مروری بر تاریخچه و کاربرد سیمان‌ها و بتن‌های فتوکاتالیستی با هدف کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی

متین سائسی، حسین سرپولکی

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس متین سائسی مولف اصلی این مقاله، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشند.

M.S.2005@Gmail.com

چکیده: فتوکاتالیست به ماده‌ای گفته می‌شود که در معرض نور فعال شده و می‌تواند به‌عنوان یک ماده‌ی فعال یا کاتالیزور، انجام واکنش‌های شیمیایی را تسهیل کند. از جمله خواص مهم مواد فتوکاتالیست می‌توان به خاصیت ضد باکتری و ضد بخار و توانایی جذب و تجزیه‌ی برخی از گازها اشاره کرد. از مشهورترین مواد فتوکاتالیست، می‌توان به اکسید تیتانیم یا تیتانیا اشاره کرد. خاصیت فتوکاتالیستی اولین بار در سال ۱۹۳۸ کشف شد و در سال ۱۹۹۶ از فتوکاتالیست‌ها در بتن‌ها استفاده شد.

بتن‌های فتوکاتالیستی به موادی شامل سیمان، ماسه و مقادیری افزونی با ترکیب و نسبت مشخص اطلاق می‌شود که در آن‌ها ماده‌ای با خاصیت فتوکاتالیستی وارد شده است. برای اعمال این ماده در بتن‌ها می‌توان از سه روش اضافه نمودن در مخلوط خشک یا بالک، اعمال لایه‌ی سطحی یا پوشش فتوکاتالیستی بر روی آن‌ها یا هردوی این موارد استفاده نمود. استفاده از این بتن‌ها در کاربردهای مختلف مانند پوشش کف و کناره‌ی خیابان‌ها و جاده‌ها، اتوبان‌ها، دیواره‌ی داخلی تونل‌ها و در نمای ساختمان‌ها بسیار متداول بوده و نتایج خوبی در بحث خاصیت ضد باکتری و نیز تجزیه‌ی اکسیدهای مضر موجود در هوا از آن‌ها گرفته شده است.

در مقاله‌ی پیش رو به بررسی تاریخچه‌ی پیدایش و کاربردهای بتن‌های فتوکاتالیستی پرداخته شده است و نمونه‌هایی از کاربردهای عملی آن‌ها در کشورهای مختلف آورده شده است.

کلمات کلیدی: فتوکاتالیست، ضد باکتری و ضد بخار، تیتانیا، بتن

۱- مقدمه

بتن‌ها فتوکاتالیستی، بتن‌هایی هستند که در ترکیب آن ها یک ماده‌ی فتوکاتالیست مانند تیتانیا وجود داشته باشد و از خود رفتارهای فتوکاتالیستی، مانند خاصیت خود تمیز شوندگی و ضد آلودگی و نیز جذب و تجزیه‌ی اکسیدهای مضر نیتروژن را بروز دهد. استفاده از این بتن‌ها به حدود سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ باز می‌گردد. جایی که محققان پس از مشاهده‌ی موفقیت پوشش تیتانیایی بر روی شیشه‌های لامپ‌های تونل، تصمیم گرفتند تیتانیا را به‌عنوان پوشش در سازه‌های بتنی و نمای ساختمان‌ها که در معرض آلودگی هوا و دوده، سیاه و کثیف می‌شد، به کار گیرند به این امید که مانند پوشش شیشه‌های چراغ‌های تونل، از خود خاصیت ضد باکتری را نشان دهد چرا که نمای ساختمان‌ها و سازه‌ها در معرض نور خورشید و شدت نور ماوراء بنفش در فضای باز بود. به‌همین دلیل در همین سال‌ها در ژاپن و اروپا تحقیقات و بررسی‌هایی برروی بتن‌هایی حاوی تیتانیا برای نماهای ساختمان‌ها و جلوگیری از کثیف شدن و دوده‌ای شدن آن‌ها انجام گرفت. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر ابتدا لازم است به بررسی جزیی‌تر خاصیت فتوکاتالیستی بپردازیم.

