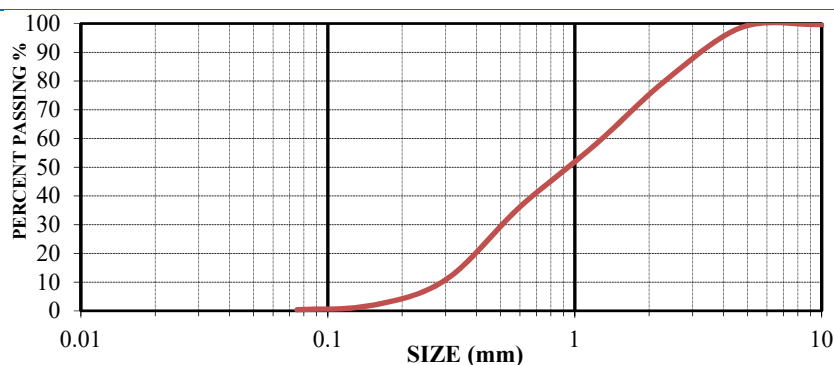


Fig. 3. Grain size distribution of the soil

۲-۴- برنامه آزمایش‌ها

۲۵ آزمایش در موقعیت‌های متفاوت از شیب، طول‌ها و تعداد مختلف لایه تقویتی تایر طبق جدول شماره ۱ اجرا شده است. شیب‌های خاک مدل در ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و طول ۸۰ میلی‌متر ساخته شد. لایه‌های تایر به صورت افقی با دست قرار گرفته شده است.

۲-۳- تجزیه و تحلیل تصویر با استفاده از روش PIV

تصاویر دیجیتال گرفته شده از خاک در طول آزمایش از طرف جلو مخزن آزمون انجام شد. تصاویر با استفاده از نرم‌افزار GeoPIV توسعه یافته در دانشگاه کمبریج پردازش شد [22]. تجزیه و تحلیل PIV استفاده از تکه‌های ۳۲*۳۲ پیکسل، فاصله مرکز به مرکز ۳۲ پیکسل در یک ناحیه جستجو از تکه‌های ۶۴*۶۴ پیکسل انجام شد.

جدول ۱ برنامه‌های آزمایش‌ها

Test name	The number of layers of reinforcement	Position of reinforcement	Length reinforcement in the horizontal direction
A1		Unstabilized slope	
A2	4		60
A3	4	In the upper half of the slope	40
A4	4		20
A5	4		60
A6	4	In the lower half of the slope	40
A7	4		20
A8	8		60
A9	8	Across the slope	40
A10	8		20
A11	3		60
A12	3	In the upper third of the slope	40
A13	3		20
A14	3		60
A15	3	In the middle third of the slope	40
A16	3		20
A17	3	In the lower third of the slope	60
A18	3		40
A19	3		20
A20	6		60
A21	6	In the upper two-thirds of the slope	40
A22	6		20
A23	9		60
A24	9	Across the slope	40
A25	9		20

Table 1. Experimental Testing Program

۳- نتایج

۳-۱- بدون تسلیح کننده

در شکل ۴ به تصویر کشیده شده است. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود جابجایی‌های جانبی زیر شالوده به سمت شیب نسبت به طرف دیگر مقدار قابل توجه و بزرگ‌تری است.

اولین آزمایش (A1) شیب در حالت بدون تسلیح می‌باشد. سطح بحرانی لغزش و بردار جابجایی جانبی شیب بدون تقویتی

