FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2, Summer, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

A review of recycling and reuse of vinyl advertising banners with the approach of reducing environmental challenges

Mohsen Sadroddini[1*]; Alireza Hosseini Khorram[2]

[*]1. Assistant Professor, Polymer Engineering Department, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
2. BSc., Polymer Engineering Department, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
[*]Email Address: noorpoor@ut.ac.ir

Article Info

Article Type:
Review Paper

Article History:

Received Date:
2024/12/08
Revised Date:
2024/12/30
Accepted Date:
2025/02/09
Published Date:
2025/07/30

Keywords:
Advertising Banners,
Recycling,
Poly (vinyl chloride) (PVC),
Polyester,
Environment

ABSTRACT

Despite advancements in digital technology, outdoor advertising remains one of the most effective advertising methods, and flexible vinyl banners are widely used for this purpose due to their good resistance to environmental factors and wind, high printing quality, and ease of use. Poly (vinyl chloride) or PVC, which is the third most widely used polymer in the world, serves as the primary material for flexible vinyl banners. These banners are mainly composed of PVC coating, polyester fabric, calcium carbonate, plasticizers and various additives. Unfortunately, these banners may pose significant health and environmental hazards to both humans and animals due to the release of hazardous chemicals such as chlorine, hydrochloric acid, phthalates, dioxins, dyes, and printing inks (including toluene, isopropyl alcohol). Traditional methods of incineration and landfilling are also not effective ways to dispose of vinyl banners because they release dangerous toxic gases and pollute the soil and landfill environment. Thus, recycling vinyl banners is challenging because PVC is bonded to another polymer such as polyester. The research suggests that mechanical recycling is the most efficient method for recycling PVC polymer-based products. With this goal, it is possible to make recycled products with higher added value, such as bags, luggage, flooring, mats, and wood-plastic composites. This article aims to provide a comprehensive review of flexible vinyl banners, including their introduction, chemical composition, manufacturing methods, environmental impacts, recycling and reuse methods.

Cite this article: Mohsen Sadroddini , Alireza Hosseini Khorram (2025). A review of recycling and reuse of vinyl advertising banners with the approach of reducing environmental challenges, Journal of Environmental Sciences Studies, 10(2), Pages 10245 – 10257.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Vinyl flexible banners (VFB) that are made of polyvinyl chloride (PVC) are widely used for outdoor advertising because they can display clear images and graphics along with vibrant colors. Also, they are resistant to water, fungus, fire, UV, and freezing weather. Consequently, they are commonly employed to fabricate large-scale outdoor advertising signs, truck covers, and flags. PVC, which is the third most widely used polymer in the world, is the main material used to make vinyl flexible banners. These banners are mostly made of a PVC coating, polyester fabric, calcium carbonate, plasticizers, and other additives. Generally, three methods are used to produce advertising banners: the sticking process, the scraping process, and the calendering process. However, VFB is considered to be one of the most challenging materials in terms of environmental impact.

Environmental impacts

PVC stands out among prevalent polymers due to its significant incorporation of additives, including plasticizers and fillers. These additives have the potential to produce hazardous compounds when they interact with water and soil, thereby contributing to the contamination of groundwater resources. The presence of chlorine in polyvinyl chloride (PVC) contributes to the generation of dioxins and various other chlorinated organic compounds, which are subsequently emitted into the environment. The World Health Organization has indicated that dioxins resulting from the incineration or disposal of PVC waste pose significant risks to environmental integrity and the health of living organisms, categorizing these substances as carcinogenic. Phthalates are recognized as environmental contaminants utilized as plasticizers in banners. Research indicates that phthalates interfere with the human endocrine system, leading to issues like decreased sperm quality and infertility, respiratory illnesses, type 2 diabetes, and breast cancer, among others. The emission of widely used solvents in printing, such as isopropyl alcohol and toluene, along with chemical pigments, poses a potential threat to human health.

Recycling and reuse

The recycling of vinyl banners presents significant challenges due to their complex chemical composition, inks, and various materials present on their surfaces. When incinerated, PVC emits hazardous gases, including persistent organic pollutants like dioxins and furans. Additionally, the prolonged disposal of PVC waste in landfills poses risks of explosions and fires resulting from gas leaks, which can lead to considerable environmental harm over time. Given these environmental concerns, methods such as incineration and pyrolysis appear to be illogical. Mechanical recycling represents the most effective approach for the recycling of VFB. This process involves the shredding of used VFB into smaller pieces, which are primarily used as fillers. The resulting materials can be repurposed for a variety of applications, including tarpaulins, roofing materials, vehicle covers, food grain storage, bags, and mats. Furthermore, these recycled materials can find use in products such as shoe soles, geotextiles, ropes, and pipes. An additional area of potential exploration is the development of wood-plastic composites derived from discarded vinyl banners; a topic that remains under-researched. PVC banners also serve as valuable components in the construction sector. In this context, studies have been undertaken to enhance or alter the properties of concrete by incorporating post-consumer vinyl banners, yielding relatively promising and noteworthy results. The inclusion of PVCFB in the concrete mix has resulted in a reduction in the water absorption of the concrete materials. Concurrently, a trend indicating a decrease in the compressive strength of concrete materials with the addition of PVCFB has also been observed.

Conclusion

VFB are very widely utilized tools in advertising and information matters, and their use is increasing steadily due to their suitable features. Since the chemical composition of them consists of various additives and plasticizers such as phthalates, they can cause irreparable harm to health and the environment. Traditional waste disposal methods such as incineration and landfilling are not effective methods for recycling and disposal of PVC due to the creation of high amounts of chlorine, the production of hydrochloric acid, the emission of dioxins and other hazardous organic compounds. Accordingly, the most efficient method of recycling PVC flexible banners is mechanical recycling, which involves crushing, melting and reshaping to produce the desired parts. Another application of waste banners is use in the construction industry, especially concrete.

مجله مطالعات علوم محیط‌زیست
جلد ۱۰، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

مروری بر بازیافت و استفاده مجدد از بنرهای تبلیغاتی وینیلی با رویکرد کاهش چالش‌های زیست‌محیطی

محسن صدرالدینی [۱*]، علیرضا حسینی خرم[۲]

*۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: m.sadroddini@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی مروری

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۹/۱۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۱/۲۱
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۸

کلیدواژه‌ها:
بنرهای تبلیغاتی،
بازیافت،
پلی‌وینیل کلراید (PVC)،
پلی‌استر،
محیط‌زیست.