کلمه‌ی فتوکاتالیست که شامل دو واژه‌ی فتو به معنای نور و کاتالیست به معنای تسریع کننده و فعالساز می‌باشد، معرف خاصیتی از یک ماده است که در آن، هنگامی که ماده در معرض نور قرار می‌گیرد، شروع به فعالیت نموده و نور و فوتون‌های برخوردی در آن ایجاد حامل‌های انرژی مانند الکترون و یا حفره کرده و لذا باعث فعالیت آن می‌شود. این حامل‌های تولید شده در یک واکنش شیمیایی نقش ایفا نموده و باعث تسریع انجام یک واکنش شیمیایی می‌شوند یعنی الکترون‌ها و حفره‌ها می‌توانند با مولکول‌های موجود در سطح ذرات واکنش دهند در حالی‌که خود دست‌نخورده باقی می‌مانند. فتوکاتالیست‌ها مستقیماً در واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت ندارند و فقط

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]

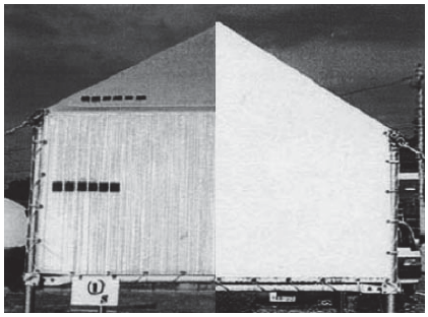
[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]

شرایط موردنیاز برای انجام واکنش‌ها را فراهم می‌کنند.[3-1]

شناخت این پدیده به اوایل قرن بیستم باز می‌گردد. جایی که در سال ۱۹۳۸ گزارشی درباره ماده تیتانیا منتشر شد که در آن به خاصیت رنگ‌زدایی و سفید کنندگی تیتانیا در محیط خلاء و همچنین محیط حاوی اکسیژن اشاره شده بود. همچنین در آن گزارش آمده بود که زمانی که تیتانیا در معرض نور قرار می‌گیرد، در سطح آن اکسیژن فعال تولید شده و این اکسیژن‌های فعال رنگ روی سطح ماده را از بین می‌برند درحالی که خود ماده تیتانیا در این فرآیند دست نخورده باقی می‌ماند.[1] این خاصیت را در آن زمان فتوسنسیتایزر[1] یا حساس به نور نامیدند. به طور کلی خواص عمومی مواد فتوکاتالیستی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

الف) خاصیت خود تمیز شوندگی وضد آلودگی

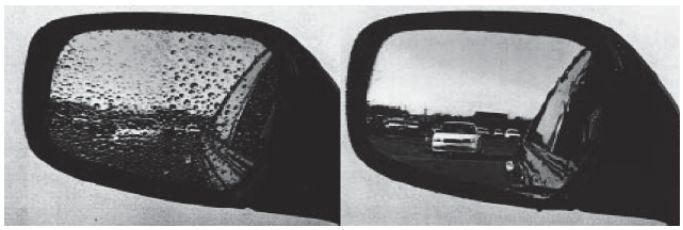
به این معنی که یک ماده‌ی فتوکاتالیست در فضای آزاد و معرض نور و با بارش باران و برف، هیچ گونه آلودگی مانند دوده یا خاک نخواهد داشت. این خاصیت، خود تمیز شوندگی نام دارد.



