**[[1]](#footnote-1)Evaluation of the Effect of Adding PET Polymer Waste on the Compressive Strength and Weight of Concrete in order to Make Sustainable Materials**

Saeed Kazemi Fard\*

Msc Student, Architecture, Art and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Saeedkazemifard2@gmail.com

Mostafa Gholipour Gashniani

Assistant professor, Department of Architecture, Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Cement-based materials that are used in construction today, require the extraction of natural sand and gravel on a very large scale, which is still increasing. On the other hand, with the ever-increasing production of plastics, especially PET polymer, which is one of the examples of its uses is in mineral water bottles, and the release of these bottles after consumption in nature, a new challenge in the field of environmental destruction has been created. In this research, with the aim of recycling PET and reducing the consumption of natural aggregates in the production of cement and concrete mortars, fine particles of PET (WPLA) were replaced with sand in different percentages, and factors such as weight and compressive strength of the manufactured composites were evaluated. The results showed that these materials have less weight than the samples without WPLA, but their compressive strength has decreased and according to the standards in this field, they are placed in the category of non-load bearing materials and in the section of non-structural parts can be used.

**Keywords**: Sustainable Materials, Concrete Materials, PET Recycling.

**بررسی تاثیر افزودن پسماندهای پلیمر PET بر مقاومت فشاری و وزن بتن به منظور ساخت مصالح پایدار**

سعید کاظمی فرد[[2]](#footnote-2)

دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری، دانشكده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

Saeedkazemifard2@gmail.com

مصطفی قلی پور گشنیانی

استادیار، مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده مسئول)

m.gholipour@umz.ac.ir

**چکیده**

مصالح با پایه سیمان که امروزه در ساختمان­سازی مورد استفاده قرار می­گیرند، در مقیاس بسیار وسیعی به استخراج ماسه و شن طبیعی نیاز دارند که این امر همچنان رو به افزایش است. از طرفی بشر با تولید روزافزون پلاستیک­ها و علی­الخصوص پلیمر PET که از نمونه­های استفاده آن بطری­های آب معدنی می­باشد و رها سازی این بطری­ها پس از مصرف در طبیعت، چالشی جدید در زمینه نابودی محیط زیست به وجود آورده است. در این پژوهش با هدف بازیافت PET و کاهش مصرف سنگدانه طبیعی در ساخت ملات­های سیمانی و بتن، ذرات ریز شده PET (WPLA) با درصدهای مختلف جایگزین شن و ماسه شدند و عواملی همچون وزن و مقاومت فشاری کامپوزیت­های ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که این مصالح نسبت به نمونه­های فاقد WPLA از وزن کم­تری برخوردارند اما مقاومت فشاری آن­ها کاهش یافته است و با توجه به استانداردهای مطرح در این زمینه در رده مصالح غیر باربر قرار می­گیرند و در بخش­های غیرسازه­ای می­توانند مورد استفاده قرار گیرند.

**کلمات کلیدی:** مصالح پایدار، مصالح بتنی، بازیافت PET.

# 1-مقدمه

انباشته کردن زباله­ها در طبیعت یکی از راه­حل­های رایج برای دفع و از میان برداشتن زباله­ها می­باشد که این عمل با هزینه­های گزاف برای طبیعت و محیط زیست همراه است. محل دفن زباله سم­هایی تولید می­کند که در جو آزاد می­شوند و یا در خاک نفوذ می­کنند و منابع آب زیرزمینی و رودخانه­ها را آلوده می­کنند که این امر در نهایت به نابودی اکوسیستم­های دریایی و اقیانوس­ها نیز منجر می­گردد [1]. همچنین حجم تولیدات انسان­ها در هر زمینه­ای رو به افزایش است که از عواقب آن مصرف بی رویه منابع اولیه کره زمین و سوخت­های فسیلی می­باشد. این امر سبب گردیده تا محققان و موسسات فراوانی در سطح جهان در تلاش برای کاهش گازهای گلخانه­ای و یا بازیافت منابع استخراج شده و تبدیل آن­ها به مواد ثانویه باشند [2]. یکی از شایع­ترین زباله­هایی که امروزه بشر با آن مواجه است پلاستیک­ها هستند. پلاستیک­ها انواع مختلفی دارند ولی PET[[3]](#footnote-3) که بطری­های پلاستیکی از آن ساخته می­شوند معمولا به راحتی دور ریخته می­شوند و دفع آن­ها نیز با مشکلات فراوانی همراه است [3]. با توجه به سناریو افزایش میزان مصرف محصولات PET و نیاز آن به مدت طولانی برای تجزیه -بیش از صد سال- به دلیل مقاومت بالا در برابر عوامل جوی و بیولوژیکی، موثرترین راه­حل برای مشکل مقصد زباله PET استفاده مجدد از آن برای تولید مواد جدید می­باشد [4،5]. بر این اساس، امکان استفاده مجدد از این پسماندها در مصالح ساختمانی به عنوان یک فرصت عالی ظاهر می­شود و علاوه بر آن، امکان کاهش استفاده از منابع طبیعی به عنوان مواد اولیه را فراهم می­کند[6]. در ساخت کامپوزیت های بتنی و سیمانی، از منابع طبیعی عظیمی استفاده می­شود و حجم تولید سالیانه بتن به طور مستقیم حدود 5 میلیارد تن سنگدانه را شامل می­گردد. با اتکا به چنین فرصتی برای تولید بتن با استفاده از مواد زائد و شیوه­های نوین و پایدار، روند تخریب محیط زیست کاهش می­یابد و توسعه متوازن تضمین می­شود. به عبارت دیگر، در مقیاس جهانی جابجایی هر درصد از سنگدانه­های طبیعی با WPLA[[4]](#footnote-4) و یا مصالح بازیافتی دیگر، باعث کاهش استخراج و مصرف صدها میلیون تن مصالح طبیعی می­گردد[7]. بازیافت زباله­های PET در مصالح ساختمانی می­تواند به روش­های مختلفی صورت پذیرد که یکی از این روش­ها استفاده از آن در ترکیبات بر پایه سیمان است. علاوه بر مزیت­های زیست محیطی اگر این کامپوزیت­ها به گونه­ای ساخته شوند که کارآمد بوده و فاکتورهایی نظیر مقاومت فشاری و وزن مناسب را دارا باشند، می­توان به عنوان پاسخی برای مشکلات زیست­محیطی که پیش­تر بیان گردید، به آن­ها پرداخته شود. [8].