چکیده

علی‌رغم پیشرفت‌های فناوری دیجیتال، تبلیغات در فضای باز همچنان جزء مؤثرترین روش‌های تبلیغاتی است که برای این منظور بنرهای منعطف وینیلی به دلیل مقاومت مناسب در برابر عوامل محیطی و باد، کیفیت بالای چاپ و سهولت کاربرد به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. ماده اصلی سازنده بنرهای منعطف وینیلی، پلی‌وینیل کلراید (PVC) است که به‌عنوان سومین پلیمر پرمصرف در دنیا شناخته می‌شود. این بنرها عمدتاً از پوشش PVC، پارچه پلی‌استر، کربنات کلسیم، نرم‌کننده‌ها و مواد افزودنی متنوعی تشکیل شده‌اند. متأسفانه، این بنرها می‌توانند با آزادسازی مواد شیمیایی خطرناکی نظیر کلر، هیدروکلریک اسید، فتالات‌ها، دیوکسین‌ها، رنگ‌ها و جوهرهای چاپ (شامل تولوئن، ایزوپروپیل الکل) منجر به خطرات جدی سلامتی و زیست‌محیطی برای انسان‌ها و جانداران شوند. در این راستا، روش‌های سنتی سوزاندن و دفن نیز به دلیل چالش‌های زیست‌محیطی فراوان مانند آزاد سازی گازهای سمی مضر و نیز آلوده شدن خاک و محیط دفن، روش‌های کارآمدی برای دفع بنرهای وینیلی نیستند. بر این اساس، بازیافت بنرهای وینیلی چالش‌برانگیز است، زیرا PVC به پلیمر دیگری مانند پلی‌استر متصل شده است. مطابق تحقیقات انجام‌شده، کارآمدترین روش بازیافت محصولات مبتنی بر پلیمر PVC، روش بازیافت مکانیکی است. با این هدف، می‌توان محصولات بازیافتی با ارزش‌افزوده بیشتری مانند انواع کیف، چمدان، کف‌پوش، زیرانداز و کامپوزیت‌های پلاستیک-چوب ساخت. مقاله حاضر تلاش کرده است تا مروری جامع بر بنرهای منعطف وینیلی شامل معرفی، ترکیب شیمیایی، روش‌های ساخت، آثار زیست‌محیطی، روش‌های بازیافت و استفاده مجدد از آن‌ها را ارائه دهد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/JESS.2025.492872.2317

۱-مقدمه

علی‌رغم پیشرفت‌های فناوری دیجیتال، تبلیغات در فضای باز همچنان ابزاری قدرتمند برای ارتباطات با جذابیت گسترده برای مخاطبان است. در این راستا، بنرهای منعطف وینیلی[1](VFB) از جنس پلی‌وینیل کلراید[2](PVC) به دلیل امکان چاپ تصاویر و گرافیک‌های واضح و نیز رنگ‌های زنده جزء گزینه‌های بسیار محبوب برای تبلیغات در فضای باز به شمار می‌روند. به بنرهای منعطف وینیلی بنرهای منعطف PVC نیز گفته می‌شود که از پارچه‌های پلی‌استر پوشش داده‌شده با پلیمر PVC ساخته می‌شوند . این بنرها دارای انعطاف‌پذیری، انتقال یکنواخت نور، حمل‌ونقل آسان و نصب راحت هستند. همچنین در برابر آب، قارچ، آتش، اشعه ماوراءبنفش و هوای یخزده مقاومت خوبی دارند. لذا، به‌طور گسترده‌ای برای ساخت تابلوهای تبلیغاتی بزرگ‌مقیاس در فضاهای باز، پوشش‌های کامیون و پرچم‌ها استفاده می‌شوند . به دلیل استفاده کوتاه‌مدت از بنرها در تبلیغات، این بنرها معمولاً پس از پایان عمر خود در محل‌های دفن زباله دور ریخته می‌شوند و تنها مقدار محدودی از آن‌ها، به‌ویژه بنرهای بزرگ، به‌عنوان اجزای چادر برای پناهگاه‌های اضطراری مجدداً استفاده می‌شود . مواد شیمیایی موجود در این بنرها می‌توانند خطرات زیست‌محیطی بالقوه زیادی را برای انسان و سایر موجودات ایجاد کنند، بنابراین به‌کارگیری روش‌های بازیافت مناسب و استفاده مجدد از این بنرها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است که در ادامه راجع به آن‌ها مطالبی ارائه و جمع‌بندی خواهد شد.

۲-ترکیب شیمیایی بنرهای وینیلی

ترکیب درصد شیمیایی معمول در بنرهای وینیلی در جدول ۱ ارائه شده است. رایج‌ترین بنرهای وینیلی مورداستفاده دارای وزن g/m^2 ۲۵۰ هستند. لایه بالایی فیلم PVC دارای چگالی سطحی g/m^2 ۱۲۰-۱۰۰، لایه پایینی PVC g/m^2 ۹۵-۸۵ و پارچه پلی‌استر g/m^2 ۳۵- ۴۰ هستند .

- **پلی‌وینیل کلراید**

PVC از نظر سهم بازار جهانی، سومین پلیمر گرمانرم پرکاربرد در دنیاست. PVC می‌تواند به‌صورت سخت یا انعطاف‌پذیر، شفاف یا مات باشد. زمانی که PVC با نرم‌کننده ترکیب می‌شود، انعطاف‌پذیر می‌شود. نمونه‌هایی ازاین‌دست در طیف وسیعی از محصولات با عمر کوتاه مانند بسته‌بندی غذا، نوشیدنی‌ها، کیسه‌های انتقال خون، دستگاه‌های پزشکی، سفره غذا، پرده حمام و نیز به‌عنوان پوشش ضدآب برای بنرها، چادرها و پوشش‌های غلات استفاده می‌شود . PVC سخت (فاقد نرم‌کننده) عمدتاً در تولید محصولات با عمر طولانی مانند لوله‌های پلیکا، پروفیل پنجره‌ها، کف‌پوش‌ها و دیوار پوش‌ها، ورق‌های سقف و روکش سیم‌ها و کابل‌ها نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد .

- **کربنات کلسیم**

کربنات کلسیم ($CaCO_3$) یک پودر ریز، سفید، بی‌بو، بی‌مزه و میکرو کریستالی معدنی است. همچنین در پوسته تخم‌مرغ (تا ۹۵٪)، اسکلت سخت‌پوستان و صدف‌ها نیز یافت می‌شود. این ماده معدنی به‌طور گسترده‌ای در صنایع کاغذ، پلاستیک، رنگ و پوشش به‌عنوان رنگ‌دانه پوششی و ماده پرکننده استفاده می‌شود، زیرا پس از آسیاب شدن به اندازه‌های میکرونی، رنگ سفید خاصی دارد و درخشندگی و خواص پخش نور آن بسیار ارزشمند است. به همین دلیل، استفاده از آن در تولید بنرهای منعطف نیز اهمیت دارد . به دلیل عدم استحکام مکانیکی کافی و خواص حرارتی ناپایدار PVC که مهم‌ترین ماده در بنرهای منعطف است، کربنات کلسیم به‌عنوان اساسی‌ترین ماده پرکننده در تولید این بنرها استفاده می‌شود و به این بنرها سختی می‌دهد.

جدول ۱. ترکیب درصد شیمیایی معمول بنرهای وینیلی

جزء اصلی	ترکیب درصد (درصد وزنی)
کربنات کلسیم	۳۶
رزین پلی‌وینیل کلراید (PVC)	۳۳
پارچه پلی‌استر	۱۸
نرم‌کننده‌ها	۹
افزودنی‌ها	۴

[1] Vinyl Flex Banners (VFB)
[2] Polyvinyl chloride (PVC)

- **نرم‌کننده‌ها و افزودنی‌ها**

نرم‌کننده‌ها اجزای اساسی ترکیبات PVC هستند و به افزایش انعطاف‌پذیری، فرایند پذیری و دوام ماده کمک می‌کنند. همانند سایر محصولات PVC، رایج‌ترین نرم‌کننده‌های استفاده‌شده در بنرهای منعطف ترکیبات فتالات‌ها هستند که مرسوم‌ترین آن‌ها نرم‌کننده دی‌اکتیل فتالات[1](DOP) است. فتالات‌ها در محصولات PVC همراه با موادی مانند فلزات سنگین استفاده می‌شوند، هرچند که نگرانی‌ها و حتی بحث‌هایی درباره استفاده و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیطزیست وجود دارد .