شکل ۱- سوله‌ای که دیوار سمت چپ آن بدون پوشش تیتانیایی و سمت راست آن دارای یک پوشش تیتانیایی می‌باشد [1]

ب) خاصیت ضد بخار

خاصیت دیگر این مواد، ضد بخار بودن است. بخار زمانی بر روی یک سطح می‌نشیند که بخار یک ماده روی سطح سرد و متراکم شود و به شکل قطره در آید. بر روی یک سطح آب دوست، هیچ قطره‌ای شکل نمی‌گیرد و به جای آن، یک فیلم نازک پیوسته از مایع، تشکیل می‌شود. این فیلم نازک از تشکیل بخارهای سطحی جلوگیری می‌نماید. زمانی که سطح آب دوست باشد، به مدت چند روز تا یک هفته خاصیت خود را حفظ می‌کند لذا می‌توان به راحتی از این خاصیت استفاده کرد و شیشه‌ها و آینه‌هایی با این خاصیت ساخت. در ژاپن از این خاصیت برای تجهیز آینه‌های کناری خودروهای تولید شده ژاپنی، استفاده گردید.



شکل ۲- آینه‌های جانبی خودروها دارای پوشش تیتانیایی با خاصیت ضد بخار (راست) و بدون پوشش تیتانیایی (چپ)[1]

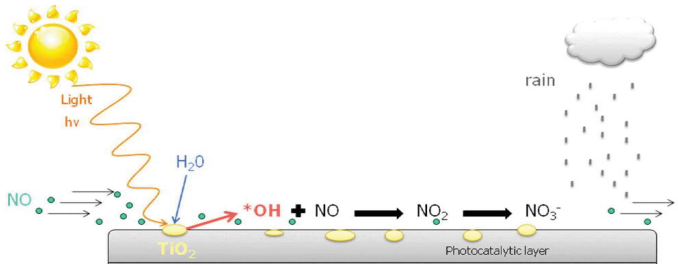
ج) خاصیت تصفیه آلاینده‌های هوا به خصوص اکسیدهای نیتروژن یا "NOX"

مواد فتوکاتالیستی در حضور نور و بارش، اکسیدهای نیتروژن را تجزیه می‌کنند. این خاصیت بسیار مهم است چرا که اکسیدهای نیتروژن بسیار مضرند. در شکل زیر شمایی از این رفتار آمده است که در آن، اکسیدهای مضر نیتروژن مانند NO و NO_2، به اکسید بی‌ضرر NO_3^- تبدیل می‌شوند.

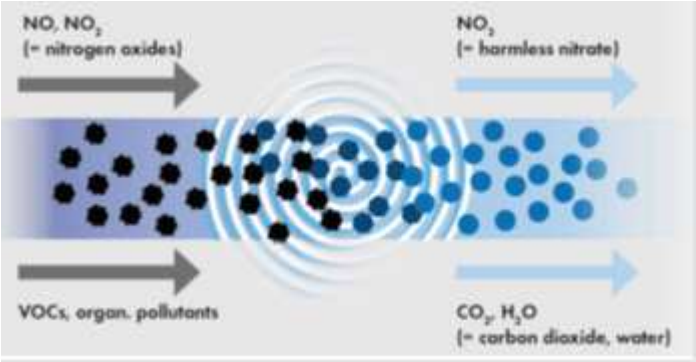
[1] Photosensitizer

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]



شکل ۳- شمایی از رفتار فتوکاتالیستی برای تجزیه‌ی اکسیدهای نیتروژن



شکل ۴- شمایی از تجزیه‌ی گازهای مضر توسط فتوکاتالیست‌ها

همچنین گازهای مضر دیگری مانند VOC[1] یا که شامل مواد مضر آلی مانند استالدهیدها و فرمالدهیدها و یا ناشی از عواملی مانند دود سیگار هستند، نیز توسط فتوکاتالیست‌ها به مواد بی ضرر تبدیل می‌شوند.

در بررسی تاریخچه‌ی پیدایش این خاصیت، به مکانیزم‌های این رفتارها پرداخته می‌شود.

۲- بررسی تاریخچه پیدایش فتوکاتالیست‌ها

به طور قطع و یقین نمی‌توان گفت که در چه زمان و مکانی استفاده از این ویژگی مواد برای تسریع یا انجام واکنش‌های شیمیایی آغاز گردید اما می‌توان گفت که در سال ۱۹۵۶ در ژاپن، سری گزارش‌هایی توسط ماشیو و همکارانش با عنوان "اکسایش خودکار توسط تیتانیا به‌عنوان یک فتوکاتالیست"[2] [1] منتشر شد.

