Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021) 255-258
DOI: 10.22060/ceej.2020.16789.6346

Presentation of a New Method for Production of Environment-Friendly Concrete using PET Waste/Silica Fume and Its Mechanical/Durability Properties Investigation in Concrete Pavement

M. Akhondi, M. H. Ramesht*, T. Pourostam, A. Golsoorat Pahlaviani

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University (Central Tehran Branch), Tehran, Iran.

ABSTRACT: In this paper, we examine the simultaneous effect of polyethylene terephthalate and silica fume on the rheological and mechanical properties of concrete pavements and looking to present a new mix of green concrete (environmentally friendly concrete) with the use of PET waste materials and silica fume. Due to problems with asphalt pavement, such as endangering the environment, bitumen is expensive and considering that Iran is currently the third-largest producer of cement worldwide. Therefore, concrete pavements have been given special attention today. It also increases the consumption of pet food bottles and, consequently, increases waste production, and increasing the waste disposal site adds to the importance of reuse of these wastes. One of the uses of these lesions, without having a destructive effect on the environment, reusing them is to enclose them in concrete rigid pavements. On the other hand, research shows that another piece of waste products in the glass industry which is known as micro silica or silica fume which can be used in concrete pavement. The results from this study indicate the use of pet particles in concrete pavement did not have much impact on compressive strength But in contrast, it increases the tensile strength, bending. In contrast to the use of micro silica, it has increased compressive strength, reduced water absorption, and reduced permeability in concrete pavements.

Review History:

Received: Jul. 18, 2019
Revised: Nov. 04, 2019
Accepted: Dec. 10, 2019
Available Online: Jan. 02, 2020

Keywords:

Roller compacting concrete
Fresh properties
Mechanical properties of concrete
Recycled polyethylene terephthalate (PET)

1. Introduction

The reuse of plastic wastes has an important role in sustainable solid waste management. From

different points of view, it helps to save natural resources that are not replenished, Landfill space is limited, and the conditions in landfills make it impossible for plastic that can be converted to biodegrade. It decreases the pollution of the environment and it also helps to save and recycle energy production processes. One of the alternatives for the reduction of their negative effects is the application of these materials in other industries. The construction industry can consume a large amount of PET wastes without any environmental problem. The current applications of recycled PET in the construction industry include their use as an admixture for fiber concretes.

2. Methodology

Increasing the cementations materials and fillers in RCC will increase the brittleness of concrete matrix and more early-age cracking of RCC (due to plastic shrinkage, as well as thermal stress) and more drying shrinkage, comparing to normal concrete. Considering the successful experience of using particles in concretes during the past years to improve these shortcomings of concretes, the use of particles is a good idea to promote ductility and to reduce early-age cracking of RCC [1]. Besides due to the presence of particles that reduces the workability parameters of fresh concrete, maintaining the fresh properties of RCC within the desired range, limit the content of particles used in RCC [2]. The use of fiber-reinforced concrete (FRC) has been increased in building structures because the majority of using particles in concrete show improvement in toughness, compressive strength, flexural strength, tensile strength, impact strength as well as the failure mode of the concrete [3]. Based on experiments of other authors, limited works have been done on RCCs containing PET particles. Therefore, the effects of PET fiber on characteristics of fresh and hardened RCC were considered and were compared with RCC without fiber. In this study, the used coarse and fine aggregates-combination of natural and crushed-meet the requirements of ASTM C33. The normal Portland cement in RCC mixes was replaced with 10% of silica fume and water to a total cementations materials ratio (w/cm) of 0.40 was constant for all mixes. RCC mixes were prepared with total powder content of 450 kg/m3 (cement and silica fume) and coarse and fine aggregate contents of 660 kg/m3 and 860 kg/m3 respectively. The use of steel particles has become popular in FRC, especially their structural application is considered. In some cases, using steel particles could be more effective than the classic method of reinforcing the concrete with bars, such as below [4]. In thin sections, due to a small cover of concrete and geometric complications, the use of bars is not possible and the use of particles with a high volume percentage could be considered as a good replacement. Elements which are under severe loading, heavy

*Corresponding author's email:Mhramesht@yahoo.com

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

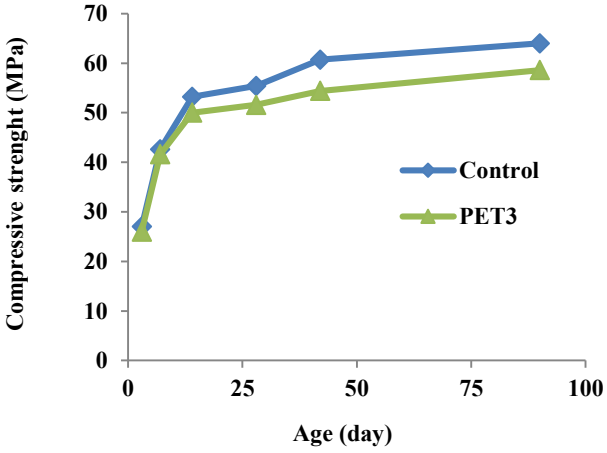


Fig. 1. Compressive strength specimen and test machine

Fig. 2. Compressive strength of control and PET.

loads, and large displacements (such as the interior cover of tunnels and explosion resistant structures) In such structures, particles act as additional reinforcements PET has been used increasingly in recent years especially use as PET bottles [5]. Burying or burning a great amount of these disposable materials does a lot of harm to the environment. Nowadays, researchers have investigated many effects of plastic waste on mortar and concrete, especially as mortar and concrete fiber reinforcement. Pereira and Castro investigated the effect of PET fiber on cement-lime mortar. The results indicated that the PET fiber incorporation did not significantly change the magnitude of the mortar compressive strength. Whereas, significantly improved the flexural strength of mortar with a major improvement in mortar toughness. A study by exploring the effect of PET particles on the ordinary concrete [6]. The test results showed that the addition of PET particles decreased the compressive strength of plain concrete [7].

