

## ارزیابی جنبه های اقتصادی و زیست محیطی بازیافت شیشه در محصولات بتنی سیمانی در

### شهر تهران

سید سعید کیخسروی<sup>۱\*</sup>

۱-نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

ایمیل نویسنده مسئول: [keykhosravisaeed98@gmail.com](mailto:keykhosravisaeed98@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۳۰/۴/۹۷

تاریخ دریافت: ۳۱/۳/۹۷

### چکیده

تولید روز افزون زباله از جمله شیشه و دفع غیراصولی آن به محیط زیست، علاوه بر هدر دادن سرمایه های ملی، باعث از بین رفتن منابع طبیعی میشود. با توجه به اهمیت بازیافت در این تحقیق جنبه های اقتصادی و زیست محیطی بازیافت شیشه از زباله های شهری تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. کل پسماندهای خشک، شهر تهران در سال ۱۳۹۰، ۴۱۲،۳۲۴،۴۱۲ است و میانگین روزانه آن ۱،۱۴۰،۶۱۵ می باشد. از کل پسماندهای خشک شهر تهران، ۴/۶ درصد از این پسماندها، پسماندهای شیشه می باشد که فقط ۲ درصد از پسماندهای شیشه بازیافت می شوند. در گذشته، کار تحقیقاتی بزرگی در دانشگاه پلی تکنیک هونگ کونگ انجام شد تا راه های عملی برای بازیافت ضایعات شیشه جهت تولید محصولات بتنی مختلف همچون بلوک بتنی، بتن خودمترکم یافت شود. برخی از این محصولات خاص شیشه ای - بتنی بطور موفقیت آمیز وارد بازار شده و توجه بسیاری را به خود جلب کرده اند. این مقاله مروری کلی بر وضعیت کنونی مدیریت و بازیافت ضایعات شیشه و تجربه مصرف ضایعات شیشه بازیافتی در محصولات بتنی سیمانی در تهران خواهد داشت.

### کلمات کلیدی

"ضایعات شیشه"، "محیط زیست"، "محصولات بتنی سیمانی"، "تهران"

## Evaluating the Economic and Environmental Aspects of Glass

### Recycling in Concrete Products in Tehran

Seyed Saeed Keykhosravi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>MSc of Environmental Pollution Engineering, Department of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

\*Email Address: [Keykhosravisaeed98@gmail.com](mailto:Keykhosravisaeed98@gmail.com)

### ABSTRACT

The increasing production of waste, including glass and its unhealthy disposal into the environment, in addition to the loss of national capital, causes the loss of natural resources. Considering the importance of recycling in this research, the economic and environmental aspects of recycling of glass were evaluated from Tehran municipal waste. The total amount of dry wastes in Tehran in 2011 is 416,324,412 and the average daily amount is 1,140,615. Of the total solid waste in Tehran, 4.6% of these wastes are glass waste, with only 2% recycled glass waste. In the past, a major research effort was made at Hong Kong University Polytechnic University to find practical ways to recycle glass waste to produce various concrete products such as concrete blocks, self-compacting concrete. Some of these concrete concrete products have successfully entered the market and attracted much attention. This paper will provide a general overview of the current state of waste management and recycling and the experience of recycling recycled waste in concrete cement products in Tehran.

**Keywords:** "Glass waste", "the environment", "Concrete cement products", "Tehran"

## ۱- مقدمه

امروزه، ضایعات شیشه دورریخته در بسیاری از مناطق دنیا برای تأسیسات دفع ضایعات ددرساز است. در اغلب کشورها، عموماً بطری‌های شیشه‌ای یکبار مصرف یا چندبار مصرف‌اند و سپس دور ریخته می‌شوند. برخلاف انواع دیگر زباله‌ها همانند کاغذ یا مواد آلی، ضایعات بطری‌های شیشه‌ای پس از دفع در محل انباشت زباله سالم باقی می‌مانند و هم چنین درصد زیادی از پسماندها را تشکیل می‌دهند که باید برای تصفیه ضایعات سوزانده شوند به طور ایده‌آل، ضایعات شیشه یا مجدد مصرف می‌شوند و یا مجدد برای تولید ظرف‌های شیشه‌ای جدید ساخته می‌شوند. با این حال، به سبب کم بودن صنعت شیشه سازی، فرصت‌ها برای مصرف مجدد و ساخت مجدد ضایعات شیشه در تهران به نسبت محدودند. علاوه براین، در طی فرآیندهای جمع آوری ضایعات، برخی از ضایعات شیشه‌ای جمع آوری شده آلوده شده، با رنگ مخلوط می‌شوند یا حتی می‌شکنند که این ضایعات شیشه‌ای را جهت مصرف مجدد و ساخت مجدد محصولات شیشه‌ای جدید نامناسب می‌سازند. علاقه زیادی به ایجاد بازارهای جایگزین برای بهره برداری از شیشه بازیافتی دیده می‌شود. چون کلیه شیشه‌های بازار برپایه سیلیکا هستند که بیشتر از ۷۰ درصد آن را اکسیدسیلیسیم تشکیل می‌دهد، باور این است که ضایعات شیشه را بتوان خرد کرد و به اندازه ذرات مطلوبی به عنوان مصالح دانه‌ای یا مصالح پوزولانی جهت مصرف در صنعت ساخت و ساز دسته بندی نمود (Wsdten, 1993).