- **پارچه پلی‌استر**

پلی‌استر، به‌ویژه پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، به‌عنوان پرمصرف‌ترین الیاف سنتزی تولیدشده توسط انسان به دلیل خواص مکانیکی خوب، ثبات حرارتی و هزینه‌های پایین تولید، به‌طور گسترده‌ای برای الیاف نساجی، الیاف صنعتی، فیلم‌ها و بطری‌ها استفاده می‌شود. پارچه‌های پلی‌استر نیز به دلیل خواص فیزیکی عالی خود مانند استحکام کششی و مقاومت بیولوژیکی، جایگاه مهمی در نساجی کسب کرده‌اند و عمدتاً در تولید بنرهای منعطف ترجیح داده می‌شوند. پارچه‌های بافته‌شده‌ای که برای بنرهای منعطف استفاده می‌شوند، از فناوری بافت تاری استفاده می‌کنند که شامل دوخت نخ پلی‌استر با استحکام بالا در سمت تار و تغذیه نخ پود از طریق دستگاه حامل پود است .

۳-روش‌های تولید بنرهای وینیلی

به‌طورکلی سه روش برای تولید بنرهای تبلیغاتی شامل فرایند چسباندن[2] فرایند تراشیدن[3]و فرایند ورقه سازی با غلتک[4]استفاده می‌شود که در ادامه به‌اختصار توضیح داده شده‌اند .

- **فرایند چسباندن**

طی این فرایند، فیلم‌های PVC بالا و پایین به همراه پارچه میانی، تحت‌فشار گرم می‌شوند (شکل ۱). سپس، آن‌ها خنک شده و شکل می‌گیرند. این روش، روش غالب در شرکت‌های مختلف است و ۸۵٪ از بازار را به خود اختصاص داده است، به‌ویژه در کشورهای آسیایی مانند چین.

شکل ۱. ساختار معمول بنرهای منعطف وینیلی

- **فرایند تراشیدن**

در این فرایند، PVC به حالت مایع به‌طور یکنواخت بر روی هر دو طرف پارچه پلی‌استر پاشیده می‌شود. سپس، این پارچه خشک می‌شود تا به‌صورت کامل شکل بگیرد و در مرحله بعد خنک می‌شود. این روش دارای عملکرد عالی در برابر نفوذ و جداشدگی است. در حال حاضر، حدود ۱۲٪ از بنرهای منعطف یا همان وینیلی به این شیوه تولید می‌شوند.

- **فرایند ورقه سازی با غلتک**

در این فرایند، PVC به همراه نرم‌کننده و سایر مواد اولیه با هم ترکیب شده و سپس تحت‌فشار گرم می‌شوند که باعث یکپارچگی آن‌ها با پارچه پلی‌استر می‌شود. این روش باعث ایجاد سطحی صاف و انتقال یکنواخت نور می‌شود. حدود ۳٪ از بنرهای منعطف با این روش تولید می‌شوند. بااین‌حال، به دلیل محدودیت‌های تجهیزات، طول آن‌ها به بیش از ۳ متر نمی‌رسد.

[1] Dioctyl phthalate (DOP)
[2] Sticking
[3] Scraping
[4] Calendering

۴- آثار زیست‌محیطی

زباله‌های پلاستیکی به دو دسته صنعتی و شهری تقسیم می‌شوند که در زمینه‌های کاربرد، خواص و روش دفع[1]متفاوت هستند. دفع ضایعات PVC که بخشی از زباله‌های پلاستیکی را تشکیل می‌دهند و هر روز در حال افزایش هستند، مشکلات زیست‌محیطی مهمی را نیز به همراه دارند. خطرات زیست‌محیطی PVC بسیار فراتر از خطرات مرتبط با سایر پلاستیک‌های متداول است که در ادامه شرح داده خواهند شد.

- **دیوکسین**

کلر موجود در PVC موجب تشکیل دیوکسین‌ها و دیگر ترکیبات آلی کلردار می‌شود که به محیطزیست آزاد می‌شوند. سازمان بهداشت جهانی اعلام کرده است که دیوکسین‌های تولیدشده از سوزاندن یا دفن زباله‌های PVC محیطزیست و سلامت موجودات زنده (گیاهان، حیوانات و انسان‌ها) را تهدید می‌کنند. این سازمان بیان می‌کند که این دیوکسین‌ها در زنجیره‌های غذایی دیگر، به‌ویژه در بافت‌های چربی حیوانات تجمع می‌یابند. سمیت دیوکسین بسیار زیاد است و آثار نامطلوبی بر باروری و به‌ویژه رشد کودکان از طریق جذب از شیر مادر دارد. قرار گرفتن کوتاه‌مدت در معرض سطوح بالای دیوکسین (مانند کارگران واحدهای زباله‌سوز) به عملکرد کبد آسیب می‌رساند و باعث بیماری‌های مزمن و التهابات پوستی و آکنه می‌شود. قرار گرفتن بلندمدت با اختلالات عصبی، ایمنی، باروری و غدد درون‌ریز مرتبط است. بر اساس گفته‌های فوق، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان و سازمان بهداشت جهانی بر اساس بسیاری از داده‌های اپیدمیولوژیک انسان و حیوان، دیوکسین را به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا طبقه‌بندی کرده‌اند .

