Journal of Spatial Planning
Vol. 11, No. 4, Ser (43) 2022

# Applying New Methods in Reducing Environmental Pollutants: Use of Titanium Dioxide Photocatalyst in an Artificial Stone

**Leila Gorji [1*], Javad Ghaheri [2]**

1- Ph.D. in Climatology, Deputy of Research and technology, Isfahan University, Isfahan, Iran
(*Corresponding Author Email: lili_gorji@yahoo.com)
2- Master of science in Chemical engineering, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

## Abstract

Currently, the main problem of cities and populated centers is air pollution. Small- and large-scale human activities can pollute the environment and leave irreparable effects. One of the most effective ways of reducing air pollution is to control emission sources. Atmospheric pollutants could be controlled by using new methods like applying titanium dioxide. This material can trap air pollutants and decompose them through a photocatalytic process. The use of photocatalytic titanium dioxide in building materials is growing due to the demand for improving air quality in urban and industrial areas. Artificial stones are generally a combination of natural aggregates, industrial gums (resins), and some additives. Since resins are of relatively high costs, polymer materials that are inexpensive and economically cost-effective are replaceable. The method of the present research is a descriptive experiment and applied in terms of purpose

This study was conducted in an indoor laboratory. In this shrink model, an artificial stone was fabricated by using high-strength polymer materials and then, titanium dioxide material application in the created synthetic stone for reducing pollutant gases was investigated. The results showed that the synthetic stone made by using polymeric materials and titanium dioxide photocatalyst could reduce over 75% of nitrogen gases in the air.

**Keywords:** artificial stone, photocatalyst, polymer, titanium dioxide.

lili_gorji@yahoo.com
2476-3357/ © 2022 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses BY-NC-ND 4.0)
Doi:10.22108/sppl.2021.130034.1602

فصلنامه علمی برنامه‌ریزی فضایی (مقاله پژوهشی)
سال یازدهم، شماره چهارم، (پیاپی ۴۳)، زمستان ۱۴۰۰
تاریخ وصول: ۱۴۰۰/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷
صص: ۳۸ -۲۷

# استفاده از روش‌های نوین در کاهش آلاینده‌های محیطی (کاربرد فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم در سنگ مصنوعی)

**لیلا گرجی [۱*]، جواد قاهری [۲]**

۱-دکتری آب و هواشناسی، معاونت پژوهشی ، دانشگاه اصفهان ، اصفهان ، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی شهرضا، اصفهان ، ایران

**چکیده**

در شرایط کنونی مسئلهٔ اصلی شهرها و مراکز پرجمعیت آلودگی هواست. فعالیت‌های انسان در مقیاس کوچک و بزرگ می‌تواند موجب آلودگی محیط شـــود و آثار جبران‌ناپذیری ایجاد کند. از آنجا که یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش آلودگی هوا کنترل منابع انتشار است، با استفاده از روش‌های نوین می‌توان آلاینده‌های جوّی را کنترل کرد و آنها را کاهش داد. یکی از روش‌های نوین، استفاده از دی اکسید تیتانیوم در سنگ مصنوعی است. دی اکسید تیتانیوم آلاینده‌های هوا را به دام می‌اندازد و با یک روند فوتوکاتالیستی تجزیه می‌کند. استفاده از مصالح ساختمانی دارای مادهٔ فوتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم به علت افزایش نیاز به راهکارهایی برای بهبود کیفیت هوا در مناطق شهری و مناطق صنعتی در حال رشد است. سنگ‌های مصنوعی عموماً ترکیبی از سنگ‌دانه‌های طبیعی، صمغ‌های صنعتی (رزین) و بعضی مواد افزودنی هستند. از آنجا که رزین‌های استفاده شده هزینهٔ نسبتاً زیادی دارند، می‌توان مواد پلیمری را که ارزان و ازلحاظ اقتصادی بسیار باصرفه‌اند، جایگزین و از آنها استفاده کرد.

روش پژوهش حاضر، تجربی‌توصیفی و ازلحاظ هدف، کاربردی است. این پژوهش در یک آزمایشگاه سرپوشیده انجام شده است. در این مدل کوچک‌شده، سنگ مصنوعی با استفاده از مواد پلیمری و با استحکام زیاد ساخته شد؛ سپس کاربرد مادهٔ دی اکسید تیتانیوم در سنگ مصنوعی ساخته‌شده برای کاهش گازهای آلاینده بررسی شد. نتایج آزمایش‌های حاصل از مدل تجربی نشان داد سنگ مصنوعی ساخته‌شده با استفاده از مواد پلیمری و فتوکاتالیزور دی اکسید تیتانیوم تا حدود ۷۵ درصد گازهای نیتروژن موجود در هوا را کاهش می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** سنگ مصنوعی، فوتوکاتالیست، پلیمر، دی اکسید تیتانیوم.