شکل ۴. شیب در حالت بدون تسلیح (الف) سطح لغزش بحرانی (ب) بردار جابجایی جانبی

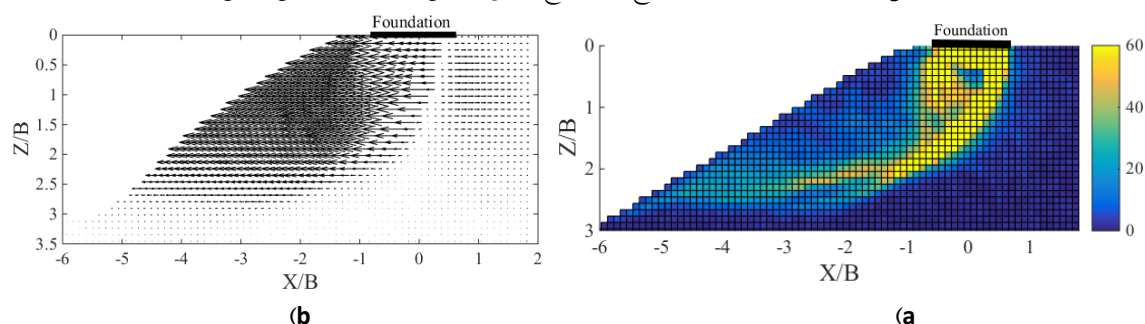


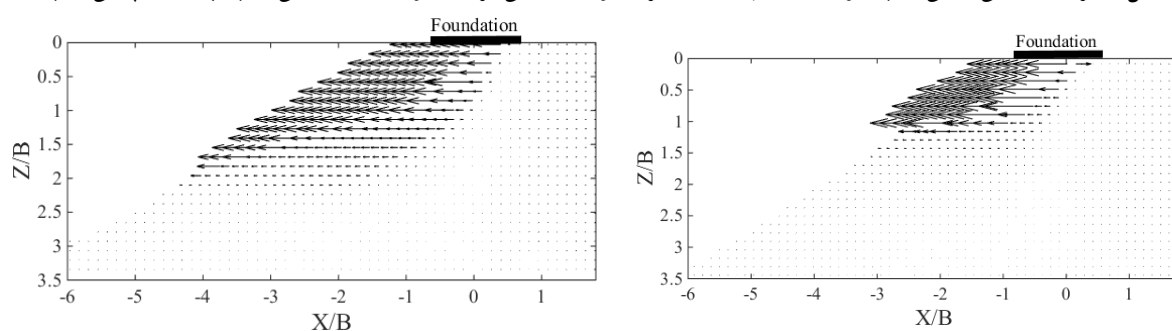
Figure 4. Unstabilized slope a. Critical slip surface b. Lateral displacement vectors

۲-۳- چهار و هشت لایه تایر تقویت کننده

در این بخش به صورت جمعی ۹ آزمایش انجام شد بطوریکه چهار لایه تقویتی با طول‌های مختلف (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر) در نیمه بالایی شیب و نیمه پایینی شیب و هشت لایه تایر در سراسر شیب با طول‌های مختلف (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر)

قرار گرفته شد. در شکل ۵ بردار جابجایی جانبی شیب تقویت شده با چهار لایه تایر با طول ۲۰ سانتی‌متر نشان داده شده است. در جدول ۲ ظرفیت باربری نهایی و تغییر شکل جانبی ماکزیمم زیر شالوده و سطح شیب با ۴ و ۸ لایه تقویتی تایر برای آرایش‌ها و طول‌های مختلف ارائه شده است.

شکل ۵. بردار جابجایی جانبی شیب تقویت شده با چهار لایه تایر با طول ۲۰ سانتی‌متر (الف) موقعیت نیمه بالایی شیب (ب) نیمه پایینی شیب



a (b)

Figure 5. Soil displacement vectors stabilized slope with four-layered tire-length 20 cm a. in portions of the upper half slope b. in portions of the lower half slope

نمودار جابجایی جانبی در عمق برای ۴ و ۸ لایه تقویتی تایر در شیب به ترتیب در اشکال ۶، ۷ نشان داده شده است.

طبق شکل ۴، ۵ مشاهده می‌شود وقتی شالوده مجاور شیب تحت بارگذاری قرار می‌گیرد جابجایی‌های جانبی به زیر شالوده و به سمت شیب انتقال می‌یابد و جابجایی جانبی کمتری به قسمت خارج شیب انتقال می‌یابد.

جدول ۲. ظرفیت باربری نهایی و تغییر شکل جانبی ماکزیمم زیر شالوده و سطح شیب برای ۴ و ۸ لایه تقویتی تایر

Test name	qu (Ultimate bearing Capacity) kPa	Ultimate lateral displacement beneath the footing (mm)	Ultimate lateral displacement in the upper edge of the slope (mm)
A1	24.32	-14.5	-25.1
A2	78.37	-4.6	-9.2
A3	35.01	-10.6	-23.7
A4	24.72	-10.3	-23.1
A5	40.53	-10.6	-15.4
A6	25.92	-13.7	-23.4
A7	24.34	-14.1	-24.1

A8	86.40	-3.9	-12.2
A9	36.18	-9.2	-20.3
A10	30.78	-5.3	-14.7

Table 2. Ultimate Bearing Capacity and Ultimate Lateral of Tire-Reinforced Slope with Four and Eight Layers with Unreinforced Slope

در ظرفیت باربری و جابجایی شالوده قابل توجه است. جابجایی جانبی در سطح شیب در مقایسه با جابجایی جانبی زیر شالوده مقدار کمتری می‌باشد. بهترین موقعیت به لحاظ ظرفیت باربری جابجایی جانبی در استفاده از چهار لایه تایر تقویتی در نیمه‌ی بالایی شیب می‌باشد.