3. Results and Discussion

Based on fresh concrete test results, the maximum permitted amounts of PET particles were 3 kg/m3 to preserve the workability of RCCs. Hence, for hardened concrete tests, PET3 mixtures along with the control mixture were considered. The test is conducted on a compression testing machine of capacity 3000 KN as shown in Fig. 1.

The results of the compressive strength test were graphically shown in Fig. 2.

As a first result, it can be observed that the splitting tensile strength of all reinforced PET particles concrete mixtures is higher than that of the control concrete. This improvement varies from 5% to 25% in the age of 3 to 90 days respectively. Moreover, the results showed that the mixes containing PET particles were more flexible and less brittle. With increasing PET replacement ratio, flexibility was increased in all mixes. In other words, the addition of PET to RCC mixes increased their plasticity. The relationship between splitting tensile strength of RCC mixtures versus cylindrical compressive strength was presented in Fig. 7. Accordingly, it can be seen that splitting tensile strength values of all RCC mixture containing PET particles lie in the range of bound value suggested [7].

4. Conclusions

The main conclusions of the paper must be put here. This experimental investigation focuses on the effect of reused plastic bottle waste particles (PET) on the fresh and hardened properties of RCC. The ecological benefit of effectively utilizing this waste material and sustainable development approaches are the main motivation for this work. From the obtained results of this study, the following conclusions can be drawn:

* The construction industry can consume a large amount of PET wastes without any environmental problem. The current applications of recycled PET in the construction industry include their use as resin for polymer concrete, as the results of this research showed, Pet particles even in the new generation of concrete-like roller-compacting concrete (RCC) can also be used, for example, to produce 3 to 5 kilograms PET particles, more than 100 waste bottles must be pulverized, that it could contribute to the solid waste management and sustainable development.

* Considering fresh concrete tests, the amounts of 3 kg/m3 PET particles can be regarded as the most optimized amounts of particles added to RCC mixtures.

* Amount of more than 5 kg/m3 not recommended, because the test results show that the addition of 5 kg/m3 PET particles decreased the flowability in the Vibe consistency time test, increased the flow time in the Vibe consistency time test.

References

[1] C. Albano, N. Camacho, M. Hernandez, A. Matheus, A. Gutierrez, Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios, Waste Management, 29(10) (2009) 2707-2716.

[2] A.I. Al-Hadithi, Improving impact and mechanical properties of gap-graded concrete by adding waste plastic fibers, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 4(2) (2013) 118-131.

[3] C. ASTM, 1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, Annual Book of ASTM Standards, 4 (2012)

[4] A.F. Avila, M.V. Duarte, A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites, Polymer Degradation and Stability, 80(2) (2003) 373-382.
[5] M. Batayneh, I. Marie, I. Asi, Use of selected waste materials in concrete mixes, Waste management, 27(12) (2007) 1870-1876.
[6] S. Chidiac, S. Mihaljevic, Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates, Cement and concrete composites, 33(8) (2011) 855-863.
[7] M. Dadsetan, H. Mirzadeh, N. Sharifi-Sanjani, M. Daliri, Cell behavior on laser surface-modified polyethylene terephthalate in vitro, Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 57(2) (2001) 183-189.
[8] P. Domone, A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, Cement and concrete composites, 29(1) (2007) 1-12.

HOW TO CITE THIS ARTICLE
M., Akhondi, M. H., Ramesht, T., Pourostam, A., Golsoorat Pahlaviani, Presentation of a New Method for Production of Environment-Friendly Concrete using PET Waste/ Silica Fume and Its Mechanical/Durability Properties Investigation in Concrete Pavement, Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021): 255-258.

DOI: 10.22060/ceej.2020.16789.6346

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ۳، سال ۱۴۰۰، صفحات ۱۱۰۷ تا ۱۱۱۶
DOI: 10.22060/ceej.2020.16789.6346

ارائه یک روش جدید برای تولید بتن دوست‌دار محیط زیست با استفاده از خرده پلاستیک ضایعاتی (PET)و دوده سیلیسی و بررسی مشخصات مکانیکی و دوام آن در روسازی بتنی غلتکی

مهدی آخوندی، محمدحسن رامشت*، توحید پوررستم، علی گلصورت پهلویانی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

خلاصه: در این مقاله به بررسی تأثیر همزمان ذرات پلی اتیلن ترفتلات و دوده سلیسی بر خواص رئولوژی و مکانیکی روسازی های بتنی پرداخته شده است و به دنبال ارائه یک طرح مخلوط جدید جهت تولید بتن سبز (بتن دوست‌دار محیط زیست) با استفاده از مواد ضایعاتی PET و دوده سیلیسی می‌باشد. از یک سو با توجه به مشکلات روسازی آسفالتی از قبیل به مخاطره انداختن محیط زیست، گرانی قیر و از سوی دیگر با توجه به اینکه کشور ایران در حال حاضر سومین تولید کننده بزرگ سیمان در سطح جهان می‌باشد از مواردی می‌باشد که این تحقیق را حائز اهمیت می‌سازد. امروزه روسازی های بتنی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته و همچنین افزایش مصرف بطری‌های نگهدارنده مواد غذایی پت و به تبع آن افزایش تولید زباله و ازدیاد محل دفع این ضایعات، بر اهمیت استفاده مجدد از این ضایعات می‌افزاید. یکی از موارد مصرف این ضایعات بدون داشتن اثرات مخرب زیست محیطی، استفاده مجدد آنها به صورت محبوس کردن آنها در روسازی‌های صلب بتنی است. تحقیقات نشان می‌دهد که یکی دیگر از محصولات ضایعاتی جانبی تولید صنایع شیشه که به عنوان ذرات میکروسیلیس یا دوده سیلیسی شناخته می‌شود که می‌تواند در بتن روسازی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از ذرات پت در روسازی بتنی تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری نداشته اما در مقابل موجب افزایش مقاومت کششی و خمشی می‌گردد. در مقابل استفاده از میکروسلیس موجب افزایش مقاومت فشاری، کاهش جذب آب و کاهش نفوذپذیری در روسازی های بتنی شده است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۷
بازنگری: ۱۳۹۸/۰۸/۱۳
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