* نویسندهٔ مسئول lili_gorji@yahoo.com

2476-3357/ © 2022 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses BY-NC-ND 4.0)
Doi:10.22108/sppl.2021.130034.1602

**بیان مسئله**

پژوهشگران به دنبال راهکارهایی هستند که آلودگی هوا را به‌ویژه در فصل سرد سال که باعث بروز بیشتر بیماری‌های تنفسی می‌شود، با استفاده از روش‌های مختلف کاهش دهند. به‌تازگی استفاده از فرایندهای فتوکاتالیستی برای حذف آلاینده‌های هوا مورد توجه قرار گرفته است. در این فرایند آلاینده‌های آلی موجود در هوا با فتوکاتالیست واکنش نشان می‌دهند و اکسید و به دی‌اکسیدکربن، آب و آلاینده‌هایی با خطر کمتر تبدیل می‌شوند (ناظم‌زاده و صفا، ۱۴۰۰: ۱).

استفاده از روش‌های نوین در کاهش آلاینده‌ها، دانش نوپایی است که در دهۀ اخیر در زمینه‌های مختلف از صنعت تا حوزۀ سلامت کاربرد داشته و این روند در حال گسترش است. در سال‌های اخیر، توجه به کاهش آلودگی هوا در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، یکی از مسائل مهمی است که بیش از گذشته بررسی شده و با رشد و گسترش شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن، این مسئله اهمیت روزافزون یافته است. همۀ شهرها به‌ویژه شهرهای بزرگ، شرایط نابسامانی ازنظر آلودگی هوا دارند (نجفی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۹). روش‌های نوین می‌تواند گامی بلند در جهت تحقق اهداف باشد و به حرکت جدید و هوشمندانه برای مدیریت محیط به‌ویژه شهرها منجر شود.

استفاده از روش‌های نوین برای تصفیه و کاهش آلودگی هوا نیز به کار می‌رود و به‌تازگی رو به رشد است. ازجملۀ این روش‌ها می‌توان به استفاده از روش‌های تصفیۀ فتوولتائیک (PV) ، خالص‌سازی هوا با برج‌های[1] تصفیه‌کننده، مواد فتوکاتالیستی و... اشاره کرد؛ برای نمونه استفاده از مواد فتوکاتالیستی یا سیمانی اصلاح شدۀ دی اکسید تیتانیوم روی سطح خارجی ساختمان‌ها، جاده‌ها و... در شهرهای بزرگ با تراکم جمعیت زیاد شهری و غلظت زیاد آلاینده‌ها می‌تواند یک راه جایگزین برای حذف و کاهش آلاینده‌ها باشد. فتوکاتالیست، ماده‌ای است که با جذب نور باعث واکنش شیمیایی در محیط می‌شود. وقتی اشعۀ UV موجود در نور خورشید یا نور اتاق به یک سطح پوشیده‌شده از فتوکاتالیست برخورد می‌کند، مواد آلی اطراف در اثر اکسیده‌شدن تجزیه می‌شوند؛ به این ترتیب آلودگی‌های آلی و گردوغبار، مواد دارای بو و باکتری‌ها پاک می شوند و خاصیت خودتمیزشوندگی بسیار خوبی را به وجود می‌آورد (Kenneth and Balkus, 2013: 213- 244). روش‌های فتوکاتالیستی بیش از یک دهه است که برای کاهش آلودگی هوا کاربرد دارند (Guerrini, 2012: 165- 175).

در سال‌های اخیر مقالات مروری زیادی درزمینۀ کاربردهای مختلف دی اکسید تیتانیوم ارائه شده است. نخستین گزارش عمل فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در سال ۱۹۳۸ منتشر شد که نشان داد جذب UV، انواع اکسیژن فعال را روی سطح دی اکسید تیتانیوم تولید می‌کند (Ucheng lan, Zheifeng, 2013).

پون و همکاران[2] (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای دربارۀ بلوک‌های دارای $TiO_2$ و خرده شیشه‌های بازیافتی به‌عنوان بخشی از سنگ‌دانه‌ها به‌منظور استفاده در سنگ‌فرش معابر، به این نتیجه رسیدند که وقتی منافذ بلوک افزایش می‌یابد، توانایی از بین بردن NO افزایش می‌یابد.