طبق جدول ۲ در آزمایش شیب تقویت نشده مشخص می‌شود هرچه طول لایه تقویتی بیشتر شود ظرفیت باربری به‌طور قابل توجهی افزایش و جابجایی جانبی کاهش پیدا می‌کند. مخصوصاً زمانی که طول تایر تقویتی ۶۰ سانتی‌متر است و طول تسلیح از گوه‌ی گسیختگی عبور می‌کند بهبود

شکل ۶. جابجایی جانبی در عمق برای ۴ لایه تایر تقویتی در شیب الف) زیر مرکز شالوده ب) سطح شیب

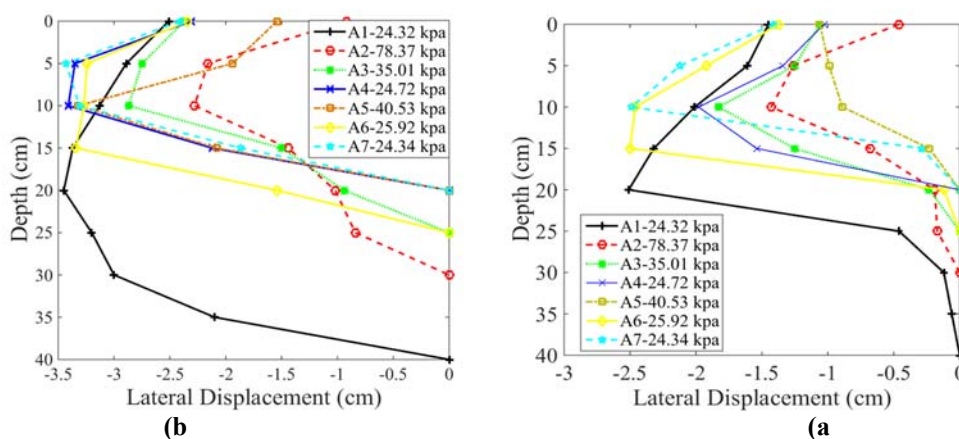


Figure 6. Lateral displacement in depth for 4 layers of tire reinforcement in slope a) footing b) edge slope

شکل ۷. جابجایی جانبی در عمق برای ۸ لایه تایر تقویتی در شیب الف) زیر مرکز شالوده ب) لبه‌ی شیب

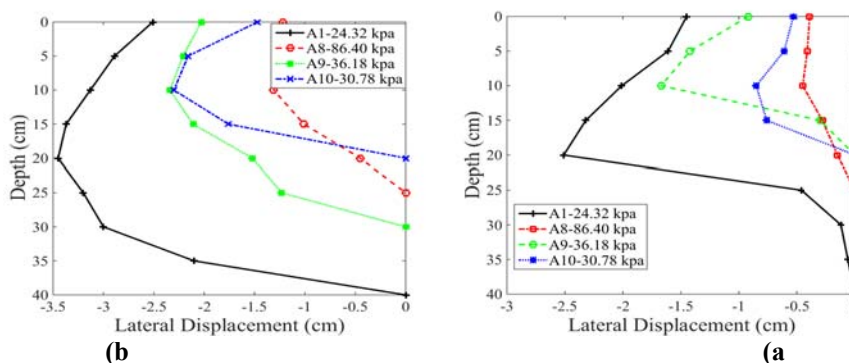


Figure 7. Lateral displacement in depth for 8 layers of tire reinforcement in slope a) footing b) edge slope

۳-۳- سه، شش و نه لایه تایر تقویت کننده

ظرفیت باربری نهایی و تغییر شکل جانبی ماکزیمم زیر شالوده و سطح شیب برای ۳، ۶ و ۹ لایه تقویتی تایر در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که از اشکال ۶، ۷ مشاهده می‌شود حداکثر جابجایی جانبی در شیب تقویت نشده تا عمق ۴۰ سانتی‌متری انتقال می‌یابد و با حضور تقویتی به اعماق کمتری به عمق ۲۰ سانتی‌متری یا نصف حالت بدون تقویتی انتقال می‌یابد.

جدول ۳. ظرفیت باربری نهایی و تغییر شکل جانبی ماکزیمم زیر شالوده و سطح شیب برای ۳، ۶ و ۹ لایه تقویتی تایر

Test name	qu (Ultimate bearing Capacity) kPa	Ultimate lateral displacement beneath the footing (mm)	Ultimate lateral displacement in the upper edge of the slope (mm)
A1	24.32	-25.1	-14.5
A11	56.71	-15.1	-10.8
A12	29.72	-22.4	-14.1
A13	28.08	-20.4	-9.2

A14	35.10	-21.5	-11.5
A15	27.54	-20.2	-13.3
A16	26.46	-22.3	-12.9
A17	25.92	-12	-12.3
A18	25.38	-15.2	-13.9
A19	25.59	-15.6	-14.3
A20	86.44	-4.6	-2.6
A21	33.48	-15.4	-11.3
A22	29.70	-19.7	-14.3
A23	88.47	-10.4	-2.1
A24	36.72	-22.5	-11.2
A25	31.32	-23.7	-13.9

Table 3. Ultimate bearing capacity and ultimate lateral displacement of three, six and nine-layered reinforcement tires slopes and unreinforcement slope