آنان پودر تیتانیا را در حلال‌های متنوع آلی مانند الکل‌ها و هیدروکربن‌ها پخش نمودند و در معرض لامپ جیوه‌ای قرار دادند و مشاهده نمودند که این حلال‌ها اکسید شده و آب اکسیژنه یا H_2O_2 تولید شد. هنگامی که سطح الکترود تیتانیای روتایل در معرض نوری با طول موج کمتر از نوار ممنوعه[3] آن یعنی درحدود ۴۱۵ نانومتر و یا ۳ الکترون- ولت قرار گرفت، جریان نور از مدار خارجی و از الکترود پلاتین به سمت الکترود تیتانیا برقرار شد. بررسی مسیر این جریان نشان داد که واکنش اکسیداسیون و تولید اکسیژن در الکترود تیتانیا و واکنش احیا یعنی تولید و آزاد شدن هیدروژن، در الکترود پلاتین به وقوع پیوست. این مشاهده نشان داد که بدون استفاده و اعمال ولتاژ خارجی، طبق واکنش‌های زیر می‌توان در اثر نور ماوراء بنفش آب را به هیدروژن و اکسیژن تجزیه نمود:

$$TiO_2 + hu \longrightarrow e^- + h^+ \ (TiO_2 \text{ Electrode}) \qquad (۱$$

$$2H_2O + 4h^+ \longrightarrow O_2 + 4H^+ \ (\text{Pt Electrode}) \qquad (۲$$

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2 \qquad (۳$$

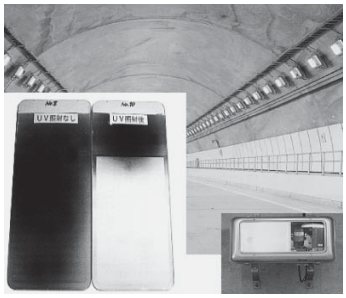
$$2H_2O + 4hu \longrightarrow O_2 + 2H_2 \qquad \text{واکنش کلی:}$$

[1] Volatile Organic Compounds
[2] Auto-oxidation by TiO_2 as a photocatalyst
[3] Band gap

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]