کلمات کلیدی:
الیاف بازیافتی (PET)
میکرو سیلیس
اثرات زیست‌محیطی
روسازی بتنی
مشخصات مکانیکی
ترک بتن

۱- مقدمه

اهمیت توسعه‌ی پایدار و حفاظت از منابع محیط زیست موجب توجه بیش از پیش به مواد ضایعاتی و روش‌های استفاده مجدد از آنها گردیده است. یکی از روش‌های متداول در مهندسی عمران استفاده از مواد دورریز در محصولات سیمانی است. به عبارت دیگر تحقیقات نشان می‌دهد یکی از راه‌های حذف پسماندهای شهری حبس آن در نهاده‌های دیگر می‌باشد. استفاده از مواد ضایعاتی علاوه بر اینکه در کاهش هزینه‌های پروژه مؤثر است، نقش بسزایی در حفاظت از محیط زیست ایفاء می نماید. بازیافت ضایعات انبوه پلاستیک های تولید شده از دغدغه‌های دنیای امروز است. پلاستیک‌ها انواع مختلفی دارند، یکی ازمتداول‌ترین پلاستیک‌های مصرف شده در جهان PET (پلی اتیلن ترفتالات) می‌باشد. این ماده به عنوان ماده‌ای خام بطور گسترده در ساخت بطری‌های نوشیدنی، ظروف بسته بندی غذا وکالاهای مصرفی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سالانه بیش از ۶/۷ میلیون تن از این نوع بطری ها در جهان تولید می‌شوند. اکثر این بطری‌های نوشیدنی بعد از یک بار مصرف دور ریخته می شوند و حجم بسیار بالایی از آنها در چرخه ی دفع زباله در درون زمین دفن می‌شوند [۱, ۲].

روسازی‌های بتنی دارای انواع مختلفی از نظر ابعاد و نوع کاربری هستند. روسازی‌های با ضخامت بیشتر از ۸ سانتی‌متر که قابلیت تحمل بارهای سنگین و دینامیکی را دارا هستند به عنوان روسازی‌های ترافیکی محسوب می‌شوند. ضخامت‌های کمتر در مسیرهای عبور

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Email: mhramesht@yahoo.com

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

عابرپیاده و دوچرخه مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمول‌ترین روش برای تولید روسازی‌های بتنی، استفاده از بتن غلطکی می‌باشد، که بتن مصرفی در آن دارای اسلامپ صفر بوده و با استفاده از ویبره و پرس، متراکم می‌گردد. روسازی‌ها در سه لایه که دو لایه اصلی به ضخامت‌های حدود ۴۵ درصد ضخامت کل کوبیده شده و لایه رویه به صورت جداگانه و با دانه‌بندی ریزتر با ضخامت حدود ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر بر روی دو لایه دیگر قرار می‌گیرد [۳].

امروزه کاربرد روسازی بتنی روز به روز در حال افزایش می‌باشد. به منظور بهبود شرایط اقتصادی و زیست محیطی، نیازمند کاهش استفاده از سنگدانه‌های طبیعی و سیمان در کشور بسیار حائز اهمیت می‌باشد. جایگزینی سنگدانه‌ها با ضایعات تولید شده از مواد پلاستیکی یکی از راهکارهای موجود است که بعد از افزودن این ضایعات به بتن مورد استفاده در تولید روسازی‌ها، می‌توان خواص مکانیکی و کارایی بتن مورد استفاده را مورد سنجش قرار داد و عملکرد قابل قبول را می‌توان با تغییر در مقادیر به کار رفته در بتن بدست آورد [۳, ۴] .

از این رو بررسی امکان بازیافت PET و استفاده مجدد آن در چرخه‌ی تولید، درخور اهمیت می‌باشد. یکی از راه‌های پیشنهادی برای رفع این معضل، جایگزین کردن سنگدانه‌ای طبیعی با ضایعات PET، برای تهیه بتن روسازی است که این روش می‌تواند به عنوان فعالیتی مطلوب برای کمک به محیط زیست مفید واقع گردد. همچنین با توجه به تقاضای بسیار زیاد برای تولید بتن و پایان‌پذیر بودن منابع طبیعی تولید سنگدانه، این امر از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز توجیه پذیر است. در سال های گذشته استفاده از ضایعات پلاستیک در بتن و روسازی‌های بتنی موضوع تحقیق بسیاری از محققان قرار گرفته است [۵, ۶]. از مطالعاتی که پیرامون کاربرد ضایعات PET تاکنون صورت گرفته [۷, ۸]، نتایج مناسبی در زمینه کاهش انقباض، افزایش مقاومت دربرابر نفوذ یون کلر، کاهش چگالی، افزایش انعطاف‌پذیری و افزایش مقاومت کششی بدست آمده است [۲, ۹, ۱۰].

جدول ۱. مشخصات شیمیایی و درصد ترکیبات سیمان مورد استفاده

Table 1. Chemical properties and percentage of cement compounds used

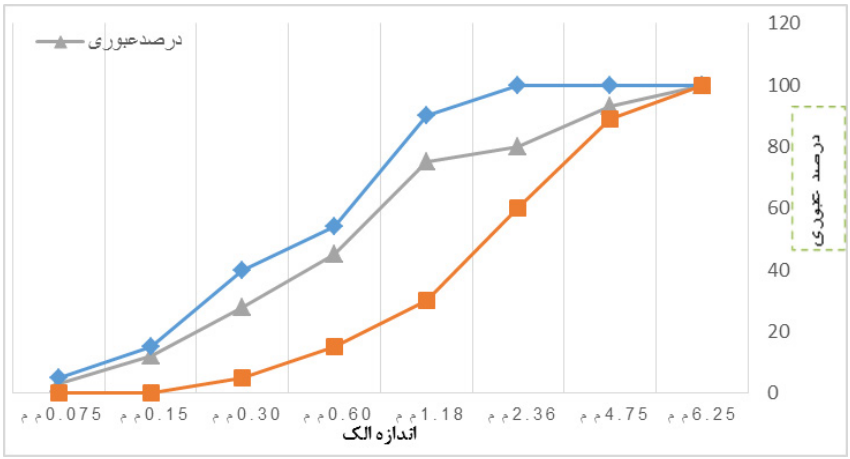
ترکیب	مقدار (٪)
Fe_2O_3	۳/۲
Al_2O_3	۵/۶
SiO_2	۲۱/۶۸
MgO	۱/۸
CaO	۶۳/۲
SO_3	۱/۷
Na_2O	۰/۲
K_2O	۰/۷
Loss on ignition	۱/۲۴