جانبی یک سوم بالایی شیب می باشد. وقتی طول تایرهای تقویتی افزایش می یابد ظرفیت باربری به میزان قابل توجهی افزایش می یابد و جابجایی جانبی کاهش پیدا می کند مخصوصاً زمانی که در یک سوم بالایی شیب قرار می گیرد. وقتی از ۶ و ۹ لایه تایر تقویتی با طول ۶۰ سانتی متر (A۲۳، A۲۰) بیش از ۳،۵ برابر ظرفیت باربری و بیش از ۵،۵ برابر جابجایی زیر شالوده را کاهش می دهد. جابجایی جانبی در سطح شیب نسبت به جابجایی زیر شالوده بزرگ تر می باشد. جابجایی جانبی در عمق برای ۳،۶،۹ لایه تایر تقویتی در شیب به ترتیب در اشکال ۸، ۹، ۱۰ نشان داده شده است.

در این بخش به صورت جمعی ۱۵ آزمایش انجام شد بطوریکه ۹ آزمایش شامل سه لایه تقویتی افقی با طول های مختلف (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متر) در یک سوم بالایی، یک سوم میانی و یک سوم پایینی شیب و سه آزمایش با ۶ لایه تایر در دو سوم بالایی شیب و سه آزمایش با ۹ لایه تایر در سراسر شیب با طول های مختلف (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متر) انجام گرفته است. (A۱۱) سه لایه تایر با طول ۶۰ سانتی متر در یک سوم بالایی شیب قرار می گیرد نسبت به شیب بدون تسلیح ظرفیت باربری بیش از ۲،۳ برابر و جابجایی جانبی زیر شالوده و لبه ی شیب به ترتیب ۱،۳، ۱،۶ برابر افزایش می یابد. بهترین موقعیت در سه لایه تایر تقویتی در شیب به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی

شکل ۸- جابجایی جانبی در عمق برای ۳ لایه تایر تقویتی در شیب الف) زیر مرکز شالوده ب) سطح شیب

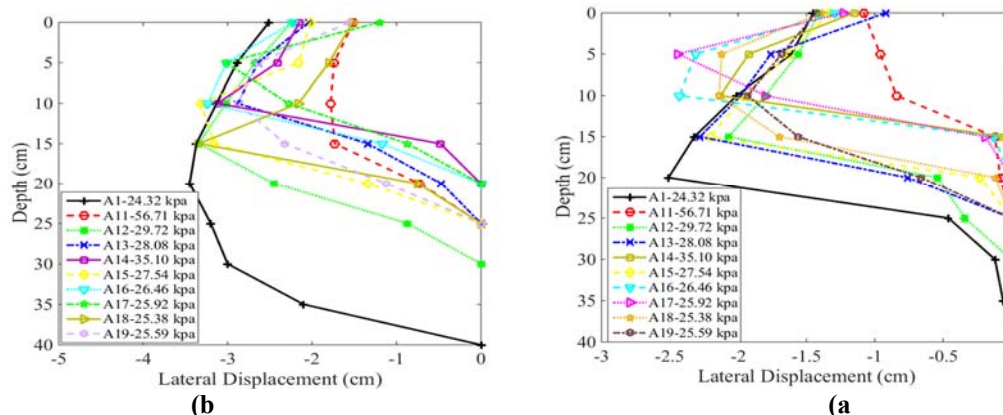


Figure. 8. Lateral displacement in depth for 3 layers of tire reinforcement in slope a) footing b) slope

نشد تا عمق ۴۰ سانتی متری انتقال می یابد و با حضور تقویتی به اعماق کمتری ۱۵ و ۲۰ سانتی متری (یک سوم و نصف حالت بدون تقویتی) انتقال می یابد.

همان طور که از اشکال ۸، ۹، ۱۰ مشاهده می شود جابجایی جانبی در سطح شیب نسبت به جابجایی زیر شالوده بزرگ تر می باشد. با افزایش عمق تغییر شکل های جانبی در زیر مرکز شالوده و سطح شیب کاهش می یابد. حداکثر جابجایی جانبی در شیب تقویت

شکل ۹- جابجایی جانبی در عمق برای ۶ لایه تایر تقویتی در شیب الف) زیر مرکز شالوده ب) سطح شیب