---

[1]. Photovoltaics

[2]. Poon et al.

فوجی‌شیما و هوندا (۱۹۷۲) خواص فتوکاتالیستی[1] دی اکسید تیتانیوم را بررسی کردند و متوجه شدند که آب در سطح الکترود TiO2 طی فرایند کاتالیستی به اکسیژن و هیدروژن تبدیل می شود. این پدیده نقطهٔ عطفی در جهت شروع فعالیت‌های پژوهشی دیگر درزمینهٔ کاتالیست‌های ناهمگن شد و از آن پس پژوهشگران تلاش‌های بسیار زیادی برای فهم و درک اصول بنیادین فرایندهای کاتالیستی و افزایش بازده آنها کردند.

فوجی شیما و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند تقسیم[2] آب و پاکسازی محیط زیست، دو زمینهٔ فعال در فتوکاتالیز ناهمگن و هر دو با پژوهش‌های مربوط به فتوالکتروشیمی نیمه‌هادی مرتبط هستند. مقاله سعی در توصیف بعضی پیشرفت‌ها و دستاوردهای حاصل از این دو زمینهٔ فعال در فتوکاتالیز ناهمگن دارد.

فوجی‌شیما و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با عنوان «فتوکاتالیست TiO2 و پدیده‌های محیطی وابسته به آن» دربارهٔ تمام ابعاد فتوکاتالیست $TiO_2$ توضیح کاملی ارائه کردند. آنها یادآور شدند طی ۲۰ سال گذشته، به دلیل علاقهٔ عملی به تصفیهٔ هوا و آب، سطوح خودتمیزکننده و سطوح خوداسترلیزه، به یک موضوع برای بررسی تبدیل شده است.

در همین مدت، تلاش زیادی نیز برای استفاده از فتوکاتالیز به‌منظور تولید هیدروژن با کمک نور شده است. پون و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی با استفاده[3] از ترکیب فتوکاتالیست‌ها با مواد سیمانی دریافتند که این مسئله می‌تواند یک پیشرفت مهم درزمینهٔ کاهش آلودگی هوا باشد. این پژوهشگران فعالیت فتوکاتالیستی نمونه‌های بتن با اکسیداسیون فتوکاتالیستی اکسید نیتریک (NO) را در آزمایشگاه بررسی کردند. از شیشه‌های بازیافتی خردشده به جای شن و ماسه در آماده‌سازی لایه‌های سطحی بتن حاوی $TiO_2$ استفاده شد. این مطالعه نشان داد فعالیت فتوکاتالیستی لایه‌های سطحی بتن هنگام استفاده از سنگ‌دانه‌های شیشه‌ای بسیار تأثیرگذار است.

گاماژ و ژانگ[4] (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان «فتوکاتالیست گندزدا»، کاربرد فتوکاتالیست‌ها را درزمینهٔ تصفیهٔ هوا، محیط‌های درونی و بیرونی، بیمارستان‌ها، آزمایشگاهها، کارخانه‌های مواد غذایی و داروسازی بررسی کردند.

لو و همکاران[5] (۲۰۱۲) در مقاله‌ای مروری با عنوان «تجزیهٔ فتوکاتالیستی برپایهٔ نانوذرات $TiO_2$ تخریب»، ترکیبات کلروآروماتیک و مکانیسم و عملکرد نانوذرات $TiO_2$ را در تجزیهٔ ترکیبات کلروآروماتیک شرح دادند.

بالاری و همکاران[6] (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای تخریب مؤلفه‌های $NO_x$ را با استفاده از سنگ‌فرش‌های بتنی حاوی $TiO_2$ برای استفاده در ساخت و ساز جاده‌ها بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد هرچه غلظت اولیهٔ آلاینده‌ها کمتر باشد، واکنش آنها با $TiO_2$ افزایش می‌یابد.

جورج و همکاران[7] (۲۰۱۶) تأثیر فتوکاتالیستی آلاینده‌ها را بر کیفیت هوای شهری بررسی کردند.

---

1. Fujishima and Honda
2. Fujishima et al.
3. Poon e al.
4. Gamage and Zhang
5. Lu et al.
6. Ballari et al.
7. George et al.

ر ضایی‌فر و همکاران (۱۳۹۴) در پژوه شی آثار ا ستفاده از بتن دارای دی اک سید تیتانیوم را بر بهبود کیفیت هوا ارزیابی کردند؛ سپس آثار استفاده از خرده‌شیشهٔ بازیافتی در بتن دارای $TiO_2$ و استفاده از سنگ‌فرش بتنی دارای $TiO_2$ را در معابر شهری و آثار ا ستفاده از $TiO_2$ را در جلوگیری از ر شد جلبک‌ها در نمای ساختمان‌ها و در عین حال پاکیزه‌ترکردن هوا بررسی کردند.