۲- مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در پژوهش مذکور به شرح ذیل می‌باشد:

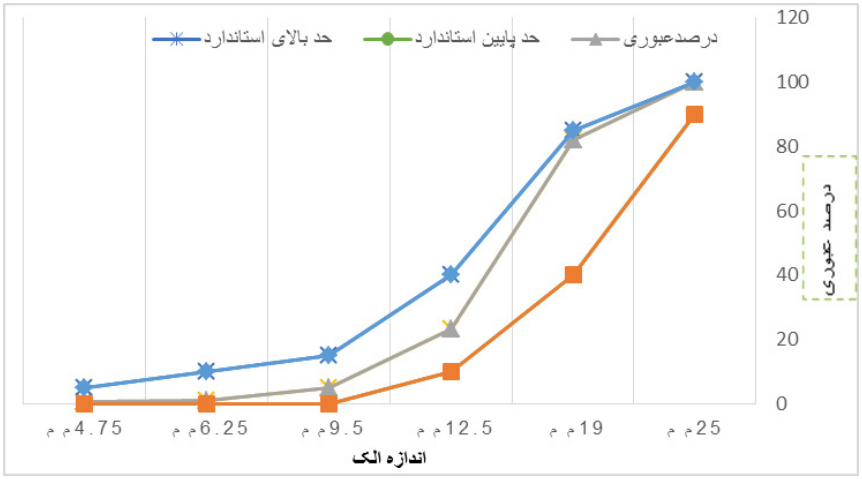
۲-۱- سیمان

سیمان به کار رفته در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ تولید کارخانه سیمان آبیک می‌باشد. دارای وزن مخصوص ۳۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و ترکیبات شیمیایی عناصر و اکسیدهای موجود سیمان پرتلند تیپ ۲ در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. نمودار دانه‌بندی ماسه مصرفی

Fig. 1. Grain chart of consumed sand



شکل ۲. نمودار دانه‌بندی شن مصرفی

Fig. 2. Grain diagram of consumed sand

۲-۲- ماسه

ماسه مصرفی به صورت طبیعی در محدوده ۶-۰ میلی‌متر بوده که پس از دانه‌بندی و کنترل کیفیت مطابق استاندارد ASTM C۳۳ [۱۱] مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار دانه‌بندی ماسه بتن مصرفی در «شکل ۱» نشان داده شده است.

۲-۳- شن

شن به صورت ترکیبی از سنگدانه‌های شکسته و طبیعی از معادن شهریار کرج با بزرگترین اندازه سنگدانه ۱۹ میلی‌متر بوده که پس از دانه‌بندی و مطابقت آنها با استاندارد ASTM C۳۳ [۱۲] مورد استفاده قرار گرفته و کیفیت آن از لحاظ وجود دانه‌های پولکی، همچنین درصد خاک موجود در آن توسط آزمایشات مربوطه مورد تأیید قرار گرفته است و وزن مخصوص اشباع با سطح خشک آن ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جذب آب آن نیز ۲ درصد بدست آمده است. نمودار دانه‌بندی درشت‌دانه‌ها در «شکل ۲» نمایش داده شده است.

۲-۴-آب

آب مصرفی در ساخت و عمل‌آوری بتن‌ها از آب شرب شهر کرج می‌باشد که با توجه به مصرف آشامیدنی آن برای ساخت بتن بدون مشکل است.

۲-۵- ذرات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی (PET)

برای تهیه PET مصرفی دراین تحقیق از خردکردن بطری‌های آب معدنی و نوشیدنی کمک گرفته شد که بوسیله دستگاه آسیاب پلاستیک بطری‌ها به صورت ذرات با ابعاد بین ۱ الی ۵ میلی‌متر خرد گردیدند (مطابق «شکل ۳») و لازم به توضیح می‌باشد که جذب آب ذرات PET نیز کمتر از ۰/۱ درصد وزنی آنها می‌باشد.

۲-۶- دوده سیلیس

دوده سیلیس مصرفی به عنوان پرکننده، از کارخانه صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) تهیه شده است. مشخصات شیمیایی دوده سیلیس مصرفی در جدول ۲ آورده شده است.

۳- طرح اختلاط

مطابق جدول ۳، از نسبت‌های اختلاط اجزا براساس استاندارد ACI ۳۲۷ R [۲] استفاده می‌گردد. برای مخلوط کردن مصالح در

شکل ۳. بطری‌های پلاستیکی خرد شده

Fig. 3. Shredded plastic bottles

جدول ۲. مشخصات شیمیایی و درصد ترکیبات دوده سیلیس

Table 2. Chemical Properties and Percentages of Silica Fume Compounds

مشخصات شیمیایی	درصد
SiO_2	۹۵/۱
CaO	۰/۴۹
Al_2O_3	۱/۳۲
Fe_2O_3	۰/۸۷
MgO	۰/۹۷
SO_3	۰/۱

ابعاد آزمایشگاهی ابتدا سنگدانه‌ها و PET را در میکسر ریخته و بعد سیمان و در انتها آب که با دوده سیلیس محلول شده است را به مخلوط اضافه گردیدند. لازم به ذکر است که با افزایش درصد ذرات PETزمان اختلاط را بیشتر نموده تا این ذرات کاملاً در بتن به طور یکنواخت مخلوط شوند. با توجه به تحقیقات شکل گرفته از گذشته تا کنون و آیین‌نامه‌های مربوطه، درصد افزودن ذرات پت را با عنایت به دانه‌بندی آن به عنوان جایگزین ماسه تلقی نموده و بین ۱ تا ۵ درصد از ماسه مصرفی را با آن جایگزین شده است [۹]. در این تحقیق علاوه بر مطالعات گذشته مقدار ۸ درصد از کل وزن سیمان با دوده سیلیس جایگزین شده است و نسبت آب به سیمان (سیمان+ مواد پودری) در تمامی طرح ها ثابت و برابر ۰/۳۴ در نظر گرفته شده است.