آنالیز فیزیکی زباله های شهری نشان می دهد در غالب موارد، اجزای خشک قابل بازیافت موجود در زباله های شهری را انواع پلاستیک، کاغذ، مقوا، شیشه، فلزات، منسوجات و نان خشک تشکیل می دهند (Villanueva and Wenzel, 2007). تاریخچه شیشه در ایران به ۳۵۰۰ سال قبل بر می‌گردد، در نواحی شوش، دزفول و قبرستان هایی از لرستان آثار شیشه ای به دست آمده که قدمتی بین ۳ تا ۵ هزار سال دارند (وزارت صنایع و معادن، ۱۳۹۰). کاهش و بازیافت ضایعات از اصول بسیار مهم در چارچوب مدیریت ضایعات بشمار می‌رود زیرا این دو مسئله به حفظ منابع طبیعی و کاهش تقاضای فضای بارزش انباشت زباله می‌شود. بطری‌های شیشه‌ای دورریخته نوشابه که یکی از انواع ضایعات مهم شهری است، در تهران نگرانی بزرگی محسوب می‌شود چرا که تنها چند کانال بازیافت را می‌توان در آن شناسایی کرد. داده‌های سازمان مدیریت پسماندهای شهرداری تهران نشان داده‌اند که سالانه در زباله های تهران ۵۲ هزار ۲۲۶ تن شیشه وجود دارد که متأسفانه از این میزان ضایعات شیشه‌ای تولید شده تنها مقدار ناچیزی مورد بازیافت قرار می‌گیرد و بخش زیادی از آن به همراه سایر ضایعات دفن می‌شود به طوری که می‌توان گفت متوسط ماهانه نرخ بازیافت شیشه در شهر تهران حدود ۲٪ است (عمرانی و همکاران، ۱۳۸۸).

۳,۱- وضعیت صنعت شیشه تخت وظروف شیشه ای در

### کشور در سال ۱۳۹۰

۹ واحد تولیدی شیشه تخت در کشور با ظرفیت اسمی ۹۶۴۰۰۰ تن در سال در زمینه تولید انواع شیشه تخت و با دو روش کشتی و فلوت فعال می باشند. واحدهای ایران فلوت، کاوه فلوت، آذر، تابان و لیا به ترتیب با ظرفیت ۱۵۰، ۲۲۰، ۱۰۰، ۳۰، ۲۰۰ هزار تن در سال بیش از ۶۴٪ از کل ظرفیت تولید شیشه تخت به روش فلوت را به خود اختصاص داده اند.

تولید ظروف شیشه ای در سال ۱۳۹۰ برابر ۳۴۱۲۷۰ تن بوده که نسبت به سال ۱۳۸۹ (۲۷۵۸۰۰ تن) از رشد ۲۳/۷ درصدی برخوردار می باشد.

در بخش بلور سهم کارخانه های بلور اصفهان، نوری تازه، بلور کاوه، شیشه و گاز و بلور یزد از کل تولید سال ۹۰ به ترتیب ۲۰/۸، ۱۷/۳، ۱۳/۹، ۱۰/۵، ۹/۴ می باشد.

در بخش بطری های دارویی سهم سه شرکت تولیدکننده شامل تاکستان، مکتب و رازی از کل تولید سال ۹۰ به ترتیب ۶۸، ۴۲/۷، ۳۸/۸ است (وزارت صنایع و معادن، ۱۳۹۰).

### ۳,۲- وضعیت میزان پسماندهای تولیدی در شهر تهران

تحلیل و بررسی ترکیبات پسماندها و آنالیزهای فیزیکی انجام شده در واحد کنترل کارخانه کمپوست تهران نشان می دهد ۸۲/۶۷ درصد پسماندهای تولیدی در مناطق شهری تهران را پسماندهای غذایی و ۱۸/۳۲ درصد آن را دیگر انواع پسماندها

در این مقاله، وضعیت مدیریت و بازیافت ضایعات شیشه در تهران مرور می شود و همچنین تحقیق و توسعه ای که دانشگاه پلی تکنیک هونگ کونگ در خصوص مصرف شیشه بازیافتی به عنوان ماده ای جایگزین مصالح دانه ای در محصولات مختلف بتنی سیمانی انجام داده است نیز معرفی خواهد شد. علاوه براین، در مورد کاربردهای موجود و بالقوه ای محصولات شیشه ای - بتنی ساخته شده در صنعت ساخت و ساز بحث خواهیم کرد.

### ۲- روش بررسی

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق مطالعات کتابخانه ای و میدانی صورت گرفته است. جمع آوری اطلاعات کتابخانه ای از طریق مراجعه به ادارات و سازمان هایی از جمله وزارت صنایع و معادن، سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، کتابخانه دانشگاه یزد، صورت گرفته است.

جهت بررسی وضعیت بازیافت شیشه در کشورهای پیشرفته جهان مطالبی از طریق اینترنت استخراج و ترجمه شده در نهایت مطالب و موضوعات به دست آمده بر اساس اهداف پژوهش طبقه بندی شده است.