در پژوهش حاضر اثر مادهٔ فتوکاتالیستی $TiO_2$ بر کاهش آلاینده‌های هوا و سپس نقش دی اکسید تیتانیوم در سنگ مصنوعی تولیدی بررسی خواهد شد. هدف از این پژوهش، استفاده از روش‌های نوین در کاهش آلاینده‌ها و کاربرد فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم در سنگ‌های مصنوعی با توجه به یک کار آزمایشگاهی و تجربی است.

## مواد و روش کار

این پژوهش تأثیر فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم را بر سنگ مصنوعی بررسی می‌کند. روش پژوهش حا ضر، تجربی‌توصیفی و ازلحاظ هدف، کاربردی است. در آزمایشگاه با استفاده از ترکیب و درصد وزنی مشخص از پودر سیلیس، پودر شیشه، پلیمر و دی اکسید تیتانیوم و قراردادن آن در کوره به دفعات با دماهای مختلف، چندین نمونه سنگ مصنوعی تولید شد؛ سپس برای بررسی تأثیر فتوکاتالیست در کاهش آلودگی هوا، سنگ تولید شده در یک آکواریوم شیشه‌ای کاملاً ایزوله قرار داده و با استفاده از دستگاه سنجش آلودگی هوا (Testo350) مقدار کاهش آلودگی گازهای NOx NO2, NO, در چندین بازهٔ زمانی بررسی شد.

در سنگ‌های مصنوعی با ترکیب مواد و عناصر مختلف، امکان ساخت سنگ‌هایی با زیبایی‌خاص، نمای یک‌د ست و البته بدون تغییر در رنگ و طرح مدنظر فقط با افزودن رنگ‌دانه و رزین سمنت پلا ست وجود دارد. در سنگ ساخته شده در این پژوهش از مواد پلیمری به جای رزین ا ستفاده شد که هزینهٔ تولید با ا ستفاده از این روش کمتر از روش مشابه رزینی آن است.

## سنگ مصنوعی با استفاده از رزین

سنگی مصنوعی است که از رزین‌های ساختاری به‌عنوان چسباننده در آن استفاده می‌شود. این سنگ‌ها در محیط خلأ فشرده و ویبره می‌شوند و ترکیب آنها درصد زیادی از دانه‌های به‌هم‌پیوسته است که با رزین به هم چسبیده‌اند. مواد ت شکیل‌دهندهٔ سنگ مصنوعی رزین‌دار، ۹۳ در صد سنگ‌دانه‌های سیلیسی و ۷ در صد رزین ا ست. عملیات مخلوط سازی تحت خلأ همراه با فشار و ویبره برای سنگ‌دانه‌ها این امکان را فراهم می‌کند که بسیار نزدیک به هم قرار گیرند و بهترین آرایش مواد جامد مخلوط را دا شته با شند؛ بنابراین مقدار رزینی که سنگ‌دانه‌ها را دربرمی‌گیرد، بسیار کاهش می‌یابد. ترکیبات پلیمری و افزودنی‌های شیمیایی (رزین و...)، چسبندگی بین تمام اجزا را ایجاد و مقاومت مصالح سنگ مصنوعی را تأمین می‌کند.

**سنگ مصنوعی با استفاده از پلیمر**

مواد موجود در این سنگ مصنوعی، سیلیس، خرده‌های شیشه در ابعاد متفاوت و پلیمر است که با درصد وزنی مشخص با یکدیگر ترکیب و با دی اکسید تیتانیوم مخلوط و طی فرایند خاصی براساس جدول ۱ به سنگ تبدیل می‌شوند. در آزمایشگاه برای رسیدن به یک ترکیب درصد خاص و مورد قبول به دفعات این ترکیبات داخل کوره با دماهای بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد آزمایش و درنهایت ترکیب درصد مورد قبول برای ساخت این سنگ مشخص شد. از خصوصیات بارز این پلیمر، سیال و روان بودن آن در دمای بالای ۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد است که کمک زیادی به شکل‌دادن خمیر سنگ و اسلب‌کردن آن می‌کند. درنهایت با توجه به آزمایش‌ها و بررسی‌های انجام‌شده روی چند نمونه و ترکیب درصدهای مختلف ترکیب، درصد زیر را می‌توان پیشنهاد داد:

**جدول- ۱: طرح ترکیب سنگ مصنوعی نهایی**

| نوع مواد اولیه | مقدار مواد | دمای کوره | مدت‌زمان |
|---|---|---|---|
| سیلیس ۳۲۵ میکرون یا ریزتر | ۷/۵ گرم | ۲۵۰- ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس | ۱۵ دقیقه |
| شیشهٔ ۲۰۰ میکرون | ۷/۵ گرم | | |
| شیشهٔ ۴۵۰ میکرون | ۱۵ گرم | | |
| شیشهٔ ۳ میلی‌متر | ۵ گرم | | |
| فتوکاتالیزور Tio2 | ۵ گرم | | |
| پلیمر | ۵ گرم | | |

پس از ساخت سنگ مصنوعی شرایطی طراحی شد تا فعالیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم ($TiO_2$) بررسی شود. برای این کار در یک آکواریوم شیشه‌ای کاملاً عایق و ایزوله، لامپ UV مخصوص، پلاستیک ضخیم، درزگیر، مس، اسید نیتریک و یک بادزن (Fan) تعبیه شد. برای سنجش میزان آلودگی و تغییرات میزان آن تحت تأثیر فعالیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم از دستگاه سنجش آلودگی Testo 350 استفاده شد. یکی از سطوح جانبی آکواریوم به اندازهٔ لولهٔ اندازه‌گیری دستگاه برش زده شد و لوله داخل آکواریوم قرار گرفت. اطراف لوله ایزوله شد تا هیچ خروجی هوا نداشته باشد.

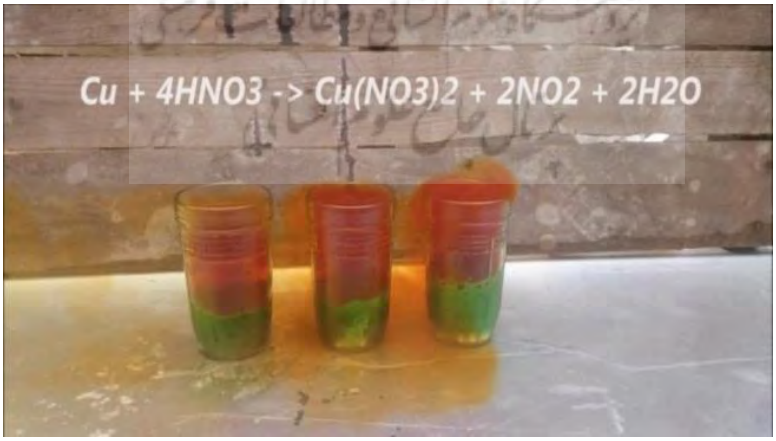
**شکل- ۱: دستگاه سنجش آلودگی** Testo 350

آکواریوم شیشه‌ای روی یک سطح صاف قرار می‌گیرد و سپس سنگ مصنوعی ساخته شده را داخل آن قرار می‌دهند و در یک ظرف مخصوص مس می‌ریزند و اسید نیتریک به آن اضافه می‌کنند. با اضافه‌کردن اسید نیتریک به مس واکنش زیر رخ می‌دهد و آلودگی (نیتروژن دی‌اکسید) ایجاد می‌شود.

$$Cu + HNO_3 = Cu\,(NO_3)_2 + NO + H_2O$$

$$3\,Cu + 8\,HNO_3 = 3\,Cu\,(NO_3)_2 + 2\,NO + 4\,H_2O$$

مس با اسید نیتریک غلیظ اکسید می‌شود و یون مس (II) را به وجود می‌آورد. اسید نیتریک به دی اکسید نیتروژن تبدیل می‌شود و یک گاز قهوه‌ای‌رنگ با بوی سوزش‌آور ایجاد می‌کند.