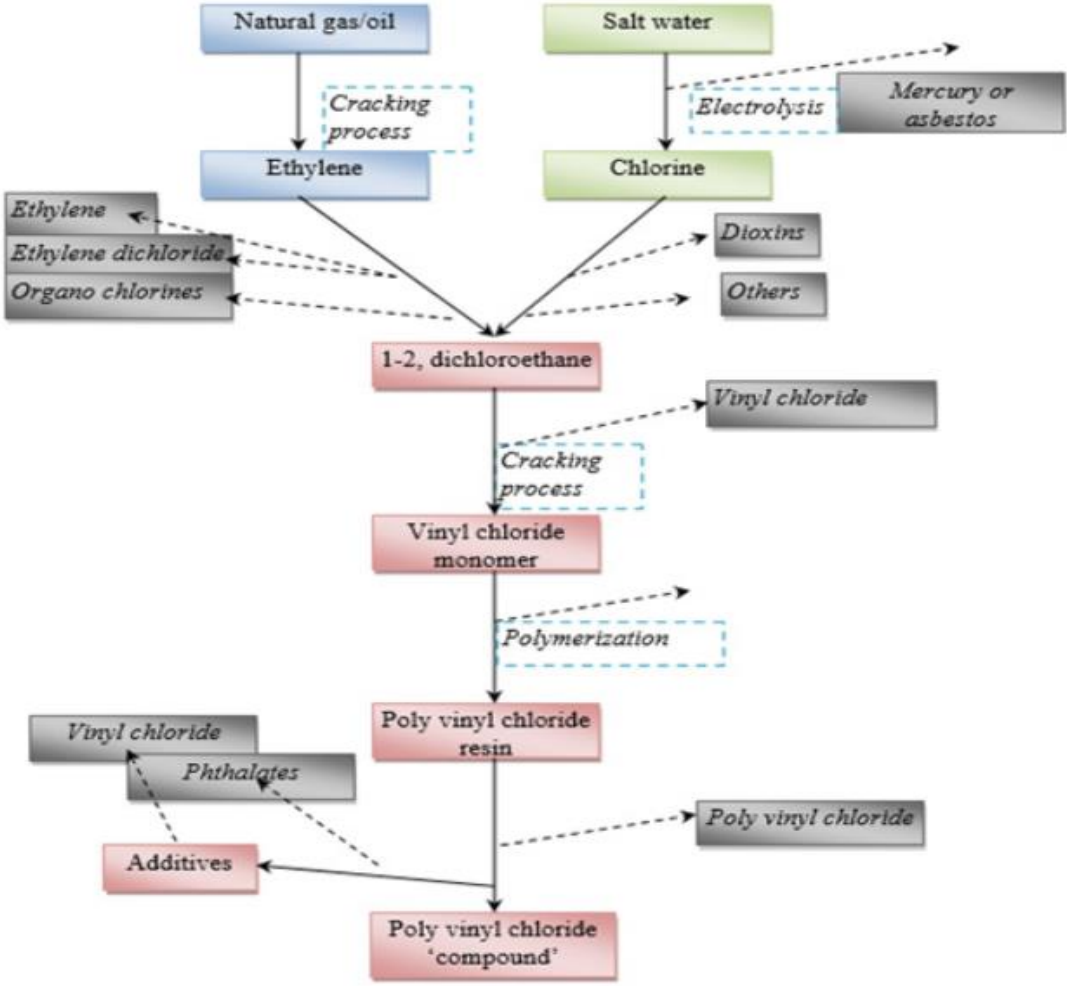
- **فتالات**

فتالات‌ها آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که در صنعت به‌عنوان نرم‌کننده و افزودنی در لوازم‌آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شوند و خطری بالقوه برای محیطزیست و سلامت جانداران به شمار می‌روند، به‌ویژه زمانی که در هوا، آب‌وخاک مخلوط می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهند که فتالات‌ها سیستم غدد درون‌ریز انسان را مختل می‌کنند و باعث مشکلات سلامتی مانند کاهش کیفیت اسپرم و ناباروری، بیماری‌های تنفسی، چاقی دوران کودکی، اختلالات عصبی–روانی، دیابت نوع دوم، اندومتریوز و لیومیوم، سرطان سینه و مشکلات رشد می‌شوند . بااین‌حال، بنجامین و همکاران گزارش داده‌اند که میزان قرار گرفتن در معرض فتالات در موجودات زنده به‌طور کامل تعیین نشده است. آن‌ها همچنین خاطرنشان کردند که اگرچه فتالات‌ها فراریت کمی دارند، اما به‌صورت گاز منتشر می‌شوند. برنامه محیطزیست سازمان ملل متحد در مورد آثار فتالات‌ها بر محیطزیست و سلامت انسان بسیار محتاط بوده و آن‌ها را به‌عنوان یک تهدید جهانی طبقه‌بندی کرده است .

- **سایر ترکیبات آلی**

PVC در مقایسه با سایر پلیمرهای رایج، بیشترین مقدار مواد افزودنی از قبیل نرم‌کننده، پرکننده و ... را دارد که این افزودنی‌ها می‌توانند با آب‌وخاک ترکیب شده و ترکیبات مضر دیگری ایجاد کرده و باعث آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی نیز شوند. به‌طور مثال، ایزوپروپیل الکل و هیدروکربن‌های آروماتیک مانند تولوئن به‌عنوان حلال‌های رایج در فناوری چاپ استفاده می‌شوند. این مواد شیمیایی که در طول فرآیند چاپ به هوا منتشر می‌شوند، پتانسیل تشکیل اوزون فتوشیمیایی را دارند. علاوه بر انتشار در فرایند چاپ، پتانسیل انتشار بعد از آن نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد. تولوئن باقی‌مانده در محصولات چاپ‌شده به‌عنوان یک خطر بالقوه برای سلامت انسان محسوب می‌شود. رنگ‌دانه‌های شیمیایی بی‌کیفیت مورد استفاده نیز ممکن است جزء مواد سمی و سرطان‌زا باشند . علاوه بر تبخیر مواد شیمیایی آلی موجود در محصولات PVC (شکل ۲)، تهدیدات مرتبط با سلامت انسان ناشی از استفاده از مواد ساختمانی نظیر پروفیل پنجره‌های UPVC نیز می‌تواند از تجزیه خود این ماده سرچشمه بگیرد.

[1] Disposal



شکل ۲. آزاد شدن ترکیبات شیمیایی مختلف از PVC

۵-سوزاندن و دفن

روش‌های سنتی سوزاندن[1] و دفن[2] ضایعات پلاستیکی که به‌طور روزافزون در حال استفاده هستند، برای تمام انواع پلاستیک‌ها مناسب نیستند. لذا، انتخاب روش درست دفع این ضایعات می‌تواند باعث ایجاد خطرات پیش‌بینی‌نشده‌ای برای محیط‌زیست شود.

- **سوزاندن**

در حالی‌که PVC تنها ۰/۷ درصد از کل زباله‌های فراوری شده در زباله سوزهای شهری را تشکیل می‌دهد، حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد کلر ورودی را ایجاد می‌کند. بنابراین، سوزاندن PVC اصولاً برای انتشار بالای دیوکسین بسیار مستعد است . PVC به‌طور طبیعی غیرقابل‌تجزیه زیستی است و هنگام سوختن گازهای مخربی مانند آلاینده‌های آلی پایدار نظیر فوران‌ها و دیوکسین‌ها را آزاد می‌کند که بر سلامت افراد تأثیر منفی گذاشته و می‌تواند باعث بروز سرطان و ناباروری شود. PVC برای سوختن به دمایی در حدود ۳۰۰ °C نیاز دارد و دمای محیط اطراف را نیز افزایش می‌دهد .بنابراین، زباله سوزها منبع اصلی انتشار دیوکسین‌ها به هوا و زمین هستند و PVC تا حد زیادی مسئول این وضعیت است. به گفته متخصصان، سوختن PVC همچنین باعث آزادسازی آلاینده‌های مضری مانند سولفات‌ها و نیترات‌ها می‌شود که از هوا سنگین‌ترند و لایه ضخیمی را تشکیل می‌دهند که منجر به کاهش اکسیژن در محیط اطراف می‌شود . علاوه بر آن، هنگام سوزاندن PVC، کلر در مجاورت هوا به اسید هیدروکلریک (HCl) تبدیل می شود. ازآنجاکه اسید هیدروکلریک یک گاز اسیدی است، سوزاندن زباله‌های PVC باعث می‌شود که این ماده به تشکیل باران اسیدی کمک کند .