در میان نیمه رساناها، TiO_2، $SrTiO_3$، $CaTiO_3$، $KTaO_3$، Ta_2O_5 و ZrO_2 این شرایط را دارند. با بررسی‌هایی که انجام گرفت، پیشنهاد شد که از تیتانیا و مواد فتوکاتالیستی، در سطح مواد و در واقع به عنوان پوشش سطحی، به جای استفاده در توده‌ی مواد، استفاده شود چرا که در این صورت همان نور ماوراء بنفش کم و ضعیف در یک سطح کاملا فتوکاتالیستی وسیع، به مقداری کافی بدل شده و می‌تواند منبع مناسبی باشد. لذا بحث استفاده از فیلم نازک سطحی تیتانیایی به عنوان فتوکاتالیست، مطرح گردید. برای نمونه می‌توان اثر تمیز کنندگی مواد دارای یک پوشش تیتانیایی را بررسی نمود. شدت و میزان نور ماوراء بنفش در درون یک ساختمان، چیزی در حدود چند صد nW/cm^2 است که این میزان در قیاس با نور معمولی روز در فضاهای آزاد و باز در حدود ۱۰۰۰ برابر کمتر است. لذا می‌توان گفت که یک واکنش تجزیه‌ی فتوکاتالیستی در داخل و درون یک فضای بسته، نسبت به فضای باز، زمان بسیار بیشتری را برای پیشرفت و انجام، نیاز خواهد داشت. لذا استفاده از این گونه فرآیندها درون فضاهای بسته، امری ناممکن می‌نمود. اما بررسی‌ها نشان داد که خاصیت ضد باکتری تیتانیا را می‌توان در یک فضای بسته در حضور نور ضعیف ماوراء بنفش و با قرار دادن یک لامپ فلورسنت جهت تقویت و یا استفاده از مس و نقره، که برای سلامتی نیز مضر نبودند، به دست آورد. بهره‌گیری از این فرآیند نشان داد که در یک اتاق عمل، میزان باکتری دیوارها در اثر نصب کاشی‌هایی با خاصیت فتوکاتالیستی، به صفر رسید به علاوه میزان باکتری موجود در هوای این اتاق نیز کاهش چشمگیری یافت. این کاشی‌های ضدباکتری حاوی تیتانیا و به همراه مقادیری مس یا نقره، در سال ۱۹۹۵ به تولید صنعتی رسید و استفاده از آن‌ها در سراسر کشورها گسترش یافت. همچنین با اعمال پوشش‌های تیتانیایی در فضای آزاد، با بارش باران و برف، مشاهده شد که خاصیت خود تمیز شوندگی به راحتی عمل می‌نماید و بازدهی قابل توجهی دارد لذا استفاده از موادی که به آن‌ها "photocatalytic building materials" نام نهادند، مانند کاشی‌های دیواری، شیشه‌ها، پوشش‌های آلومینیومی و غیره، به شدت افزایش یافت. برای نمونه شیشه‌ای با خاصیت فتوکاتالیستی با مساحتی در حدود ۲۰۰۰۰ متر مربع، در ساختمان فرودگاه چوبو در سال ۲۰۰۵ نصب گردید. تحقیقات انجام شده و مشاهداتی که گفته شد، بهره‌گیری از خواص فتوکاتالیستی مواد دارای یک لایه سطحی تیتانیا را بیان داشت و این نکته را متبادر نمود که سطوح ماده‌ای که با تیتانیا پوشش داده شده است، خاصیت ضد باکتری دارد. اولین نمونه عملی این مسئله را می‌توان استفاده از مواد فتوکاتالیست در سال ۱۹۹۲ و در سطح یک نوع کاشی، یافت. [1] هلر و همکارانش نیز در سال ۱۹۹۵ ایده‌ی مشابهی را مطرح نمودند. یکی از اولین نمونه‌های عملی و صنعتی مواد فتوکاتالیست به عنوان ماده ضد باکتری را می‌توان روکش خود تمیز شونده‌ی شیشه‌ی چراغ‌های تونل در ژاپن دانست.

در اکثر تونل‌ها در ژاپن، لامپ‌های سدیمی با نور زرد، برای روشنایی فضای تونل‌ها به کار می‌رفت و به مرور زمان، به دلیل ترکیبات خارج شده از اگزوز ماشین‌ها، لایه‌ای دوده روی سطح لامپ‌ها را می‌پوشاند و از نور آن‌ها می‌کاست و این مسئله، معضلی جدی به شمار می‌رفت. یک لامپ فشار قوی سدیمی چیزی نزدیک به $3\ mW/cm^2$ از خود نور ماوراء بنفش تابش می‌نمود. این میزان نور برای یک پوشش تیتانیایی روی شیشه‌ی این لامپ جهت فعال‌سازی تیتانیا و لذا ایجاد و برقراری خاصیت خود تمیز شوندگی، مقداری مناسب به شمار می‌رفت و لذا همان‌گونه که در شکل زیر آمده است، این پوشش تیتانیایی بسیار مثمر ثمر واقع شد.



شکل ۵- سطح لامپ‌های تونل ۱- بدون پوشش تیتانیا ۲- به همراه پوشش تیتانیا [1]

پس از نتایج موفق این فرآیند در مورد لامپ‌های تونل، این روند برای مواد متداول دیگری همچون شیشه‌های ضد دوده و انواع پوشش‌ها استفاده شد. با این وجود ذکر این نکته ضروری می‌نماید که این خاصیت تنها هنگامی برقرار می شد که شار و تعداد

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]

