



Investigation of the effect of Sizes Crumbed of worn Tires in shear strength parameters of Sandy soil

S. Qafari Amirbande, H.R. Saba*, M. Nokandeh

Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

ABSTRACT: Due to the spread of the automotive industry worn tires are being consider as one of Environmental pollutants in recent decades because of the lack of decomposition in nature. The use crumbed tires with mixed soil is provided as one of the solutions to prevent environmental hazards caused by tire burial. According to the tires properties, such as elastic behavior, low water absorption, and the appropriate cost to use it in the form of crushed, they can be used in arming and improving the properties of earth materials. In this article, the optimal percentage of crumbed tires in the sand to increase its shear strength parameters as well as the effects of adding crumbed tires on the Displacement-load curve by using a large-scale direct shear test (box 30×30 cm) has been studied. For this purpose, sand with percentages 5%,10%,15%,20% and25% of crumbed tires with dimensions of 2×2 and 2×4 under normal stress of 30,60 and 120 Kpa have been tested in direct shear test and amount of percentages and dimensions of optimal crumbed tires which the shear strength is maximum for it determined. Since the shear strength of soils is because of the angle of internal friction and viscosity, the effect of crumbed tires on each of these parameters is studied. The results show that the optimum condition is the sample with 15% of 2×4 crumbed tires that increase the angle of internal friction up to 27%. also adding crumbed tire cause to increase the capacity of sand plasticity.

Review History:

Received: Jul. 17, 2016

Revised: Dec. 13, 2016

Accepted: Apr. 21, 2023

Available Online: Apr. 30, 2023

Keywords:

Reinforced soil

tire recycling, environment

crumbed

large-scale direct shear

1- Introduction

The development of cities and increasing number of new vehicles, also the phase-out of old cars caused that waste and old tires to be considered by researchers as one of the health and Environmental pollutants. The use of tires as one of the important elements of human life is increasing day by day. Overall soils reinforcement elements are placed into the soil in two ways:

Use of reinforcement which is continually placed in soil, like plate or strip reinforcement, which follows a particular rule and law to placed.

And other use of reinforcement that are widely placed in the soil, such as fibers and crumbed tires that are combined randomly and without a specific rule with the soil.

Research conducted to contribute to these two types of polymeric materials which have Acceptable strength and durability in soil. In addition, the crumbed tire is consumed in industries such as automotive parts, oil, and Tubes and rubber production, and shipping. [1]

Pamukuchu & Akbulute In 2006 to improve the soil dynamic parameters at low strain, on a mixture of Ottawa sand and crumbed tires, conducted a series of controlled tests. Their research results indicate a simultaneous increase in the shear modulus and damping coefficient of sand samples, for

an optimal volume of the crumbed tires. [2]

Hyodo And colleagues in 2007, according to undrained cyclic triaxial tests, and Uchimura and Hazarika according to Shaking table tests, reported a slower increase in pore water pressure and a significant increase in resistance to liquefaction of soil-tire mixtures with increasing amounts of tire. [3]

Edincliler et al, in the year 2010 did a series of consolidated drained triaxial tests on different percentages of tire pieces compounded with sand and concluded that The increase in the crumbed tire to sand will improves the drained behavior of the samples. [4]

Shahin et al, in 2011 did a number of consolidated drained triaxial tests, density, and porosity of the mixture of Sand and crumbed tire crumb. Results indicated that The mixture of soil and tires has a high potential to Use as a lightweight aggregate in civil works. [5]

Anastasio Anastasiadis et al, in 2012 did research on the mixture of river sand-recycled tires, by High range torsional resonance column device, in two ways dry and saturated. [6]

Manafi (1390) did a number of tests by Shaking a table on the mixture of sand and tire pieces that shows tire pieces caused improved dynamic properties of sand and reduce its liquefaction potential. [7]

Bahadori and Mohammadi (1391) to examine

*Corresponding author's email: hr.saba@tafreshu.ac.ir



the effect of adding Tires powder on the saturated sand behavior, did undrained monotonic triaxial tests on the mixture with different amounts of tires. [8]

Saba et al (1395) using direct shear tests, the difference in shear strength of pure sand and gravel reinforced with granulated rubber worn out with weights 0 ,5% ,٪ 2/5 ,٪ 7/5%, and 10٪ pellets under three stress normal 30, 60 and 120 were examined. [9]

In this paper, the optimal percentage of Crumbed tire used to increase the shear strength parameters of sandy soil tried to be determined. For this purpose, large- scale direct shear tests (box 30x30cm) with different percentages of crumbed tire soils without crumbed tires are done. Results of the impact of different percentages of crumbed tires in sandy soil on shear strength and shear strength parameters of soil, and force-displacement behavior of soil with different percentages of crumbed tiress have been investigated separately and few suggestions are provided.

2. materials

The soil used in all tests was the sand from the beach of KELACHAY city which is located on the south shores of the khazar Sea. According to the density test on the mentioned sand sample, the maximum amount of specific weight of dry soil 16.4 and minimum specific weight of dry soil 14.8 are measured and Also specific soil mass is measured as $G_s = 2.65$.

According to the gradation curve, the Intended sand was almost uniform and are with particle sizes between 0.06 and 0.42mm. According to the Uniform classification System (ASTMD 2487-11) [13], tested sand is classified as soil with poor grading (SP).

Crumbed tire pieces were selected in 2 sizes (2× 2cm) and (2×4cm) which have been cut by scissors and it has a solid grain density of 1/25.

3. Results and Discussion

In different vertical stresses, with increasing the percentage of tire crumb in the mixture the amount of shear stress will increase. According to observations which have been done by adding (2×2cm)crumbed tire to the sand , shear stress of the mixture in the sample under the vertical stress of 30 kpa up to 45.7% , under vertical stress of 60 kpa up to 30.6% and under vertical stress of 120 kpa up to 28.4% will increase. Also by adding (2×4cm) crumbed tire to sand shear stress of mixture under vertical stress of 30 kpa up to 91.4% , under vertical stress of 60 kpa up to 52.8%, and under vertical stress of 120 kpa up to 54.5% will increase.

4. Conclusions

The criteria in this study, for selecting the appropriate percentage and dimensions of crumbed tires was to achieve the most appropriate shear strength. Since the shear strength of the mixture is depend on parameters of internal friction angle and cohesion, so the purpose of this study was to survey these parameters. Also due to the type of testing soil (sand), where in the sandy soil internal friction angle has more importance than cohesion, the main criteria for diction appropriate percentage of crumbed tire, would be the internal friction angle. The internal friction angle for the samples with

2x4 crumbed tire is more than samples with 2x2. The Reason for further increase for crumbed tires with sizes of 2x4 is the higher amount of effective length with more possibility of presence in the failure surface.

1- By increasing the weight percentage of crumbed tire from 5 to 25%, the internal friction angle in samples with 2×2 and 2×4 crumbed tire increased respectively in the range of 6/5% to 17/5% and 11/4% to 31/8% so that the maximum increase in internal friction angle, observed in samples with 25% crumbed tire. Also cohesion is increase from 2/2 kPa to 6/6 kPa and 10/1kPa respectively.

2. According to the results, can conclude that the shear strength of sandy soil is in direct relation with the increase weight percentage of crumbed tires and normal stress.

3. The optimum case is samples containing 15% of 2×4 crumbed tire that increase internal friction angle to 27%.

4. distinguishes of this paper from the other articles that presented about crumbed tires is the difference in sizes of used crumbed tires, that in this paper the purpose was to compare the effect of crumbed tires in two sizes of 2×2 and 2×4 in the soil of the Caspian seashore sand.

References

- [1] Lee, J. H., Salgado, R., Bernal, A. and Lovell, C. W. "Shredded tires and rubber – sand as lightweight backfill", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 125, pp.132-141,1999.
- [2] Pamukcu S, Akbulut S., 2006. "Thermoelastic enhancement of damping of sand using synthetic ground rubber " *J Geotech. Geoenviron. Eng ASCE* 132(4):501–510.
- [3] Hyodo, M., Yamada, S., Orense, R., Okamoto, M., and Hazarika, H., 2007. "Undrained Cyclic Shear Properties of Tire Chip-Sand Mixtures " *Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials—Opportunities and Challenges*, H. Hazarika and K. Yasuhara, Eds., pp. 187–196.
- [4] Edincliler A., Cabalar AF., Cagatay A., Cevik A., 2010. " Triaxial Compression Behavior of sand and Tire Waste using Neural Networks " *Neural Computer and application Journal*. DOI10. 1007/s00521-010-0430-4.
- [5] Shahin A. M., Mardesic T., Nikraz H. R., 2011. "Geotechnical Characteristics of Bauxite Residue Sand Mixed With Crumbed Rubber From Recycled Car Tires" *Journal of Geo-Engineering*. Vol. 6. No. 1. pp. 63-27.
- [6] Anastasiadis A, Senetakis K, Pitilakis K, Gargala C, Karakasi I., 2012. "Dynamic behavior of sand/rubber mixtures, Part I: Effect of rubber content and duration of confinement on small-strain shear modulus and damping ratio " *J ASTM Int* 9(2).
- [7] Manafi S., 1390" The effect of fiber reinforcement and pieces of rubber the dynamic properties of the soil and reduce the effects of liquefaction With shaking table ",Master of Science, Urmia University, Department of Civil Engineering. (in persian)
- [8] Bahadori H.,Mohammadi A.R.,1391. "The effect of

adding rubber powder on undrained behavior of saturated sand using Triaxial “, the second conference of crisis management in the construction industry, vital arteries and underground structures. (in persian)

[9] Saba H.R.,Nokandeh M.,gafuri amirbande S.,2016.