از اولین کسانی که تحقیقات بر روی اضافه کردن پلاستیک ضایعاتی بر ملات­ها را آغاز کرد المناصیر بود که در سال 1997، ذرات نامنظم پلاستیک را به نسبت­های مختلف روی بتن اعمال کرد. محقق مشاهده کرد که وقتی مقدار پلاستیک افزایش می­یابد، مقاومت و کارایی بتن کاهش می­یابد. وی این پدیده را به چسبندگی ناکافی پلاستیک به سیمان نسبت داد [9]. پس از آن نیز محققان دیگری با تغییر در نسبت­های مواد تشکیل دهنده ملات و نیز درصدهای جایگزینی WPLA و سنگدانه پارامترهای مختلفی را بر روی کامپوزیت­های بتنی اندازه گیری کردند که برخی از این نسبت­ها و درصدهای جایگزینی در جدول1 آمده است. در پژوهش شلابی و همکاران، نمونه­های 30 و 50% مقاومت بسیار پایینی از خود نشان داده و مقاومت 28 روزه آن­ها به ترتیب MPa9.93 و MPa2.67 بوده است و این در صورتی است که نمونه 0 و 10% به ترتیب مقاومت فشاری MPa31.20 و MPa30.40 داشته­اند [10]. آکچازوگلو و همکاران نیز نشان دادند، با جایگزین کردن 30% WPLA و ماسه، مقاومت فشاری، در مقایسه با نمونه بدون WPLA، 40% کاهش پیدا کرد و به MPa25.3 رسید، این در حالی است که مقاومت 28 و 90 روزه نمونه 0% به ترتیب MPa43.2 و MPa55.9 و برای نمونه 50% نیز به ترتیب MPa16.6 و MPa19.7 بوده است[11]. نتایج پژوهش صافی و همکاران نیز نشان داد، با افزایش درصد WPLA مقاومت فشاری کامپوزیت­ها کاهش می­یابد و مقاومت فشاری 28 روزه نمونه­های 30 و 50% نسبت به نمونه 0% در این پژوهش 33%کاهش یافته است[12]. کاهش مقاومت فشاری بتن با افزایش مقدار WPLA را می­توان در نتیجه پیوند ضعیف دیگر عناصر تشکیل دهنده ملات و WPLA در مقایسه با سنگدانه طبیعی دانست که در پژوهش کامبی و همکارن بدان اشاره گردیده است[13]. هانوسیاک و همکاران، ابتدا 10% وزنی خاکستر بادی را با سیمان جایگزین کردند، سپس نمونه­هایی مکعبی با جایگزین کردن 20% وزنی بطری پلاستیکی خرد شده و یا 40 % وزنی خاک اره با سنگدانه ساختند که هر دو مورد ابعادی برابر 0-4 میلیمتر داشتند. در برخی نمونه­ها نیز الیاف پلی استر به ترکیبات اضافه گردید و مقاومت فشاری، کششی و خمشی آن­ها مورد آزمایش قرار گرفت. در نتایج به­دست آمده مقاومت فشاری تمام نمونه­های حاوی ضایعات، از نمونه کنترل ساخته شده پایین­تر بود. به این صورت که در نمونه­های حاوی 20% وزنی بطری خرد شده و 40% وزنی خاک اره، مقاومت فشاری به ترتیب 5/24% و 52% کاهش یافت و تنها نمونه حاوی الیاف پلی استر و خاکستر بادی کاهش مقاومت کم­تری (11%) نشان داد. [14] در پژوهشی دیگر، نمونه بتنی استوانه­ای حاوی 10 درصد WPLA جایگزین سنگدانه و 20 درصد دوده سیلیس به عنوان درصدی از حجم کل بتن ساخته شد و مقاومت فشاری 28 روزه آن نسبت به نمونه بتن معمولی مورد آزمایش قرار گرفت، یافته­های این مطالعه نشان داد که پس از 28 روز عمل­آوری، مخلوط ابداعی بتن دارای مقاومت فشاری 25 مگاپاسکال است که در مقایسه با مقاومت فشاری 37 مگاپاسکال بتن استاندارد پس از همان دوره عمل­آوری، بدون ایجاد اختلال در کارایی آن، دارای مقاومت فشاری مورد نیاز می­باشد. [15] به عنوان نوآوری در پژوهشی دیگر، بطری های PET خرد شده با بخشی از سنگدانه های ریز در درصدهای 2، 4، 6، 8 و 10 جایگزین شده و سنبل آبی به عنوان یک روان کننده طبیعی به مقدار 10 و 20 درصد وزنی آب اضافه گردید. پس از آزمایش نمونه­های مکعبی 15\*15\*15سانتی­متر، مشخص گردید که با افزودن ذرات PET تا 4 درصد، مقاومت فشاری بتن افزایش می­یابد و با افزودن بیش از 4 درصد، مقاومت به تدریج کاهش می­یابد. افزودن سنبل آبی نیز مقدار آب مورد نیاز بتن را کاهش می­دهد و در افزایش مقاومت آن مؤثر است. [16] کنگاور و همکاران، برای ساخت بتن با درجه N32 که استاندارد بتن ساختمان­های کوتاه مرتبه در استرالیا می­باشد، نمونه­های استوانه­ای با ابعاد 10\*20 سانتیمتر و نمونه­هایی به شکل تیر در ابعاد 15\*15\*70 با استفاده از ذرات PET با درصد جایگزینی 0٪، 10٪، 30٪ و 50٪ به صورت حجمی ساختند و خواص مهمی مانند کارایی (اسلامپ)، چگالی، مقاومت فشاری، مدول الاستیک، کشش، استحکام خمشی و جابجایی نوک ترک (CMOD)، همراه با مشاهدات ریزساختاری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تجربی نشان داد جایگزینی 10% PET با سنگدانه ریز، مقاومت فشاری را به مقدار 9.07% افزایش داده و مقاومت فشاری نمونه حاوی 30% با نمونه بتن معمولی قابل قیاس می­باشد، اما افزودن 50% PET موجب کاهش مقاومت فشاری به مقدار 26.3% می­شود و جایگزینی سنگدانه‌های ریز با 10 درصد ذرات PET بازیافتی به صورت حجمی، مقدار مناسب جهت بهینه سازی عملکرد بتن بوده و تأثیر مثبتی بر خواص بتن داشته و شکل­پذیری آن را نیز بهبود می­بخشد. [17]