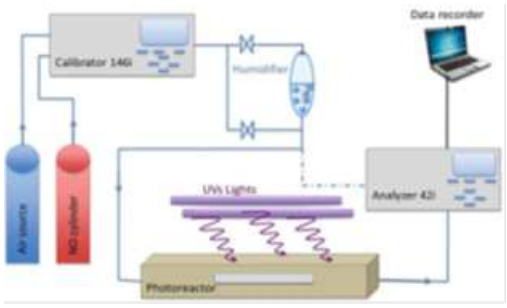
فوتون‌های برخوردی و موثر بیشتر از تعداد مولکول‌های موجود در سطح می‌بود یعنی حتی اگر کیفیت تیتانیای استفاده شده و کیفیت پوشش نیز عالی باشد این خاصیت زمانی که شار فوتون‌های برخوردی در قیاس با ضخامت و تراکم ماده موجود در سطح ناچیز باشد، وجود نخواهد داشت.

۳- بتن‌های فتوکاتالیستی

پس از مشاهده‌ی موفقیت پوشش تیتانیایی بر روی شیشه‌های لامپ‌های تونل، محققان تصمیم گرفتند تیتانیا را به عنوان پوشش در سازه‌های بتنی و نمای ساختمان‌ها که در معرض آلودگی هوا و دوده، سیاه و کثیف می‌شد، به کار گیرند به این امید که مانند پوشش شیشه‌های چراغ‌های تونل، از خود خاصیت ضد باکتری را نشان دهد چرا که نمای ساختمان‌ها و سازه‌ها در معرض نور خورشید و شدت نور ماوراء بنفش در فضای باز بود. به همین دلیل در همین سال‌ها در ژاپن و اروپا تحقیقات و بررسی‌ها به سمت بتن‌هایی حاوی تیتانیا برای نماهای ساختمان‌ها و جلوگیری از کثیف شدن و دوده‌ای شدن آن‌ها رفت. در سال ۱۹۹۶ نمونه‌ی عملی این موضوع را می‌توان در بتن‌های پیش ساخته برای پروژه‌ی ساخت کلیسایی با نام "Dives in misericordia church" در رم ایتالیا، مشاهده نمود. [2]

شکل ۶- نمایی از کلیسای "Dives en Misericordia" در رم ایتالیا که در ساخت آن از بتن فتوکاتالیستی استفاده شده است [2]

در سال ۲۰۰۳ آزمایش‌های میدانی و وسیع و متنوع بر روی نمونه‌های بتن فتوکاتالیستی طراحی شد که اساس آن‌ها رنگ‌زدایی از نمونه‌هایی که بر روی آن‌ها رنگ پاشیده شده است، در معرض یک لامپ بزرگ و با توان بالا بود.[2] همچنین برای آزمایش‌های جذب و تجزیه‌ی آلودگی‌ها و آلاینده‌ها، به خصوص اکسیدهای تیتروژن که در هوای آلوده وجود دارد و ضررهای بسیاری دارد، آزمایش‌هایی طراحی شد که اساس آن‌ها قرار دادن یک نمونه بتن فتوکاتالیستی با سطح موثر زیاد در معرض انواع گازهای اکسید نیتروژن و سپس آنالیز و بررسی میزان اکسید نیتروژن خروجی پس از عبور از روی سطح سیمان و بتن فتوکاتالیستی و محاسبه درصد جذب و تجزیه‌ی این گازها در سطح نمونه‌ها بود. در شکل زیر نمونه‌ای از سامانه آزمایش تجزیه گاز آمده است.



شکل ۷- طرحواره‌ی از سامانه آزمایش تجزیه‌ی گازهای اکسید نیتروژن

در همان سال‌ها یعنی در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵، نمونه‌ی دیگری از بتن‌های فتوکاتالیستی در فرانسه و در ساخت موزه‌ی موسیقی شامبری به کار برده شد که نمای بسیار زیبا و سفیدی داشت. [2] همچنین می‌توان به ساختمان مدیران ارشد شرکت هواپیمایی ایر فرانس اشاره نمود.[2]