جمع آوری اطلاعات میدانی از طریق مصاحبه حضوری با مسئولین سازمان بازیافت، اداره خدمات شهری شهرداری تهران و پیمانکاران طرح بازیافت از مبداء و مطالعه اسناد و مدارک موجود در این سازمان ها صورت گرفت.

### ۳- بحث و نتایج

گانه شهرداری تهران در حال انجام بوده و از روند رو به رشدی در جمع آوری پسماند خشک در مبدا تولید برخوردار است. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می فرمایید کل پسماندهای خشک، شهر تهران در سال ۱۳۹۰، ۴۱۲،۳۲۴،۴۱۲ است و میانگین روزانه آن ۱،۱۴۰،۶۱۵ می باشد. همان طور که در شکل ۲ می بینید از کل پسماندهای خشک شهر تهران، ۴/۶ درصد از این پسماندها، پسماندهای شیشه می باشد که فقط ۲ درصد از پسماندهای شیشه بازیافت می شوند و بقیه به مراکز دفن فرستاده می شوند (سازمان

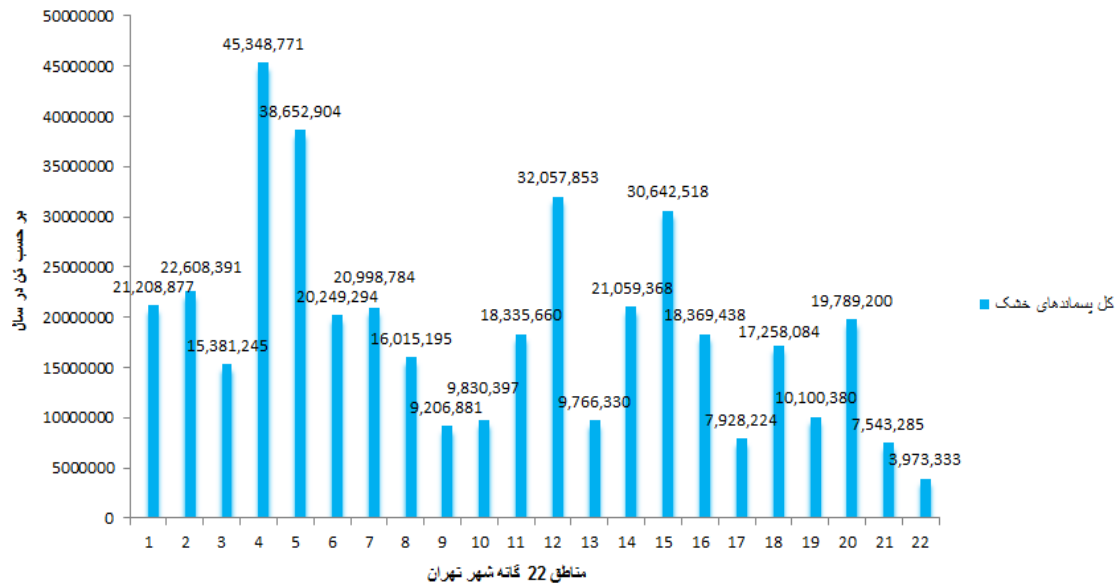
بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، ۱۳۹۱).

(پسماندهای خشک) تشکیل می دهد. همچنین اطلاعات و آمار حمل پسماندهای مناطق شهری تهران در طی سال ۱۳۸۷ نشان می دهد که روزانه بطور متوسط بیش از ۷۰۰۰ تن پسماندهای تولیدی شهر تهران به مرکز دفن کهریزک منتقل شده اند. بر مبنای این اطلاعات و با توجه به در نظر گرفتن میزان ۸۵ درصدی پسماندهای قابل جمع آوری به شیوه مکانیزه، کمیت پسماندهای قابل جمع آوری مکانیزه در سطح مناطق شهر تهران قابل توجه است.

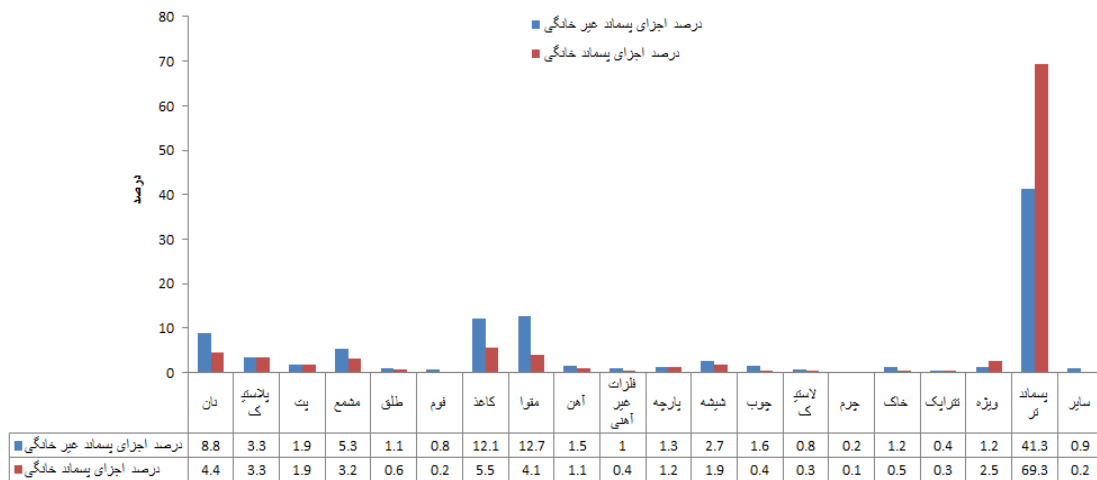
طرح تفکیک زباله تر و خشک از مبدا یکی از اصلی ترین