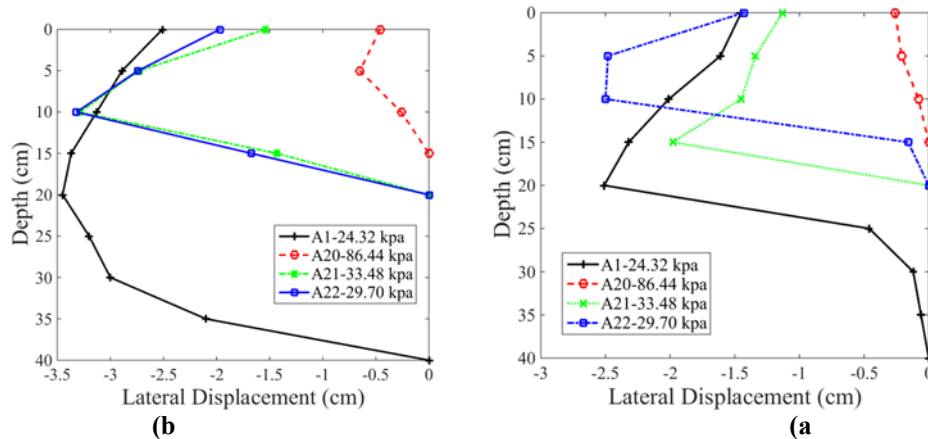


Figure 9. Lateral displacement in depth for 6 layers of tire reinforcement in slope a) footing b) edge slope

شکل ۱۰-جابجایی جانبی در عمق برای ۹ لایه تایر تقویتی در شیب الف) زیر مرکز شالوده ب) سطح شیب

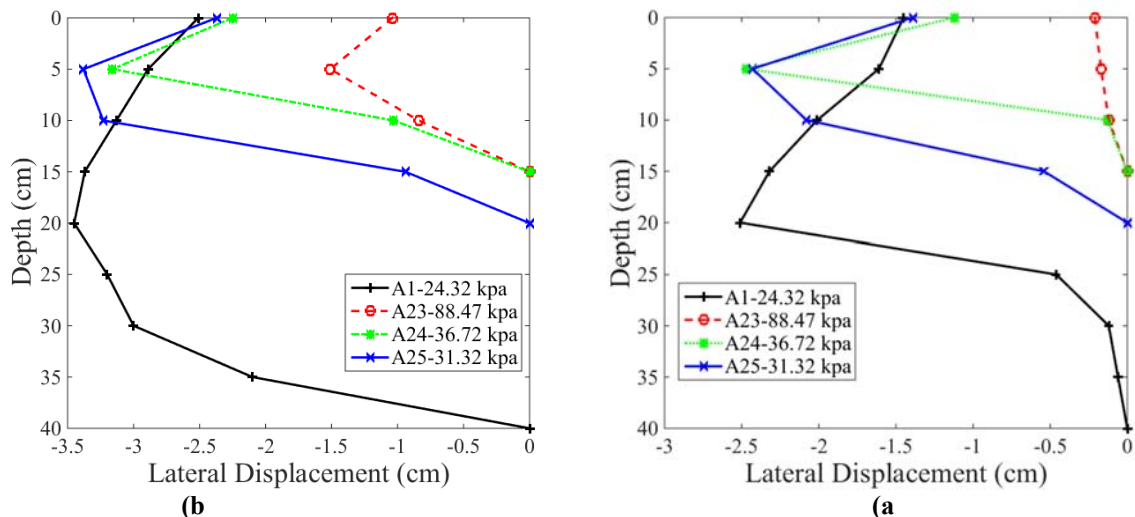


Figure 10. Lateral displacement in depth for 9 layers of tire reinforcement in slope a) footing b) edge slope

۴-بحث و نتایج

طول گوهی گسیختگی در بالا نسبت به پایین شیب بیشتر است و وقتی چهار لایه تقویتی در نیمه‌ی بالایی شیب قرار می‌گیرد در مقایسه با وقتی در نیمه‌ی پایینی شیب قرار می‌گیرد طول بیشتری از لایه‌ی افقی تایر در محدوده‌ی گوهی گسیختگی قرار گرفته و در برابر حرکت گوه، مقاومت بیشتری می‌نماید. با مقایسه A1 با هشت لایه تقویتی تایری (A8، A9، A10) بهترین بهبود به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی جانبی آزمایش A8 یعنی زمانی که بیشترین طول لایه تایر می‌باشد و علت آن است که وقتی طول لایه تقویتی بیشتر می‌شود طول زیادی از تقویتی در برابر حرکت گوهی گسیختگی مقاومت می‌کند به عبارتی دیگر طول بیشتری از لایه تایر با خاک مجاور تماس و اصطکاک بیشتری ایجاد می‌شود. با مقایسه A1 با سه لایه

استفاده از حلقه‌های سبک لاستیک در شیب خاکی روش نوینی در پایداری شیب است و مواقعی که بخشی از توده‌ی خاک به‌عنوان عامل محرک در ناپایداری شیب عمل می‌کند، برداشته‌شده و حلقه‌های سبک لاستیکی جایگزین آن می‌شود. با توجه به جدول ۳ و با مقایسه A1 با چهار لایه تقویتی تایری (A2، A3، A4، A5، A6، A7) مشخص شد که بهترین بهبود در ظرفیت باربری و جابجایی جانبی مربوط به آزمون A2 می‌باشد، مادام که تقویتی در نیمه‌ی بالایی شیب قرار گرفته است و طول لایه تقویتی ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. چهار لایه تقویتی قرار گرفته در نیمه‌ی پایینی شیب در مقایسه با چهار لایه تقویتی قرار گرفته در نیمه‌ی بالایی شیب اثر کمتری در بهبود ظرفیت باربری و جابجایی جانبی دارد و علت این امر آن است که،