“ Experimental Investigation improved geotechnical properties of mixed sand- rubber granule” Second International Conference on Advances in construction management, architecture and urban management, Tehran. (in persian)

HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. Qafuri Amirbande, H.R. Saba , M. Nokandeh, Investigation of the effect of Sizes Crumbed of worn Tires in shear strength parameters of Sandy soil, Amirkabir J. Civil Eng., 55(4) (2023) 189-192.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11800.5082





بررسی اثر ابعاد خرده‌های لاستیک تایر فرسوده در پارامترهای مقاومت برشی خاک ماسه‌ای

سارا غفوری امیربنده، حمیدرضا صبا*، مهرداد نوکنده

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

بازنگری: ۱۳۹۵/۰۹/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱

ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

کلمات کلیدی:

خاک مسلح

بازیافت لاستیک

محیط زیست

خرده لاستیک

برش مستقیم بزرگ مقیاس

خلاصه: گسترش صنعت خودرو سبب شده تا لاستیک‌های فرسوده به دلیل عدم تجزیه در طبیعت به عنوان یکی از آلاینده‌های زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر مطرح شوند. استفاده از خرده‌لاستیک به صورت مخلوط با خاک، یکی از راه‌حل‌هایی است که برای جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از دفن لاستیک‌ها ارائه شده است. با توجه به خواص لاستیک‌ها از جمله رفتار الاستیک، جذب آب ناچیز و هزینه‌ی مناسب جهت استفاده از آنها به شکل خردشده، می‌توان از آنها در تسلیح و بهبود خصوصیات مصالح خاکی استفاده نمود. در این مقاله درصد بهینه خرده‌لاستیک در ماسه بادی جهت افزایش پارامترهای مقاومت برشی آن و همچنین تاثیر افزودن خرده‌لاستیک روی منحنی نیرو-تغییر مکان با استفاده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس (۳۰×۳۰ cm) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، ماسه با مقادیر ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ خرده‌لاستیک به ابعاد ۲×۲ cm و ۲×۴ cm تحت تنش‌های نرمال ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ kPa مورد آزمایش برش مستقیم قرار گرفته و میزان درصد و ابعاد خرده‌لاستیک بهینه که به ازای آن مقاومت برشی حداکثر می‌باشد، تعیین شده است. از آن جایی که مقاومت برشی خاک‌ها حاصل از زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی می‌باشد، تاثیر خرده‌لاستیک روی هریک از این پارامترها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد حالت بهینه، نمونه حاوی ۱۵٪ خرده‌لاستیک ۲×۴ cm است که زاویه اصطکاک داخلی را تا ۲۷٪ افزایش می‌دهد. همچنین اضافه کردن خرده‌لاستیک باعث افزایش ظرفیت شکل‌پذیری ماسه بادی می‌شود.

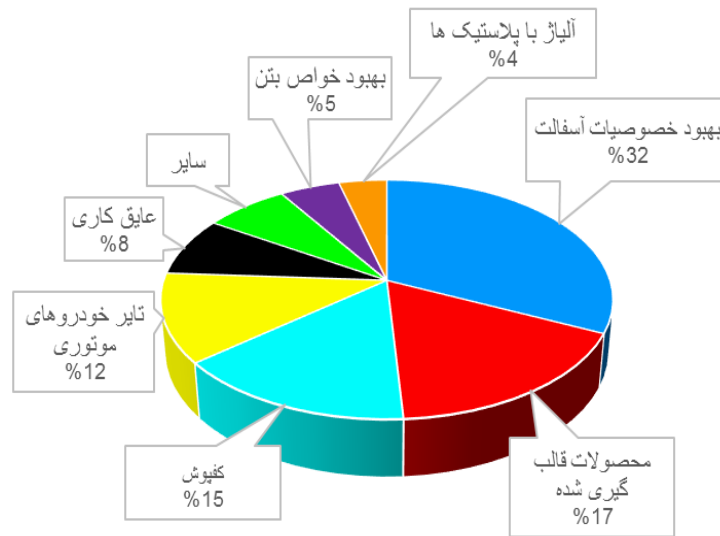
۱- مقدمه

دارد. کاربردهای مهم این مصالح در صنعت در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل کاربرد لاستیک‌های فرسوده خردشده را در صنعت نمایش می‌دهد که مربوط به کشور ایران است. براساس آمار سال ۲۰۰۷، در ایالات متحده آمریکا حدود ۴۵۹۵/۷ هزار تن لاستیک فرسوده و ضایعاتی تولید می‌شود که از این مقدار حدود ۵۶۰ هزار تن در پروژه‌های مهندسی عمران مورد استفاده قرار می‌گیرد. این میزان مصرف حدود ۱۲٪ از کل لاستیک‌های فرسوده و ضایعاتی تولید شده را تشکیل می‌دهد. همچنین حدود ۵۲/۸٪ به عنوان جایگزین سوخت در کوره‌ها، ۱۶/۸٪ در تولید پودرلاستیک و مابقی در مصارف گوناگون مصرف شده‌اند. و فقط ۱۲/۶٪ در سطح زمین دپو و انباشته می‌شوند. در ایران طبق آمار سال ۱۳۸۵ وزارت صنایع و معادن، سرانه لاستیک فرسوده ۶/۳ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال می‌باشد که در شرایط ایده‌آل ۳۵/۶٪ لاستیک به روش‌های روکش مجدد، پودرلاستیک و تولید کاتوچوی اصلاح شده بازیافت شده و ۶۴/۴٪ در طبیعت دپو می‌شوند [۱]. به‌طور کلی عناصر مسلح‌کننده خاک به

توسعه شهرها و افزایش تعداد وسایل نقلیه جدید، همچنین از رده خارج کردن خودروهای فرسوده سبب شده است که لاستیک‌های فرسوده و ضایعاتی به عنوان یکی از آلاینده‌های زیست‌محیطی و بهداشتی مورد توجه محققین قرار بگیرد. استفاده از لاستیک به عنوان یکی از عناصر مهم زندگی بشر روز به روز در حال افزایش است. لاستیک‌ها از مواد پلیمری تشکیل شده‌اند که به راحتی در طبیعت تجزیه نشده و خطرات جدی را برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها به همراه دارند. مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی که در اثر انباشت لاستیک‌های فرسوده و ضایعاتی به وجود می‌آید شامل آتش‌سوزی فاجعه‌آمیز، پرورش و تکثیر حشرات و نهایتاً بروز بیماری‌های ویروسی و میکروبی می‌باشد. علاوه بر مخاطرات ذکر شده، انباشته‌های لاستیکی بر زیبایی و چشم‌انداز محیط زندگی و شهری نیز لطمه می‌زند. لاستیک‌های بازیافتی کاربردهای مختلفی در بخش‌های گوناگون

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: hr.saba@tafreshu.ac.ir





شکل ۱. کاربرد لاستیک‌های فرسوده خردشده در صنعت

Fig. 1. Application of shredded worn tires in industry

ادیل و بوسچر در سال ۱۹۹۴ به ارائه خواص تراشه های لاستیک فرسوده و بهبود خواص مهندسی خاک مسلح پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد تراشه لاستیک دارای رفتار اصطکاکی است. لذا مقاومت اصطکاکی ماسه را در مخلوط افزایش می‌دهد. در سال ۲۰۰۴ ادینکلیر و همکاران یک سری آزمایش سه‌محوری تحکیم یافته زهکشی‌شده (CD) روی ماسه‌ی خالص، لاستیک خالص و ترکیب لاستیک و ماسه انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش درصد وزنی خرده‌های لاستیک تا ۳۵٪، مقاومت برشی نمونه‌ها افزایش می‌یابد و سپس با افزایش درصد وزنی تکه‌های لاستیک به بیش از ۳۵٪ مقاومت برشی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. هاتف و رحیمی در سال ۲۰۰۶ مدل‌های آزمایشگاهی برای تحقیق در مورد استفاده از خرده‌های لاستیک فرسوده جهت ظرفیت باربری ارائه نمودند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بود که افزودن خرده‌های لاستیک به ماسه، باعث افزایش نسبت ظرفیت باربری کالیفرنیا از ۱۷/۱ تا ۳/۹، بسته به درصد خرده‌های لاستیک و نسبت اضلاع آنها می‌گردد. اکیبولیت و پامیوکوچو در سال ۲۰۰۶ به منظور بهبود پارامترهای دینامیکی خاک در کرنش‌های کم، بر روی مخلوط ماسه‌ی اتاوا و خرده‌های لاستیک، یک سری آزمایش‌های کنترل شده انجام دادند. نتایج تحقیقات آنها حاکی از افزایش هم‌زمان مدول برشی و ضریب میرایی نمونه‌های ماسه، به ازای یک