حلقه های زنجیره بازیافت و بهره برداری از زباله است. در حال

حاضر این طرح بطور کاملا نظام یافته و در سطح کل مناطق ۲۲



شکل ۱- کل پسماندهای خشک جمع آوری شده شهر تهران در مناطق ۲۲ گانه در سال ۱۳۹۰



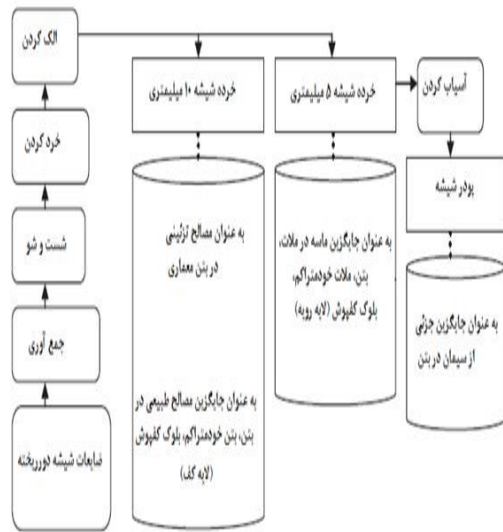
شکل ۲- آنالیز فیزیکی پسماند های خانگی و غیر خانگی در شهر تهران در سال ۱۳۹۰

در حال حاضر براساس نظر کارشناسان سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران با اجرای طرح تفکیک زباله خشک و تر از مبدا ۲۱ درصد کل زباله های تهران بازیافت می گردد که این رقم ۷۰ درصد از زباله های قابل بازیافت را تشکیل می دهد و در مقایسه با استاندارد های بین المللی بازیافت، رقم ایده آلی به حساب می آید.

### ۳,۳- پیش زمینه ای از مصرف شیشه بازیافتی در ملات و بتن سیمانی

اولین مطالعه در مورد مصرف خرده شیشه ها جهت تولید مصالح دانه ای ساختمانی استفاده شده در بتن از سال ۱۹۶۳ انجام شده است. (Schmidt and Sais, 1963) بعدها به دلیل سختی بالای شیشه، تحقیقات گسترده ای جهت بهره برداری از شیشه بازیافتی به عنوان مصالح دانه ای در بتن انجام گرفت (Topc and Canbaz, 2004). با این حال، با مصرف مقدار زیادی

مصلح دانه ای حاوی شیشه در بتن، یک واکنش جدی سیلیکای قلبایی ممکن است رخ دهد که سبب تقلیل مقاومت و دوام بتن می شود. (Byars and et al, 2004) بنابراین، اغلب کارهای تحقیقاتی اخیر بر روی مطالعه و بررسی امکان سنجی آسیاب خرده شیشه به شکل پودری (پودر شیشه) تمرکز کردند و از آن برای جایگزینی با سیمان در بتن استفاده کردند. زیرا پودر شیشه حاوی مقدار سیلیکای زیادی است که می تواند همانند مصالح پوزولانی برای واکنش با پورتلندیتنه در سیمان هیدراته جهت تشکیل ساختار C-S-H عمل کند تا مقاومت و دوام بتن بالا رود (Shao at el, 2004) (Shi and at el, 2005). خرده شیشه زمانی که در اندازه های پودری ریزدانه خرد می شود، اینطور که به اثبات رسیده است از حیث واکنش سیلیکا - قلیا (ASR) در بتن بی ضرر است (Shi and Zheng, 2007).



شکل ۳- گام‌های تبدیل ضایعات شیشه به مصالح بارزش و کاربردهای آن

### \* مصرف شیشه باز یافتی در بلوک بتنی

تحقیقی گسترده‌ای در دانشگاه پلی تکنیک هونگ کونگ جهت تولید بلوک‌ها و آجرهای بتنی کفپوش از جنس ذرات درشت شیشه انجام شده است شکل ۴ فرآیند تولید آزمایشگاهی از روش قالب ریزی نیمه مکانیزه برای ساخت بلوک استفاده شده است. با بهره گیری از چنین تکنیکی، مصالح مخلوط شده نیمه خشک تحت متراکم سازی محکمی قالب ریزی می‌شوند تا نیاز به حفظ یک مخلوط با کارایی پائین تأمین شود. (a) مواد تشکیل دهنده: سیمان، مصالح درشت دانه، شیشه بازیافتی. (b)

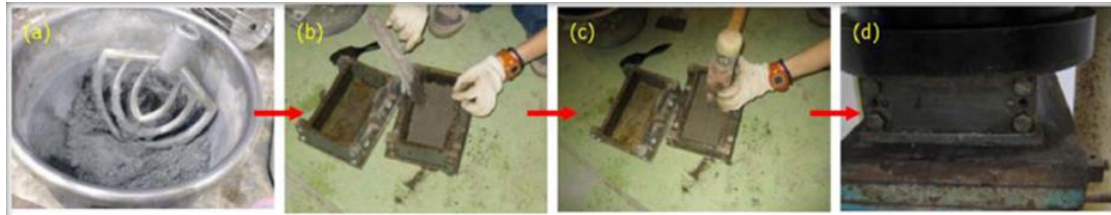
قالب‌های فولادی برای ساخت بلوک. (c) متراکم سازی با دست روی مصالح مخلوط شده. (d) متراکم سازی بیشتر با دستگاه

فشاری با سرعت 600 kN/min در طی دو مرحله ( Lam, ) (2006).