*جدول 1. نسبت­های متداول ذرات تشکیل دهنده ملات­های پلاستیکی(منبع:نگارنده)*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ردیف** | **نسبت سیمان به دانه­ها**  **(وزن)** | **نسبت آب به سیمان** | **اندازه** | **منبع** | **نویسنده** |
| 1 | 1:3 | 0.5 | ماکسیمم10 mm و 71.4 درصد ذرات کوچکتر از 5 mm | [18] | Hannawi et al, 2010 |
| 2 | 1:3 | 0.5 | 0.5 mm تا 4mm و ذرات پلاستیکی 2mm | [11] | Akçaözoğlu  et al., 2013 |
| 3 | 1:2.06 | 0.42 | ماکسیمم 4 mm و 80 درصد ذرات کوچکتر از 3 mm | [12] | Safi et al, 2013 |
| 4 | 1:3.5 | 0.42 و 0.54 | 2mm | [16] | Rahmani et al, 2013 |
| 5 | 1:2.03 | - | 1-4 mm | [20] | Gouasmi et al, 2016 |
| 6 | 1:3 | 0.46 | 5.73 mm | [10] | Shalaby et  al., 2013 |
| 7 | 1:6.13 | 1.35 | 1-4mm | [21] | Da Silva et al, 2014 |
| 8 | 1:3 | 0.45 | 2mm و 3mm | [22] | Rahman et al, 2013 |
| 9 | - | 0.6 و 0.5 | (S):2.6 mm  (L):1.14mm  که با نسبت 50\*50 مخلوط شدند. | [23] | Albano et al.,  2009 |
| 10 | 2:2.8 | 0.5 | 5mm و 2mm و 1mm | [24] | Marzouk et  al.,2007 |
| 11 | 1.3 | 0.5 | 2.38تا4.75  و  1.19-2.38 | [25] | Waroonkun et al, 2017 |
| 12 | 1:7 و 1:4.8 | 0.45 و 0.55 | 0.1 تا 5 mm | [26] | Frigione,2010 |

در پژوهش­هایی که در این بخش مورد بررسی قرار گرفتند معمولا پژوهشگران WPLA را در درصدهای 0، 10، 20، 30 و 50 جایگزین سنگدانه طبیعی نمودند، نسبت آب به سیمان در ساخت ملات­های این پژوهشگران به طور میانگین در حدود 50% بوده و نسبت سیمان به مجموع دانه­های طبیعی و پلاستیکی نیز به طور میانگین در حدود 1:3 بوده است. همچنین بازه­های زمانی انجام آزمایش­ها بر روی نمونه­های مورد مطالعه عموما 7، 14و 28 روز بوده­اند.

نکته دیگری که حائز اهمیت است، آن است که در پژوهش­های مختلف با درصدهای یکسان جایگزینی WPLA با دانه­های طبیعی نتایج یکسانی بدست نیامده است، این امر به متغیرهای دیگری نظیر اندازه، شکل هندسی و جنس ذرات، نسبت آب به سیمان، نسبت سیمان به ذرات و دیگر پارامترها که در هر نمونه مطالعاتی دخیل هستند مربوط می­باشد. بنابراین هدف اصلی در این پژوهش بومی سازی ساخت کامپوزیت­های پلاستیک-سیمان با استفاده از پتانسیل­های موجود داخلی می­باشد. با توجه به این­که کشور پهناور ایران نیز با چالش­های متعددی در زمینه استفاده مجدد از پسماندها و به ویژه پسماند PET روبه­رو است، ضرورت ساخت نمونه­های داخلی این کامپوزیت­ها بیش از پیش نمایان می­گردد. به این منظور ابتدا مصالح موجود در منطقه شمال کشور مورد شناخت و ارزیابی قرار گرفتند، از جمله تفاوت­های مطرح در این پژوهش با نمونه­های خارجی، استفاده از مواد اولیه داخلی نظیر سیمان، پسماندهای بطری­های آب معدنی و سنگدانه­های کارخانه­های داخلی می­باشد. درصدهای جایگزینی ذرات PET با ماسه، نسبت­های آب به سیمان، سیمان به سنگدانه و بازه­های زمانی انجام آزمایش­ها از پژوهش­های خارجی الگوبرداری گردید، اما ظرفیت­های موجود منطقه، مواد اولیه مورد استفاده در ساخت ملات­ها را شکل دادند، که این تفاوت با پژوهش­های دیگر سبب گردید که هرکدام از مواد اولیه از جهات مختلف مورد ارزیابی قرار گیرند، به عنوان مثال ذرات تشکیل دهنده سیمان و نمودار دانه­بندی سنگدانه­ها و ریزدانه­های موجود در منطقه به صورت جداگانه آزمایش گردیدند.

# 2-برنامه آزمایشگاهی

## **2-1-طرح اختلاط و نسبت­های WPLA**

به منظور انجام آزمایشات در این پژوهش، 20 نمونه بتنی با درصدهای WPLA، 0، 10، 20، 30 و 50% ساخته شدند، که از هر کدام از این درصد ها 4 عدد به منظور آزمایش در بازه­های زمانی 3، 7، 14 و 28 روزه در نظر گرفته شده است. نسبت های ترکیب اجزاء مختلف در این پژوهش نیز باتوجه به نمونه­های بررسی شده در جدول1 و تجربیات پژوهشگران دیگر انتخاب شدند. بر این اساس نسبت­ آب به سیمان در حدود 50% از لحاظ وزنی و نیز نسبت سیمان به سنگدانه­ها نیز 1به3 در نظر گرفته شده است[12،18،23]. برای مثال برای ساخت ملات با 20% جایگزینی WPLA، در صورتی که وزن سنگدانه 10 کیلوگرم باشد، وزن WPLA مورد استفاده 2 کیلوگرم، وزن سیمان، یک سوم مجموع وزن سنگدانه طبیعی و WPLA یعنی 4 کیلوگرم و وزن آب مورد استفاده 2 کیلوگرم می­باشد.

## 2-2- مصالح

گام اول در انتخاب مصالح اولیه، بررسی مصالح در دسترس در منطقه شمال کشور می­باشدکه شامل سیمان، سنگدانه­های طبیعی، دانه­های پلاستیکی(WPLA) و آب می­باشند.