وقتی که در یک سوم میانی و یک سوم پایینی شیب قرار می گیرد طول بیشتری از لایه ی افقی تایلر در محدوده ی گوهی گسیختگی قرار گرفته و در برابر حرکت گوه مقاومت بیشتری می نماید. همچنین در مقایسه ی استفاده از شش لایه تایلر و نه لایه تایلر تقویتی با طول های مساوی (۸۲۰ با ۸۲۳ و ۸۲۱ با ۸۲۴ و ۸۲۲ با ۸۲۵) به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی جانبی تفاوت قابل توجهی نیست، در نتیجه تایلر تقویتی در یک سوم پایینی نقشی در افزایش ظرفیت باربری و کاهش جابجایی جانبی ندارد.

بنابراین به کمک جدول ۴ می توان هر مدل آزمایشگاهی را تبدیل به مدل واقعی نمود و هر مدل واقعی را در آزمایشگاه مدل سازی نمود. قابل ذکر است که خواص مقاومتی خاک مانند چسبندگی، زاویه ی اصطکاک داخلی و وزن مخصوص، در مدل های واقعی و آزمایشگاهی ثابت هستند و تغییر نمی کنند.

جدول ۴. تبدیل مدل واقعی به آزمایشگاهی به وسیله ی ضریب مقیاس S

	Time	Length	Area	Force	Mass
Real Model	T	L	A	F	M
Laboratory Model	$T\sqrt{S}$	SL	AS^2	FS^2	MS^3

Table 4. Conversion of actual model to laboratory by scale factor S

مدل آزمایشگاهی نسبت به مدل واقعی $\frac{1}{5}$ در نظر گرفته شده است.

S ضریب مقیاس می باشد. مدل واقعی که در آزمایشگاه مدل سازی شده است طبق جدول ۵ محاسبه می شود. مقایسه

جدول ۵. تبدیل مدل واقعی به آزمایشگاهی به وسیله ی ضریب مقیاس $\frac{1}{5}$

	Time	Length	cohesion	Friction Angel	Mass
Real Model	20	0.7 m (for example: slope crown length)	0	38	0.280 kg
Laboratory Model	44.7	3.5 m	0	38	35 kg

Table 5. Conversion of actual model to laboratory by scale factor $\frac{1}{5}$

۱- نقش تقویتی های تایلر در بهبود ظرفیت باربری و جابجایی های جانبی زیر شالوده و سطح شیب قابل توجه است.

۲- وقتی از چهار لایه تایلر تقویتی با طول ۶۰ سانتی متر در نیمه ی بالایی شیب قرار می گیرد نسبت به حالت بدون تسلیح، ظرفیت باربری بیش از سه برابر و جابجایی جانبی

تقویتی تایلر (A11، A12، A13، A14، A15، A16، A17، A18، A19) مشخص شد که بهترین بهبود در ظرفیت باربری و جابجایی جانبی مربوط به آزمون A11 می باشد، وقتی که تقویتی در یک سوم بالایی شیب قرار گرفته است و طول لایه تقویتی ۶۰ سانتی متر می باشد. وقتی سه لایه تایلر در یک سوم پایینی و در یک سوم میانی شیب قرار می گیرد در مقایسه با زمانی که در یک سوم بالایی شیب قرار می گیرد اثر بهبود کمتری دارد و علت این امر، طول گوهی گسیختگی در یک سوم بالایی در مقایسه با یک سوم میانی و پایینی شیب بیشتر است و وقتی سه لایه تقویتی در یک سوم بالایی شیب قرار می گیرد در مقایسه با

۵- تحلیل ابعادی

در نظر گرفتن اثر اندازه ی واقعی به موضوع تحلیل ابعادی مربوط می شود که از نسبت هایی که در جدول ۴ نسبت مقیاس (S) است استفاده می شود [23].

۶- نتیجه گیری

لاستیک یک مشکل بزرگ زیست محیطی است که با گذشت زمان نیز در حال افزایش است. یکی از راه حل های دفع تایلر استفاده از آن به عنوان یک ماده تسلیح کننده در شیب می باشد که باعث پایین آمدن هزینه ها و کاهش مشکلات زیست محیطی می شود. نتایج حاصل از این مطالعه به ترتیب زیر است:

- chips. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* **123**(4), 295e304.
- [4] Turer, A., 2012 Recycling of Scrap Tires. *INTECH Open Access Publisher*.
- [5] Rubber Manufacturers Association 2006 Scrap Tire Markets in the United States. *Washington DC*, 23.
- [6] Nouri-Qidari, M.H., 2010 Effect of different values of waste tire crumbs on compressive strength of concrete. *Iranian Rubber Industry Quarterly*, **59**, 98-107, (In Persian).
- [7] Dammala, P.K., Sodom, B.R. and Adapa, M.K., 2015 Experimental investigation of applicability of sand tire chip mixtures as retaining wall backfill. *In IFCEE 2015*, 1420-1429.
- [8] Dammala, P.K., Sodom, B.R. & Adapa, M.K. 2015 Experimental investigation of applicability of sand tire chip mixtures as retaining wall backfill. *In IFCEE 2015*, 1430-1439.
- [9] Lazizi, A., Trouzine, H., Asroun, A. & Belabdelouhab, F., 2014 Numerical simulation of tire reinforced sand behind retaining wall under earthquake excitation. *Engineering Technology & Applied Science Research*, **4**(2), 605-611.
- [10] Ghazavi, M., Mohebi, A. & Namdari, M. 2017 Static Characteristics of Footings on Tire Shred-Reinforced Granular Trench. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **42**(3), pp.1147-1154.
- [11] Tafreshi, S.M. & Norouzi, A.H., 2012 Bearing capacity of a square model footing on sand reinforced with shredded tire—An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, **35**, 547-556.
- [12] Ahmed, A. & El Naggar, M.H. 2018 Effect of cyclic loading on the compressive strength of soil stabilized with bassanite–tire mixture. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **20**(1), 525-532.
- [13] Anbazhagan, P., Manohar, D.R. & Rohit, D. 2017. Influence of size of granulated rubber and tyre chips on the shear strength characteristics of sand–rubber mix. *Geomechanics and Geoengineering*, **12**(4), 266-278.
- [14] Slack, D.C., Garcia, G., Roth, R., Hoenig, S., Segovia, R., Soto, R. & Frayre, A. 2008. Engineered Conservation Structures using Discarded Tires. *In American Society of Agricultural and Biological Engineers-Conference on 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment*, 163-170.
- [15] Huat, B.B.K., Aziz, A. & Chuan, L. 2008 Application of scrap tyres as earth reinforcement

- در زیر شالوده بیش از ۳٫۱ برابر و جابجایی جانبی در لبه‌ی بالایی شیب بیش از ۲٫۷ برابر کاهش می‌یابند.
- ۳- بهترین موقعیت به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی جانبی در استفاده از چهار لایه تایر تقویتی در نیمه‌ی بالایی شیب می‌باشد.
- ۴- وقتی از شش، هشت و نه لایه تایر تقویتی با طول ۶۰ سانتی‌متر در شیب قرار می‌گیرد نسبت به حالت بدون تسلیح جابجایی جانبی در زیر شالوده بیش از ۳٫۵ برابر و جابجایی جانبی در لبه‌ی بالایی شیب بیش از ۲ برابر کاهش می‌یابند.
- ۵- وقتی سه لایه تایر با طول ۶۰ سانتی‌متر در یک‌سوم بالایی شیب قرار می‌گیرد، نسبت به شیب بدون تسلیح، ظرفیت باربری بیش از ۲٫۳ برابر و جابجایی جانبی زیر شالوده و لبه‌ی شیب به ترتیب ۱٫۳ و ۱٫۶ برابر افزایش می‌یابد.
- ۶- هرچه طول لایه تقویتی بیشتر شود ظرفیت باربری به‌طور قابل‌توجهی افزایش و جابجایی جانبی کاهش پیدا می‌کند. به ویژه زمانی که طول تایر تقویتی ۶۰ سانتی‌متر است و طول تسلیح کننده از گوه‌ی گسیختگی عبور می‌کند، بهبود در ظرفیت باربری و جابجایی جانبی شالوده قابل‌توجه است.
- ۷- بهترین موقعیت در سه لایه تایر تقویتی در شیب به لحاظ ظرفیت باربری و جابجایی جانبی یک‌سوم بالایی شیب می‌باشد.
- ۸- وجود تایر در یک‌سوم پایینی شیب اثر چندانی بر بهبود ظرفیت باربری، جابجایی جانبی شالوده و سطح شیب نسبت به حالت شیب بدون تقویتی ندارد.