۳,۴- تحقیق و توسعه انجام گرفته توسط دانشگاه پلی تکنیک در مورد مصرف شیشه بازیافتی به عنوان مصالح دانه‌ای در محصولات مختلف بتنی

### \* تبدیل ضایعات شیشه به مصالح بارزش

در حال حاضر، جنبشی عمومی به سمت اتخاذ استراتژی‌های جدید عملیاتی با هدف بازیافت مؤثر ضایعات شیشه حاصل از جریان ضایعات جامد شهری در جریان است. شکل ۱ گام‌های تبدیل ضایعات شیشه به مصالح بارزش همچون مصالح دانه‌ای و افزودنی‌های پوزولانی در مصالح ساختمانی را نشان می‌دهد. بطری‌های شیشه‌ای ضایعاتی جهت شستشو و خرد کردن به تأسیسات تولیدی انتقال داده می‌شوند. ذرات خرده شیشه باید بسته به نتیجه مطلوب از الک به قطر ۱۰ یا ۵ میلی متر عبور کنند. خرده شیشه خرد شده دارای مقاومت ذاتی قابل قبول، جذب آب پائین و قابلیت مقاومت در برابر گرمای شدید بدون بروز علائم خرابی است. خرده شیشه‌ای ۵ میلیمتری سپس با آسیاب بصورت پودر شیشه با میانگین قطر دانه ۷۵ الی ۱۵۰ میکرومتر درمی آید که به عنوان پوزولانی برای جایگزین کردن سیمان در بتن استفاده می‌شود.



شکل ۴- فرآیند ساخت بلوک کفپوش شیشه‌ای - بتنی

جدول ۱ نسبت‌های اختلاط نمونه و نتایج مقاومت بلوک‌های بتنی  
که با مقادیر مختلف شیشه آماده شده‌اند نشان می‌دهد. زمانی که  
درصد جایگزین مصالح دانه‌ای طبیعی با شیشه از ۲۵ به ۷۵  
افزایش می‌یابد، مقاومت کششی شکافتگی کاهش ناچیزی می  
یابد و مقاومت فشاری و خمشی هیچ تغییر قابل ملاحظه‌ای  
نداشتند (Lam and at el, 2005).

جدول ۱- خلاصه نتایج مقاومت بلوک بتنی ساخته شده با درصد‌های متفاوت ذرات درشت شیشه

اندازه نوع شیشه	نوع جایگزینی	سیمان ( $\text{Kg/m}^3$ )	W/C	درصد جایگزینی			مقاومت ۲۸ روزه
				فشاری	خمشی	کششی	
<math>\leq 5\text{mm}</math> ضایعات بطری نوشابه	مصالح ریز دانه بازیافتی	۳۸۰	A/N	۲۵	۲۶	-	۳/۹۰
				۵۰	۵۴	-	۳/۳۶
				۷۵	۵۷	-	۳/۱۰
عبور از الک به قطر mm ۱/۱۸	سنگ آهک	۲۱۲	۰/۳۰	.	۴/۱۵	-	-
					۲۷/۵	-	-
				۲/۶	۳۰/۷	۵/۸۶	-
				۴/۲	۳۳/۳	۷/۳۶	-
<math>\leq 1/18\text{mm}</math> و <math>\leq 4/75\text{mm}</math>	مصالح ریز دانه	۳۵۰	۰/۳۰	.	۲۳/۵	۳/۴۱	۲/۶۲

مقاومت کششی شکافتگی و مقاومت سایشی بلوک‌های کفپوش  
به ترتیب حدود ۶۹، ۹۰، ۴۷ و ۱۵ درصد افزایش پیدا کردند. با این  
حال این افزایش مقاومت زمانی که ذرات درشت شیشه به قطر  
۴/۷۵ میلیمتر بجای ذرات ریز آن استفاده شدند کاهش یافت.  
علاوه بر این، (Lam, 2006)، متوجه شد که مقاومت فشاری  
(Turgut, 2004)، گزارشی داد حاکی از اینکه در زمان استفاده از  
۹/۴٪ شیشه، مقاومت فشاری و خمشی بلوک‌های شیشه‌ای به  
ترتیب ۲۱/۱٪ و ۷۷/۳٪ بیشتر از بلوک بنایی کنترل بودند  
(Turgut and at el, 2004)، هم چنین گزارشی دادند حاکی  
از اینکه هرگاه ۲۰٪ مصالح ریزدانه با ذرات شیشه کوچکتر از  
۱/۱۸ میلیمتر جایگزین شدند، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی،