### 2-2-1. سیمان

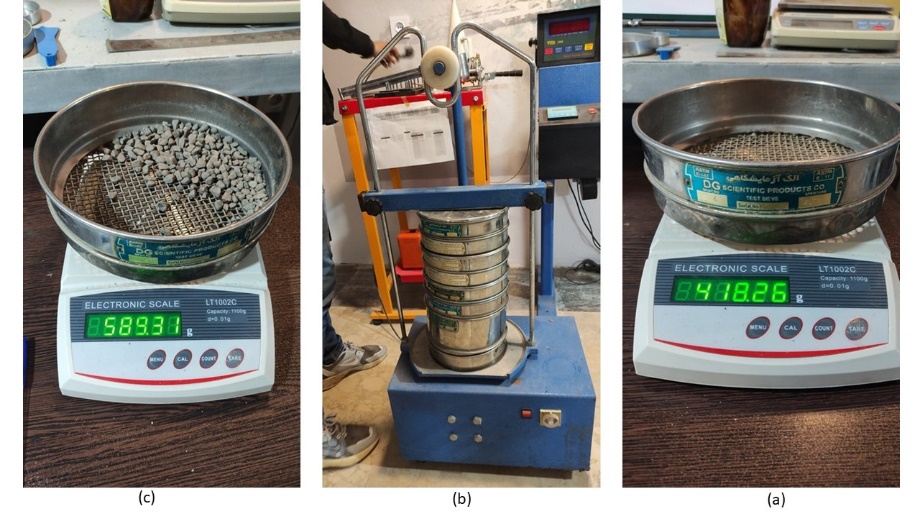
سیمان مورد استفاده در این پژوهش از نوع سیمان تیپ دو فیروزکوه می­باشد که مشخصات شیمیایی آن در جدول2 آمده است.

*جدول 2. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ دو کارخانه سیمان فیروزکوه* [27]*.*

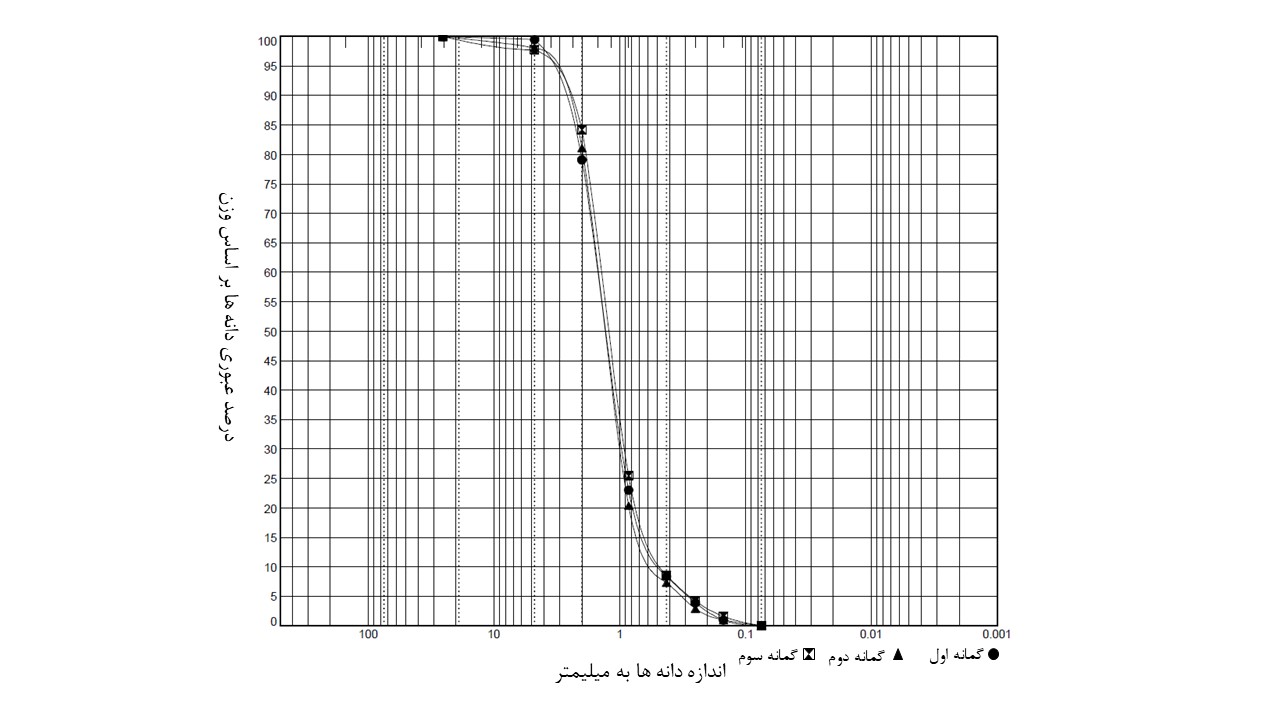
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| واحد | استاندارد ملی ایران  (ISRI-389) | نتایج آزمایش­های کارخانه | آنالیزهای شیمیایی |
| % | حداقل 20.00 | 20.8 | SiO2 |
| % | ماکسیمم 6.00 | 5.2 | Al2O3 |
| % | ماکسیمم 6.00 | 3.65 | Fe2O3 |
| % | - | 63.3 | CaO |
| % | ماکسیمم 5.00 | 1.8 | MgO |
| % | ماکسیمم 3.00 | 2.5 | SO3 |
| % | ماکسیمم 0.75 | 0.3 | باقیمانده نا محلول |
| % | ماکسیمم  3.00 | 2.1 | از دست دادن در احتراق |
| % | - | 1.2 | CaO آزاد |
| % | - | 0.55 | K2O |
| % | - | 0.3 | Na2O |

### 2-2-2-سنگدانه مصرفی

میزان رطوبت سنگدانه­ها با توجه به استاندارد ASTM C70 اندازه گیری گردید، که 2.3% بوده است[28]. همچنین دانه بندی سنگندانه ­ها در این پژوهش طبق استاندارد ملی ایران 4977 انجام پذیرفت که بر اساس این استاندارد الک­های مورد استفاده باید ویژگی­های مورد تایید ASTM E11 را دارا باشند. همچنین در نمونه برداری ماسه از دپو نیز از استاندارد ملی ایران 11267 استفاده گردید. برای اطمینان از درستی انجام آزمون دانه بندی و نتایج آن، سه نمونه مختلف یک کیلوگرمی در دستگاه لرزاننده برقی(شیکر) قرار داده شد که نتایج آن در نمودار 1 قابل مشاهده می­باشد و میانگین ابعاد و مقادیر سنگدانه­ها در جدول شماره 3 قابل مشاهده می­باشد[29،30]. تصویر 1 نحوه وزن کردن دانه­ها را نشان می­دهد که در این روش وزن الک قبل و پس از اعمال لرزش اندازه گیری می­شود و بدین ترتیب وزن دانه­ها به دست می­آید.