۷- مراجع

- [1] -Hassine, W.B., Hassis, H. & Hamida, A.B. 2005 An extension, flexural, and warping model of soil reinforced by used tire's portions related by linear inclusion. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, **24**(4), pp.630-643.
- [2] Long, N.T. 1996 Utilization of used tires in civil engineering e the pneusol'tyresoil. *Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnic*, Osaka, Japan, 809e814.
- [3] Bosscher, P.J., Edil, T.B. & Kuraoka, S. 1997 Design of highway embankments using tyre

- [20] Mandal, J.N., Kumar, S. & Meena, C.L. 2005 Centrifuge modeling of reinforced soil slopes using tire chips. *In Proceedings of the Sessions of the Geo-Frontiers Congress. Austin, Texas, United States*, 166-173.
- [21] Li, L. Xiao, H. Ferreira, P. & Cui, X. 2016 Study of a small scale tyre-reinforced embankment. *Geotextiles and Geomembranes*, **44**(2), 201-208.
- [22] White, D.J., Take, W.A. & Bolton, M.D. 2003 Soil deformation measurement using particle image velocimetry (PIV) and photogrammetry. *Geotechnique*, **53**(7), 619-632.
- [23] Harris, H.G. & Sabnis, G. 1999 Structural modeling and experimental techniques. *CRC press*.
- for repair of tropical residual soil slope. *Electron. J. Geotech. Eng.* **13**, 1-9.
- [16] Sayão, A.S.F.J. Gerscovich, D. Medeiros, L. & Sieira, A.C.C.F. 2009 Scrap Tire-An Attractive Material for Gravity Retaining Walls and Soil Reinforcement. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, **35**(3), 135-155.
- [17] Garga, V.K. & O'Shaughnessy, V. 2007 Reinforced earth-fill. Part 1: construction of a test fill performance, and retaining wall design. *Can. Geotech. J.*, **37**, 75-96.
- [18] Kim, K.S., Yoon, Y.W. & Yoon, G.L. 2011 Pullout behavior of cell-type tyres in reinforced soil structures. *J. Civ. Eng.* **15** (7), 1209-1217.
- [19] Belabdelouhab, F. & Kebaïli, N. 2015 Large Scale Experimentation Slope Stability of «Soil Tyre» in Mostaganem (Algeria). *Energy Procedia*, **74**, 699-706.

Laboratory study of Soil Slopes Reinforced with Waste Tire Based on Horizontal Displacement

M.H. Mirnaghizadeh¹, M. Hajiazizi²

1. Ph.D Candidate, Department of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iram

2. Associate Professor, Department of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

* mhazizi@razi.ac.ir

Abstract

In recent years, the number of waste tires around the world is increasing rapidly and has become an environmental and economic problem. Today, accumulation of waste tires in the environment is one of the biggest problems to the environment and recycling waste tires is the best strategy to solve this problem. The use of waste tires in construction and geotechnical projects is one of the effective strategies in this regard. In this paper, experimental tests of earth slope reinforced with waste tires based on horizontal displacement (25 experiments) has been performed.

During incremental loading, digital images were taken from the models and the particle image velocity (PIV) method was used. Parameters such as tire layer length, number of layers and tire layer position are considered as variable. The results show that the use of tire reinforcement has a significant effect on reducing horizontal displacement under the foundation and slope surface. Horizontal tire rows are the best reinforcement location in terms of improved bearing capacity and lateral displacement. When four layers of 60 cm long reinforcement tire are placed in the upper half of the slope, the bearing capacity increases 3 times and the lateral displacement under the foundation decreases by 3.1 times. When three layers of tires with a length of 60 cm are placed in the upper third of the slope, the bearing capacity increases by 2.3 times and the lateral displacement under the foundation increases by 1.3 times. When six, eight, and nine layers of reinforcing tires with a length of 60 cm are placed into the slope, lateral displacement under the foundation is reduced more than 3.5 times.

In Iran, eight largest tire factories produce 13.5 million tires in a year. It also imports 4 million tires a year. Therefore, 17.5 million tires are the annual consumption of the country. More than 100,000 tires are the product of factory production line waste, as well as used tires. Waste tires have been used to strength retaining walls, foundations, improve soil properties, embankments and etc. Therefore it is believed that soil reinforced with waste tires become a wider application in the future, especially in countries with low worker costs.

In this paper, the test was performed in a box with length, width and height of 2, 1, 1 m, respectively. The test material used in this study is sand in the dry state. The maximum and minimum dry sand densities are 19.43 and 16.36 kN/m, respectively. Internal friction angle and cohesion were measured by direct shear test at 38 degree and about 0 kPa, respectively. Digital images taken from the front of the test box during the experiment. Images were processed using GeoPIV software developed at the University of Cambridge. The results of this study are as follows: 1. The best position in terms of bearing capacity and lateral displacement is to use four layers of reinforcing tire in the upper half of the slope. 2. As the length of the reinforcement layer increases, the bearing capacity increases significantly and the lateral displacement decreases. Especially when the length of the reinforcement tire is 60 cm and the length of the reinforcement passes through the rupture wedge, the improvement in bearing capacity and lateral displacement of the foundation is noticeable. 3. The best position in the three layers of reinforcement tire on the slope in terms of bearing capacity and lateral displacement is one-third of the upper slope. 4. The presence of a tire in the lower third of the slope has little effect on improving the bearing capacity, lateral displacement of the foundation and the slope surface compared to the slope without reinforcement.

Keywords: Soil Slopes, Tire Reinforcement, Bearing Capacity, Lateral Displacement