شد. برای لایه کف، مصالح دانه‌ای (شامل مصالح دانه‌ای طبیعی، بازیافتی و ذرات درشت شیشه و نیز سیمان) در مخلوط کن مخلوط شدند. پس از اختلاط خشک، آب به مصالح اضافه شد تا میزان رطوبت مطلوب حاصل شود. سپس این مخلوط‌ها از مخلوط کن به یک ناودان پیشبری<sup>۲</sup> انتقال داده شدند. این ناودان مقدار مناسبی از مخلوط آماده شده را به داخل قالب در دستگاه قالب ریزی بلوک تخلیه کرد. قالب‌ها با مصالح پر شده و اولین ویبره و متراکم سازی روی مصالح داخل قالب اعمال شد. بلافاصله پس از این، مخلوط رویه برای لایه سطحی (شامل ماسه، خرده شیشه با اندازه دانه کمتر از ۲/۳۶ میلی‌متر و سیمان که به موازات لایه کف آماده شدند) پیش از اینکه اولین و دومین متراکم سازی و ویبره اعمال شود به داخل قالب در بالای اولین لایه ریخته شدند. نتایج آزمایش دستگاه آزمایشی نشان داد که بلوک‌های شیشه‌ای - بتنی با کیفیت را می‌توان در محیطی صنعتی تولید کرد. نتایج آزمایش نشان داد که خرده شیشه بازیافتی را می‌توان جایگزین مصالح دانه‌ای طبیعی در تولید بلوک‌های بتنی بدون اثرگذاری روی مشخصات بتن استفاده کرد. در واقع برخی جوانب عملکردی بتن بدین صورت بهبود خواهد یافت (مانند کاهش میزان جذب آب، افزایش مقاومت سایشی). رنگ‌های جدید شیشه و انعکاس‌های خاص نور به سبب وجود شیشه در بتن حاصل می‌شوند (Meyer and at el, 2011).

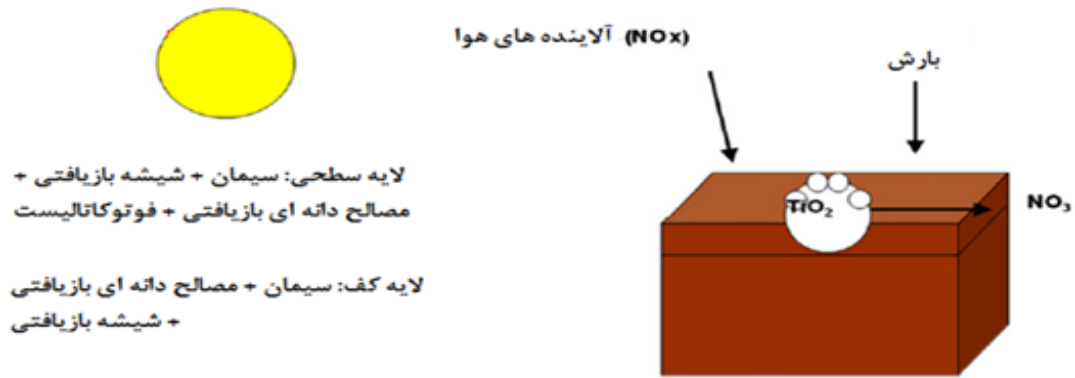
بلوک‌های بنایی و کفپوش به مدول ریزی<sup>۱</sup> (FM) مصالح دانه‌ای (از جمله خرده شیشه خرد شده) مصرفی ارتباط داشته است. او این مسئله را مطرح کرد که مناسب‌ترین محدوده اندازه ذرات مصالح دانه‌ای برای بلوک بتنی کفپوش با مخلوط خشک محدوده‌ی ۳/۵ تا ۴/۵ برای مدول ریزی است. وجود سیلیکای زیاد در خرده شیشه که می‌تواند با قلیا واکنش دهد به سبب وجود ASR در ماتریس سیمان سبب انبساط می‌شود. اما نتایج لام و همکارانش و نیز لی و همکارانش نشان داد که مسئله ASR در بلوک‌های بتنی با مخلوط خشک نسبت به بتن با مخلوط مرطوب کمتر بحرانی بود (در نمونه‌های بلوک بتنی که با مقدار شیشه‌ای کمتر از ۲۰٪ تهیه شده بودند انبساط کمی ناشی از ASR دیده شد). دلیل این مسئله ممکن است تخلخل بالای بتن با مخلوط خشک باشد که می‌تواند فشار انبساطی را ایجاد کند (Lee and Lam and at el, 2005) (at el, 2011).