[1] Incineration
[2] Landfilling

- **دفن**

دفن زباله به‌عنوان یک روش قدیمی و رایج برای دفع انواع زباله‌های پلاستیکی و غیر پلاستیکی شناخته می‌شود. دفن طولانی‌مدت زباله‌های PVC می‌تواند به دلیل نشت گاز دفن زباله، باعث انفجارها و آتش‌سوزی‌های مرگبار شود. علاوه بر این، نشت کلر به خاک می‌تواند با نفوذ به آب دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، دریاها، اقیانوس‌ها و خاک در طول زمان، آسیب‌های زیست‌محیطی قابل‌توجهی ایجاد کند . امروزه مقدار زیادی از ضایعات بنرهای منعطف PVC نیز در محل‌های دفن زباله دفن می‌شوند یا به طرق دیگر دفع یا انبار می‌گردند. مدیریت نادرست زباله و پسماند می‌تواند باعث انسداد مجاری و آبراه‌ها شده و محیط‌های مناسبی برای پرورش پشه‌ها و حیوانات بیمار فراهم کند. تجمع زباله‌ها می‌تواند باعث ایجاد گازهای گلخانه‌ای نیز شود. نکته قابل توجه اینکه در مورد PVC انتخاب روش‌های نگهداری به دلیل افزایش روزافزون هزینه‌ها محدود است.

۶-استفاده پس از مصرف

بازیافت بنرهای وینیلی به دلیل ترکیب شیمیایی پیچیده، وجود جوهر و سایر مواد بر سطح آن‌ها چالش‌برانگیز است. به‌طورکلی، بازیافت PVC نیاز به فرآیندهای تخصصی دارد که به‌طور گسترده در دسترس نیستند و کمبود زیرساخت‌ها برای بازیافت آن می‌تواند بازیافت این مواد را دشوار کند. علاوه بر این، جوهری که برای چاپ طرح‌ها بر روی بنرها استفاده می‌شود، به‌سختی قابل پاک‌سازی است که فرآیند بازیافت را پیچیده‌تر می‌کند. برخی شرکت‌های بازیافت ممکن است اصلاً بنرهای وینیلی را نپذیرند، درحالی‌که برخی دیگر فقط در صورت تمیز و بدون آلاینده بودن آن‌ها را قبول می‌کنند. بنابراین، بیشتر ضایعات بنرهای وینیلی به محل‌های دفن زباله منتقل می‌شوند که منجر به مشکلات جدی زیست‌محیطی می‌شود . ازاین‌رو، اتخاذ راهبردهای نوآورانه و دوستدار محیط‌زیست که استفاده مجدد از بنرهای منعطف را ترویج کنند، با توجه به غیرقابل‌تجزیه بودن PVC ضروری است. در ادامه، راهکارهای استفاده مجدد و بازیافت بنرهای منعطف وینیلی ارائه و مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه انجام خواهد شد. به‌طورکلی، مزایا و معایب نابودی[1] بازیافت و استفاده مجدد از بنرهای منعطف PVC پس از پایان عمر مفید آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مزایا و معایب نابودی، بازیافت و استفاده مجدد از بنرهای منعطف PVC ضایعاتی

روش	مزایا	معایب
دفن در محل‌های دفن (Landfills)	راحتی، هزینه کم	تأثیر بر زمین، آب، زندگی حیوانات و سلامت عمومی
سوزاندن (Incineration)	بازیابی انرژی، صرفه‌جویی در فضا	تأثیر بر کیفیت هوا، زندگی حیوانات و سلامت عمومی
دفن در زیر خاک (Under the soil)	صرفه‌جویی در دفع و فضا	تأثیر بر زمین، آب، زندگی حیوانات و سلامت عمومی
بازیافت (Recycle)	اقتصاد چرخه‌ای (Circular economy) پایداری (Sustainability)	مصرف بالای انرژی، مصرف متوسط آب، ارزش کالایی پایین
استفاده مجدد (Reuse)	اقتصاد چرخه‌ای (Circular economy) پایداری با ارزش بالا (High value Sustainability)	مصرف متوسط آب

۷-بازیافت و استفاده مجدد

بازیافت، فرایند تبدیل اشیای تاریخ‌مصرف گذشته و ضایعات به محصولات متفاوت و کاربرد مجدد آن‌هاست که خود به دو دسته کلی شیمیایی و مکانیکی تقسیم می‌شود. اگرچه PVC نیز مانند سایر پلیمرها قابلیت بازیافت دارد، اما به دلایل زیست‌محیطی که قبلاً ذکر شد، بازیافت شیمیایی (سوزاندن، پیرولیز و ...) آن‌ها خیلی منطقی به نظر نمی‌رسد. بنابراین، بازیافت مکانیکی برای بنرهای منعطف وینیلی جذاب‌تر است. بااین‌حال، بازیافت بنرهای منعطف PVC کار آسانی نیست. بزرگ‌ترین مانع انجام این کار جداسازی پوشش PVC از پارچه

[1] Annihilation

پلی‌استر است . استفاده مجدد[1]به استفاده دوباره از مواد یا محصولاتی اشاره دارد که می‌توانند به‌جای ایجاد زباله، دوباره مورداستفاده قرار گیرند. استفاده مجدد به دو دسته کلی بازیافت ارتقاءیافته[2]و بازیافت تنزل یافته[3]تقسیم می‌شود. بازیافت ارتقاءیافته به فرایندی گفته می‌شود که در آن مواد یا محصولات دورریختنی به موادی باکیفیت، ارزش با کاربرد بالاتر تبدیل می‌شوند. در این فرایند نه‌تنها ویژگی‌های ماده کاهش نمی‌یابد، بلکه بهبود پیداکرده و معمولاً نتیجه کار به یک محصول خلاقانه‌تر، زیباتر یا کاربردی‌تر تبدیل می‌شود، مانند تبدیل لباس‌های قدیمی به کیف یا لباس جدید، بازسازی لاستیک‌های کهنه برای ساخت گلدان یا مبلمان باغی. در مقابل، بازیافت تنزل یافته به فرایندی گفته می‌شود که در آن مواد یا محصولات بازیافت شده به موادی تبدیل می‌شوند که اغلب کیفیت یا ویژگی‌های خود را از دست می‌دهند و برای مصارف محدود به کار می‌روند مانند تبدیل کاغذهای باکیفیت به مقوا، بازیافت پلاستیک‌های باکیفیت به پلاستیک‌های کم کیفیت . مهم‌ترین تفاوت بازیافت ارتقاءیافته با بازیافت این است که یک محصول مصرف‌شده به یک محصول جدید با دیدگاهی خلاقانه تبدیل می‌شود، بدون اینکه تحت یک فرایند فیزیکی یا شیمیایی قرار گیرد. اما باید توجه داشت که بازیافت مکانیکی مناسب‌ترین روش بازیافت بنرهای منعطف PVC به شمار می‌رود. در بازیافت مکانیکی، بنرهای منعطف PVC پس از مصرف به قطعات کوچک‌تر خرد شده و بیشتر به‌عنوان پرکننده استفاده می‌شوند .