*تصویر 1. (a). اندازه گیری وزن الک قبل از اعمال لرزش. (b). قرارگیری الک­ها برروی شیکر. (c). اندازه گیری وزن الک¬ها پس از اعمال لرزش.*



*نمودار 1. نمودار دانه بندی سنگدانه مورد استفاده در این پژوهش*

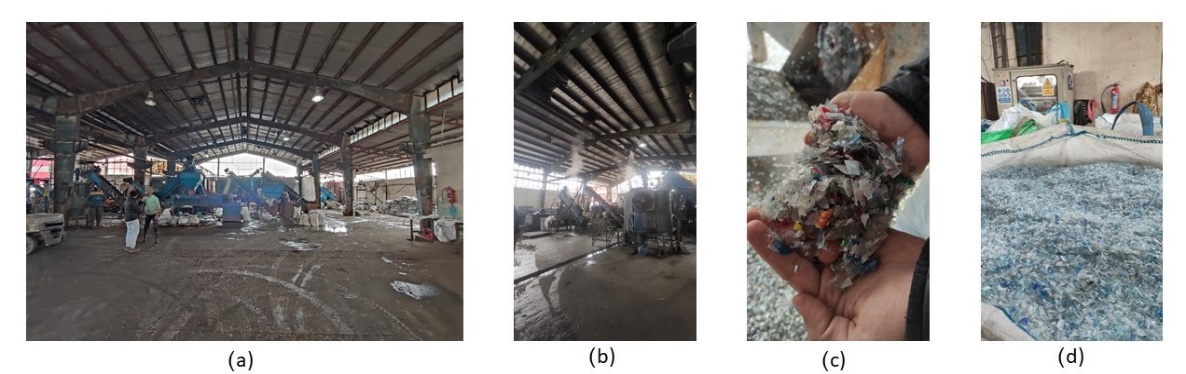
*جدول 3. اندازه و مقدار سنگدانه ها در بازه های مختلف*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| اندازه(mm) | 0.075-0.16 | 0.16 – 0.25 | 0.25-0.42 | 0.42-0.85 | 0.85-2 | 2-4.8 | > 4.8 |
| مقدار(%) | 2% | 2% | 4% | 15% | 58% | 17% | 2% |

### 2-2-3-ریزدانه­های پلاستیکی(WPLA)

ریزدانه­های پلاستیکی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت شیمی پلاست شمال تهیه گردیده است. این شرکت به عنوان مرجع جمع آوری، خرید و بازیافت بطری­های پلاستیکی (PET) در استان مازندران شناخته می­شود و می­تواند بعدها در صورت تولید انبوه کامپوزیت­های پلاستیک-سیمان در تهیه مواد اولیه PET این کامپوزیت­ها کمک کننده باشد. در این کارخانه بطری­های پلاستیکی پس از تفکیک از سایر زباله­ها مجددا با توجه به رنگ PET و برخی از مشخصات شیمیایی تفکیک می­گردند.

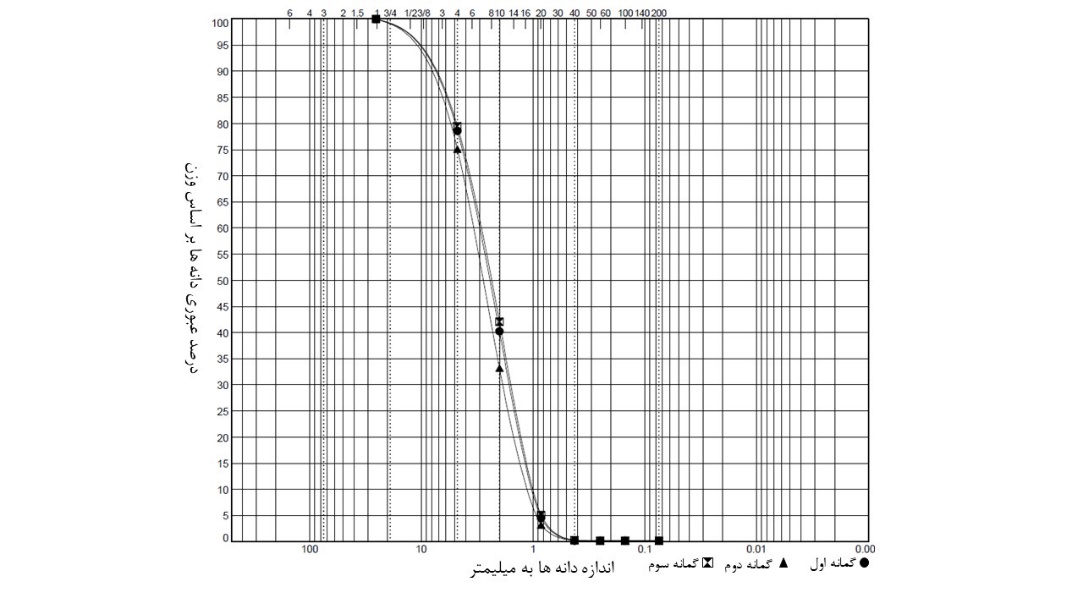
پس از این مرحله سه مرتبه مورد شست و شو قرار گرفته و در نهایت این شست و شو با آب داغ انجام می­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­گردد تا آن دسته از برچسب­­ها و لیبل­­هایی که دارای چسب قوی­تری نسبت به باقی بطری­ها بوده­اند نیز جدا گردند و PET خالص به­دست آید. تصاویری از این کارخانه در تصویر3 و نیز ریزدانه پلاسیتکی تهیه شده برای انجام آزمایش­ها و ساخت نمونه­ها در تصویر2 قابل مشاهده می­باشد. پس از تهیه محصول ریزدانه این کارخانه، باتوجه به جایگزین کردن ذرات PET با سنگدانه­ها در این پژوهش، به منظور به­دست آوردن نمودار دانه­بندی، ابعاد و مقادیر ذرات PET نیز از استاندارد ملی ایران 4977 استفاده گردید، که این عمل نیز سه مرتبه تکرار شد و نتایج آن در نمودار 2 و میانگین آن نیز در جدول 4 قابل مشاهده می­باشد. جدول4 مقدار این ذرات­ در بازه­های مختلف را نشان می­دهد[29].



*تصویر2. (a). کارخانه بازیافت شیمی پلاس (b). دستگاه­های شست و شو پرک­های بطری­ها (c). لیبل­ها و برچسب­های جدا شده (d). محصول نهایی*



*تصویر3. ریزدانه پلاستیکی مورد استفاده در این پژوهش*



*نمودار 2. نمودار دانه بندی ذرات WPLA مورد استفاده در این پژوهش*

*جدول 4. اندازه و مقدار دانه­های پلاستیکی در بازه های مختلف*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| اندازه(mm) | 0.075-0.42 | 0.42-0.85 | 0.85-2 | 2-4.8 | > 4.8 |
| مقدار(%) | 1% | 3% | 38% | 36% | 22% |

# 3-نحوه ساخت و آماده سازی نمونه­ها

به منظور شناخت بهتر الزامات مربوط به شکل، ابعاد، و سایر الزامات آزمونه­ها و قالب­ها از استاندارد ملی ایران 1-1608 استفاده گردیده است[31]. در این استاندارد به سه نوع از قالب­هایی که می­توان در نمونه­برداری بتن مورد استفاده قرار داد اشاره گردیده­است که عبارت­اند از، آزمونه­های مکعبی، استوانه­ای و منشوری؛ که آزمونه مورد استفاده در این پژوهش از نوع دوم، یعنی آزمونه­های مکعبی در اندازه 15\*15\*15 سانتی متر می­باشد. همچنین استاندارد ملی ایران 2-1608 به ساخت و عمل­آوری نمونه­ها برای آزمون­های مقاومت اشاره دارد که در این بخش از آن استفاده گردیده است. توضیحاتی در این استاندارد که به نحوه پرکردن قالب­ها، نگهداری ملات پس از قالب­گیری، و همچنین شرایط آزمایشگاهی نمونه­ها برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز، همگی از مراجع انجام کار بوده­اند[32]. پس از آنچه در قسمت­های اخیر بیان گردید، قالب­های 15\*15\*15 سانتی­متر متداول مورد استفاده در آزمایشگاه­های منطقه تهیه گردید و نمونه­های بتن مورد نظر جهت انجام آزمایش­های بعدی ساخته و در آن­ها ریخته شدند (تصویر4). اجزاء سازنده نمونه­های ساخته شده در این پژوهش در جدول5 قابل مشاهده است.

**جدول5. اجزاء تشکیل دهنده ملات­های مورد پژوهش**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ملات50% | ملات30% | ملات20% | ملات10% | ملات مرجع(0% پلاستیک) | اجزاء |
| 358 | 419 | 434 | 467 | 515 | سیمان(kg/m3) |
| 578 | 377 | 1041 | 1263 | 1546 | سنگدانه (kg/m3) |
| 578 | 881 | 260 | 140 | 0 | پلاستیک(kg/m3) |
| 192 | 209 | 217 | 233 | 257 | آب(kg/m3) |



*تصویر4. قالب­های پر شده از ملات­های مورد نظر پس از یک روز.*

پس از 24 ساعت قالب­ها باز شده و پس از وزن شدن، نمونه­ها در حوضچه آب قرار داده شدند تا برای انجام آزمایش­های بعدی کاملا عمل­آوری گردند(تصویر5). بر طبق استاندارد ملی ایران 2-1608، آزمونه­ها دست­کم باید 16 ساعت در درون قالب­ها بمانند و این زمان نباید از 3روز فراتر رود. آبی که آزمونه­ها در آن قرار داده می­شوند باید دمای 2±20 درجه سانتی­گراد داشته باشد تا نمونه­ها به درستی عمل بیایند.

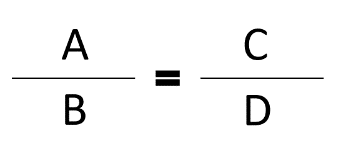


*تصویر 5. قرار گرفتن نمونه¬ها در حوضچه آب*

# 4-آنالیز و تجزیه یافته­ها

## 4-1-وزن:

نمونه­های مکعبی مورد استفاده در این پژوهش پس از 24 ساعت از قالب جدا شده و پیش از قرار دادن در حوضچه آب وزن شدند. این وزن کشی اولیه در محل ساخت اولیه انجام شد و و ترازوی مورد استفاده در آن مدل Camry EB9335 می­باشد. میانگین وزن نمونه­ها با درصد­های مختلف به دست آمد و وزن تقریبی یک متر مکعب نمونه­ها، با استفاده از نسبت گیری قالب cm15\*15\*15 و یک متر مکعب طبق فرمول 1 محاسبه گردید.

فرمول 1. نسبت حجم و وزن نمونه­های مکعبی

که در آن:

1. حجم مکعب 1\*1\*1 متر (m3 )
2. حجم یک قالب 0.15\*0.15\*0.15 متر (m3)
3. وزن(kg) یک متر مکعب از ملات مورد نظر (kg)
4. وزن نمونه 0.15\*0.15\*0.15 متر (kg)

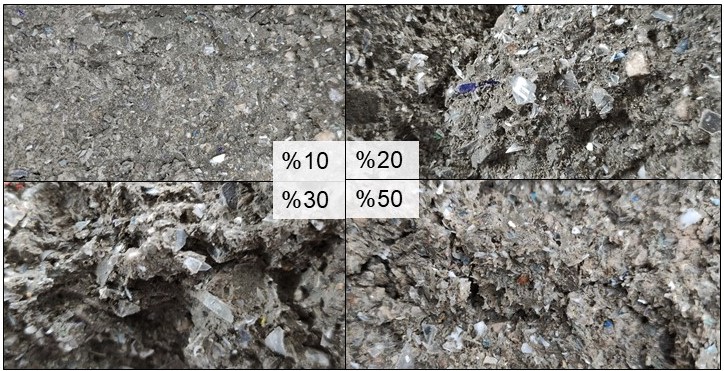
وزن­های به دست آمده با توجه به مشخص بودن درصد اختلاط هر یک از اجزاء ملات می­تواند بیانگر مقادیر مورد نیاز آب، سیمان، سنگدانه و WPLA برای ساخت یک متر مکعب از هر یک از ملات­ها ­باشد. تمامی نتایج به دست آمده در این بخش در (جدول6) آمده است و همانگونه که انتظار می­رفت، با افزایش WPLA وزن نمونه­ها و همچنین مقدار آب و سیمان مصرفی در هر مترمکعب از نمونه­ها کاهش یافته است. یکی از اهداف اضافه کردن WPLA به ملات­های سیمانی در این پژوهش سبک سازی آن­ها و دیگری کاهش مصرف سنگدانه طبیعی بوده است و با توجه به جدول6 این دو هدف محقق گردیده­اند.

جدول 6. وزن نمونه های مکعبی در شرایط مختلف

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نمونه مورد مطالعه | 0% | 10% | 20% | 30% | 50% |
| میانگین وزن نمونه­های 15\*15\*15 cm  (kg) | 7.8 | 7 | 6.7 | 6.2 | 5.9 |
| وزن نمونه ها در یک متر مکعب  Kg/m3 | 2311.11 | 2074.07 | 1985.18 | 1837.03 | 1748.14 |
| وزن آب مورد استفاده در یک متر مکعب(kg) | 256.79 | 230.44 | 220.55 | 204.11 | 194.23 |
| وزن سیمان مورد استفاده در یک متر مکعب(kg) | 513.58 | 460.88 | 441.11 | 408.22 | 388.47 |
| وزن سنگدانه طبیعی مورد استفاده در یک متر مکعب(kg) | 1540.74 | 1244.4 | 10.58.66 | 857.28 | 582.71 |
| وزن WPLA مورد استفاده در یک متر مکعب(kg) | - | 138.26 | 264.66 | 367.40 | 582.71 |

## 4-2-مقاومت فشاری

از استاندارد ملی ایران 3-1608 به منظور انجام آزمون مقاومت فشاری نمونه­ها استفاده گردید[33]. نمونه­های مورد نظر برای سنجش مقدار مقاومت فشاری در بازه­های زمانی 3روز، 7روز، 14روز و 28 روز از آب خارج شده و در زیر جک دستگاه (آزمون SH-300) قرار داده شدند. تصویر6 بافت نمونه­ها پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری را نشان می­دهد که پراکندگی مقدار WPLA در هر یک از تصاویر قابل مشاهده می­باشد.



تصویر 6. پراکندگی WPLA در بافت کامپوزیت­ها پس از آزمون مقاومت فشاری

به منظور مقایسه مقاومت فشاری نمونه­های مورد مطالعه در این پژوهش جدول7 و نمودار3 طراحی گردیده­اند. از جمله نکات قابل توجه در نمودار3 بالابودن محسوس مقاومت فشاری ملات 0% در مقایسه با دیگر ملات­ها و پایین بودن محسوس مقاومت فشاری ملات 50% در مقایسه با دیگر ملات­ها می­باشد. همچنین در این نمودار مشاهده می­شود که نمونه 30% در مقایسه با نمونه 20% ، با توجه به حجم WPLA بیش­تری که در خود جای داده است کاهش مقاومت چشمگیری نداشته است. از دیگر نکات قابل توجه، مقاومت فشاری نزدیک دو نمونه 0% و 10% در روز چاردهم است که این افزایش مقاومت در ملات 10% همچون ملات 0% تا روز بیست و هشتم ادامه نیافت. نکته دیگری که در این نمودار مشاهده می­گردد این است که هیچ­یک از ملات­های با درصد WPLA بیش­تر در بازه­های زمانی یکسان نتوانستند مقاومت فشاری بالاتری نسبت به ملات­های با درصد WPLA پایین­تر ثبت کنند. با توجه به نمودار3، مقاومت فشاری 28 روزه نمونه 10% در مقایسه با ملات مرجع یا 0%، کاهشی در حدود 35% را متحمل شده است و ملات­های 20، 30 و 50% هر کدام به ترتیب 45، 52 و 72% مقاومت فشاریشان کاهش پیدا کرده است.

جدول 7. جمع بندی مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| مقاومت فشاری  (MPa)  درصد | روز سوم | روز هفتم | روز چهاردهم | روز بیست و هشتم |
| 0% | 10.69 | 14.22 | 16.47 | 29.02 |
| 10% | 8.14 | 11.18 | 16.18 | 18.83 |
| 20% | 7.55 | 9.8 | 14.12 | 15.88 |
| 30% | 7.35 | 9.51 | 11.27 | 14.02 |
| 50% | 4.02 | 4.41 | 7.55 | 8.23 |

نمودار 3. جمع بندی مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

# 5-نتیجه گیری

با توجه به اطلاعات به دست آمده در این پژوهش، افزودن WPLA به ملات­های بتنی می­تواند به عنوان راه حلی برای کاهش پسماندهای پلاستیکی در طبیعت و استخراج سنگدانه­های طبیعی در کشور مطرح گردد. نتایج اندازه­گیری وزن نمونه­ها نشان داد که وزن نمونه با افزایش WPLA کاهش می­یابد، همچنین همانگونه که پیش­بینی می­گردید و در سایر پژوهش­ها نیز قابل مشاهده بوده است، مقاومت فشاری نمونه­ها نیز با افزایش WPLA کاهش پیدا کرد و این کاهش مقاومت درمقایسه با پژوهش­های دیگر چشمگیرتر بوده است، علت این امر می­تواند عواملی نظیر جنس مواد اولیه و نیز سیمان مورد استفاده باشد، از طرفی اندازه ذرات سنگدانه وWPLA مورد استفاده در این پژوهش نیز به نحوی انتخاب شدند که فاقد ذرات درشت­دانه بوده­اند و این امر نیز می­تواند در کاهش مقاومت­ آن­ها نسبت به نمونه­های هم رده در پژوهش­های دیگر دخیل باشد، بنابراین یکی از پیشنهادات جهت افزایش مقاومت در پژوهش­های آتی می­تواند بررسی نمونه­های ساخته شده با استفاده از ذرات بزرگ­تر باشد و نیز استفاده از برخی افزودنی­های بتن مانند دوده سیلیس، خاکستر بادی، الیاف فلزی و دیگر افزدنی­های شناخته شده، به منظور افزایش مقاومت فشاری در عین کاهش وزن این ملات­ها می­توانند مورد ارزیابی قرار گیرند.

در انتها لازم به ذکر می­باشد که کاهش مقاومت فشاری تا مقدار 50 %جایگزینی WPLA با سنگدانه طبیعی در این پژوهش باعث ناکار آمدی نمونه­های بتنی از لحاظ تحمل مقاومت فشاری نگردید و نمونه حاوی 50% ذرات WPLA مقاومت 28روزه، MPa8.23 را ثبت نمود که این مقدار در بازه MPa0.7 تا MPa7 که برای بتن سبک غیرباربر در استاندارد ASTM C129 بیان گردیده­است، قرار دارد[34].

# 6- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کارشناسان محترم آزمایشگاه بتن کپا ساحل جهت همکاری ارزشمندشان در انجام آزمایشهای مربوط به پژوهش حاضر قدردانی می­نمایند.

**مراجع**

[1] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, *347*(6223), 768-771.

[2] Preston, F., & Lehne, J. (2018). Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete.

[3] Anandan, S., & Alsubih, M. (2021). Mechanical strength characterization of plastic fiber reinforced cement concrete composites. *Applied Sciences*, *11*(2), 852.

[4] Li, X., Ling, T. C., & Mo, K. H. (2020). Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete–A review. *Construction and Building Materials*, *240*, 117869.