بر اساس نتایج آزمایشگاهی حاصل در دانشگاه پلی تکنیک، جهت انجام آزمایش، دستگاهی با مقیاس آزمایش در شرکت سازنده داخلی بلوک تهیه شد که نسبت اختلاط‌های بهینه شده‌ای برای آن انتخاب شدند. در این دستگاه، از دو مخلوط کن مجزا با ظرفیتی مناسب برای تولید بلوک‌های دارای ساختار بلوک دولایه‌ای یک لایه کف و یک لایه سطحی، (شکل ۵) استفاده

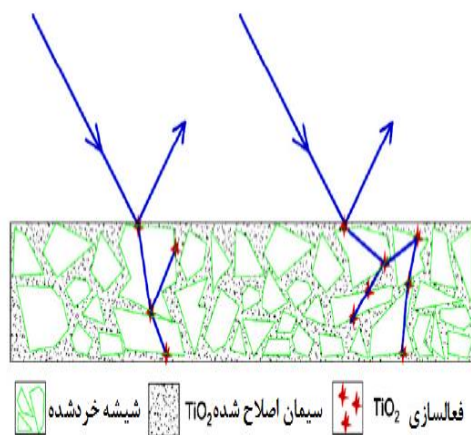
<sup>2</sup> feed hopper

<sup>1</sup> fineness modulus





شکل ۵- ساختار بلوک دولایه‌ای که با مواد سازنده متفاوتی آماده شده است



شکل ۶- مسیرهای نور و فعال سازی تیتانیوم اکسید در لایه سطحی بلوک بتنی که از شیشه به عنوان مصالح دانه‌ای در آن استفاده شده است

### \* مصرف شیشه بازیافتی در بتن خودمتراکم

بتن خودمتراکم<sup>۳</sup> (SCC) ابتدا در ژاپن ساخته شد که می‌تواند تحت اثر وزنش بدون نیاز به ویبره خارجی تحکیم شود. از آن زمان به بعد، این بتن به سبب روانی بهتر و ظرفیت پرکنندگی بیشترش که به ساخت اعضای بتنی با اشکال پیچیده و اعضای سازه‌ای بتن مسلح پرتراکم سرعت می‌بخشید در صنعت ساخت و ساز کاربرد گسترده‌ای پیدا کرد (Kou and Poon, 2009). در دانشگاه پلی تکنیک هونگ کونگ اقدامی جهت بررسی امکان مصرف شیشه بازیافت جهت تولید بتن خودمتراکم انجام شد در

(Chen and Poon, 2011)، تلاش کردند تا خرده شیشه را به عنوان مصالح دانه‌ای و تیتانیوم دی اکسید را به عنوان مصالح فوتوکاتالیستی در آماده سازی لایه سطحی بلوک‌های کفپوش ترکیب و مصرف کنند. نتایج نشان دادند که زمانی که درصد بالایی از خرده شیشه استفاده شد نیتریک اکسید (NO) بیشتری از بین می‌رود. وقتی که خرده شیشه وجود داشته باشد طوریکه مقدار بیشتری تیتانیوم اکسید را بتوان در بخش داخلی لایه سطحی فعال کرد این احتمال وجود دارد که نور بتواند به عمق بیشتری انتقال یابد. لایه سطحی بتن که با خرده شیشه تمیز ساخته شد بازدهی‌اش برای حذف NO نسبت به لایه سطحی که از ماسه رودخانه ساخته شده بود بیشتر است. بطور نسبی، لایه‌های سطحی بتنی حاوی شیشه تیمز نیز فعالیت فوتوکاتالیستی بهتری نسبت به شیشه‌های به رنگ تیره (سبز تیره، قهوه‌ای) داشتند که دلیل این موضوع احتمالاً خصوصیت هدایت پذیری بهتر نور در شیشه تمیز است. مکانیزم پیشنهادی فعالیت کاتالیستی بهبودیافته در شکل ۶ نشان داده شده است.

<sup>3</sup> Self-compacting concrete

این تحقیق از خرده شیشه بازیافتی با دو محدوده دانه بندی ذرات (کمتر از ۵ میلیمتر و ۵ الی ۱۰ میلیمتر) برای جایگزین کردن ماسه رودخانه و گرانیت با محدوده دانه بندی (۵ الی ۱۰ میلیمتر) استفاده شد. نتایج مربوط به مشخصات جدید نشان داد که روانی اسلامپ و نسبت مسدودشدگی مخلوطهای بتن با افزایش مقدار خرده شیشه بازیافتی بیشتر شد. وانگ و هوانگ نیز روند صعودی مشابهی برای روانی اسلامپ در مورد شیشه LCD گزارش کردند. دلیل احتمالی بهبود مشخصات تازه بتن ماهیت هیدروفوبیک خرده شیشه هاست که می تواند نیاز به آب را کاهش دهد که این نیز کارایی بتن خودمتراکم را پائین می آورد (Wang and Huang, 2011). مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول ارتجاعی استاتیکی بتن خودمتراکم با افزایش یافتن مقدار شیشه بازیافتی به سبب پیوند ضعیف بین خمیر سیمان و ذرات درشت شیشه کاهش یافت. مقاومت فشاری زمانی که مقدار شیشه در بتن ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد افزایش یافت، به ترتیب ۱،۵، ۲،۴ و ۸،۵ درصد کاهش یافت. نمونه ها از حیث مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید و انقباض ناشی از خشک شدگی که از مشخصات دوام بتن محسوب می شوند به سبب جذب آب بسیار کم و تخلخل خرده شیشه بهبود چشمگیری یافتند (Kou and Poon, 2009).