۴- بررسی و نتایج

۴-۱- مقاومت فشاری

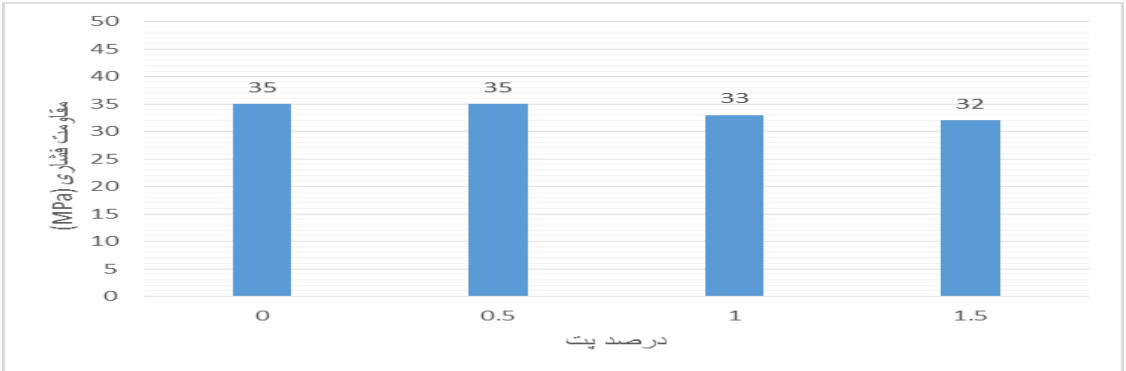
مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های روسازی بتنی معمولی (Control) و روسازی بتنی مسلح به ذرات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی (PET) و میکروسیلیس در «شکل ۴» نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که حضور ذرات PET بازیافتی کاهش اندکی در مقاومت فشاری را خواهند داشت. این کاهش مقاومت فشاری شاید به این دلیل باشد که استفاده از ذرات PET بازیافتی در روسازی بتنی سبب کاهش تراکم‌پذیری بتن می‌گردند که این امر ممکن است باعث ایجاد نقاط ضعف در بافت بتن به دلیل ایجاد تخلخل موضعی ناشی از نفوذ حباب هوا در اطراف ذرات پلاستیکی شوند و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری را فراهم می‌آورد.

از طرفی دیگر از آنجا که ذرات پت خاصیت آبگریزی دارند جذب آب این ذرات کمتر از ۰/۱ درصد است. لذا مانع از عبور آب از روی این ذرات و نفوذ به ساختار بتن جهت انجام فرایند هیدراتاسیون (آب‌پوشی) می‌شوند. ولی بعد از شکست نمونه‌ها در آزمایشگاه مشاهده

جدول ۳. نسبت‌های اختلاط نمونه‌ها

Table 3. Sample mixing ratios

طرح	سیمان Kg/m^3	شن Kg/m^3	ماسه Kg/m^3	آب Kg/m^3	نسبت آب به سیمان	دوده سیلیس Kg/m^3	الیاف PET بازیافتی Kg/m^3
Control	۳۸۰	۵۵۰	۱۳۰۰	۱۳۰	۰/۳۴	۰	۰
PET 0.5%	۳۵۰	۵۵۰	۱۲۹۳/۵	۱۳۰	۰/۳۴	۳۰	۶/۵
PET 1%	۳۵۰	۵۵۰	۱۲۸۷	۱۳۰	۰/۳۴	۳۰	۱۳
PET 1.5%	۳۵۰	۵۵۰	۱۲۸۰,۵	۱۳۰	۰/۳۴	۳۰	۱۹,۵



شکل ۴. مقایسه مقاومت فشاری بتن معمولی روسازی و بتن روسازی حاوی ذرات بازیافتی و میکروسیلیس با درصدهای مختلف

Fig. 4. Comparison of compressive strength of conventional pavement and pavement concrete containing recycled particles and silica with different percentages

شکل ۵. مقایسه حالت شکست تحت بارگذاری فشاری: تصویر سمت راست نمونه بدون الیاف پت و تصویر سمت چپ نمونه حاوی ذرات پت

Fig. 5. Comparison of failure mode under compressive loading

گردید در همه نمونه‌های روسازی بتنی حاوی ذرات PET بازیافتی در حین بارگذاری فشاری از شکست ترد (ناگهانی) به شکست نرم و تدریجی مطابق «شکل ۵» تغییر ماهیت پیدا کرده است. که این امر بیانگر افزایش خاصیت ارتجاعی روسازی بتنی خواهد گردید که در نتیجه افزایش آسایش رانندگی بر روی آن را به همراه خواهد داشت.

تأثیر ذرات PET بازیافتی بر مقاومت فشاری توسط سایر محققین نیز بررسی شده است [۱۳]. بر اساس نتایج بدست آمده توسط محققان بر نمونه‌های بتن پرسیمان با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵، ذرات PET بازیافتی، مقاومت فشاری بتن پرمقاومت را در سن ۲۸ روز با شرایط عمل‌آوری مرطوب، اندکی کاهش می‌دهد. در مطالعه ای دیگر توسط محققان صورت گرفته دال بر این می‌باشد که حضور ذرات PET بازیافتی سبب کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود [۱۴].