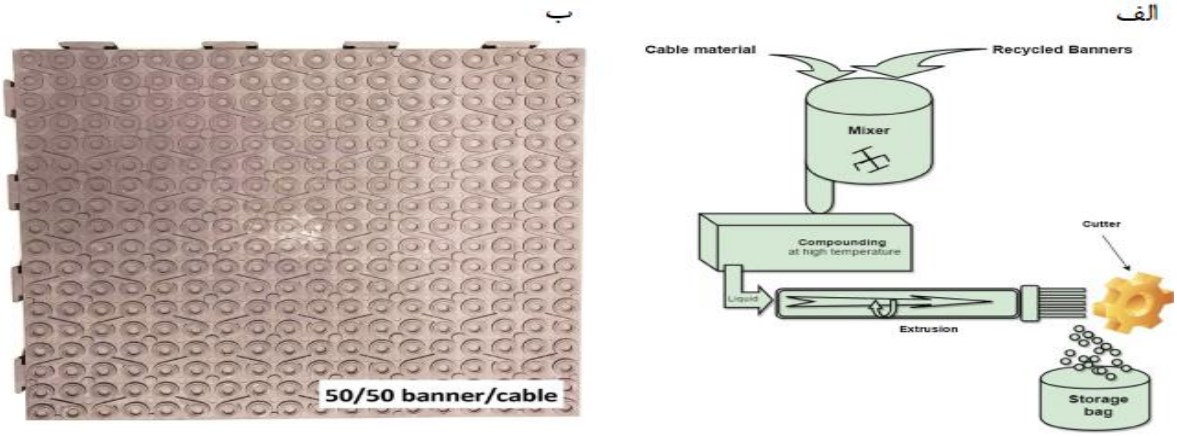
- **استفاده از بنرهای وینیلی در بخش‌های خانگی و خودرو**

این مواد را می‌توان برای کاربردهای مختلفی مانند برزنت، پوشش سقف، پوشش خودرو، پوشش غلات غذایی، کیف، زیرانداز و غیره مجدداً استفاده کرد. شکل ۳ بنرهای منعطف وینیلی پس از مصرف[4](PCVFB) را که در زمینه‌های مختلف به کار رفته‌اند، نشان می‌دهد. علاوه بر آن، آن‌ها را می‌توان بازیافت کرد و در کاربردهایی مانند زیره کفش، پارچه‌های ژئوتکستایل، طناب، لوله و ... نیز بکار گرفت. ساراوانان و همکاران در مقاله خود کاربردهای دیگری را نیز پیشنهاد کرده‌اند که شامل استفاده مجدد به‌عنوان پوشش نایلون‌های حبابدار و کیسه‌های سیمان بوده است. پوشش‌های حبابدار، پوشش‌های حفاظتی هستند که برای محافظت از کالاها در حین حمل‌ونقل استفاده می‌شوند. این پوشش‌های حبابدار در واقع از دو لایه پلی‌اتیلن ساخته شده‌اند. به همان روشی که پوشش‌های حبابدار تولید می‌شوند، می‌توان از بنرهای منعطف برای تولید آن‌ها به‌طور مؤثر و مفید نیز استفاده کرد. آن‌ها همچنین پیشنهاد کردند بنرهای منعطف استفاده‌شده را می‌توان به‌طور مستقیم به‌عنوان ماده اولیه برای تولید کیسه‌های سیمان مورداستفاده قرار داد که یکی از عناصر اساسی در تمامی صنایع تولید سیمان است. بنرهای منعطف از نظر استحکام، پایداری، ضد آب و همچنین ضد نشت بودن، می‌توانند ماده‌ای مؤثرتر از مواد معمولی برای کیسه‌های سیمان باشند.

شکل ۳. استفاده مجدد از بنرهای وینیلی پس از مصرف (PCVFB) در کاربردهای خانگی و خودرو

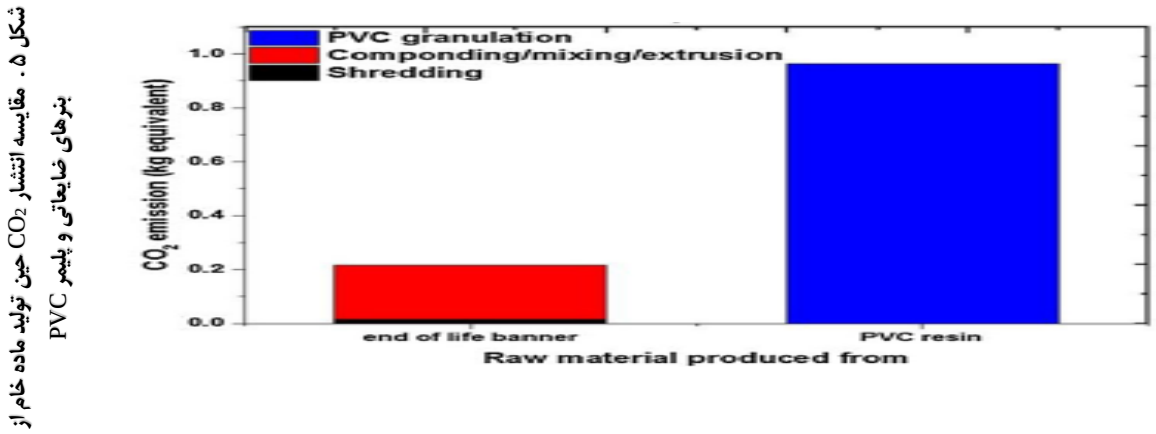
[1] Reuse
[2] Upcycling
[3] Downcycling
[4] Post-consumer vinyl flex banners (PCVFB)

علاوه بر موارد فوق، برای VFB پس از عمر مفید کاربردی، ممکن است کاربردهای بالقوه دیگری مانند تهیه کامپوزیت‌های پلاستیک-چوب[1](WPC) ارزان‌قیمت و دوستدار محیط‌زیست نیز وجود داشته باشد. البته تاکنون هیچ مقاله تحقیقاتی در مورد تهیه کامپوزیت‌های چوب-PCVFB یافت نشده است، اما می‌تواند یک زمینه احتمالی کاربرد در آینده نزدیک باشد. در این راستا، در پژوهش حاضر یک راه‌حل جدید و کم‌هزینه برای استفاده از ضایعات بنرهای وینیلی ارائه شده است که نیاز به جداسازی PVC از پارچه پلی‌استر ندارد و بدین ترتیب یک مانع اصلی در بازیافت را برطرف کرده است. آن‌ها بنرهای ضایعاتی را با مواد کابل بازیافتی (با ترکیب درصدهای مختلف) با روش نشان داده‌شده در شکل ۴ ترکیب کرده و درنهایت با به‌کارگیری روش قالب‌گیری فشاری داغ، نمونه‌ای از کف‌پوش را تولید کردند. آزمایش‌های مختلف مکانیکی و شیمیایی نشان داد که مواد و محصولات بازیافتی در برابر محیط‌های مکانیکی و شیمیایی مختلف، دارای دوام بالایی هستند. مقاومت خمشی پنل‌های ساخته‌شده به ترتیب ۶، ۳/۵ و ۱/۵ مگا پاسکال با اضافه شدن ۰، ۵۰ و ۷۵ درصد مواد کابل در کامپوزیت‌ها به دست آمد. پنل‌های تولید شده ضدآب بوده و خواص مکانیکی خوبی دارند، همچنین در برابر مواد شیمیایی و آب مقاوم بوده و ویژگی‌های عایق صوتی و جذب صدا را نیز از خود نشان می‌دهند. مطالعه بالا بر اساس این فرضیه است که خرد کردن عایق کابل PVC به همراه مواد بنر ضایعاتی وینیلی، چگالی مخلوط را افزایش می‌دهد و این امکان را فراهم می‌آورد تا از تکنیک‌های مختلف قالب‌گیری پلاستیک‌ها استفاده شود.