دو طریق در خاک قرار می‌گیرند: استفاده از تسلیح‌کننده‌های ی که به طور پیوسته در خاک قرار می‌گیرند، مثل تسلیح‌کننده‌های صفحه‌ای یا نواری که برای قرار گرفتن در خاک از قانون و قاعده خاصی پیروی می‌کنند و دیگری استفاده از تسلیح‌کننده‌های ی که به‌طور گسترده در خاک قرار می‌گیرند مثل الیاف و خرده‌های لاستیک که به‌طور تصادفی و بدون قاعده و قانون خاصی با خاک ترکیب می‌شوند. از مهم‌ترین مزایای این تسلیح‌کننده‌ها، می‌توان به حفظ همسانی مقاومت و حذف صفحات گسیختگی ضعیف اشاره نمود. از زمان ابداع و رواج خاک مسلح تاکنون استفاده از مسلح‌کننده‌های فلزی مطرح بوده است ولی این نوع مسلح‌کننده‌ها دارای یک عیب اساسی هستند و آن دوام کم آنها مخصوصاً در محیط‌های مرطوب است. بنابراین تلاش‌ها برای دستیابی به مواد و مصالحی انجام پذیرفت که علاوه بر افزایش قابل ملاحظه توان باربری، دارای دوام قابل قبولی نیز باشند. تحقیقات انجام شده منجر به بکارگیری این مواد پلیمری که مقاومت و دوام قابل قبولی دارند در خاک شد. علاوه بر این‌ها، خرده‌لاستیک در صنایعی مانند قطعه‌سازی خودرو، نفت، تولید لاستیک و تیوپ و کشتیرانی نیز مصرف می‌شود. اخیراً در مهندسی ژئوتکنیک از مخلوط مصالح حاکی و خرده‌لاستیک در خاکریزی پشت دیوارهای حائل، راهسازی در جاده‌ها، مدفن‌های بهداشتی و... استفاده می‌شود [۲].

گرانول لاستیک از ۲/۵ تا ۱۰٪، زاویه اصطکاک داخلی در محدوده ۶ الی ۱۴٪ افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین مقدار افزایش زاویه اصطکاک داخلی، در نمونه‌های حاوی ۵٪ گرانول لاستیک رخ می‌دهد.

در این مقاله سعی شد است تا درصد مناسب مصرف خرده‌لاستیک جهت افزایش پارمترهای مقاومت برشی خاک ماسه‌ای تعیین شود. بدین منظور آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس (۳۰×۳۰ cm) با درصد‌های مختلف خرده‌لاستیک و همچنین خاک بدون خرده‌لاستیک انجام شده است. نتایج تاثیر درصد‌های مختلف خرده‌لاستیک در خاک ماسه‌ای روی مقاومت برشی خاک و رفتار نیرو-تغییر مکان خاک با درصد‌های مختلف خرده‌لاستیک بررسی شده است.

۲- مصالح مصرفی

۱-۱- خاک

خاک مورد استفاده در کلیه آزمایش‌ها، ماسه‌ی ساحل شهر کلاچای واقع در کرانه‌ی جنوبی دریای خزر، بوده است. با توجه به آزمایش تراکم روی نمونه ماسه‌ی مورد نظر، مقدار حداکثر وزن مخصوص خشک خاک برابر $16/4 \text{ kN} / \text{m}^3$ و حداقل وزن مخصوص خشک $14/8 \text{ kN} / \text{m}^3$ اندازه‌گیری شده است. همچنین توده‌ی ویژه‌ی خاک نیز برابر $G_s = 2/65$ محاسبه گردیده است. توزیع اندازه‌ی ذرات ماسه توسط آزمایش دانه‌بندی مطابق شکل ۲ می‌باشد. این منحنی نشان می‌دهد که ماسه‌ی مورد نظر تقریباً یکنواخت بوده و با اندازه‌ی ذرات بین ۰/۰۶ تا ۰/۴۲ mm می‌باشد. مطابق سیستم طبقه‌بندی یکنواخت (ASTM D 2487-11)، خاک مورد آزمایش به صورت ماسه با دانه‌بندی بد (SP) طبقه بندی می‌گردد.

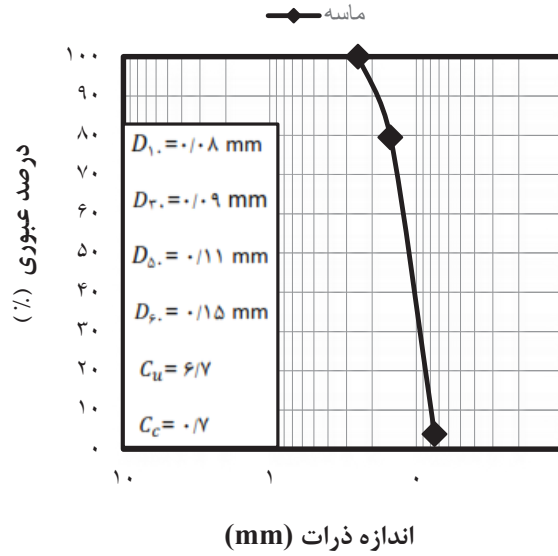
۲-۲- مسلح کننده (خرده‌لاستیک)

در اروپا لغات و اصطلاحات فنی متفاوتی برای تعریف حلقه لاستیک فرسوده، پودرلاستیک، گرانول و غیره بکار می‌رود (شکل ۳). در جدول ۱ اصطلاحات استاندارد اروپا ETRA برای محصولات حاصل از خرد کردن حلقه لاستیک ارائه گردیده است [۱۹].

لاستیک مورد استفاده در این تحقیق، از دسته سوم، یعنی خرده‌لاستیک و دارای محدوده ابعاد ۵۰-۱۰ mm بوده است. قطعات خرده‌لاستیک در دو اندازه (۲×۲ cm) و (۲×۴ cm) انتخاب شده اند که توسط قیچی برش زده شده است و دارای چگالی دانه‌های جامد ۱/۲۵ می‌باشند. بر طبق استانداردهای بین‌المللی اندازه‌المان‌ها نباید از یک سوم کوچکترین بعد

حجم بهینه از خرده‌های لاستیک بود. هایدو و همکارانش در سال ۲۰۰۷، بر اساس تست‌های سه‌محوری سیکلی زهکشی نشده، و یوچیمورا و هازریکا براساس آزمایش‌های میز لرزه، افزایش کندتر فشار آب منفذی و یک افزایش چشمگیر مقاومت در برابر روانگرایی مخلوط خاک-لاستیک را با افزایش مقدار لاستیک، گزارش کردند. ادینکلیر و همکاران در سال ۲۰۱۰ یک سری آزمایش سه‌محوری تحکیم یافته‌ی زهکشی شده روی ترکیب درصد‌های مختلف تکه‌های لاستیک با ماسه انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که افزایش خرده‌های لاستیک به ماسه باعث بهبود رفتار زهکشی شده نمونه‌ها می‌شود. آهان و همکاران در سال ۲۰۱۱ تعدادی آزمایش سه‌محوری تحکیم یافته زهکشی‌شده، تراکم و نفوذپذیری روی مخلوط ماسه و خرده‌های لاستیک انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مخلوط‌های خاک و لاستیک، پتانسیل بالایی برای استفاده به‌عنوان مصالح دانه‌ای سبک‌وزن در کارهای عمرانی دارند. آناستاسیدس و همکاران و آناسیسیو در سال ۲۰۱۲ تحقیقاتی روی مخلوط ماسه رودخانه‌ای-لاستیک بازیافتی، توسط دستگاه ستون تشدید پیچشی با دامنه بالا، به دو صورت خشک و اشباع انجام دادند. نتایج نشان می‌داد با افزایش مقدار لاستیک، اضافه فشار آب منفذی در همان دامنه کرنش حجمی و مدول برشی کاهش می‌یابد و ضریب میرایی و کرنش حجمی افزایش می‌یابد.