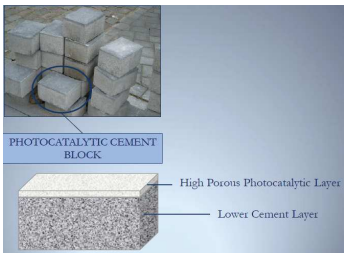
[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]

شکل ۸- نمایی از موزه‌ی موسیقی شامبری [2]

شکل ۹- نمایی از ساختمان مدیران ارشد ایر فرانس [2]

در سال ۲۰۰۵، استفاده از بتن‌های فتوکاتالیستی و تولید آن‌ها به شدت گسترش یافت. به طوری که در سراسر دنیا و به‌خصوص ژاپن و اروپا از بتن‌های فتوکاتالیستی در ساخت ساختمان‌ها، جاده‌ها، پیاده‌روها و غیره استفاده شد. برای نمونه در ژاپن بیش از ۵۰۰۰۰ متر مربع بتن فتوکاتالیستی در سنگفرش معابر استفاده شد در سال ۲۰۰۷ ایتالیا از فتوکاتالیست‌ها به شدت استقبال کرد و آن‌ها را در ساخت جاده‌ها و راه‌ها، در اکثر نقاط کشور به کار برد. به دلیل آن که پوشش‌های فتوکاتالیستی بر روی جاده‌ها و راه‌ها، به راحتی و به طور مستقیم اعمال نمی‌شد و لایه‌ی چسب اتصال دهنده آن را اکسید و خراب می‌کرد، لازم بود بین لایه‌ی پوشش فتوکاتالیستی و لایه‌های زیرین، لایه‌ای واسطه و غیر آلی، که همان بتن بود، استفاده می‌شد. لذا محققان ایتالیایی بر روی نحوه پوشش‌دهی کار کردند. آنان در ابتدا از سه روش استفاده کردند. در روش اول، قطعه‌ای از سیمان را با یک لایه پوشش متخلخل فتوکاتالیستی پوشاندند. از این قطعات در ساخت سه مکان در ایتالیا، استفاده شد. در روش دوم، بر روی آسفالت خیابان‌ها و جاده‌ها، لایه‌ای از ملات حاوی ذرات تیتانیا می‌ریختند. ذرات تیتانیا با بتن مخلوط شده و به صورت کامپوزیتی در می‌آمد. این پوشش، مشکلاتی داشت از جمله آن که پوشش‌های نازک به سرعت ترک می‌خورد و کارایی لازم را نداشت. برای رفع این مشکل از اگریگیت‌های درشت‌تر در ساخت آسفالت‌ها استفاده شد و آسفالت با تخلخل بیشتر اعمال شد و لایه‌ی پوشش بتنی فتوکاتالیستی را به عنوان پرکننده روی آن اعمال کردند لذا استحکام بالا رفت و مشکل ترک خوردن مرتفع شد. در روش سوم، تیتانیا را با رزین یا رنگ مخلوط می‌نمودند در بر روی سطح اسپری می‌کردند.



شکل ۱۰-شمایی از بلوک¬های سیمانی با پوشش متخلخل فتوکاتالیستی [۳]

شکل ۱۱-نمایی از ترک‌های ایجاد شده بر پوشش فتوکاتالیستی اعمال شده بر روی آسفالت خیابان در ایتالیا [۳]

این روش در شهرهای مختلف ایتالیا و بر روی سطوحی وسیع پیاده شد. در میلان، در نتیجه این پوشش‌ها اکسیدهای مضر نیتروژن تا ۴۹٪ تجزیه شدند در همین شهر و در مسیری که تونل نیز داشت، این عدد در خارج تونل ۴۶٪ و در داخل تونل ۱۴٪ تخمین زده شد. همچنین در سسنا و مونزا، و در فرارا در ایتالیا، این پوشش بر روی سطوحی به ترتیب ۲۵۰۰، و۱۳۰۰۰متر مربعی اعمال شد و به ترتیب ۴۶٪ و ۵۰٪ و ۴۲٪ اکسیدهای نیتروژن تجزیه شدند.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]

شکل ۱۲- نمایی از پوشش های بتنی فتوکاتالیستی در میلان و در مسیر یک تونل [۳]

شکل ۱۳- نمایی از پوشش در مونزا [۳]

در سال ۲۰۱۱، لوییجی کاسار ایتالیایی و همکارانش پتنتی را در مورد ساخت بتن‌های فتوکاتالیستی با دوام و کارایی بالا، به‌نام خود ثبت نمودند و بیان نمودند که برای ساخت بتن فتوکاتالیستی با کارایی بالا و عمر طولانی باید پوششی فتوکاتالیستی حاوی نانو ذرات تیتانیای آناتاز با ضخامت بین ۵ تا ۵۰ میلی‌متر روی بتن اعمال شود [4]. این موضوع از دو جهت مهم بود اول این که پوشش به قدر کافی ضخیم باشد که در برابر سایش مقاوم باشد و دوم آن که به قدر کافی نازک باشد که گیرش آن سریع باشد لذا با بررسی‌هایی که انجام دادند، محدوده‌ی ۵ تا ۵۰ میلی‌متر را به عنوان محدوده‌ی بهینه معرفی نمودند. از طرفی برای آن که این پوشش در معرض تنش های شدید و گاه خستگی ناشی از عبور و مرور خودروهایی با جرم‌های مختلف بود و مسئله‌ی تغییر فرم و ایجاد ناهمواری مطرح بود، پیشنهاد نمودند لایه‌های زیرین این پوشش با رزین و مواد تقویتی پر گردد. امروزه، تحقیق و کار بر روی بتن‌های فتوکاتالیستی همچنان ادامه دارد. بیشتر بررسی‌ها در جهت رسیدن به بتن‌های فتوکاتالیستی با طول عمر بالاتر و بازدهی بیشتر و عملکرد بهتر است. در این راستا، استفاده از ذرات نانو تیتانیا و تلاش برای تولید پوشش‌هایی پربازده و موثر از نانو تیتانیا، بحثی است که بسیار متداول می‌باشد. برای نمونه می‌توان تحقیق موسسه تحقیقات ساختمانی یونیداد در اسپانیا را در سال ۲۰۱۲ نام برد که محققان در ایت تحقیق به بررسی فعالیت فتوکاتالیستی تیتانیا در بتن‌ها و ملات‌های مختلف پرداخته‌اند.[5] آنان نمونه‌هایی از بتن‌های حاوی ۳ و ۵٪ تیتانیای آناتاز (پخش شده در مخلوط اولیه) را بررسی و بیان نموده‌اند که استفاده از ۵٪ تیتانیای آناتاز با ذراتی دارای قطر متوسط ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و سطح ویژه‌ی ۸۰ متر مربع برای هر گرم، تا ۷۷٪ اکسیدهای نیتروژن را تجزیه می‌نماید همچنین در برابر آزمایش رنگ‌زدایی، ۱۰۰٪ رنگ را از بین بردند. همچنین در سال ۲۰۱۲ در ایتالیا، گروه ایتالسمنت، موسسه‌ای تحقیقاتی در زمینه‌ی بتن راه‌اندازی نمودند که در آن به سیمان‌های فتوکاتالیستی توجه ویژه‌ای شده است.

مراجع

[1] K. Hashimoto, H. IRIE and A. Fujishima "TiO_2 Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects", Japan, 2005

[2] Essroc italcement group, "TX active photocatalytic concrete technology", Italy, 2009

[3] M. Crispino and S.Vismara, "Innovative photocatalytic pavements", Road Section , Milan , Italy, 2010

[4] L. Cassar, R. Cucitore, S. Cangiano, "High durability photocatalytic paving for reducing urban polluting agents" US patent no 8039100B2, 2011

[5] V. Gomez, L. Cormano, L. Tendero, "Photocatalytic activity of TiO_2 in different types of cements and mortars", Valencia, Spain, 2012

[Downloaded from jicers.ir on 2025-07-14]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1393.10.4.3.1]