[5] Silva, D. A. D., Betioli, A. M., Gleize, P. J. P., Roman, H. R., Gomez, L. A., & Ribeiro, J. L. D. (2005). Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. *Cement and concrete research*, *35*(9), 1741-1746.

[6] De Lima, N. L. P., dos Santos Felipe, R. C. T., & Felipe, R. N. B. (2020). Cement mortars with use of polyethylene tereftalate aggregate: a review on its sustainability. *Research, Society and Development*, *9*(8), e513985640-e513985640.

[7] Al-Tulaian, B. S., Al-Shannag, M. J., & Al-Hozaimy, A. R. (2016). Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, *127*, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.131>.

[8] Del Rey Castillo, E., Almesfer, N., Saggi, O., & Ingham, J. M. (2020). Light-weight concrete with artificial aggregate manufactured from plastic waste. *Construction and Building Materials*, *265*, 120199.

[9] Al-Manaseer, A. A., & Dalal, T. R. (1997). Concrete containing plastic aggregates. *Concrete international*, *19*(8), 47-52.

[10] Shalaby, A., Ward, A., Refaee, A., Abd-El-Messieh, S., Abd-El-Nour, K., El-Nashar, D., & Zayed, H. (2013). Compressive strength and electrical properties of cement paste utilizing waste polyethylene terephthalate bottles. *J Appl Sci Res*, *9*, 4160-73.

[11] Akçaözoğlu, S., Akçaözoğlu, K., & Atiş, C. D. (2013). Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA). *Composites Part B: Engineering*, *45*(1), 721-726. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.012>.

[12] Safi, B., Saidi, M., Aboutaleb, D., & Maallem, M. (2013). The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. Construction and Building Materials, 43, 436-442.

[13] Comby-Peyrot, I., Bernard, F., Bouchard, P. O., Bay, F., & Garcia-Diaz, E. (2009). Development and validation of a 3D computational tool to describe concrete behaviour at mesoscale. Application to the alkali-silica reaction. Computational Materials Science, 46(4), 1163-1177.

[14] Hanuseac, L., Barbuta, M., Bejan, L., Rosu, R., & Timu, A. (2021, February). Experimental study on hollow blocks with wastes. In *Proceedings* (Vol. 63, No. 1, p. 79). MDPI.

[15] Sowmiya, T. (2023). Experimental study on enhancement of compressive strength of concrete by polyethylene terephthalate flakes with fine aggregate and addition of silica flume to the volume of concrete. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, *10*(2S), 504-512.

[16] Daisy Angel Priya, I., Akshaya, S., Harsha Neya, S., Vanitha, S., Karthigai Priya, P., & Johnson, J. N. (2023). Experimental investigation on replacement of PET aggregate as fine aggregate and water hyacinth as bio plasticizer in concrete. *International Review of Applied Sciences and Engineering*.

[17] Kangavar, M. E., Lokuge, W., Manalo, A., Karunasena, W., & Frigione, M. (2022). Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement. *Case Studies in Construction Materials*, *16*, e00934.

[18] Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., & Prince, W. (2010). Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste management*, *30*(11), 2312-2320.

[19] Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M. H. A., Allahyari, H., & Nikbin, I. M. (2013). On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. Construction and Building Materials, 47, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041>.

[20] Gouasmi, M. T., Benosman, A., Taibi, H., Belbachir, M., & Senhadji, Y. (2016). Les Propriétés physico-thermiques des mortiers à base des agrégats composites. *Journal of Materials and Environmental Science*, *7*(2), 409-415.

[21] Da Silva, A. M., de Brito, J., & Veiga, R. (2014). Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. *Construction and Building Materials*, *71*, 226-236.

[22] Rahman, M. M., Mahi, M. A., & Chowdhury, T. U. (2013). Utilization of waste PET bottles as aggregate in masonry mortar. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *2*(11), 1030-1035.

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

[24] Marzouk, O. Y., Dheilly, R. M., & Queneudec, M. (2007). Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste management*, *27*(2), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.012>.

[25] Waroonkun, T., Puangpinyo, T., & Tongtuam, Y. (2017). The Development of a Concrete Block Containing PET Plastic Bottle Flakes. *Journal of Sustainable Development*, *10*(6), 186.

[26] Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management*, *30*(6), 1101-1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>.

[27] فیک سی سی(fikcc). ( 1400). سایت رسمی سیمان فیروزکوه. تاریخ دسترسی( 13/11/1400 ساعت 10:15 صبح)

https://www.fikcc.com/%d8%b3%db%8c%d9%85%d8%a7%d9%86-%d9%be%d8%b1%d8%aa%d9%84%d9%86%d8%af-%d8%aa%db%8c%d9%be-2/

[28] ASTM C70. (2006). Standard test method for surface moisture in fine aggregate.

[29] استاندارد ملی ایران 4977. (1393).سنگدانه­ها-دانه­بندی سنگدانه­های ریز و درشت- روش آزمون. تجدید نظر اول.

[30] استاندارد ملی ایران 11267. (1394).سنگدانه­ها-نمونه برداری از سنگدانه­ها-آیین کار. تجدید نظر اول.

[31] استاندارد ملی ایران 1-1608. (1393). بتن سخت شده-قسمت1:شکل، ابعاد و سایر الزامات آزمونه­ها و قالب­ها. تجدید نظر دوم.

[32] استاندارد ملی ایران 2-1608. (1393). بتن سخت شده-قسمت2:ساخت و عمل­آوری آزمونه­ها برای آزمون­های مقاومت. چاپ اول.

[33] استاندارد ملی ایران 3-1608. (1393). بتن سخت شده-قسمت3:تعیین مقومت فشاری آزمونه­ها-روش آزمون. چاپ اول.

[34] ASTM C129. (2011). Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units.

Bankoff, G., Frerks, G., & Hilhorst, D. (Eds.). (2013). *Mapping Vulnerability:" Disasters, Development and People".* Routledge.

1. \* This paper was extracted from a master thesis titled “*Feasibility study of using recycled materials in the*

   *construction of temporary post-disaster housing”* under supervision by the second at University of Mazandaran. [↑](#footnote-ref-1)
2. مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول، با عنوان "امكان سنجي بهره گیری از مصالح بازيافتي در ساخت مسكن موقت پس از سانحه" که با راهنمایی نگارنده دوم، در دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران ارائه شده است. [↑](#footnote-ref-2)
3. polyethylene terephthalate [↑](#footnote-ref-3)
4. waste plastic lightweight aggregate [↑](#footnote-ref-4)