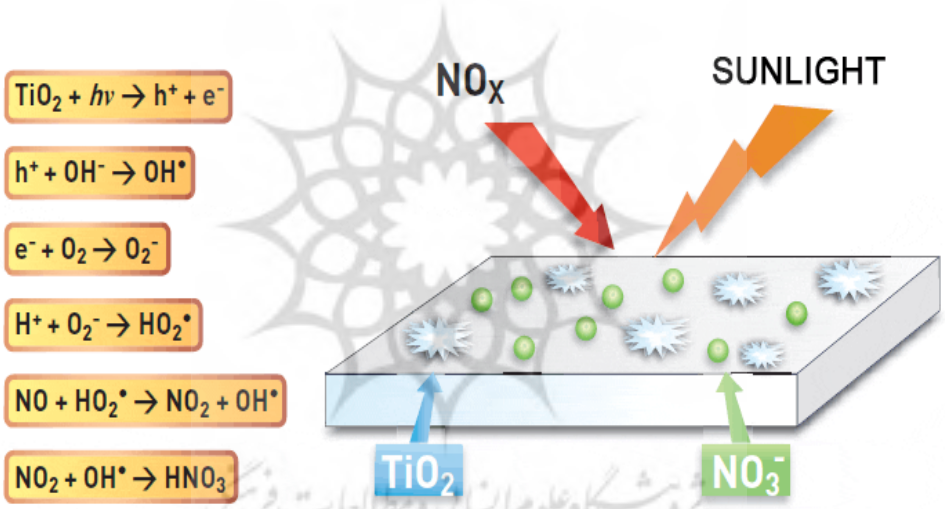



**شکل- ۲: نمایش واکنش مس و اسید نیتریک**

وقتی که مس در ابتدا اکسید می شود، محلول کاملاً غلیظ است و یون مس با یون‌های نیترات حاصل از اسید کئوردینه[1] شده است که در ابتدا به محلول، رنگ سبز و بعد رنگ قهوه‌ای سبز می‌دهد. وقتی‌که محلول با آب رقیق می‌شود، مولکول‌های آب جایگزین یون‌های نیترات می‌شوند که باعث تغییر رنگ محلول به آبی می‌شود. سطح آکواریوم با پلاستیک ضخیم و نوار درزگیر به‌طور کامل پوشانده شد. محیط آکواریوم از گاز (NO2) پر شده است و تغییر رنگ محیط به‌طور کامل مشهود است (شکل ۵).

## یافته‌های پژوهش

در این پژوهش از خرده شیشه به جای ماسه استفاده شد؛ این جایگزینی به دلیل جذب نور بهتر موجب بهبود عملکرد نابودی NO در لایه‌های سطحی شده است و همچنین نمونه‌های با شیشه‌های شفاف نسبت به نمونه‌های با خرده‌شیشه‌های سبز روشن توانایی بیشتری در از بین بردن NO از خود نشان دادند. همچنین استفاده از رنگدانه‌های مختلف در لایه‌های سطحی سنگ به کاهش از بین رفتن NO منجر شد.

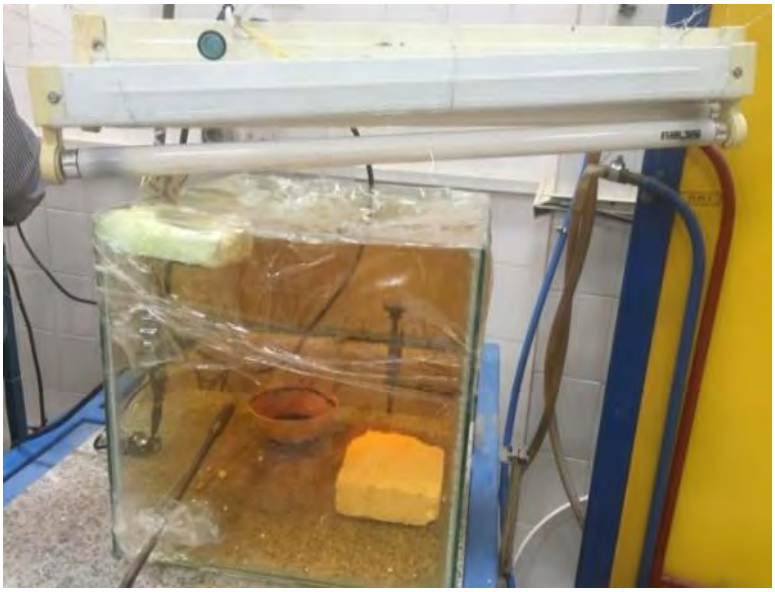



**شکل- ۳: نحوهٔ تأثیر دی اکسید تیتانیوم**

(Chen and Poon, 2009)

پس از آماده‌شدن سنگ، برای آزمایش جذب آلودگی NO2 و دیگر ترکیبات، سنگ داخل محفظه‌ای شیشه‌ای در معرض آلودگی قرار گرفت و دربرابر لامپ اشعهٔ فرابنفش گذاشته شد. برای این منظور نمونهٔ سنگ به‌دست‌آمدهٔ حاوی دی اکسید تیتانیوم برای تست‌های مربوط به جذب آلودگی هوا در آزمایشگاه محیط زیست آزمایش شد. درنهایت نتایج آزمایش براساس جدول ۲ به دست آمد.