شکل ۴. الف) فرایند گرانول سازی از بنرهای PVC و کابل‌های عایق و ب) نمونه‌ای از کف‌پوش ساخته‌شده از بنرهای ضایعاتی و کابل‌ها

همچنین به‌منظور ارزیابی کمی اثرات زیست‌محیطی بازیافت بنرها (و یا کابل‌ها) پس از عمر مفید کاربری، تحلیل چرخه عمر مفید[2](LCA) بر روی فرایند تولید ۵۱۰ گرم (مبنا برای تولید یک پنل با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰×۴ میلی‌متر) ماده خام انجام شد و با فرایند تولید همان مقدار گرانول PVC خالص مقایسه شد. آثار زیست‌محیطی برحسب کیلوگرم CO_2 انتشاریافته ارزیابی شد. شکل زیر نتایج LCA را از نظر انتشار CO_2 (کیلوگرم معادل CO_2) در فرایندهای تولید مواد خام از بنر پس از عمر مفید کاربری و پلیمر PVC (یعنی گرانول‌های PVC بکر) نشان می‌دهد. فرایند تولید گرانول از بنرهای ضایعاتی به‌اختصار شامل دو مرحله بود؛ مرحله اول یعنی خرد کردن[3]که ۰/۰۱۵۲ گرم CO_2 و مرحله دوم شامل مخلوط کردن، ترکیب کردن و اکستروژن که ۰/۲۰۲ گرم CO_2 تولید شد. کل انتشار CO_2 این فرایند ۰/۲۱۷۲ گرم بود که ۷۷/۴ درصد کمتر از تولید گرانول‌های PVC بکر (۰/۹۶۴ گرم) بود.



شکل ۵. مقایسه انتشار CO_2 حین تولید ماده خام از بنرهای ضایعاتی و پلیمر PVC

[1] Wood-plastic composite (WPC)
[2] Life Cycle Analysis (LCA)
[3] Shredding

- **استفاده از بنرهای وینیلی در ساخت‌وساز**

بنرهای PVC به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر آب، استحکام بالا، مقاومت بالا در برابر سایش و عمر طولانی برای استفاده در صنعت ساخت‌وساز عناصر مناسبی به شمار می‌روند. تحقیقاتی در زمینه ساخت‌وساز انجام شده است تا با استفاده از بنرهای وینیلی پس از مصرف، خواص بتن بهبود یا اصلاح شود . سراوانان و همکاران تهیه بتن کم‌هزینه را با جایگزینی جزئی سنگ‌دانه درشت با مواد PCVFB بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقاومت فشاری بتن با افزایش مقدار PCVFB از ۰ تا ۲۰ درصد وزنی کاهش یافت. بااین‌حال، کاهش مقاومت فشاری تا ۱۴ وز در بتن دارای ۱۰٪ وزنی از بنر ضایعاتی ناچیز بود (جدول ۳). بنابراین، می‌توان گفت مقدار ۱۰٪ وزنی از بنر ضایعاتی را می‌توان برای دستیابی به بتن کم‌هزینه با کاهش معقول در مقاومت فشاری بتن استفاده کرد.

جدول ۳. تأثیر مقدار PCVFB بر استحکام فشاری مواد بتن

PCVFB wt.%	مقاومت فشاری (N/mm^2)			
	۷ روز	۱۴ روز	۲۱ روز	۲۸ روز
۰	۱۶/۸	۲۰/۰	۳۸/۲	۴۰/۰
۱۰	۱۶/۰	۱۸/۶	۳۲/۰	۳۵/۰
۲۰	۷/۵	۱۲/۴	۲۰/۴	۲۱/۰

در پژوهش دیگری میشـــرا و همکاران تأثیر PCVFB را بر خواص مواد بتن مطالعه کرده‌اند. به‌طور خلاصـــه، این مطالعه کاهش حدود ۷۵٪ (از ۲/۸ تا ۰/۷ درصد وزنی PCVFB) در ظرفیت جذب آب مکعب‌های بتنی حاوی PCVFB را نشان داد. کاهش جذب آب بیانگر بهبود دوام و ماندگاری ماده بتن است. مقاومت فشاری تیرهای بتنی پیچیده شده با بنرها، مقاومت خمشی بهتری نسبت به تیرهای بتنی بدون آن ارائه می‌دهند. بااین‌حال، در مورد مقاومت خمشی تیرهای بتنی صحبتی نکرده‌اند. در پژوهش دیگری توسط بومپا و همکاران یک بررسی تجربی در مورد خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیمانی حاوی گرانول‌ها و الیاف حاصل از بنرهای PVC بازیافتی انجام شده است. گزارشی جامع از بیش از ۱۴۰ آزمایش بر روی نمونه‌های استوانه‌ای، مکعبی و منشوری بتنی که در شرایط فشاری و خمشی آزمایش شده‌اند و با جایگزینی تا ۲۰ در صد از سنگ‌دانه‌های معدنی ارائه شده است. به‌طور خلاصه نتایج نشان داد که خواص مکانیکی با افزایش میزان RPVC به‌طور متناسب کاهش می‌یابد. با هر ۱۰ در صد افزایش در جایگزینی حجمی سنگ‌دانه‌های معدنی، مقاومت فشاری به نصف و مقاومت خمشی حدود ۳۰ در صد نسبت به نمونه‌های معمولی کاهش یافته است. البته در مورد اندازه ذرات بنرهای اضافه شده به بتن، این نتیجه به دست آمد که اندازه ذرات کوچک‌تر به‌طورکلی منجر به خواص الاستیک و مقاومت فشاری بهتری شدند. به‌طورکلی، بر اساس مطالعات موجود در مورد کاربردهای بالقوه PCVFB در حوزه ساخت‌وساز، مشاهده می شود که این ماده می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزای ترکیب بتن (که به آن جایگزینی بخشی از مواد دانه‌ای گفته می‌شود) برای تغییر ویژگی‌های مواد بتنی استفاده شود. حضور PCVFB در مخلوط بتن منجر به کاهش جذب آب مواد بتنی شده است. درعین‌حال، روند کاهش مقاومت فشاری مواد بتنی در حضور PCVFB نیز گزارش شده است. بااین‌حال، مقاومت خمشی بتن افزایش یافته است. اگرچه نویسندگان مزایای استفاده از PCVFB در حوزه ساخت‌وساز را مورد تأکید قرار داده‌اند، اما مسائل مرتبط با آزاد شدن مواد شیمیایی سمی در هنگام فرآیند عمل‌آوری بتن به‌طور صریح موردتوجه قرار نگرفته است.

۸- نتیجه‌گیری

بنرهای وینیلی منعطف از ابزارهای بسیار پرکاربرد در امور تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی هستند که استفاده از آن‌ها با توجه به ویژگی‌های مناسب آن‌ها به‌طور روزافزون در حال افزایش اســت. ازآنجایی‌که ترکیب شــیمیایی این بنرها متشــکل از انواع افزودنی‌ها و نرم‌کننده‌هایی مانند فتالات‌ها هستند، می‌توانند برای سلامتی و محیط‌زیست ضررهای جبران‌ناپذیری ایجاد کنند. روش‌های سنتی دفع پسماند مانند سوزاندن و دفن به دلیل ایجاد مقادیر بالای کلر، تولید هیدروکلریک اسـید، انتشـار دیوکسـین و سـایر ترکیبات آلی خطرناک روش‌های مؤثری برای بازیافت و دفع نیســتند. بر این اســاس، کارآمدترین روش بازیافت بنرهای منعطف PVC بازیافت مکانیکی اســت که در واقع شــامل خرد کردن، ذوب کردن و شــکل‌دهی مجدد آن برای تولید قطعات مدنظر اســت. در ادامه، کاربردهای بالقوه مختلف بنرهای منعطف ضــایعاتی PVC برشــمرده شــدند. به‌طورکلی، می‌توان از این مواد در کاربردهای مختلفی مانند پوشــش‌های ضــدآب ســقف‌ها، پوشــش‌های غلات، برزنت‌ها، کف‌پوش‌ها، زیراندازها، کیســه‌ها مجدداً اســتفاده کرد. علاوه بر آن، یکی از کاربردهای بالقوه که تحقیقات زیادی در آن صــورت گرفته استفاده از این بنرها به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده بتن برای تغییر خواص مخلوط بتن است. مشاهده شده است که این مواد منجر به کاهش جذب آب بتن، افزایش مقاومت خمشــی و کاهش مقاومت فشــاری بتن شــده‌اند. به‌عنوان جمع‌بندی، رویکردهای مرور شــده در این مقاله می‌توانند به کاهش آثار زیست‌محیطی این مواد و نیز تولید مواد بازیافتی با ارزش‌افزوده بالا از نظر اقتصادی و کاربردی منجر شوند.

منابع

- Abdul-Rahman F. 2014. Reduce, reuse, recycle: alternatives for waste management, Family Resource Management. Guide G-314, P. 1-8.
- Appala, N. U., Srikanta, D., Bhanu, R. G. 2021. Potential applications of post-consumer vinyl flex banner (pcvfb) materials: sustainable management approach, International Journal of Sustainable Engineering, Vol. 14, No. 6, P. 1971–1979.
- Benjamin, S., Masai, E., Kamimura, N., Takahashi, K., Anderson, R.C., Faisal, P.A. 2017. Phthalates impact human health: Epidemiological evidences and plausible mechanism of action, J. Hazard. Mater, Vol. 340, P. 360–383.
- Bompa, D. V., Xu, B., Elghazouli, A. Y. 2021. Constitutive modelling and mechanical properties of cementitious composites incorporating recycled vinyl banner plastics, Construction and Building Materials, Vol. 275, P. 122159-122173.
- Caldera, S., Jayasinghe, R., Desha, C., Dawes, L., Ferguson, S. 2022. Evaluating barriers, enablers and opportunities for closing the loop through 'waste upcycling': a systematic literature review, J. Sustain. Develop. Energy Water Environ. Syst, Vol. 10, No. 1, P. 1–20.
- Cholake, S.T., Pahlevani, F., Gaikwad, V., Millicer, H., Shajwalla, V. 2018. Cost-effective and sustainable approach to transform end-of-life vinyl banner to value added product, Resour. Conserv. Recycl, Vol. 136, P. 9–21.
- Ciacci, L., Passarini, F., Vassura, I. 2017. The european PVC cycle: in-use stock and flow, Resour. Conserv. Recycl, Vol. 123, P. 108–116.
- Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barcelo, D., Iqbal, H. M. N. 2021. Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability, Case Stud. Chem. Environ. Eng, Vol. 4, P. 1–8.
- Guido, G., Suguru, H., Hiroshi, T., Tomohito, K., Toshiaki, Y. 2015. Solubility parameters for determining optimal solvents for separating PVC from PVC-coated PET fibers, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 19, P. 612–622.
- Gulrajani, M.L., Brahma, K.P., Senthil Kumar, P., Purwar, R. 2008. Application of silk sericin to polyester fabric, J. Appl. Polym. Sci, Vol. 109 (1), P. 314–321.
- Hema Krishna, R., Swamy, A. V. V. S. 2016. Chemical flexi not-sofantastic: a review on how the versatile material harms the environment and human health, International Journal of Scientifc Research in Science and Technology, Vol. 2, P. 36–45.
- Kenan S., Prabhuraj D., Venkatraman. 2024. The environmental impact of end-of-life PVC flex banners and its potential upcycling opportunities, Waste Management Bulletin, Vol. 2, P. 249–265.
- Marinkovic, N., Pasalic, D., Ferencak, G., Grskovic, B., Stavljenic Rukavina, A. 2010. Dioxin and human toxicity, Arch. Ind. Hyg. Toxicol, Vol. 61, P. 445–453.
- Mishra, G. G., Jain, D. K. 2019. An experimental study on strengthening of RCC beam using waste PVC flex banner and steel wire mesh, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 6, No. 11, P. 2474–2479.
- Mishra, G. G., Jain, D. K. 2019. Improving durability of concrete using PVC waste flex banner, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, Vol. 6, No. 6, P. 314–318.
- Omari A., Rashid, M. M. H., Qinna, I. S., Jaber, N. A., Badwan, A. M. 2016. Chapter two – calcium carbonate, in: Brittain, G.H. (Ed.), Profles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology. Elsevier Ltd, California, P. 31-132.
- Pielichowski, K., Swierz-Motysia, B. 2006. Influence of polyesterurethane plasticizer on the kinetics of poly (vinyl chloride) decomposition process, J. Therm. Anal. Calorim, Vol. 83, P. 207–212.
- Sadat-Shojai, M., Bakhshandeh, G.R. 2011. Recycling of PVC wastes, Polym. Degrad. Stab, Vol. 96, P. 404–415.
- Sagar, T. C., Farshid, P., Vaibhav, G., Helen, M., Veena, S. 2018. Cost-effective and sustainable approach to transform end-of-life vinyl banner to value added product, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 136, P. 9–21.
- Saravanan, J., Sridhar, M. 2015. Flex-crete: low-cost concrete using old vinyl flex banners as partial replacement of coarse aggregate – solid waste management perspective, International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 30, No. 4, P. 188–191.

- Saravanan, J., Sridhar, M., Vinitha Judith, J. 2015. Effective utilization of used vinyl flex banners – a solid waste management perspective, International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 10, No. 38, P. 28145-28150.
- Saroj, Y., Swati, B., Guru, P. V., Sibi G. 2018. Future of vinyl banners: chemical composition, toxicity, environmental impact and degradation, Int J Environ Sci Nat Res, Vol. 15, No. 4, P. 090-095.
- Sunhilde, C., Cristina, S. 2024. Environmental considerations and sustainable solutions for outdoor advertising banners, Sustainability, Vol. 16, P. 5366.
- Wang, Y., Qian, H. 2021. Phthalates and their impacts on human health, Healthcare, Vol. 9, P. 1–9.