مهران نیا و همکارانش در سال ۱۳۸۵ آزمایش‌های برش مستقیم را روی ماسه مخلوط با خرده لاستیک و پودرلاستیک انجام دادند که نشان می‌داد با افزودن خرده‌لاستیک، مقاومت برشی ماسه افزایش می‌یابد ولی با افزودن پودرلاستیک مقاومت برشی کاهش پیدا می‌کند. منافی در سال ۱۳۹۰ تعدادی آزمایش توسط دستگاه میز لرزان بر روی نمونه‌های مخلوط ماسه و تکه‌های لاستیک انجام داد که نشان می‌داد تکه‌های لاستیک سبب بهبود خواص دینامیکی ماسه و کاهش پتانسیل روانگرایی آن می‌شود. محمدی و بهادری در سال ۱۳۹۱ جهت بررسی تاثیر افزودن پودرلاستیک بر رفتار ماسه اشباع، آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی نشده مونوتونیک روی مخلوط با مقادیر مختلف لاستیک انجام دادند و نتیجه گرفتند افزودن پودرلاستیک به ماسه باعث افزایش تولید فشار منفذی در شرایط زهکشی نشده و انتقال رفتار ماسه از حالت سخت شونده به حالت نرم شونده می‌گردد. صبا و همکاران ۱۳۹۵ با استفاده از آزمایش برش مستقیم، تفاوت مقاومت برشی ماسه خالص و ماسه مسلح شده با گرانول لاستیک فرسوده با درصد‌های وزنی ۰٪، ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪ گرانول تحت سه تنش نرمال ۳۰، ۶۰ و kPa را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی



شکل ۲. منحنی دانه‌بندی خاک مورد آزمایش

Fig. 2. Granulation curve of the tested soil

جدول ۱. ابعاد مختلف لاستیک بر طبق استاندارد اروپا (ETRA)

Table 1. Different dimensions of tires according to the European standard (ETRA)

ردیف	نام	حداقل ابعاد (mm)	حداکثر ابعاد (mm)
۱	پودر	۰	۱
۲	گرانول	۱	۱۰
۳	خرده	۱۰	۵۰
۴	تراشه (کوچک)	۴۰	۷۵
۵	تراشه (بزرگ)	۷۵	۳۰۰



شکل ۳. لاستیک در ابعاد مختلف براساس استاندارد اروپا (ETRA)

Fig. 3. Tires in different dimensions according to the European standard (ETRA)



شکل ۴. تصویری از ماسه و خرده لاستیک ۲×۲ و ۲×۴ cm

Fig. 4. Image of sand and crumbed tires (2 × 2) and (2 × 4) cm

۴- نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها

شرایط و خواص مصالح بدست آمده از خرده لاستیک به گونه‌ای است که نمی‌توان آنها را با دستگاه برش مستقیم معمولی آزمایش کرد. دستگاه برش مستقیم ۳۰×۳۰ cm این مزیت را دارد که می‌توان مواد با دانه‌بندی بزرگ‌تر را آزمایش کرد.

طبق نکته ۴ در ASTM D 3080، تذکر داده شده است که اگر دانه‌های بزرگ‌تر از حد استاندارد با توجه به ابعاد جعبه برش در نمونه وجود داشت باید طبق روش ASTM D 422، روی نمونه دانه‌بندی انجام شود. تا آنچه بصری دیده شده است تایید گردد و نتایج این تحلیل همراه نتیجه آزمایش برش ارائه گردد. این نکته برای این است که طراح بتواند مقاومت برشی بدست آمده را به همراه دانه‌بندی ملاحظه کرده و نتیجه‌گیری کند که آیا این مقاومت بدست آمده، مقاومت برشی خود مخلوط است یا مقاومت برشی دانه‌ها و اینکه چه مقدار باید در مقادیر مقاومت برشی، اصلاح اعمال گردد. در ادامه مقاله نیز این نکته رعایت شده است.

ساخت نمونه برای یک پژوهش آزمایشگاهی، موضوع بسیار مهمی است. فوس در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد کرد که برای سهولت در ساخت نمونه‌ها در آزمایشگاه از مقیاس وزنی طبق روش گفته شده در استاندارد ASTM D854، استفاده گردد. در ارتباط با تشریح فرآیند اختلاط مصالح برای تهیه نمونه باید عنوان کرد هرچند با استناد به مقاله ی هاتف و رحیمی -۲۰۰۶ که در منابع نیز به آن اشاره شده است، توزیع مصالح را تصادفی منظور نموده‌اند

دستگاه بزرگ‌تر شود، به عبارت دیگر در این مدل می‌بایست حداکثر بعد قطعات کوچک‌تر از ثلث بعد دستگاه آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس (حدود ۵ cm) در نظر گرفته شود ASTM D 3080، توزیع اندازه ذرات خاک توسط آزمایش دانه‌بندی مطابق شکل ۲ و تصویر خاک و خرده‌های لاستیک مورد استفاده در آزمایش مطابق شکل ۴ می‌باشد.

۳- آزمایش تراکم

مطابق با استاندارد ASTM D4253 برای انجام آزمایش تراکم خاک‌های غیرچسبیده لزوماً می‌بایست از دستگاه میز لرزان استفاده کرد، و آزمایش کوبش برای این نوع خاک‌ها مناسب نیست. به همین دلیل در این پژوهش آزمایش تراکم بوسیله دستگاه میز لرزان انجام شد.

با افزودن خرده لاستیک ۲×۲ و ۲×۴ cm به ماسه، وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر، کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش در ۲۵٪ وزنی خرده لاستیک ۲×۲ و ۲×۴ cm و به ترتیب برابر با ۱۳٪ و ۱۰٪ برای وزن مخصوص خشک حداقل و ۱۲٪ و ۱۱٪ برای وزن مخصوص خشک حداکثر می‌باشد. علت رخداد این پدیده کمتر بودن وزن مخصوص خرده لاستیک در مقایسه با ماسه می‌باشد. همچنین به علت بیشتر بودن سطح مخصوص خرده لاستیک ۲×۲ نسبت به خرده لاستیک ۲×۴ cm، وزن مخصوص نمونه‌های شامل خرده لاستیک ۲×۲ cm به میزان بیشتری کاهش می‌یابد.

جدول ۲. وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل مخلوط‌های ماسه-خرده‌لاستیک (۲×۲)

Table 2. Maximum and minimum dry weight of sand-crumbed rubber mixtures (2×2)

خرده‌لاستیک ۲×۲ (%)	وزن مخصوص خشک حداقل (kN/m^3)	وزن مخصوص خشک حداکثر (kN/m^3)
۰	۱۳/۸	۱۶/۴
۵	۱۳/۲	۱۵/۸
۱۰	۱۲/۹	۱۵/۴
۱۵	۱۲/۷	۱۵/۲
۲۰	۱۲/۵	۱۵
۲۵	۱۲/۲	۱۴/۷

و خرده‌لاستیک مصرفی در هر نمونه بسته به درصد خرده‌لاستیک با استفاده از سعی و خطا محاسبه گردید. اطلاعات مربوط به وزن مخصوص خشک حداکثر و وزن مخصوص خشک حداقل مخلوط‌های با خرده‌لاستیک ۲×۲ و خرده‌لاستیک ۲×۴ cm به ترتیب در جدول ۲ و ۳ آمده است.

$$D_r = \frac{\frac{1}{\gamma_{d_{min}}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{d_{min}}} - \frac{1}{\gamma_{d_{max}}}} \quad (1)$$

$$\gamma_{dry} = \frac{W_t}{V_t} = \frac{W_s + W_c}{V_t} \quad (2)$$

در این روابط :

D_r : تراکم نسبی

$\gamma_{d_{min}}$: وزن مخصوص خشک حداقل (کیلو نیوتن بر متر مکعب)

$\gamma_{d_{max}}$: وزن مخصوص خشک حداکثر (کیلو نیوتن بر متر مکعب) : وزن

مخصوص خشک (کیلو نیوتن بر متر مکعب)

V_t : حجم کل نمونه (متر مکعب)