[1]. Coordination asid



**شکل- ٤: محفظهٔ آزمایش تیتانیوم در آزمایشگاه**

**جدول- ۲: مقدار گازهای نیتروژن پیش و پس از آزمایش**

| ردیف | نوع گاز | غلظت اولیه (ppm) پیش از شروع فرایند | غلظت پس از ۳۰ دقیقه زمان تماس با فرایند | غلظت پس از ۶۰ دقیقه زمان تماس با فرایند |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | $NO_2$ | ۴۱۶/۹ | ۳۶۴/۶ | ۲۲۱/۳ |
| ۲ | NO | ۴۱۹ | ۱۲۰ | ۴۸ |
| ۳ | $NO_X$ | ۸۳۵/۹ | ۴۸۴/۶ | ۲۶۹/۳ |

**شکل- ۵: نمودار کاهش آلودگی و مقایسهٔ گازهای نیتروژن**

با توجه به جدول ۲ و شکل ۵، موارد زیر لازم به ذکر است:

در این اندازه‌گیری غلظت اکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن مورد نظر می باشد. اندازه‌گیری در سه مرحله انجام شد:

الف. غلظت اولیهٔ گازها پیش از شروع فرایند

ب. غلظت گازها پس از ۳۰ دقیقه زمان تماس با فرایند فوق

ج. غلظت گازها پس از ۶۰ دقیقه زمان تماس با فرایند فوق

در صورت ادامهٔ آزمایش پس از ۶۰ دقیقه امکان کاهش بیشتر غلظت گازهای داخل آکواریوم وجود دارد.

متغیرهای محیطی شامل دبی هوای عبوری، دما، رطوبت و فشار بررسی و اندازه‌گیری نشد.

در این آزمایش در صورت افزایش درصد ذرات دی اکسید تیتانیوم در ترکیب سنگ ساخته شده، امکان کاهش آلودگی در مدت‌زمان کم وجود دارد.

**شکل- ٦: آزمایش تأثیر دی اکسید تیتانیوم در سنگ مصنوعی**

## نتیجه‌گیری

در شهرهای بزرگ با تراکم جمعیت زیاد، مسئلهٔ آلودگی هوا موضوعی مهم به شمار می‌رود. همواره راهکارهایی برای کاهش میزان آلاینده‌های هوا در شهرهای پرجمعیت به کار گرفته می شود. این پژوهش استفاده از دی اکسید تیتانیوم را برای کاهش آلاینده‌های هوا توصیه می‌کند. سنگ مصنوعی ساخته‌شده در این پژوهش از سیلیس و خرده‌های شیشه به همراه پلیمر است؛ همچنین سیمان پرتلند و رزین به‌عنوان چسباننده ندارد و هزینهٔ تولید آن نسبت به سنگ‌های تولیدی با سیمان‌های پرتلند یا رزین‌ها کمتر است. سنگ مصنوعی تولید شده با دی اکسید

تیتانیوم درمقابل نور خورشید (دریافت انرژی)، قابلیت خودتمیزشوندگی، تصفیهٔ آلودگی و ضد باکتری را ایجاد می‌کند. پایداری و ثبات در مدت‌زمان طولانی (خاصیت آن در طول زمان از بین نمی‌رود)، غیرسمی‌بودن، قیمت منا سب آن دربرابر دیگر راهکارهای کاهش آلودگی یا خودتمیز شوندگی، از دیگر ویژگی‌های سنگ تولیدی در این پژوهش است.

کاهش میزان گازهای آلاینده به‌ویژه دی اکسید نیتروژن با خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم، در این سنگ به‌وضوح دیده و به کاهش زیاد آلودگی هوا منجر می‌شود.

تکنولوژی به‌کاررفته در این سنگ مانع از چسبیدن آلودگی‌ها و مواد آلی به سطوح این سنگ شده و از این رو در فضاهای بیرونی با بارش باران و تابش نور خورشید و در فضاهای داخلی از طریق شست‌وشو با آب تمیز می‌شود. مقدار گاز $NO_X$ در ابتدای آزمایش ۸۳۵/۹ میلی‌گرم در لیتر بود. پس از انجام واکنش و فعال‌شدن فیلتر فتوکاتالیست، مقدار گاز ۷۵ درصد (۲۰۸/۹۷۵ میلی‌گرم در لیتر) کاهش یافت.

پیشنهاد می‌شود با توجه به تنوع و گستردگی مواد اولیهٔ طبیعی، بازیافتی و فرایندهای تولید و ساخت سنگ مصنوعی، سنگ‌های خاص با ویژگی‌های مدنظر با توجه به بازار هدف، مصرف‌کنندگان و اقلیم هر منطقه بررسی و تولید شوند.