#### ۴- نتیجه گیری

سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران اقدامات زیادی برای ترویج بازیافت ضایعات شیشه در تهران انجام داده اند، اما

نتایج ASR حاکی از این موضوع بودند که انبساطها و ترک خوردگی های زبان آور در صورتی رخ دادند که مقدار شیشه بیشتر از ۴۵٪ بوده است. با این حال، انبساط ناشی از ASR در کلیه

هنوز ۲ درصد ضایعات شیشه به دفع روزانه در محل انباشت  
زباله‌ها نیاز دارند. لازم است که راه‌حل‌های جایگزینی برای  
بازیابی و ساخت بازاری مطمئن نوع ضایعات یافت شود.  
تحقیق و توسعه‌ای که در دانشگاه پلی تکنیک هونگ کونگ  
جهت ارزیابی مصرف ضایعات شیشه بازیافتی در محصولات  
مختلف بتنی (بلوک‌های بتنی، بتن خودمتراکم) انجام شده است به  
نتایج امیدوارکننده‌ای دست یافته است. برای بهبود بیشتر میزان  
بازیافت ضایعات شیشه در تهران باید پیشرفت بیشتری در اقدامات  
سیاستی و قانونی (مانند هزینه‌های دفع ضایعات در محل انباشت  
زباله‌ها) و تغییر دید، مهندسان (که اجاره مصرف محصولات بتنی  
حاوی شیشه را در پروژه‌های ساختمانی دهد) ضروری بنظر  
می‌رسد.

نتایج این تحقیق نشان داد که بازیافت شیشه از زباله‌های شهر  
تهران از توجیه اقتصادی و زیست محیطی مناسب برخوردار است.  
لذا جهت توسعه و افزایش میزان بازیافت شیشه توصیه می‌گردد  
سرمایه‌گذاری در امر آموزش و گسترش فرهنگ بازیافت در  
جامعه صورت گیرد.

## منابع

۱. وزارت صنایع و معادن. ۱۳۹۰. وضعیت تولید ظروف شیشه ای و شیشه تخت در ایران، عملکرد دفتر صنایع معدنی.
۲. عمرانی، ق و همکاران. ۱۳۸۸. مدیریت بازیافت شیشه در تهران، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۱، شماره ۴، ص ۴۱-۵۰.
۳. سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران. ۱۳۹۱. مطالعه اثرات زیست محیطی طرح مکانیزه جمع آوری پسماند در سطح شهر تهران و ارائه کار مناسب برای رفع آن ها، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی شریف.
4. Villanueva, A. Wenzel, H. 2007. Paper waste–recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments, Waste management, Vol. 27, P. S29-S46.
5. WSDTED.1993. Washington State Department of Trade and Economic Development Glass Feedstock Evaluation Project, USA.
6. Schmidt, A. Saia, W. 1963. Alkali-aggregate reaction tests on glass used for exposed aggregate wall panel work, ACI Materials, Vol. 60, P. 1235-1236.
7. Topc, iB. Canbaz, M. 2004. Properties of concrete containing waste glass, Cement and Concrete Research, Vol.34, P.267-274.
8. Byars, E. Zhu, H. et al. 2004. Conglasscrete I, Final report. The waste & resources action programme, UK.
9. Shao, Y. Lefort, T. et al. 2000. Studies on concrete containing ground waste glass, Cement and Concrete Research, Vol. 30, P. 91-100.
10. Shi, C. Wu, Y. et al. 2005. Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders, Cement and Concrete Research, Vol. 35, P.987-993.
11. Shi, C. Zheng, K. 2007. A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 52, P. 234-247.
12. Lam, C. 2006. Use of recycled construction and demolition wastes as aggregates in pre-cast block works, The Hong Kong Polytechnic University.
13. Lam, CS. Poon, CS. et al. 2007. Enhancing the performance of pre-cast concrete blocks by incorporating waste glass–ASR consideration, Cement and Concrete Composites, Vol. 29, p. 616-625.
14. Turgut, P. 2008. Properties of masonry blocks produced with waste limestone sawdust and glass powder, Construction and Building Materials, Vol. 22, P. 1422-1427.
15. Turgut, P. Yahlizade, E. 2009. Research into concrete blocks with waste glass, International Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 1, P. 203-209.
16. Lee, G. Ling, TC. et al. 2011. Effects of crushed glass cullet sizes, casting methods and pozzolanic materials on ASR of concrete blocks, Construction and Building Materials, Vol. 25, P. 2611-2618.

17. Meyer, C. Egosi, N. et al. 2001. Concrete with waste glass as aggregate, proceedings of the international symposium concrete technology unit of ASCE and University of Dundee, Dundee, P. 179-87.
18. Chen, J. Poon, CS. 2009. Photocatalytic activity of titanium dioxide modified concrete materials-Influence of utilizing recycled glass cullets as aggregates. *Journal of Environment Management*, Vol. 90, p. 3436-3442.
19. Kou, SC. Poon, CS. 2009. Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 31, p. 107-113.
20. Wang, HY. Huang, WL. 2010. A study on the properties of fresh self-consolidating glass concrete (SCGC). *Construction and Building Materials*, Vol. 24, p. 619-624.
21. Ling, TC. Poon, CS. Kou, SC. 2012. Influence of recycled glass content and curing conditions on the properties of self-compacting concrete after exposure to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34, p.265-272.
22. Ling, TC. Poon, CS. 2013. Stress-strain behaviour of fire exposed self-compacting glass concrete. *Fire and Materials*, Vol. 37, p. 297-310.