لیکن جهت ایجاد شرایط یکنواختی و همگنی تلاش گردید طرح اختلاط به گونه‌ای هدایت شود که توزیع یکنواخت افزودنی‌های به خاک رعایت گردد به منظور حصول اطمینان بعضی از نمونه‌ها میزان توزیع یکنواخت در احجام قبل از انجام آزمایش کنترل گردید. این آزمایش‌ها به صورت خشک در تراکم نسبی ۷۰٪ انجام شد. استفاده از تراکم نسبی در درصد‌های بالاتر از این مقدار، به دلیل عدم امکان تراکم ماسه تنها و در درصد‌های تراکم پایین‌تر از این مقدار، به دلیل مشکل بودن آماده‌سازی نمونه‌های حاوی خرده‌لاستیک امکان‌پذیر نبود. در این آزمایش ابتدا خرده‌های لاستیک را به نسبت مشخص وزن کرده و سپس با توجه به نوع آزمایش، آنها را با درصد‌های وزنی مشخص، در سه قسمت مساوی با خاک مخلوط می‌کنیم. سپس هر قسمت را به‌طور جداگانه داخل قالب دستگاه برش مستقیم می‌ریزیم و آن را در وزن مخصوص مشخص متراکم می‌کنیم تا حجم قالب را پر کنند. برای تراکم نمونه‌ها از چکش فلزی مربع شکل با سطح مقطع کوبش 100 cm^2 استفاده شد. در ابتدا برای بدست آوردن نمونه‌های ماسه-خرده‌لاستیک با تراکم نسبی ۷۰٪، به دلیل اینکه هر مخلوط، وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل مربوط به خود را دارد، لذا وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل مربوط به هر نمونه جداگانه اندازه‌گیری و سپس با استفاده از رابطه (۱) وزن مخصوص خشک مخلوط (γ_d) محاسبه گردید و در انتها با استفاده از رابطه (۲) و با توجه به حجم قالب و صفر فرض کردن رطوبت نمونه‌ها، وزن خاک

جدول ۳. وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل مخلوط‌های ماسه-خرده‌لاستیک ۲×۴

Table 3. Maximum and minimum dry weight of sand-crumbled rubber mixtures (2 × 4)

خرده‌لاستیک ۲×۴ (%)	وزن مخصوص خشک حداقل (kN/m^3)	وزن مخصوص خشک حداکثر (kN/m^3)
۰	۱۳/۸	۱۶/۴
۵	۱۳/۵	۱۶
۱۰	۱۳/۳	۱۵/۶
۱۵	۱۳/۱	۱۵/۳
۲۰	۱۲/۹	۱۵/۱
۲۵	۱۲/۶	۱۴/۸

ساخته شده است که ۱۲ نمونه مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. شکل ۵ نتایج آزمایش‌های برش مستقیم تکراری را به صورت تغییرات تنش‌برشی در مقابل جابجایی افقی برای مخلوط دارای ۱۵٪ وزنی خرده‌لاستیک یک در دو اندازه ۲×۲ cm و ۲×۴ cm تحت سربار ۶۰ kPa ارائه می‌نماید. این شکل‌ها نشان می‌دهند که اختلاف نتایج حاصل از دو آزمایش در شرایط کاملاً یکسان حداکثر ۲/۶٪ است، که این اختلاف در محدوده‌ی مطالعات ژئوتکنیکی مورد قبول می‌باشد. این امر بیانگر دقت مناسب در آماده‌سازی نمونه‌ها، اندازه مناسب خرده‌های لاستیک، انجام صحیح روند آزمایش‌ها و دقت در اندازه‌گیری‌هاست.

آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه ماسه و ماسه مسلح شده با خرده لاستیک ۲×۲ cm و ۲×۴ cm در درصدهای وزنی مختلف انجام گرفته است. نمودار تنش‌برشی برحسب تنش قائم در شکل ۶ ارائه شده است.

این شکل نمودار پوش حاصل از منحنی حداکثر تنش‌برشی براساس تنش قائم است، که از آزمایش برش مستقیم بدست آمده است. نمونه‌ها تحت سربارهای ۳۰، ۶۰، و ۱۲۰ kPa قرار گرفته‌اند و میزان حداکثر تنش‌برشی برای هر سربار قرائت شده است.

همانطور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود در تنش‌های قائم مختلف، با افزایش درصد وزنی خرده‌های لاستیک به مخلوط، مقدار تنش‌برشی افزایش خواهد یافت. طبق مشاهدات انجام شده با اضافه کردن خرده‌لاستیک ۲×۲

W_t : وزن کل نمونه (کیلو نیوتن)

W_s : وزن ماسه (کیلو نیوتن)

و W_c : وزن خرده لاستیک (کیلو نیوتن) می‌باشد.

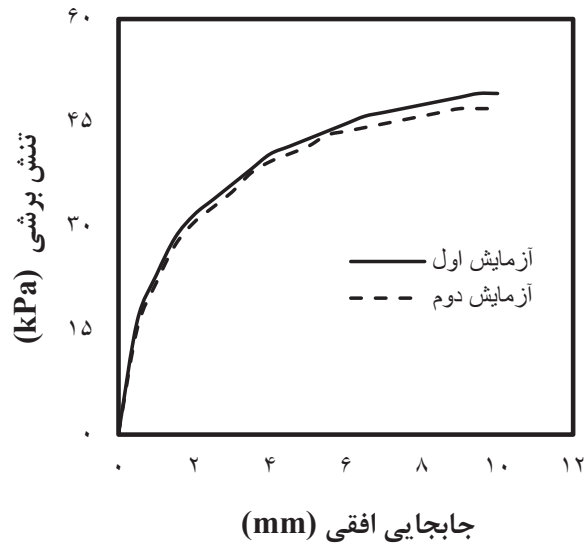
۵- آزمایش برش مستقیم

برای بررسی اثر خرده‌های لاستیک فرسوده بر روی خاک ماسه‌ای غیرچسبنده، آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس در جعبه‌ای به ابعاد ۳۰×۳۰×۱۵ cm و ارتفاع ۱۵ cm تحت تنش‌های ۶۰، ۳۰ و ۱۲۰ kPa بر روی ماسه غیرمسلح و همچنین مسلح شده با خرده‌لاستیک فرسوده در مقادیر وزنی ۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ با نرخ اعمال بار 2 mm/min مطابق استاندارد ASTM D3080، انجام پذیرفت.

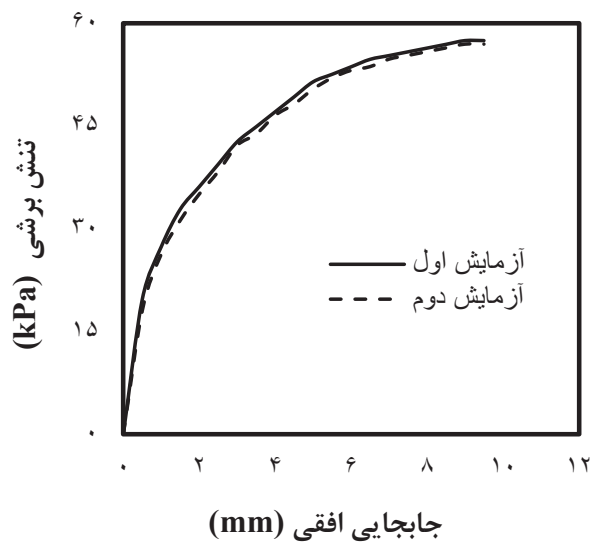
۶- نتایج

۶-۱- تکرارپذیری نتایج

از جمله مسائل مهم در مطالعات آزمایشگاهی، کنترل تکرارپذیری نتایج به‌منظور حصول اطمینان از عملکرد سیستم آزمایش، اندازه‌گیری مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی و دقت در آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش می‌باشد. از این رو تعدادی آزمایش جهت کنترل صحت آزمایش‌ها و تکرارپذیری آنها صورت گرفته است. در این آزمایش‌ها، تعداد ۳۳ نمونه



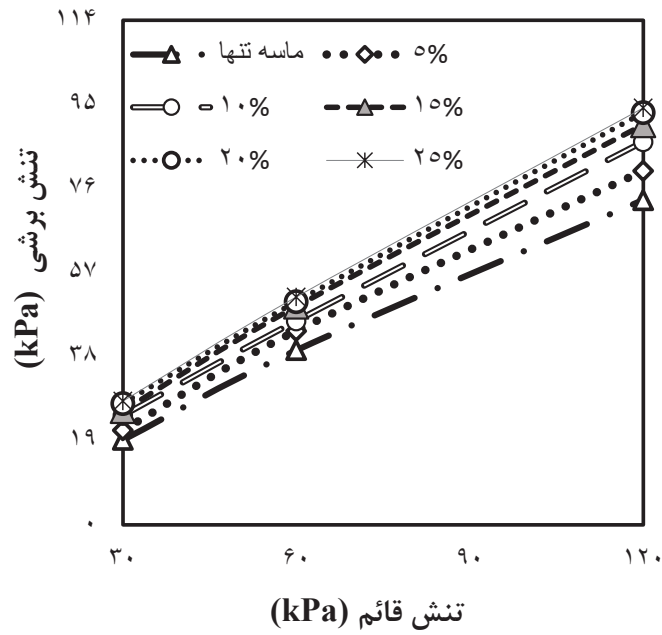
الف: خرده لاستیک ۲×۲



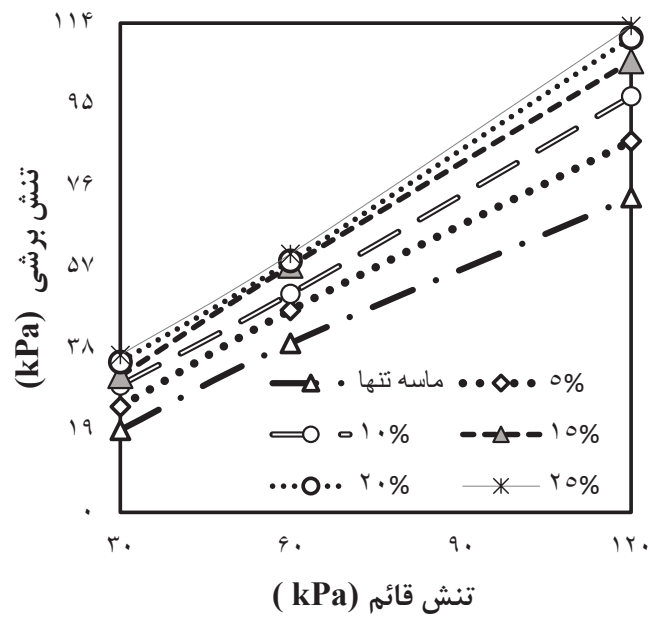
ب: خرده لاستیک ۲×۴

شکل ۵. تکرارپذیری تغییرات تنش برشی-جابهجایی افقی نمونه مسلح به ۱۵٪ خرده لاستیک تحت سربار ۶۰ kPa (الف) خرده لاستیک ۲×۲ (ب) خرده لاستیک ۲×۴

Fig. 5. Reproducibility of changes in shear stress-horizontal displacement of the sample reinforced with 15% crumbed tires under 60 kPa force a) crumbed tires (2 × 2) - b) crumbed tires (2 × 4)



الف: خرده لاستیک ۲×۲



ب: خرده لاستیک ۲×۴

شکل ۶. نمودار تنش برشی حداکثر بر حسب تنش قائم

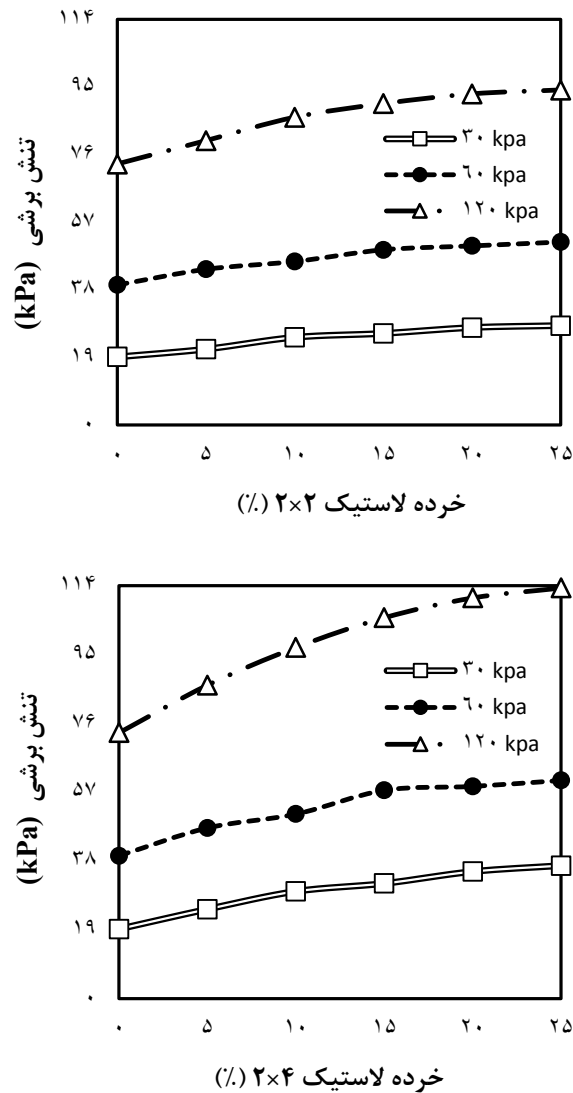
Fig. 6. Diagram of maximum shear stress relative to vertical stress

جدول ۲. وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل مخلوط‌های ماسه-خرده لاستیک (۲×۲)

Table 2. Maximum and minimum dry weight of sand-crumbed rubber mixtures (2×2)

(a) crumbed tires (2× 2)			
نسبت تغییرات تنش برشی در تنش قائم مختلف			
۱۲۰ kPa	۶۰ kPa	۳۰ kPa	خرده لاستیک (%)
۱	۱	۱	۰
۱/۰۹	۱/۱۱	۱/۱۱	۵
۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۲۹	۱۰
۱/۲۳	۱/۲۵	۱/۳۴	۱۵
۱/۲۷	۱/۲۸	۱/۴۳	۲۰
۱/۲۸	۱/۳۱	۱/۴۶	۲۵

(b) crumbed tires (2× 4)			
نسبت تغییرات تنش برشی در تنش قائم مختلف			
۱۲۰ kPa	۶۰ kPa	۳۰ kPa	خرده لاستیک (%)
۱	۱	۱	۰
۱/۱۸	۱/۱۹	۱/۲۹	۵
۱/۳۲	۱/۲۹	۱/۵۴	۱۰
۱/۴۳	۱/۴۶	۱/۶۶	۱۵
۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۸۳	۲۰
۱/۵۵	۱/۵۳	۱/۹۱	۲۵

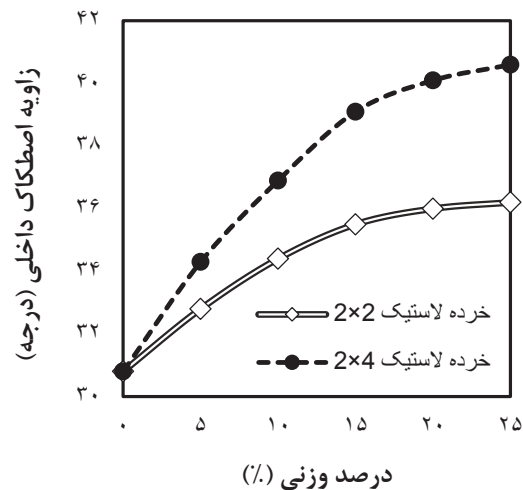


شکل ۷. تنش برشی حداکثر مربوط به نمونه های با درصد های وزنی مختلف تسلیح کننده

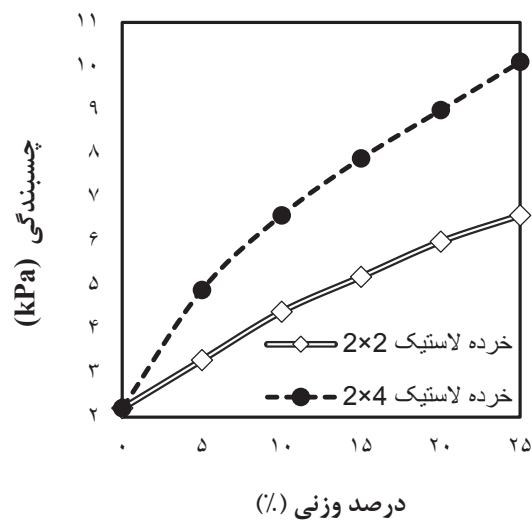
Fig. 7. Maximum shear stress related to samples with different weight percentages of reinforcement

شکل ۷ مقادیر تنش برشی حداکثر مربوط به نمونه های با درصد های وزنی مختلف تسلیح کننده را نشان می دهد. مطابق با این نمودارها، با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک، تنش برشی افزایش می یابد، علت این افزایش حضور قطعات لاستیک در مرز برش می باشد. نرخ افزایش تنش برشی برای مخلوط های ماسه و خرده لاستیک ۲×۴ cm بسیار بیشتر از خرده لاستیک ۲×۲ cm می باشد، به دلیل ابعاد بزرگتر خرده لاستیک های ۲×۴ cm پدیده اتفاق می افتد، اول اینکه ابعاد بزرگتر خرده لاستیک منجر به احتمال

به ماسه، تنش برشی مخلوط در نمونه تحت تنش قائم ۳۰ kPa تا ۴۵/۷٪، تحت تنش قائم ۶۰ kPa تا ۳۰/۶٪ و تحت تنش قائم ۱۲۰ kPa تا ۲۸/۴٪ افزایش می یابد. همچنین با اضافه کردن خرده لاستیک ۲×۴ به ماسه، تنش برشی مخلوط در نمونه تحت تنش قائم ۳۰ kPa تا ۹۱/۴٪، تحت تنش قائم ۶۰ kPa تا ۵۲/۸٪ و تحت تنش قائم ۱۲۰ kPa تا ۵۴/۵٪ افزایش می یابد علت افزایش تنش برشی، حضور لاستیک در مخلوط و ایجاد خاصیت اصطکاکی بین دانه ها است.



الف: زاویه اصطکاک داخلی



ب: چسبندگی

شکل ۸. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی مخلوط ماسه-خرده لاستیک بر اساس درصدهای وزنی مختلف

Fig. 8. Variations of the angle of internal friction and adhesion of sand-crumbed rubber mixture based on different weight percentages

می‌گردد. علت این امر، اصطکاک بیشتر بین ذرات خاک و خرده لاستیک در سربارهای بیشتر است و در نتیجه در سطح برش، لاستیک توانایی تحمل نیروی بیشتری دارد.

بررسی نمودارهای شکل ۸ نشان می‌دهد که مقدار افزایش مقاومت برای خرده‌های ۲×۲ کمتر از ۲×۴ می‌باشد که می‌تواند ناشی از عدم بسیج مقاومت خرده‌های ۲×۲ در سطح برش باشد. در واقع خرده‌های ۲×۲

بیشتر حضور لاستیک با مقاومت کششی بالا در سطح برش می‌گردد، دوم اینکه بیشتر بودن ابعاد خرده لاستیک ۲×۴ در مقایسه با خرده لاستیک ۲×۲، طول موثر گیرداری لاستیک‌ها را در سطح برش افزایش می‌دهد که منجر به نیروی بیشتری برای بیرون کشیدگی آنها می‌شود.

نکته قابل ذکر دیگر نرخ افزایش مقاومت می‌باشد که در مخلوط ماسه-خرده لاستیک با افزایش تنش قائم، نرخ افزایش مقاومت نیز بیشتر

جدول ۵. میزان تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مخلوط ماسه با درصدهای مختلف خرده لاستیک

Table 5. The amount of changes in adhesion and internal friction angle of sand mixture with different percentages of crumbed rubber

الف: خرده لاستیک ۲×۲
(a) crumbed tires (2×2)

میزان تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مخلوط ماسه با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۲×۲

خرده لاستیک (%)	چسبندگی (ضریب)	زاویه اصطکاک داخلی (%)
۵	۱/۵	۷
۱۰	۲	۱۲
۱۵	۲/۴	۱۵
۲۰	۲/۷	۱۷
۲۵	۳	۱۸

ب: خرده لاستیک ۲×۴
(b) crumbed tires (2×4)

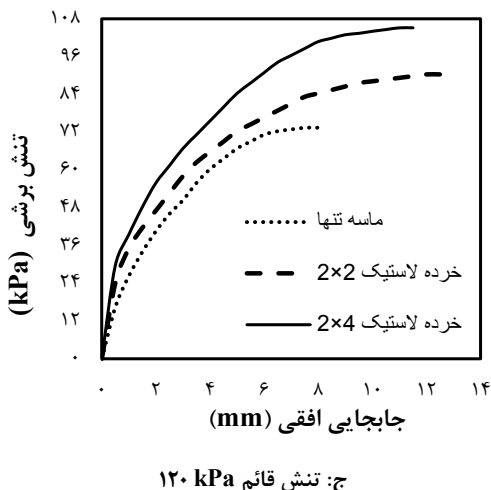
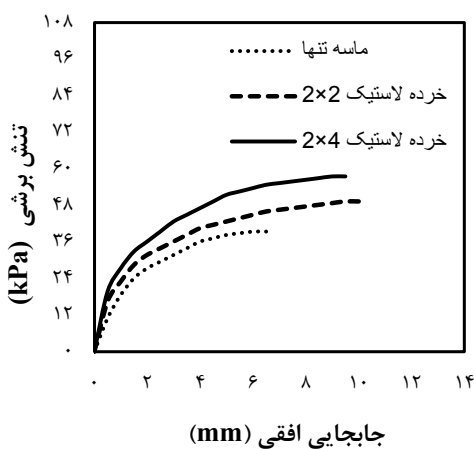
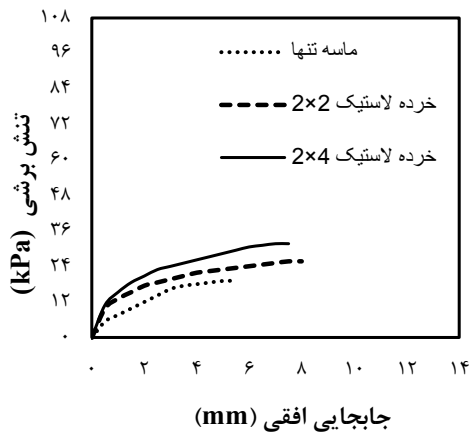
میزان تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مخلوط ماسه با درصدهای مختلف خرده لاستیک ۲×۴

خرده لاستیک (%)	چسبندگی (ضریب)	زاویه اصطکاک داخلی (%)
۵	۲/۲	۱۱
۱۰	۳	۲۰
۱۵	۳/۶	۲۷
۲۰	۴/۱	۳۰
۲۵	۴/۶	۳۲

نتایج بیانگر آن است که با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک، چسبندگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به نحوی که با افزایش ۲۵٪ وزنی خرده لاستیک ۲×۲ و ۲×۴ cm به ماسه خالص، چسبندگی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین زاویه اصطکاک داخلی نیز با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک، افزایش می‌یابد. ابتدا زاویه اصطکاک داخلی ۳۰/۸° می‌باشد با افزودن خرده لاستیک به ماسه، زاویه اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد. در

۲×۲ موجود در سطح برش نمی‌توانند مقاومت خود را به دلیل طول گیرداری کم بسیج کنند و رفتار مشابه خاک دانه‌ای دارد. اما خرده‌های ۲×۴ cm با طول زیاد، هم احتمال حضور بیشتری در سطح برش و هم طول گیرداری بیشتری دارند.

میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مخلوط ماسه و درصدهای مختلف خرده لاستیک در شکل ۸ و جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۹. نمودار تنش برشی-جابجایی افقی در ۱۵٪ وزنی لاستیک تحت سربار ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ kPa

Fig. 9. Diagram of shear stress-horizontal displacement in 15% by weight of crumbed rubber with the effect of 30, 60 and 120 kPa forces

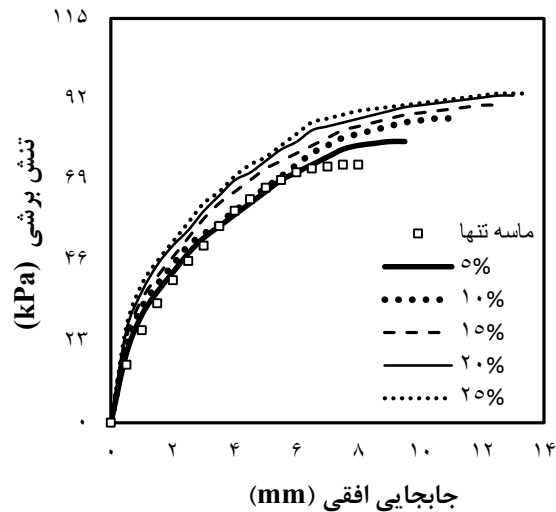
هر دو مخلوط ماسه-خرده لاستیک ۲×۲ و ماسه-خرده لاستیک ۲×۴، تا ۱۵٪ وزنی مسلح کننده، افزایش زاویه اصطکاک داخلی مشهود است اما بعد از آن تا ۲۵٪ وزنی، روند افزایش، کاهش می‌یابد. لذا بهینه‌ترین حالت برای زاویه اصطکاک داخلی در این تحقیق، ۱۵٪ وزنی مسلح کننده می‌باشد. از آنجایی که نمودار نیرو-تغییر مکان در خاک کمیت‌های مهمی از جمله سختی و ظرفیت نهایی تغییر شکل را تعیین می‌کند، منحنی تنش برشی-تغییر مکان افقی نمونه‌ها با درصد‌های مختلف مسلح کننده در شکل ۹ نشان داده شده است. جهت مقایسه نمودارها با یکدیگر، نمودار تنش برشی-جابجایی افقی کلیه درصد‌های مسلح کننده در فشار قائم ۱۲۰ kPa در شکل ۱۰ آورده شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد تنش برشی مخلوط با خرده لاستیک‌های ۲×۴ همواره بیشتر از مخلوط با خرده لاستیک‌های ۲×۲ است. علاوه بر این، در سربار ثابت با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک مقدار تنش برشی و نرخ افزایش تنش برشی، افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است، با افزودن خرده لاستیک به خاک، خاصیت شکنندگی آن کاهش یافته و خاک حالت نرم‌تری به خود می‌گیرد. این فرآیند باعث افزایش شکل‌پذیری خاک می‌گردد.

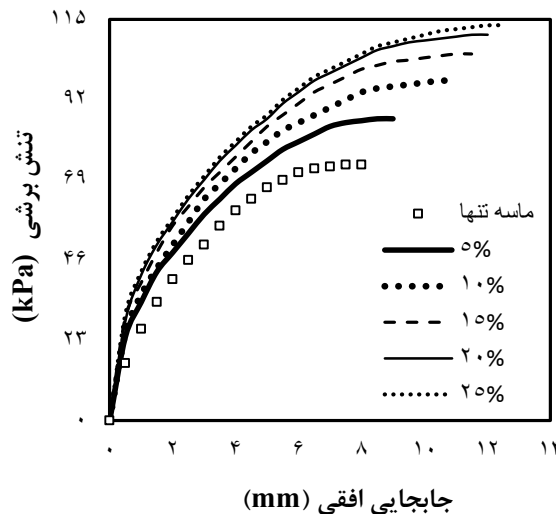
۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ملاک، انتخاب درصد و ابعاد مناسب خرده لاستیک به منظور دستیابی به مناسب ترین مقاومت برشی بوده است. از آن جایی که مقاومت برشی مخلوط وابسته به پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی است، به همین دلیل هدف این تحقیق، بررسی این پارامترها بوده است. همچنین به دلیل نوع خاک مورد آزمایش (ماسه) و از آن جایی که در خاک های ماسه ای زاویه اصطکاک داخلی از اهمیت بالاتری نسبت به چسبندگی برخوردار است، معیار اصلی برای بیان درصد مناسب خرده لاستیک، زاویه اصطکاک داخلی مخلوط خواهد بود. زاویه اصطکاک داخلی برای نمونه‌هایی با خرده لاستیک ۲×۴ بیشتر از نمونه‌هایی با خرده لاستیک ۲×۲ می‌باشد. علت افزایش بیشتر زاویه اصطکاک داخلی برای خرده لاستیک با ابعاد ۲×۴ نیز طول موثر بیشتر همراه با احتمال حضور بیشتر در سطح شکست می‌باشد.

۱- با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک از ۵ الی ۲۵٪ زاویه اصطکاک داخلی در نمونه با خرده لاستیک ۲×۲ و ۲×۴ به ترتیب در محدوده‌ی ۶/۵٪ تا ۱۷/۵٪ و ۱۱/۴٪ تا ۳۱/۸٪ افزایش می‌یابد، بطوری که بیشترین



الف: خرده لاستیک ۲×۲



ب: خرده لاستیک ۲×۴

شکل ۱۰. نمودار تنش برشی-جابجایی افقی در سربار ۱۲۰ kPa در درصدهای وزنی مختلف خرده لاستیک ۲×۲ cm و ۲×۴ cm

Fig. 10. Shear stress-horizontal displacement diagram due to the force of 120 kPa in different weight percentages of crumbed rubber (2 × 2) and (2 × 4)cm

۳- حالت بهینه، نمونه حاوی ۱۵٪ خرده لاستیک ۲×۴ cm است که زاویه اصطکاک داخلی را تا ۲۷٪ افزایش می‌دهد.
۴- وجه تمایز این مقاله با سایر مقالاتی که درباره‌ی خرده لاستیک ارائه شده است، تفاوت ابعاد خرده لاستیک مصرفی می باشد که در این مقاله هدف مقایسه اثر خرده لاستیک در دو اندازه ۲×۲ cm و ۲×۴ cm در خاک ماسه سواحل خزر بوده است.

مقدار افزایش زاویه اصطکاک داخلی، در نمونه‌های حاوی ۲۵٪ خرده لاستیک مشاهده گردیده است. همچنین چسبندگی نیز از ۲/۲ kPa به ترتیب به ۶/۶ kPa و ۱۰/۱ kPa افزایش می‌یابد.
۲- با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت برشی خاک‌های ماسه با افزایش درصد وزنی خرده لاستیک و افزایش تنش نرمال رابطه مستقیم دارد.

منابع

- the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials—Opportunities and Challenges, H. Hazarika and K. Yasuhara, Eds., pp. 215–222.
- [10] Edinçliler A., Cabalar AF., Cagatay A., Cevik A., 2010. “Triaxial Compression Behavior of sand and Tire Waste using Neural Networks “ Neural Computer and application Journal. DOI10. 1007/s00521-010-0430-4.
- [11] Shahin A. M., Mardesic T., Nikraz H. R., 2011. “Geotechnical Characteristics of Bauxite Residue Sand Mixed With Crumbed Rubber From Recycled Car Tires” Journal of Geo-Engineering. Vol. 6. No. 1. pp. 63-27.
- [12] Anastasiadis A, Senetakis K, Pitilakis K, Gargala C, Karakasi I., 2012. “Dynamic behavior of sand/rubber mixtures, Part I: Effect of rubber content and duration of confinement on small-strain shear modulus and damping ratio “ J ASTM Int 9(2).
- [13] Anastasiadis A, Senetakis K, Pitilakis K, Gargala C, Karakasi I., 2012. “Dynamic behavior of sand/rubber mixtures, Part II: Effect of Rubber Content on G/GO-c-DT Curves and Volumetric Threshold Strain” J ASTM Int 9(2).
- [۱۴] مهران نیا، نیما. کوشا، بهروز. وفائیان، محمود. ۱۳۸۵. " بررسی رفتار مقاومتی و نفوذپذیری مخلوط ماسه با ذرات لاستیک"، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، اردیبهشت، تهران.
- [15] Manafi S., 1390” The effect of fiber reinforcement and pieces of rubber the dynamic properties of the soil and reduce the effects of liquefaction With shaking table “,Master of Science, Urmia University, Department of Civil Engineering. (in persian).
- [16] Bahadori H., Mohammadi A.R., 1391. “The effect of adding rubber powder on undrained behavior of saturated sand using Triaxial “, the second conference of crisis management in the construction industry, vital arteries and underground structures. (in persian)
- [17] Saba H.R., Nokandeh M., gafuri amirbande S., 2016. “ Experimental Investigation improved geotechnical properties of mixed sand- rubber granule” Second International Conference on Advances in construction management, architecture and urban management,
- [۱] صمدیان، ف وزارت صنایع و معادن، معاونت امور تولید دفتر صنایع غیر فلزی “ گزارش بازیافت لاستیک ” مرداد ۱۳۸۵.
- [2] Lee, J. H., Salgado, R., Bernal, A. and Lovell, C. W. "Shredded tires and rubber – sand as lightweight backfill”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 125, pp.132-141,1999.
- [3] Edil, T. B. and Bosscher, P. J., 1994. “ Engineering Properties of Tire Chips and soil Mixtures” Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 17, No. 4, December 1994, PP. 453-464.
- [4] Edinçliler A, Baykal G and Dengili K., 2004 "Determination of static and dynamic behavior of recycled materials for highways" Conservation and Recycling, Vol. 42 (2004) , pp. 223-237.
- [5] Hataf, N., & Rahimi, M. M. (2006). "Experimental investigation of bearing capacity of sand reinforced with randomly distributed tire shreds". Construction and building materials, 20(10), 910-916.
- [6] Pamukcu S, Akbulut S., 2006. “Thermoelastic enhancement of damping of sand using synthetic ground rubber “ J Geotech. Geoenviron. Eng ASCE 132(4):501–510.
- [7] Hyodo, M., Yamada, S., Orense, R., Okamoto, M., and Hazarika, H., 2007. “Undrained Cyclic Shear Properties of Tire Chip-Sand Mixtures “ Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials—Opportunities and Challenges, H. Hazarika and K. Yasuhara, Eds., pp. 187–196.
- [8] Uchimura, T., Chi, N., Nirmalan, S., Sato, T., Meidani, M., and Towhata, I., 2007. “Shaking Table Tests on Effect of Tire Chips and Sand Mixture in Increasing Liquefaction Resistance and Mitigating Uplift of Pipe” Proceedings of the International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials—Opportunities and Challenges, H. Hazarika and K. Yasuhara, Eds., pp. 179–186.
- [9] Hazarika, H., Yasuhara, K., Karmokar, A., and Mitarai, Y., 2007. “Shaking Table Test on Liquefaction Prevention Using Tire Chips and Sand Mixture” Proceedings of

- Conditions”, American Society for Testing and Materials.
- [21] ASTM D 422, “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils “, American Society for Testing and Materials.
- [22] ASTM D854-92, “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer “, American Society for Testing and Materials.
- [23] ASTM D4253, “Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table”, American Society for Testing and Materials.
- Tehran. (in persian)
- [18] ASTM D 2487-11, “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) “, American Society for Testing and Materials.
- [19] “Sustainable Re-use of Tyres in Port, Coastal and River Engineering,” Guidance for planning, implementation and maintenance, March 2005.
- [20] ASTM D 3080-98, “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Qafuri Amirbande, H.R. Saba , M. Nokandeh, Investigation of the effect of Sizes Crumbed of worn Tires in shear strength parameters of Sandy soil, Amirkabir J. Civil Eng., 55(4) (2023) 893-910.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11800.5082