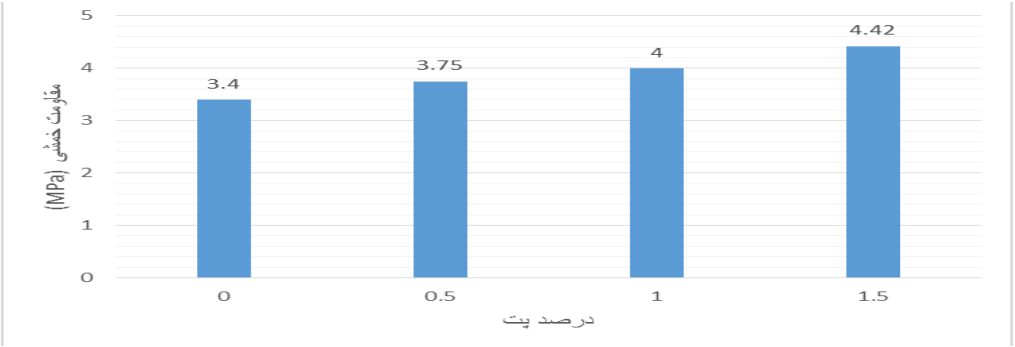
۴-۲- مقاومت خمشی

آزمایش مدول گسیختگی (مقاومت خمشی) روی نمونه‌های روسازی انجام شد. نمونه‌ها تا روز آزمایش تحت عمل آوری بوده و در سن ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفتند.

نتایج آزمایش مدول گسیختگی در «شکل ۷» آورده شده است. استفاده از الیاف PET بازیافتی باعث می‌شود نمونه‌ها به صورت ترد شکافته نشوند و بعد از افزایش بار، گسیختگی با دو نیم شدن کامل نمونه‌ها همراه نباشند. نحوه افزایش مقاومت خمشی در اثر استفاده از

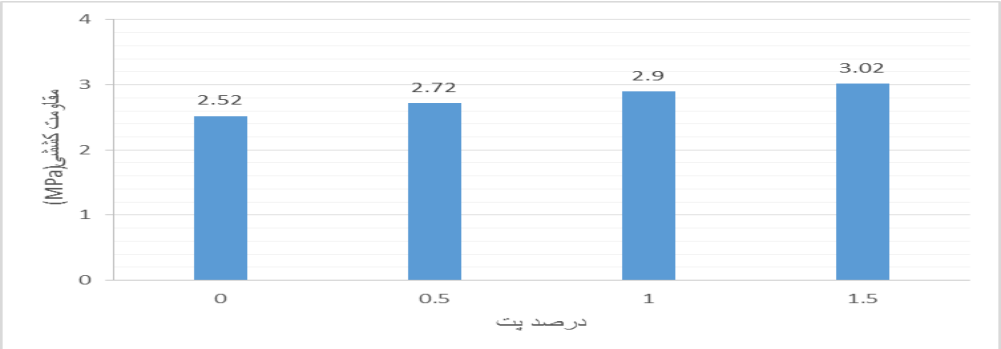
شکل ۶. نمونه‌های شکسته شده روسازی بتنی حاوی پت

Fig. 6. Broken concrete pavement samples containing pet



شکل ۷. مقایسه مدول گسیختگی بتن معمولی روسازی و بتن حاوی الیاف PET

Fig. 7. Comparison chart of rupture modulus of conventional pavement and PET containing concrete



شکل ۸. نمودار مقایسه مقاومت کششی بتن معمولی روسازی و بتن حاوی PET

Fig. 8. Comparison chart of tensile strength of conventional pavement and PET containing concrete

الیاف را می‌توان بدین صورت توضیح داد که استفاده از الیاف به معنی اتصال بسیار وسیع و فاصله کم الیاف می‌باشد، لذا پس از اعمال بار و بروز ترک‌های بسیار ریز در بافت بتن (ترک‌های میکروسکوپیک)، الیاف قادر خواهند بود از گسترش ترک‌ها به ترک‌های ماکروسکوپیک جلوگیری کرده و با انتقال تنش بین لبه‌های ترک از میزان تنش موجود در نوک ترک‌ها کاسته و از این طریق، از افزایش عرض ترک‌ها و تبدیل شدن ترک‌های میکروسکوپیک به ماکروسکوپیک جلوگیری کنند.

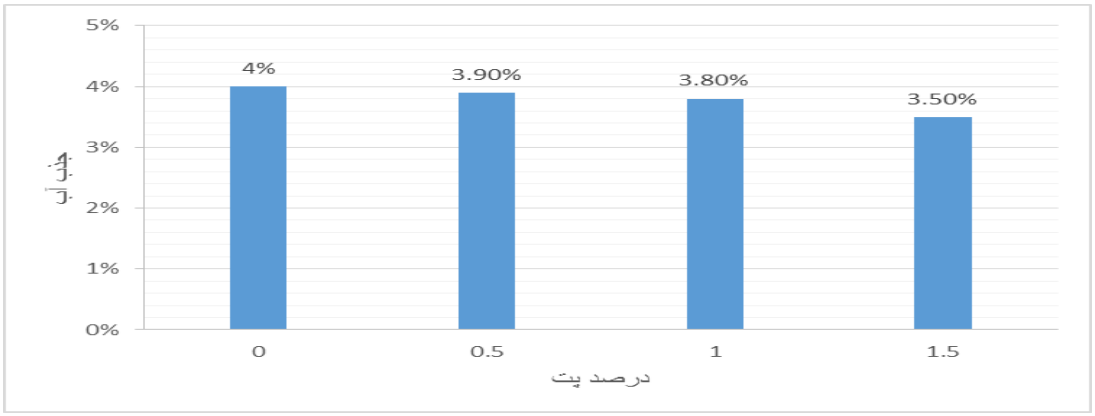
۴-۳- مقاومت کششی

آزمایش مقاومت کششی برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دو نیم شدن روی نمونه‌های استوانه‌ای انجام شد. نمونه‌ها در سن ۲۸ روز پس از عمل‌آوری مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج در «شکل ۸» نشان داده شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهند که حضور ذرات PET بازیافتی باعث افزایش مقاومت کششی می‌شود و هرچه میزان این ذرات افزایش می‌یابد بدلیل خاصیت کشسانی این ذرات پلاستیکی میزان مقاومت کششی افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، درصد افزایش مقاومت کششی طرح روسازی بتنی حاوی ذرات PET بازیافتی به میزان ۱/۵ درصد وزن حجمی ذرات PET نسبت به طرح بدون ذرات در سن ۲۸ روز حدود ۳۰٪ می‌باشد. نحوه‌ی شکست نمونه‌های روسازی حاوی ذرات پت در آزمایش کششی، متفاوت با نمونه‌های معمولی بوده و از حالت شکست ترد (ناگهانی) به حالت نرم و تدریجی تبدیل شده است. آنچه به هنگام افزایش مقاومت کششی در نتیجه استفاده از ذرات اتفاق می‌افتد را می‌توان بدین صورت تشریح کرد که ذرات به هنگام شکافته شدن در بین بخش‌های شکافته شده از ماتریس، از طریق انتقال تنش‌ها از ماتریس به ذرات، کرنش کششی بزرگتری را تحمل می‌کنند. در نتیجه، افزایش در مقاومت کششی مشاهده می‌شود.

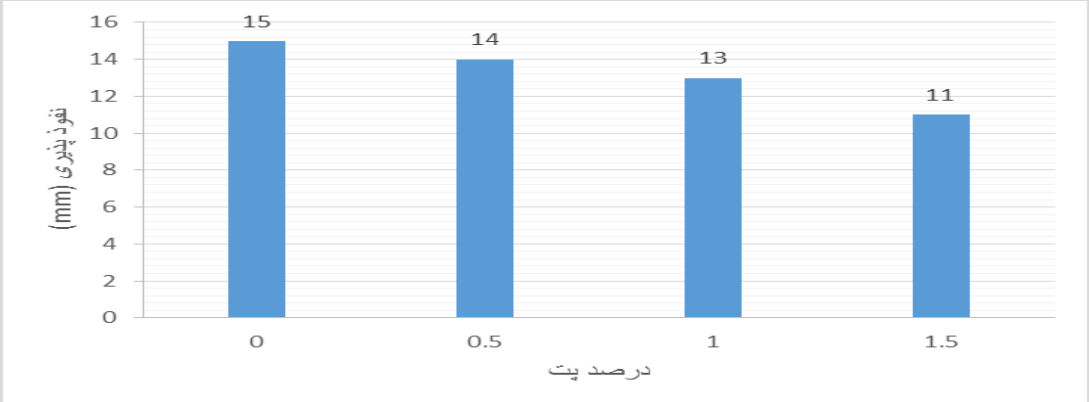
۴-۴- دوام

آزمایش جذب آب روی نمونه‌های روسازی انجام گرفت و نتایج آن در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹. نمودار مقایسه درصد جذب آب بتن معمولی روسازی و بتن حاوی PET

Fig. 9. Comparison chart for water absorption percentages of conventional pavement and PET containing concrete



شکل ۱۰. نمودار مقایسه نفوذپذیری بتن معمولی روسازی و بتن حاوی PET

Fig. 10. Comparison chart of permeability of conventional pavement and PET containing concrete

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد پت، جذب آب اندکی کمتر شده و اثر مثبتی در دوام بتن دارد .

۴-۵- نفوذ پذیری آب تحت فشار

نتایج تست عمق نفوذ آب تحت فشار مطابق با استاندارد EN ۱۲۳۹۰-۸ در «شکل ۱۰» نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عمق نفوذ آب در نمونه‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد به مقدار ۶/۶۷٪، ۱۳/۳٪ و ۲۶/۷٪ کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد افزودن PET و میکروسیلیس موجب کاهش عمق نفوذ آب در روسازی بتنی می‌شود.

۴-۶- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C۱۲۰۲روی نمونه شاهد (بدون میکروسیلیس و پت) و روی نمونه حاوی پت و میکروسیلیس با درصدهای ۰/۵ درصد ۱ درصد و ۱/۵ درصد انجام گردیده است. در این آزمایش از نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، آزمونه‌هایی به ضخامت ۵ سانتی‌متر تهیه و پس از اعمال خلأ و اشباع کردن با آب، داخل سلول دستگاه قرار گرفته و آزمایش انجام شده است .آزمونه داخل سلول از یک وجه با محلول سود (NaOH) و وجه دیگر با محلول نمک (NaCl) در تماس قرار گرفته شده است. الکترود طرفی از سلول که محلول سود درون آن است به قطب مثبت و الکترود طرف دیگر سلول که محلول نمک درون آن است به قطب منفی دستگاه مولد جریان مستقیم متصل شده و با روشن کردن دستگاه ولتاژ ۶۰ ولت به آزمونه‌ها از طریق الکترودها اعمال می‌گردد. جریان عبوری از نمونه طی ۶ ساعت ثبت و سپس با محاسبه سطح زیر نمودار جریان زمان، بار الکتریکی عبوری از هر آزمونه در سنین شار عبوری محاسبه می‌شود. نتایج آزمایش RCPT در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه در جدول ۴ و در هر سن روی چهار آزمونه نشان داده شده است.

از بررسی جدول این نتیجه حاصل شده است که حضور میکروسیلیس موجب کاهش نفوذپذیری و خلل‌وفرج در بتن می‌شود که در مقایسه با طرح شاهد کاهش چشم‌گیری داشته است. ولی با توجه به اینکه ذرات پلاستیکی پت تأثیر چندانی بر پر کردن خلل و فرج ندارد و حتی بعضاً در روزهای بالاتر موجب افزایش اندک یون کلر

جدول ۴. نسبت‌های اختلاط نمونه‌ها

Table 4. Sample mixing ratios

نام طرح	شارعبوری (کولومب)	
	۲۸ روزه	۹۰ روزه
کنترل(شاهد)	۳۴۰۰	۳۱۱۰
میکروسیلیس با پت ۰/۵ درصد	۲۷۱۰	۲۳۰۰
میکروسیلیس با پت ۱ درصد	۲۸۱۵	۲۳۶۰
میکروسیلیس با پت ۱/۵ درصد	۲۹۱۰	۲۴۱۰

هم گردیده است که نشان‌دهنده این می‌باشد که با توجه به مزایای دیگر این کاهش اندک قابل چشم‌پوشی خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

از جمله نوآوری‌های این تحقیق در مقایسه با تحقیقاتی که در این زمینه تاکنون انجام شده است، استفاده همزمان و تأثیر متقابل ذرات پت بازیافتی و دوده سیلیسی می‌باشد که از یکسو ذرات پت افزایش مقاومت کششی و خمشی را به همراه داشته است ولی تأثیر چندانی در مقاومت فشاری و پارامترهای دوامی نداشته؛ ولی از سوی دیگر استفاده از دوده سیلیسی پارامترهای دوامی را بهبود بخشیده و موجب پر کردن فضاهای مویینه و خلل‌وفرج‌های میکرو در بتن گردیده است. که این مقوله سبب بهبود ریز ساختارهای بتن در جلوگیری از بوجود آمدن ترک‌های ریز شده است.

- استفاده از PET که ازجمله ضایعات تقریبا! تجزیه‌ناپذیر در طبیعت است، می‌تواند با کاستن مشکلات زیست محیطی و اقتصادی ناشی از انباشته شدن و یا دفع آن در محیط زیست از یکسو و از سوی دیگر با کاهش دادن میزان استخراج سنگدانه از معادن و یا بستر رودخانه ها، از تخریب روزافزون محیط زیست بکاهد.

- نتایج نشان می‌دهند که حضور ذرات PET بازیافتی کاهش اندک مقاومت فشاری را در پی خواهند داشت، که این مقدار برای حالت بیشینه ۱/۵ درصد جایگزینی پت، حدود ۸ درصد کاهش مقاومت را در پی داشته است. این کاهش مقاومت فشاری شاید به این دلیل باشد که استفاده از الیاف PET بازیافتی در بتن سبب کاهش تراکم‌پذیری بتن می‌گردند که این امر باعث ایجاد نقاط ضعف در بافت بتن (به دلیل ایجاد تخلخل موضعی ناشی از نفوذ حباب هوا) خواهد شد و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری را فراهم می‌آورد.

- مقاومت کششی و خمشی نمونه‌های اخذ شده از روسازی بتنی، با افزودن ۱/۵ درصد پت جایگزین سنگدانه، به ترتیب حدود ۳۰ درصد و ۲۰ درصد افزایش یافته است .

- در این تحقیق، در مقایسه با تحقیقات مشابه داخلی و خارجی انجام شده این نتیجه حاصل شد که ذرات پت بازیافتی جایگزین مناسبی برای سنگدانه‌های بتن می‌باشد، در این راستا حتی وزن مخصوص بتن نیز کاهش می‌یابد. که در این راستا می‌توان با جایگزینی مقدار زیاد پت جایگزین سنگدانه می‌توان طرح‌های اختلاط بتن سبک دست پیدا کرد.

- با استفاده از ذرات پت بازیافتی ترک‌های حین اجرا در روسازی‌های بتنی و همچنین ترک‌های ماکروسکوپیک تا حد زیادی کنترل شده و بتن خاصیت ارتجاعی به خود می‌گیرد که این امر موجب آسایش رانندگان هنگام رانندگی می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند، مراتب تشکر و قدردانی خود را از آزمایشگاه همکار استاندارد آپتوس ایران و آقای دکتر بزرگمهر مدیر تحقیقات و توسعه کارخانه مذکور اعلام دارند.

مراجع

[1] C. Albano, N. Camacho, M. Hernandez, A. Matheus, A. Gutierrez, Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios, Waste Management, 29(10) (2009) 2707-2716.

[2] A.I. Al-Hadithi, Improving impact and mechanical properties of gap-graded concrete by adding waste plastic fibers, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 4(2) (2013) 118-131.

[3] C. ASTM, 1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, Annual Book of ASTM Standards, 4 (2012) 7.

[4] A.F. Avila, M.V. Duarte, A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites, Polymer Degradation and Stability, 80(2) (2003) 373-382.

[5] M. Batayneh, I. Marie, I. Asi, Use of selected waste materials in concrete mixes, Waste management, 27(12) (2007) 1870-1876.

[6] S. Chidiac, S. Mihaljevic, Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates, Cement and concrete composites, 33(8) (2011) 855-863.

[7] M. Dadsetan, H. Mirzadeh, N. Sharifi-Sanjani, M. Daliri, Cell behavior on laser surface-modified polyethylene terephthalate in vitro, Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for

Biomaterials, 57(2) (2001) 183-189.

[8] P. Domone, A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, Cement and concrete composites, 29(1) (2007) 1-12.

[9] D. Foti, Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers, Construction and building materials, 25(4) (2011) 1906-1915.

[10] H. Gamalath, T. Weerasinghe, S. Nanayakkara, Use of waste rubber granules for the production of concrete paving blocks, Traffic, 40(32) (2017) 80,100.

[11] B.-W. Jo, S.-K. Park, J.-C. Park, Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, 22(12) (2008) 2281-2291.

[12] S. Kakooei, H.M. Akil, M. Jamshidi, J. Rouhi, The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures, Construction and Building Materials, 27(1) (2012) 73-77.

[13] S. Mindess, F. Young, D. Darwin, Concrete 2nd Editio, Technical Documents, (2003).

[14] K. Rebeiz, Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET, Cement and Concrete Composites, 17(2) (1995) 119-124.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

M. Akhondi, M. H. Ramesht, T. Pourostam, A. Golsoorat Pahlaviani, Presentation of a New Method for Production of Environment-Friendly Concrete using PET Waste/Silica Fume and Its Mechanical/Durability Properties Investigation in Concrete Pavement, Amirkabir J. Civil Eng., 53(3) (2021): 1107-1116.

DOI: 10.22060/ceej.2020.16789.6346

این صفحه عمداً خالی است