## منابع


۱-رضایی‌فر،امید، بوستانی،مریم ، وکیلی،خدیجه، (۱۳۹۴)، بررسی اثرات استفاده از بتن دارای دی اکسید تیتانیوم بر بهبود کیفیت هوا، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق، مکانیک ایران، گرگان.

۲- ناظم زاده ،مریم، صفا، مهدیه،(۱۴۰۰)، کاربرد روش های کاتالیستی در کاهش آلودگی هوا ، دوازدهمین کنفرانس ملی پژوهش های نوین در علوم و مهندسی شیمی ، بابل ، موسسه علمی تحقیقاتی کومه علم آوران دانش.

۳- نجفی،حسین، افضلی،رسول، حاتمی نژاد،حسین، شمسی،رقیه،(۱۳۹۲)، مدیریت آلودگی هوای شهرها وجایگاه قانونی شهرداری ها، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیایی سپهر، دوره ۲۲، شماره ۸۵ ، صص ۷۸-۵۹.

4-Ballari, M., Hunger, M., Husken, G., Brouwers, H.J., (2010). NOx photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide, Journal of applied catalysis B: environmental, vol. 95, Issue 3-4.

5-Fujishima, A., Honda, K., (1972). Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode, Nature, Vol. 238, 37–38.

6-Fujishima, k., Zhang, X., Tryk, D.A., (2007). Heterogeneous photocatalysis: From water photolysis to applications in environmental cleanup, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32, Issue 14, Pages 2664-2672.

7-Fujishima, ., Zhang, X., Tryk, D.A., (2008). TiO2 photocatalysis and related surface phenomena Surface Science Reports, Vol. 63.

8-Gamage. J, Zhang Z., (2010). Applications of Photocatalytic Disinfection, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy, Vol .2010 , pages 1-10 https://doi.org/10.1155/2010/146743

9-George, C., Beeldens, A., Barmpas, F., Doussin, J.F., Manganelli, G., Herrmann, H., Kleffmann, J., Mellouki, A., (2016), Impact of photocatalytic remediation of pollutants on urban air quality, Frontiers of Environmental Science & Engineering vo. 10 (5):2, DOI: 10.1007/s11783-016-0834-1.

10-Guerrini, Gian Luca, (2012), Photocatalytic performances in a city tunnel in Rome: NOx monitoring results, Construction and Building Materials, Vol. 27, pp 165–175.

11-Kenneth, J., Balkus, Jr., (2013), Metal Oxide Nanotube, Nanorod, and Quantum Dot Photocatalysis, Elsevier, Catalysis by Nanoparticles, Chapter 9, pages 213-244, http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53874-1.00009-3.

12-Lu. Sheng-yong , Wu. Di., Wang. Qiu-lin., Yan. Jianhua, Buekens. Alfons G, Cen. Ke-Fe, Chemosphere, Vol.82, (2011). Photocatalytic decomposition on nano-TiO : destruction of chloroaromatic compounds, Chemosphere, Volume 82, Issue 9, Pages 1215-1224

13- Lu , Sheng-yong ., Wang , Qiu-lin ., Buekens, Alfons .G., Yan , Jian-hua , Xia o-dong , Li , Cen ,Ke-fa ,(2012), Photocatalytic decomposition of gaseous 1,2-dichlorobenzene on TiO2 films: Effect of ozone addition, Chemical Engineering Journal, Vol. 82, Pages 233-240.

14-Poon, Chi-Sun, Cheung, E., (2007), NO removal efficiency of photocatalytic paving blocks prepared with recycled materials, Journal of construction and building materials, Vol.21, Issue 8, pages 1746-1753

15-Poon, Chen., Jun, Chi-Sun E., (2009), Photocatalytic activity of titanium dioxide modified concrete materials-influence of utilizing recycled glass cullets as aggregates, journal of environmental management.

16-Torgal, F., Pacheco , Jalali, Said., (2011), Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials, Construction and Building Materials journal,Vol. 25, Issue 2, Pages 582-590.

17-Ucheng LAN., Lu, Zheifeng Ren, (2013), Mini review on photocatalysis of titanium dioxide nanoparticles and their solar applications, journal of nanoenergy.

18-Vassilios ,B., Venieri ,D., SKotzias, D., Kiriakidis ,G ,(2017), Modified TiO2 based photocatalysts for improved air and health quality, Journal of Materiomics, Vol. 3, Issue 1, Pages 3-16, doi.org/10.1016/j.jma. 2016.11.002.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی