ارزیابی فناوری فتوکاتالیست‌ها و نانو فتوکاتالیست‌ها بر پایداری محیط‌زیست با رویکرد مفهومی معماری پایدار

فرید فروزانفر[1]،حامد ابراهیمی*[2]

١- دانشجوی دکترای معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز و عضو هیئت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند.
fforoozanfar@yahoo.com

٢- کارشناسی ارشد معماری و مدرس گروه معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس.
architectdesign@yahoo.com

چکیده

با افزایش آگاهی جوامع از خطرات جبران‌ناپذیر آلودگی محیط‌زیست که درنتیجه تخلیه پساب‌ها و ورود مواد آلاینده به طبیعت می‌باشد، باعث شده فرآیند حفاظت از محیط‌زیست در دو دهه اخیر بسیار جدی موردبررسی قرار گیرد. ازاین‌رو بحث پایداری و درزمینه معماری بحث معماری پایدار مطرح‌شده، که به دنبال به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی منفی از انسان‌ها و ساختمان‌هایشان به‌منظور افزایش بهره‌وری و اعتدال در استفاده از مواد و انرژی است. فرآیند فتوکاتالیست‌ها سال‌هاست که به‌عنوان یکی از راهکارهای زیست‌محیطی در کشورهای صنعتی دنیا به کار می‌رود و در اجرای این اهداف فناوری نانو نیز با ایجاد رویکردی نوین در صنعت فتوکاتالیست‌ها آینده‌ای بسیار وسیع را در این زمینه نوید می‌دهد. ازاین‌رو مطالعه حاضر بر آن است تا با معرفی فتوکاتالیست‌ها و کاربرد آن‌ها در پایداری محیط‌زیست و با مطرح کردن اصول کلی معماری پایدار به هم سو بودن این دستاورد با مبانی پایداری و نقش آن در معماری پایدار بپردازد. در این نوشته، روش تحقیق به‌صورت توصیفی-تحلیلی است و از مطالعات اسنادی استفاده شده و نتایج تحقیق نیز نشان می‌دهد که فناوری فتوکاتالیست‌ها می‌تواند در چهارچوب اهداف توسعه پایدار معماری پایدار را برای رسیدن به اهدافش یاری نماید و به‌عنوان یک الگو و پیشرانه قوی مورد استفاده قرار گیرد و همین‌طور ضرورت شناخت این فناوری را مطرح می‌نماید.

واژگان کلیدی: فتوکاتالیست‌ها، فناوری نانو، پایداری، توسعه پایدار، معماری پایدار، محیط‌زیست.

١- مقدمه

در قرن حاضر استفاده از انرژی‌های فسیلی باعث تولید انواع آلاینده‌هایی شده است که گرم شدگی کره زمین، نازک شدن لایه اوزون، آلودگی محیط‌زیست و انقراض گونه‌های زیستی را به همراه آورده است. ازاین‌رو ضرورت اجرای اهداف توسعه پایدار که در چهارچوب معماری، مدیریت یک محیط پاک و سالم بر اساس بهره‌برداری مؤثر از منابع طبیعی و اصول اکولوژیکی است مورد اهمیت قرار می‌گیرد. در این فرآیند به‌منظور تحقق اهداف توسعه پایدار استفاده از تکنولوژی‌های نوین در دستور کار قرارگرفته است. کاربرد تکنولوژی دست‌یابی به این اهداف را سرعت می‌بخشد و از فناوری‌هایی که می‌تواند مسیر دست‌یابی به این اهداف را تسریع بخشد فناوری فتوکاتالیست‌ها می‌باشد. فتوکاتالیست‌ها دیدگاه‌های جدیدی در زمینه‌های صنعت و تکنولوژی ارائه می‌دهند و به دلیل توانایی آن‌ها در فروکش کردن مواد آلی و آلاینده‌های هوا می‌توانند راهکاری امیدوارکننده در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار باشند. این محصولات نوآورانه در بازار ساخت‌وساز به دلیل ارائه راه‌حل‌های سازگاربامحیط‌زیست و در چهارچوب اهداف توسعه پایدار به‌صورت گسترده در ساختمان‌های سبز مورداستفاده قرارگرفته‌اند. تکنولوژی فتوکاتالیست‌ها به‌طور وسیعی از سال ١٩٧٠میلادی موردمطالعه قرارگرفته است. و این مطالعات باهدف درک فرآیندهای اساسی و ساختاری و

Archive of SID
www.SID.ir

افزایش کارایی فتوکاتالیست‌ها، به‌ویژه برای کنترل آلودگی آب، هوا و خاک انجام‌شده است(جمال، ۱۳۸۵: ص۲). دلیل افزایش جذابیت روش تجزیه فتوکاتالیتیکی: امکان استفاده از اکسیژن اتمسفری به‌عنوان اکسیدکننده، انجام فرآیند تحت شرایط محیطی و امکان معدنی شدن کامل مواد آلی به آب، دی‌اکسید کربن و اسیدهای معدنی می‌باشد(جمال، غلامپور و دیگران، ۱۳۸۵). حال با توجه به این رویکرد و با بررسی‌های انجام‌شده هدف از نوشته حاضر بررسی فتوکاتالیست‌ها، اهداف، عملکرد و منافع پایداری آن‌ها در معماری پایدار می‌باشد.

۲- بیان مسئله

امروزه با گسترش روزافزون جمعیت جهان و به‌موازات آن افزایش ساخت‌وساز و به دلیل محدود بودن منابع انرژی از فناوری‌های مختلفی به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر و نیز ایجاد آسایش بیشتر بهره برده می‌شود در این راستا تأثیر استفاده از تکنولوژی‌های نوین بر کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آینده و طراحی آن‌ها موضوعی است که در دو دهه اخیر توجه بسیاری از معماران و محققان را به خود جلب کرده است. «تلاش در جهت پیداکرده راه‌حل‌هایی برای اصلاح کیفیت، افزایش کارایی مصالح و کاهش مصرف مواد خام و انرژی، موجب استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان شده است(جان بزرگی، قناد،۱۳۸۹:ص۱)». که در بین این فناوری‌ها، فناوری نانو با تغییر ساختار زندگی انسان، تحولات بنیادی را ایجاد می‌کند و ارتباط قوی را بین انسان و محیط برقرار می‌سازد شاید این پیشگویی، در مورد فناوری نانو اغراق‌آمیز است، ولی هدف نهایی آن ساختن جزءبه‌جزء مواد با خواص متنوع می‌باشد(Smalley ,1995,30,35). این فناوری با ورود به عرصه فتوکاتالیست‌ها و تغییرات نانومتری در ساختار آن‌ها توانسته است کارایی این مواد را به‌صورت چشمگیری افزایش دهد و با کنترل خواص مواد در مقیاس نانو و نیز کنترل اثرات فیزیکی و شیمیایی مربوطه، تولید مصالح ساختمانی چندمنظوره با کارایی بالا را ممکن می‌سازد. این امر باعث ایجاد ارزش‌افزوده، افزایش دوام، کیفیت و پایداری محیط‌زیست می‌گردد(حسینی، محمدی یزدی، ۱۳۹۱:ص۴). که تمامی این موارد گامی مؤثر در راستای اهداف توسعه پایدار به شمار می‌آیند، بنابراین می‌توان ضرورت بررسی فناوری‌های نوین در معماری پایدار را نتیجه گرفت.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق سعی بر آن است که فناوری فتوکاتالیست‌ها، اهداف و منافع پایداری آن‌ها موردبررسی قرار گیرد. ازاین‌رو تحقیق انجام‌گرفته بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و جستجوهای اینترنتی می‌باشد. تحقیق مربوطه بر اساس دو روش انجام‌گرفته است، که عبارت‌اند از روش توصیفی و تحلیلی که در بخش‌هایی که به فناوری فتوکاتالیست و معماری پایدار و مفاهیم مربوطه اشاره‌شده روش کار توصیفی است. و در بخش‌هایی که اهداف پایداری و منافع پایداری فتوکاتالیست‌ها را بیان می‌نماییم شیوه کار تحلیلی می‌باشد.

۴- فتوکاتالیست‌ها

۴-۱ معنای لغوی

کلمه فتوکاتالیست ترکیبی از دو واژه فتو و کاتالیزور می‌باشد که فتو به معنای نور و کاتالیزور ماده‌ای است که فرآیند واکنش را تسریع می‌بخشد بدون این‌که خودش در این واکنش مصرف شود.

۴-۲ تاریخچه پیدایش

فتوکاتالیست‌ها در سال ۱۹۶۷در شهر فوجی شیما در ژاپن کشف شدند. این اختراع باعث شد ژاپن را تبدیل به یک رهبر جهانی در فناوری فتوکاتالیست‌ها نماید. در ادامه در سال ۱۹۹۰ شرکت‌های ژاپنی تحقیقات خود را درزمینه بتن فتوکاتالیستی انجام دادند، بعد از ژاپن در سال ۱۹۹۶ تحقیقات اروپایی در مورد منافع خود تمیزکنندگی سطوح فتوکاتالیستی باعث شد، از آن‌ها در پوشش کلیسای جوبیلی در رم استفاده شود. و به سال ۱۹۹۹ فناوری فتوکاتالیست‌ها وارد اروپا شد. در ادامه در سال ۲۰۰۰ تحقیقات اروپایی در مورد منافع ضد آلایندگی فتوکاتالیست‌ها

www.SID.ir

آغاز شد و این تحقیقات با راه‌اندازی پروژه PICADA[1] همراه بود در ادامه این توالی زمانی در سال ۲۰۰۳ اولین آزمایش در مقیاس بزرگ با استفاده از فناوری فتوکاتالیست در خانه فرهنگ چمبری(Chambery) که توسط ماریوبوتا طراحی‌شده بود مورد بهره‌برداری قرار گرفت و به سال ۲۰۰۶ فتوکاتالیست‌ها در فرانسه به‌عنوان یک فناوری طبقه‌بندی شدند. در این مسیر از سال ۲۰۱۰ به بعد طیف وسیعی از این محصولات وارد عرصه ساخت‌وساز شدند. به‌طورکلی می‌توان اذعان داشت که این فناوری از سال ۱۹۷۰به بعد تأثیراتی قابل‌توجهی را در کشورهای مختلف به همراه داشته است.

۴-۳ فتوکاتالیست‌ها

فتوکاتالیست‌ها یا کاتالیزورهای نوری گروهی از کاتالیزورهایی می‌باشند که عملکرد خوبی با قرار گرفتن در معرض تابش نور نشان می‌دهند واکنش فتوکاتالیست‌ها در سطوح نیمه‌رسانا[2] اتفاق می‌افتد. در ابتدا فناوری فتوکاتالیست‌ها برنامه‌ای در جهت تصفیه آب، کاهش آلاینده‌های خاص و رنگ بود امّا امروزه از این فناوری به‌منظور تصفیه هوای شهر با فرآیند کاهش غلظت آلاینده‌های مضر مانند کاهش NO_x[3]هایی که از احتراق سوخت‌های فسیلی از قبیل زغال‌سنگ و گاز تولید می‌شوند، و فرآیند رفع آلودگی در محیط‌های داخلی به‌منظور رفع VOC[4] مورداستفاده قرار می‌گیرد. فتوکاتالیست‌ها دارای خصوصیات خود تمیزکنندگی، ضد باکتری، سپر گرمایی، جذب و تخریب بوهای بد و اثر ضد بخار را دارا می‌باشند. کاربردهای اصلی که برای این تکنولوژی موردبررسی قرارگرفته است شامل: حذف و تخریب رنگ‌ها، کاهش، معدنی سازی ترکیبات آلی خطرناک، تخریب مواد معدنی خطرناک از قبیل سیانیدها، تصفیه فلزات سنگین، تجزیه قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌های مضر، تصفیه و گندزدایی آب، تخریب ترکیبات بد بو، آلودگی‌زدایی خاک، تصفیه و آلودگی‌زدایی هوای محیط‌های بسته و تخریب سلول‌های سرطانی و ویروس‌ها می‌باشد(جمال، غلامپور و دیگران، ۱۳۸۵).

مزایای اصلی این تکنولوژی: ۱) فتوکاتالیست‌ها به‌عنوان یکجانشین مناسب برای سیستم‌های متداول تصفیه با مصرف انرژی بالا که قابلیت استفاده از انرژی پاک و تجدید شدنی خورشید را دارا هستند پیشنهاد می‌شوند. ۲) برخلاف روش‌های متداول تصفیه که آلاینده‌ها را از یک‌شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کنند فتوکاتالیست‌ها باعث تشکیل محصولات بی‌ضرر می‌شوند. ۳) این فرآیند را می‌توان برای تجزیه ترکیبات خطرناک موجود در انواع فاضلاب‌ها مورداستفاده قرارداد. ۴) این فرایند را می‌توان برای تصفیه فازهای مایع، گازی و جامد(خاک) بکار برد. ۵) شرایط واکنش فتوکاتالیست‌ها متعادل بوده و به زمان واکنش نسبتاً کوتاه و مواد شیمیایی کمتری نیاز دارد. ۶) همچنین این فرآیند را می‌توان برای بازیافت فلزات و یا تبدیل آن‌ها به حالات فلزی غیر سمی یا با سمیت کمتر استفاده نمود(جمال، ۱۳۸۵: ص۲).

۴-۴ مکانیسم عمل فتوکاتالیست‌ها

فتوکاتالیز شامل دو تکنیک همزمان با شیوه‌های عمل متفاوت است(جمال، ۱۳۸۵: ص۲):

۱. فتوشیمی که در آن انرژی بوسیله تابش فراهم می‌شود.
۲. کاتالیز کردن که بر روی سرعت واکنش تأثیر می‌گذارد.

امروزه از نیمه‌هادی‌ها به‌طور وسیعی جهت کاتالیزور در فرایندهای فتوکاکالیستی ناهمگن استفاده می‌شود. برخلاف فلزات که حالات الکترونی پیوسته دارند، نیمه‌هادی‌ها دارای یک ناحیه خالی از انرژی هستند. و یا به‌عبارت‌دیگر نیمه‌هادی‌ها ازنظر انرژی دارای ساختار نواری

---

[1] در این پروژه کشورهایی نظیر فرانسه، دانمارک، ایتالیا، یونان و بریتانیا مؤلفه‌های فتوکاتالیستی شامل: مفهوم، خاصیت نوآورانه، سطوح پوششی، برنامه‌های کاربردی و خاصیت ضد آلودگی فتوکاتالیست‌ها را مورد آزمایش و بررسی قراردادند.

[2] نیمه‌هادی یا نیمه‌رسانا(semiconductor) عنصر یا ماده‌ای است که در حالت عادی عایق می‌باشد ولی با افزودن مقداری ناخالصی قابلیت هدایت الکترونیکی پیدا می‌کند.

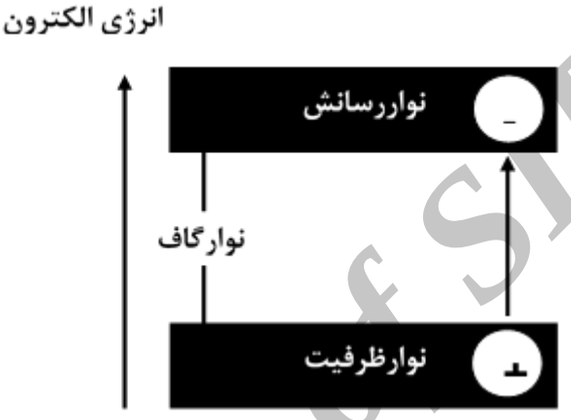
[3] Nox یک واژه عمومی برای اکسیدهای نیتروژن(اکسید نیتروژن(NO)، دی‌اکسید نیتروژن(NO_2)، اکسید نیترات(N_2O)) می‌باشد.

[4] ترکیبات آلی فرار(Volatiele Organic Compound)

Archive of SID

www.SID.ir

هستند(جمال، غلامپور و دیگران، ۱۳۸۵). همان‌طور که بیان شد فتوکاتالیست‌ها محصولاتی نیمه‌هادی(نیمه‌رسانا) هستند که دارای گاف انرژی [۱]بین ۱,۴و۸,۳ ولت می‌باشند. این میزان انرژی در حقیقت انرژی لازم برای آزاد کردن یک الکترون در خارجی‌ترین لایه الکترونی می‌باشد. این سطوح با دارا بودن این میزان گاف انرژی هنگامی‌که در معرض تابش نور خورشید و یا اشعه ماورای بنفش قرار می‌گیرند الکترون‌های موجود در نوار ظرفیتشان [۲] آن‌قدر انرژی به دست می‌آورند(مثلاً انرژی حرارتی) که می‌توانند از نوار گاف عبور کرده و به نوار رسانش بروند و این انتقال باعث می‌شود، حفره‌هایی در نوار ظرفیت ایجاد گردد، که این حفره‌ها می‌توانند باعث هدایت الکتریکی شوند(مطابق تصویر شماره(۱)(Ranjit, 2011: 1-6). اما هنوز فتوکاتالیست‌ها غیرفعال می‌باشند تا هنگامی‌که فرآیند جذب(مثلاً جذب آلاینده‌ها) بر روی سطوح فتوکاتالیست انجام شود و واکنش اکسیداسیون و کاهش در سطح فتوکاتالیست بین الکترون‌ها، شکاف‌ها و مولکول‌ها صورت گیرد که نتیجه آن خواص گفته‌شده در مورد فتوکاتالیست‌ها می‌باشد(Ranjit, 2011: 1-6).



تصویر شماره(۱): انتقال الکترون‌های پرانرژی از نوار ظرفیت به نوار رسانش بر روی سطوح فتوکاتالیست در حضور نور

۴-۵ انواع و خصوصیات فتوکاتالیست‌ها

نیمه‌هادی‌هایی که به‌عنوان فتوکاتالیست مورداستفاده قرار می‌گیرند باید دارای خصوصیات ویژه‌ای از قبیل شکاف انرژی مناسب، پایداری قابل‌قبول در مقابل نور، غیر سمی بودن، ارزان بودن و غیره باشند.

مواد مختلفی مانند: TiO_2, ZnO, ZrO_2, CdS, MoS_2, Fe_2O_3, WO_3 و کامپوزیت‌های آن‌ها به‌عنوان فتوکاتالیست در تجزیه آلاینده‌های آلی و معدنی موردبررسی قرارگرفته‌اند(جدول شماره(۱)(جمال، ۱۳۸۵: ص۴).

فتوکاتالیستی مصارف در مورداستفاده نیمه‌هادی‌های از برخی فیزیکی خصوصیات و انرژی جدول شماره(۱): شکاف

فتوکاتالیست	انرژی باند گاف(ev)	فتوکاتالیست	انرژی باند گاف(ev)
Si	۱,۱	TiO2 rutile	۳,۰۲
WSe2	۱,۲	Fe2O3	۳,۱
R-Fe_2O_3	۲,۲	TiO2 anatase	۳,۲۳
CdS	۲,۴	ZnO	۳,۲
V_2O_5	۲,۷	SrTiO3	۳,۴
WO3	۲,۸	SnO_2	۳,۵
SiC	۳	ZnS	۳,۷

[۱] گاف انرژی یا نوار ممنوعه به منطقه‌ای بین نوار رسانش و ظرفیت گفته می‌شود که هیچ حالت الکترونیکی در این فاصله اتفاق نمی‌افتد.

[۲] نوار ظرفیت در جامدات به بیشترین انرژی الکترون‌ها در صفر مطلق اشاره دارد.

Archive of SID
www.SID.ir

فتوکاتالیست‌ها باید در مقابل خوردگی نوری مقاوم بوده و تحت انواع شرایط واکنش پایدار باشند. از طرفی می‌بایست در هنگام استفاده مجدد از آن‌ها راندمان واکنش مطلوب باشد.برخی از کاتالیست‌ها مانند ZnO ،CdS در واکنش‌ها تحت تخریب نوری قرار می‌گیرند. اما تعدادی از کاتالیست‌ها مانند WO_3، TiO_2 پایداری مناسبی را در واکنش‌ها نشان می‌دهند(جمال، غلامپور و دیگران، ١٣٨٥). در بین فتوکاتالیزورها، دی‌اکسید تیتانیوم(TiO_2) بهترین توافق را بین عملکرد کاتالیزوری و پایداری در محیط آبی را فراهم می‌کند و رایج‌ترین و مرسوم‌ترین ماده‌ای است که به‌عنوان فتوکاتالیزور مورداستفاده قرارگرفته است(جمال، غلامپور و دیگران، ١٣٨٥). استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم امروزه به دلیل حذف سمیت آب‌های آلوده و از بین بردن آلودگی‌های محیطی به‌صورت چشمگیری افزایش‌یافته است و توانسته با قرارگرفته در فناوری نانو و تغییرات ساختاری در ابعاد نانومتر تأثیراتی شگرفی را ایجاد نماید.

۴-۵-۱ دی‌اکسید تیتانیوم(TiO_2)

دی‌اکسید تیتانیوم دارای سه شکل بلوری شامل آناتاز، روتایل و بروکیت می‌باشد. به لحاظ ترمودینامیکی روتایل پایدارترین فاز دی‌اکسید تیتانیوم در فشار معمولی بوده و دو فاز دیگر، فازهای نیمه پایدار این سیستم به شمار می‌روند. تفاوت این سه فاز در نحوه آرایش هشت‌ضلعی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌باشد(احمد پور، شکیبی، ١٣٩٢: ص٥). نوع آناتاز آن دارای خصلت فتوکاتالیستی بسیار خوبی است. شکاف انرژی آناتاز ٣,٠٢ev می‌باشد، که در ناحیه UV نور خورشید واقع‌شده است.و ازآنجایی‌که در نور خورشید فقط ۴-۳ درصد نورUV وجود دارد می‌بایست منبع نور دیگری به‌کاربرده شود تا واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء در سطح این کاتالیزور انجام شود. البته می‌توان در این زمینه از لامپ‌های جیوه بهره برد، که آزمایش‌های متعددی نیز در این زمینه انجام‌گرفته است که تمامی آن‌ها نشان‌دهنده افزایش کارایی این فتوکاتالیست هستند(جمال، غلامپور و دیگران، ١٣٨٥).

در مورد TiO_2 باید در نظر داشت که بهینه کردن مقدار کاتالیست برای داشتن حداکثر راندمان در سیستم‌های فتوکاتالیستی ضروری است. مقدار بهینه کاتالیست وابسته به نوع و ابعاد راکتور مورداستفاده و نوع آلاینده مورد تجزیه است. مثلاً در بسیاری از واکنش‌ها اگر مقدار TiO_2بیشتر از حد خاصی شود کارایی واکنش فتوکاتالیست به دو دلیل کاهش می‌یابد: ١) به دلیل آگلومره شدن[1] ذرات TiO_2 در غلظت‌های بالا، تعداد مکان‌های فعال سطح کاتالیست کاهش می‌یابد. ٢) در غلظت‌های بالای کاتالیست، میزان پراکندگی نور افزایش می‌یابد(جمال، غلامپور و دیگران، ١٣٨٥).

۴-۶ فناوری نانو و فتوکاتالیست‌ها

امروزه فناوری نانو به‌طور وسیعی وارد عرصه علوم مختلف گردیده است.فناوری نانو باعث تغییرات ساختاری در فتوکاتالیست‌ها شده، و تأثیرات این فناوری در مورد کاتالیزورهای نیمه‌هادی به‌گونه‌ای بوده است، که هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد، چون سطح‌فعال کاتالیزور بیشتر می‌شود، این کاتالیزورها فعال‌تر از کاتالیزورهایی با ذرات در اندازه توده عمل می‌کنند. بنابراین تمایل داریم از روش‌های سنتزی استفاده کنیم که ذرات در حد نانو تولید شوند. ولی در کاتالیزورهای با اندازه نانو($10^{-9}m$)و همچنین کاتالیزورهایی در اندازه کوانتایی($10-100A^{\circ}$)به دلیل وجود شکاف انرژی بیشتر نسبت به کاتالیزورهای توده‌ای، برای انجام فرآیندهای فتوکاتالیستی نیاز به انرژی بیشتری است و این به‌عنوان یک نقص برای کاتالیزورهای در اندازه نانو و کوانتایی به شمار می‌رود(پیشین). اما به‌طورکلی می‌توان گفت که با پیشرفت علومی که درزمینه نانو در حال انجام می‌باشد به‌زودی شاهد برطرف شدن این موضوع خواهیم بود.

۵- پایداری

۵-۱ مبدأ و منشأ پایداری

واژه پایداری بامعنی کنونی آن یعنی" آنچه می‌تواند در آینده تداوم یابد"کاربرد پیداکرده است.درواقع پایداری زمانی فراهم می‌شود که مجموعه‌ای از: پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی به وجود آید(کامران کسمایی، براتی فرد، غفاری، ١٣٩٠: ص٣).

[1] تجمع و به هم چسبیدن ذارت.

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۲ اصول پایداری

۱(ا ستفاده از راه‌حل‌های طبیعت ۲) تطابق با محیط به‌جای تغییر محیط ۳(همزیـ ستی محیط م صنوع با طبیعی ۴(وحدت درکل و خودمختاری در اجزا ۵(ذخیره انرژی غیرقابل‌تجدید ۶) بازیافت ساختمان‌ها و مصالح ساختمانی ۷) احترام به بستر طرح ۸) به‌کارگیری همه اصول فوق همزمان باهم(کامران کسمایی، براتی فرد، غفاری، ۱۳۹۰: ص۳).

۵-۳ سه اصل اساسی پایداری

اصل ۱: صرفه‌جویی در مصرف منابع. اصل۲: طراحی بر اساس چرخه حیات. اصل ۳: طراحی انسانی(پیشین).

۵-۴ پایداری زیست‌محیطی

پایداری زیست‌محیطی را این‌چنین تعریف کرده‌اند «بهره‌گیری و بهره‌برداری از منابع طبیعی، به قسمی که نیاز کنونی انرژی جهان برآورده شود و تأمین نیازهای نسل‌های بعدی به خطر نیفتد». به‌طور حتم جنبه کلیدی که در این تعریف وجود دارد، این است که باید با بهره‌برداری پربازده از منابع انرژی، در حفظ و صیانت از آن‌ها کوشش نمود. نه‌تنها استفاده مؤثر از منابع انرژی، بلکه بالا بردن دوره عمر مفید مواد و مصالح ساختمانی، از معیارهای مهم در جهت حفظ پایداری زیست‌محیطی است. بهره‌برداری مناسب از منابع انرژی، ازجمله موارد کلیدی است که حوزه اصلی تمرکز بسیاری از زیست شناسان، مهندسان محیط‌زیست، مهندسان ساختمان و زمین شناسان را تشکیل می‌دهد(گلابچی و همکاران، ۱۳۹۰:ص۳۵۱).

۶- توسعه پایدار

توسعه پایدار این‌گونه تعریف‌شده است: «تأمین نیازهای منطقی نسل حاضر بدون به خطر انداختن توان نسل‌های آینده(کامران کسمایی، براتی فرد، غفاری، ۱۳۹۰: ص۳).».

یک جامعه پایدار در پی بقاء و بهبود مشخصه‌های اقتصادی، محیطی و اجتماعی یک ناحیه است تا اعضای آن بتوانند سالم، بهره‌ور و با لذت به ادامه حیات بپردازند. توسعه پایدار قصد دارد که تغییر مهمی را در فهم رابطه انسان و طبیعت ایجاد نماید(پیشین).

۶-۱ عوامل تأثیرگذار بر توسعه پایدار

عواملی که بر فرآیند تکوین توسعه پایدار تأثیرگذار می‌باشند را می‌توان این‌گونه معرفی نمود:

۱- محیط‌زیست طبیعی: جهت، زیرساخت، نور، فضا، تهویه، انرژی، آب

۲- اقتصاد کم‌کربن: ارزش‌افزوده، انعطاف‌پذیری، واقعیت‌های تجاری، طول عمر

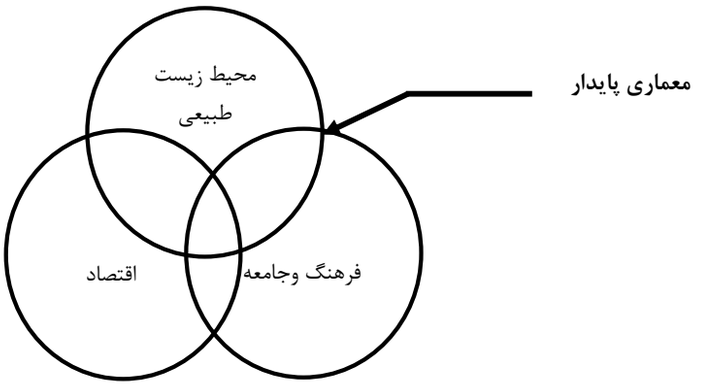
۳- جامعه: فرهنگ، مزایای اجتماعی، مردم، بهداشت و رفاه

۴- معماری: فرم و عملکرد، هویت، ساختار، مواد، نوآوری

با بررسی این عوامل می‌توان نتیجه گرفت که معماری تنها یک مشق عاقلانه متوازن بین مصالح داخل ساختمان نیست. بلکه خود را به یک مجموعه پیچیده وارد می‌کند، جایی که راه‌حل‌های موفقیت‌آمیز پروژه بستگی به دستیابی هماهنگ متقابل پویا بین معماری و محیط اطراف که به‌عنوان سه حلقه در تصویر شماره(۲) نشان داده‌شده است دارد(Weihong Li,2011:173).

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر شماره(۲): سه حلقه اساسی طراحی پایدار

۷- معماری پایدار

ریشه‌های «معماری پایدار» با رویکرد همزیستی با طبیعت، به‌اندازه تاریخ معماری به عقب برمی‌گردد و نمی‌توان آن را تنها، دغدغه قرن بیستم دانست، که این خود نشان‌دهنده اهمیت این رویکرد می‌باشد. بااین‌وجود در نیمه دوم قرن بیستم، سیر حوادث اقتصادی و سیاسی و به‌خصوص آشکار شدن خطر و تهدید پدیده‌های سوء زیست‌محیطی در مقیاس جهانی، به ظهور دغدغه‌ای تازه در جامعه جهانی، نسبت به مسائل محیط‌زیست منجر شد و در حقیقت رابطه‌ی بین انسان و طبیعت در چشم‌اندازی جدید مطرح گردید(جعفریان ثمرین، ضیاء بخش، قهری، نوذری،۱۳۹۲: ص۲).

کاربرد مفاهیم پایداری در معماری مبحثی تازه را به نام"معماری پایدار"، "معماری اکولوژیکی"، "معماری سبز"و یا"معماری زیست‌محیطی"بازکرده است که همگی این‌ها دارای مفهوم یکسانی هستند و بر معماری سازگاربامحیط‌زیست دلالت دارند(کامران کسمایی، براتی فرد، غفاری، ۱۳۹۰: ص۳).

۷-۱ پیشینه معماری پایدار

ریشه‌های اصلی نهضت حفظ محیط‌زیست و معماری پایدار به قرن ۱۹برمی‌گردد. جان راسکین، ویلیام موریس و ریچارد لتابی از پیشگامان نهضت معماری پایدار محسوب می‌شوند. راسکین در کتاب"هفت چراغ معماری"خود می‌گوید: برای دستیابی به رشد و پیشرفت می‌توان نظم هارمونیک موجود در طبیعت را الگو قرارداد. موریس بازگشت به فضای سبز حومه شهر و خودکفائی و احیای صنایع محلی را توصیه می‌کرد. لتابی دریکی از بیانیه‌های رسای خود از معماران خواسته که قدر نظم و زیبایی طبیعت را بدانند. همه این پیشگامان از واژه"طبیعت"استفاده کرده‌اند و امروز تنها لغتی که می‌تواند به‌خوبی جانشین این واژه گردد"معماری پایدار"است. سال‌ها بعد معماران دیگر مانند فرانک لوید رایت، پیتر آیزنمن و... عقاید این پیشگامان را ادامه و گسترش دادند. ساختمان‌هایی که بر اساس معماری پایدار طراحی‌شده‌اند برخلاف ساختمان‌های ثابت و قدیم، انعطاف‌پذیر و تا حدی سیال بودند. به‌طوری‌که طبق گفته ریچارد راجرز:"ساختمان‌ها می‌بایست همانند پرندگان که در زمستان پرهای خود را پوش می‌دهند خود را با شرایط جدید زیستی وفق داده و بر اساس آن سوخت‌وسازشان را تنظیم کنند"(پیشین).

۷-۲ اصول معماری پایدار

در خصوص معماری پایدار اصول مختلفی بیان‌شده است؛ به‌عنوان‌مثال از دیدگاه کلی و رزانا هارت ساختمان سبز بنایی می‌باشد که به‌منظور طراحی آن موارد ذیل را رعایت نماییم:

Archive of SID
www.SID.ir

۱) کوچک بیندیشید ۲) گرمایش ساختمان با آفتاب ۳) راحتی و آسایش ۴) استفاده از انرژی‌های قابل بازیافت ۵) ذخیره‌سازی آب ۶) استفاده از مصالح بومی ۷) استفاده از مصالح طبیعی ۸) حفظ جنگل‌های طبیعی ۹) استفاده از مصالح قابل بازیافت ۱۰)بادوام سازی ۱۱) قابلیت تولید انرژی‌های مصرفی ساختمان(پیشین).

و یا دیدگاه‌هایی که معماران انگلیسی برندا و رابرت ویل در کتابشان با عنوان«معماری سبز: طراحی برای آینده‌ای آگاه از انرژی» به‌عنوان اصول طراحی ساختمان‌های سبز معرفی نموده‌اند که شامل: ۱) فراگیری از معماری بومی ۲) حفاظت از انرژی ۳) کار با اقلیم ۴) کاهش استفاده از منابع جدید ۵) احترام به کاربران ۶) احترام به سایت ۷) کل‌گرایی(پیشین).

حال با اندکی بررسی در تمامی این اصول می‌توان دریافت اصلی اساسی که شاخصی تعیین‌کننده در طراحی پایدار می‌باشد رابطه متقابل بین انسان، محیط، اکولوژی و انرژی می‌باشد که در این تقابل کمترین تأثیرات ناسازگار بر محیط طبیعی در طول عمر ساختمان ایجاد شود.

۸- اهداف پایداری فتوکاتالیست‌ها

فناوری فتوکاتالیست به دلیل دست‌یابی به اهداف برنامه توسعه پایدار به وجود آمده است این پدیده با شناخت دقیق از وضعیت بحرانی که بشر و محیط‌زیست را تهدید می‌کند راه‌حل‌هایی کارآمد، کم‌هزینه و سریع را ارائه می‌نماید. اهدافی که فناوری فتوکاتالیست به‌منظور آن به وجود آمده است را می‌توان به شرح ذیل بیان نمود:

۱- بهبود شرایط زیستی بشر در موقعیتی که تهدیدات جدی سلامتی آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است.

۲- ساخت مصالح پایدار با دو رویکرد پایداری زیست‌محیطی و انسان‌مدار.

۳- کاهش هزینه‌های دسترسی به اهداف برنامه توسعه پایدار.

۴- دستیابی به اصول عملکردی فتوکاتالیست‌ها در مدت‌زمانی اندک.

۵- قرارگرفته این فناوری در چهارچوب تکنولوژی نانو به‌منظور بهبود خواص آن و افزایش بهره‌وری.

۹- فتوکاتالیست‌ها و معماری پایدار

با نگاهی اجمالی به برنامه توسعه پایدار و در چهارچوب معماری، معماری پایدار می‌توان دریافت فتوکاتالیست‌ها با قرار گرفتن در فناوری نانو می‌توانند در بخش معماری دستیابی به اهداف توسعه پایدار را امکان‌پذیر نمایند و زمان دسترسی به این اهداف را تسریع بخشند. فناوری فتوکاتالیست‌ها با ارائه راه‌حل‌های رفع آلودگی، کاهش دما در محیط‌های شهری، کاهش تولید آلاینده‌های هوا، خاصیت ضد میکروبی و اثرات خود تمیزکنندگی توانسته‌اند گامی بزرگ در جهت دستیابی به اصول پایداری زیست‌محیطی و اهداف توسعه پایدار بردارند. ازاین‌رو می‌توان فعالیت‌هایی که این فناوری در معماری پایدار می‌تواند به انجام برساند را این‌گونه بیان نمود:

۹-۱ تصفیه‌کنندگی و رفع آلودگی هوا

انسان‌ها به‌طورکلی ۸۰ درصد وقت خود را در محیط‌های سرپوشیده می‌گذرانند. ازاین‌رو کیفیت هوای داخل ساختمان تأثیرات مستقیمی بر روی سلامت انسان می‌گذارد. در فضاهای شهری نیز وجود آلاینده‌های ذکرشده در سلامت انسان و محیط‌زیست نقش بسزایی دارند و عدم رفع آن‌ها باعث خطرات و پیامدهای جبران‌ناپذیری می‌گردد. وجود ۱۲۰ نوع گاز آلی و غیر آلی که تأثیرات مخربی بر سلامتی انسان، گرم شدگی کره زمین و آسیب‌های زیست‌محیطی را به همراه دارد باعث شده اهمیت رفع آلودگی ضرورت یابد. بیشترین این آلودگی‌ها توسط انسان به وجود می‌آید. NO_x و VOC ازجمله این آلودگی‌ها می‌باشند. منابع اولیه تولیدکننده NO_xها، وسایل نقلیه(۵۶درصد)، کارخانه‌ها(۱۷درصد)، خطوط انتقال برق(۲۲درصد)و منابع آلوده‌کننده دیگر(۵درصد) می‌باشند. NO_xها عنصرهای کلیدی برای تولید مه دودها[1] می‌باشند. VOCها از عوامل

[1] مه دودها یا اوزون سطح پایین فرآیندی که به دلیل سطح بالای آلودگی دریک منطقه در ارتفاعات پایین در سطح زمین رخ می‌دهد این فرآیند دارای آلاینده‌های بسیار خطرناکی در ساختار خود می‌باشند که تنفس آن‌ها برای انسان می‌تواند مرگ‌آور باشد و همین‌طور باعث اثرات مخرب زیست‌محیطی می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

شایعه بروز سرطان می‌باشند که عوارضی از قبیل سوزش چشم، بینی، گلو، از دست دادن تعادل، حالت تهوع و آسیب‌های کبد، کلیه و سیستم عصبی مرکزی را ایجاد می‌نمایند. غلظت VOC در داخل خانه‌ها به دلیل وجود منابع تولیدکننده آن‌ها(عطر، اسپری، پاک‌کننده‌ها) به طرز قابل‌توجهی بالا می‌باشد. فتوکاتالیست‌ها با فرآیندی شبیه فتوسنتز درختان در کاهش آلودگی نقش بسزایی دارند فرآیند رفع آلودگی توسط سطوح فتوکاتالیستی در داخل منازل، فضاهای شهری و همین‌طور در فضاهای نیمه بسته از قبیل تونل‌ها مورداستفاده قرارگرفته است. در فضاهای نیمه بسته از قبیل تونل‌ها شاهد آلودگی هوا در حجمی بالایی می‌باشیم. استفاده از بتن‌های فتوکاتالیستی و رنگ‌های فتوکاتالیستی بر روی جداره تونل‌ها می‌تواند راه‌حلی برای رفع این آلودگی باشد. با پوشش جداره داخلی تونل‌ها با این مواد و جذب اشعه ماورای بنفش که از منبع تولیدی آن(نوعی لامپ متفاوت از لامپ معمولی به نام متال هالید[1]) و فرآیند اکسیداسیون، آلودگی‌های موجود در این فضاها به‌طورکلی پاک‌شده و شاهد بهبود روشنایی و درک بصری بیشتر در این فضاها خواهیم بود(Ranjit, 2011: 1-6).

۹-۲ مکانیزم عمل

با توجه به توضیحاتی که در قسمت ابتدای مقاله در مورد نحوه عمل این مواد داده شد می‌توان مکانیزمی بدین شرح به‌منظور درک فعالیت فتوکاتالیست برای رفع آلودگی بیان داشت:

۱- سطوح فتوکاتالیستی فوتون‌های خاص نوری را جذب می‌نمایند.

$$LiNbO_3 + h_v \rightarrow e_{cb}^- + h_{vb}^+ \quad (1)$$

۲- مولکول‌های اکسیژن با الکترون‌های جداشده از نوار ظرفیت واکنش می‌دهند و تولید آنیون رادیکال سوپر اکسید می‌کنند.

$$O_2 + e_{cb}^- \rightarrow O_2^- \quad (2)$$

۳- مولکول‌های آب با فوتون‌های نور خورشید و حفره‌های ایجادشده بر روی سطوح فتوکاتالیست که ناشی از انتقال الکترون‌ها به نوار رسانش می‌باشد واکنش می‌دهند و هیدروژن و رادیکال هیدروکسید را تولید می‌کنند.

$$(H_2O \Leftrightarrow H_+ + OH^-)_{ads} + h_{vb}^+ \longrightarrow \cdot OH + H_+ \quad (3)$$

۴- با توجه به محصولات این واکنش، رادیکال هیدروکسید($^{\circ}OH$) و آنیون رادیکال سوپر اکسید($\dot{O}2^-$) گونه‌های اکسیدکننده در فرآیند اکسیداسیون به‌منظور حذف آلاینده‌های هوا می‌باشند.

۵- و از محصولات دیگر این واکنش هیدروژن و آب می‌باشند(Ranjit, 2011: 1-6).

که نتیجه این واکنش از بین رفتن آلودگی موجود در هوا و تولید هیدروژن و آب می‌باشد.

۹-۳ خاصیت خود تمیزکنندگی سطوح فتوکاتالیست

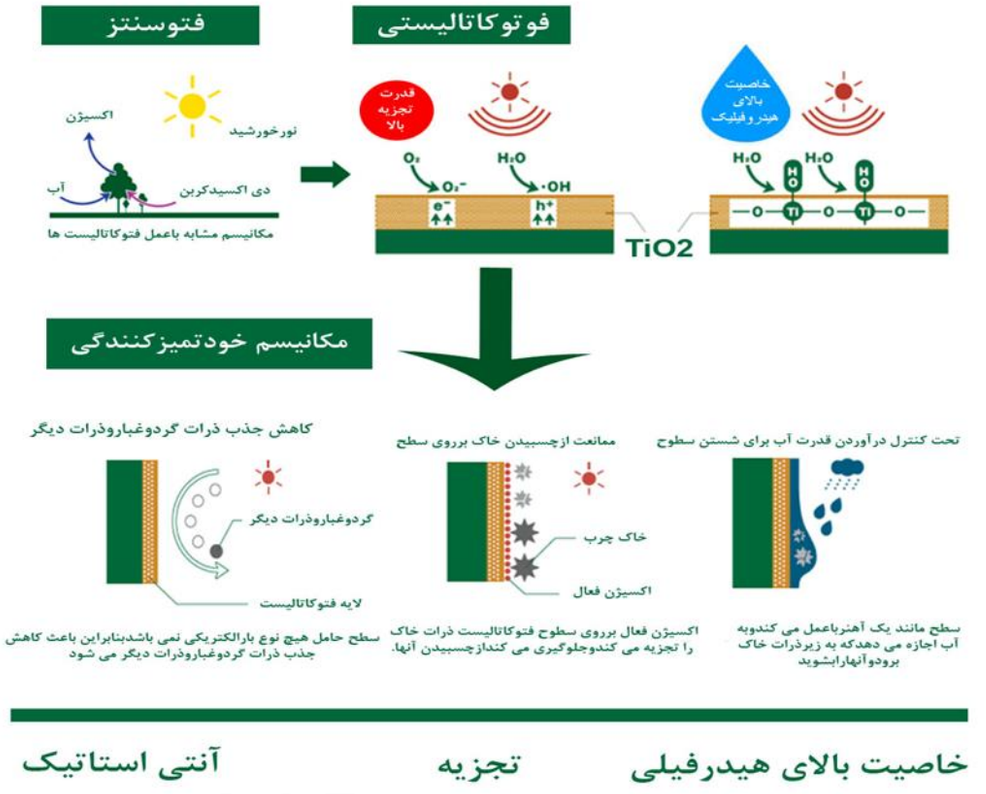
استفاده از پاک‌کننده‌های شیمیایی به‌منظور تمیزکنندگی، در افزایش آلودگی‌های محیط‌زیست نقش بسزایی دارد و استفاده این مواد تأثیرات مخربی بر محیط‌زیست و سلامت انسان را در بردارد. فتوکاتالیست‌ها با فرآیند اکسیداسیون در اثر تابش نور خورشید و یا نور ماورای بنفش و همین‌طور خاصیت هیدروفیلی بالای خود توانسته‌اند در سطوح پوششی مورداستفاده قرار گیرند با استفاده از این سطوح، به‌منظور تمیزکنندگی دیگر نیازی به پاک‌کننده‌های شیمیایی نیست و به دلیل استفاده نشدن از تمیزکننده‌های شیمیایی از خطرات آلودگی هوا نیز می‌کاهد این سطوح(سطوح فتوکاتالیستی) به دلیل خاصیت آنتی استاتیک(خاک جذب نمی‌کند)، گردوغبار و لکه‌های روی سطح را به‌راحتی با تأثیر آب باران شسته و پاک می‌کند این فناوری باعث شده در ساخت شیشه‌ها، شاهد تولید شیشه‌هایی باکیفیت بالا باشیم که دارای مقاومت بالاتری نسبت به شیشه‌های معمولی باشند این فناوری تغییری در خواص نوری شیشه ایجاد نمی‌کند و شیشه‌های مذکور در بستر همان

[1] لامپ متال هالید نوعی لامپ باقدرت تولیدکنندگی اشعه‌های UVA می‌باشد این لامپ ساختاری شبیه لامپ جیوه دارد و تنها تفاوت اصلی آن با لامپ معمولی در حباب داخلی این لامپ می‌باشد. حباب داخلی این لامپ افزون بر جیوه دارای مقدار کمی نمک هالوژنی نیز می‌باشد این نمک‌ها پس از راه‌اندازی لامپ(حدود۵تا۷دقیقه طول می‌کشد) تبخیر شده و به فلز تشکیل‌دهنده‌شان تجزیه می‌شود و بخار حاصل از این فعالیت باعث ایجاد نورهایی با طول‌موج مخصوص می‌شود درنتیجه لامپ دارای طیف نور بهتری می‌گردد و به دلیل نزدیک شدن نور این لامپ به نور زرد اثرگذاری آن نیز افزایش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

شیشه‌های معمولی قرار می‌گیرند و قابلیت تولید در ضخامت‌های مختلف رادارند. مؤلفه‌های خود تمیزکنندگی این سطوح در تصویر شماره(۳) نشان داده‌شده است.



تصویر شماره(۳):فرآیند خود تمیزکنندگی سطوح فتوکاتالیست

۹-۴ خاصیت سپر گرمایی سطوح فتوکاتالیستی

سطوح هموار شهری از قبیل بزرگراه‌ها، جاده‌ها، باند فرودگاه‌ها، مناطق پارکینگ و پیاده‌روها۳۰ تا ۶۰ درصد از وسعت شهرها را دربر می‌گیرند. پوشش رویی این سطوح با استفاده از آسفالت به دلیل رنگ سیاه این ماده تأثیرات زیادی را در افزایش گرما در مناطق شهری ایجاد کرده است. این افزایش گرما باعث تشدید تولید مه دودهای غلیظی که در اثر دود یا بخارهای شیمیایی تولیدشده‌اند را خواهد داشت و افزایش دما چرخه تعمیر و نگهداری این سطوح را نیز افزایش می‌دهد. فتوکاتالیست‌ها با به‌کارگیری‌شان در بتن‌های فناوری نانو توانسته‌اند این مشکل را رفع نمایند. تولید بتن با فناوری نانو فتوکاتالیستی باعث تولید پوشش‌هایی سفیدرنگ برای سطوح ذکرشده گردیده که درنتیجه آن شاهد کاهش دما در مناطق استفاده‌شده از این فناوری خواهیم بود و به دنبال آن: صرفه‌جویی در انرژی‌های خنک‌کننده ساختمان‌ها، کاهش زمان و هزینه در چرخه تعمیر و نگهداری را سبب خواهد شد. این سطوح علاوه بر تأثیراتی که بیان شد دارای خاصیت تخلیه آب و جذب صدا نیز می‌باشند. این دو مؤلفه نیز تأثیرات اثربخشی در چرخه تعمیر و نگهداری و رفع آلودگی‌های صوتی در اطراف مسیرهای پرتردد خواهد داشت(De Marco, 2013: 1-7)

www.SID.ir

۹-۵ خاصیت ضد میکروبی سطوح فتوکاتالیست

سالانه ۲میلیون نفر براثر عفونت‌های مرتبط با بهداشت بیمار می‌شوند که ازاین‌بین ۱۰۰۰۰۰ نفر در هرسال براثر این عفونت‌ها جان خود را از دست می‌دهند علاوه بر این از دیدگاه اقتصادی بیش از ۶ میلیارد دلار در هرسال برای درمان عفونت‌های مربوط به مراقبت‌های بهداشتی و درمانی هزینه می‌شود. و همین‌طور ممکن است در آینده نزدیک شرکت‌های بیمه هزینه‌های درمانی مربوط به بیماری‌های حاصل از عفونت‌های بهداشتی را پرداخت ننمایند. تمامی این معضلات باعث شده اهمیت فناوری فتوکاتالیست‌ها به دلیل خواص ضد میکروبی موردتوجه قرار گیرد. خواص ضد باکتریایی فتوکاتالیست‌ها باعث شده، که آن‌ها به‌عنوان پوشش‌های بهداشتی در کاهش باکتری در بیمارستان‌ها مورداستفاده قرار گیرند. این مواد با تأثیر بر دیواره سلولی باکتری‌ها آن‌ها را تخریب کرده و باعث از بین رفتن باکتری‌ها در محیط‌های بهداشتی می‌گردند.

۱۰- نتیجه‌گیری

فناوری استفاده از فتوکاتالیست‌ها امروزه توانسته افق‌هایی تازه پیش روی بشر بگشاید. فتوکاتالیست‌ها با خواص ضد آلایندگی، تصفیه‌کنندگی، ضد میکروبی، خود تمیزکنندگی و کاهش دما دستیابی به اهداف معماری پایدار را امکان‌پذیر نموده‌اند. و با قرار گرفتن آن‌ها در چرخه فناوری نانو تأثیراتشان به‌صورت چشمگیری افزایش‌یافته است. با توجه به بررسی‌هایی که انجام شد مشخص گردید، رویکرد اساسی معماری پایدار ایجاد رابطه‌ای دوستانه و تعاملی میان انسان و محیط‌زیست می‌باشد و ازآن‌جهت که این مواد خود از طبیعت به دست می‌آیند و ایجادشده‌اند که تأثیرات مخرب زیست‌محیطی را کاهش دهند می‌توانند کاتالیزور این رابطه دوستانه و تعاملی گردند و با توجه به نوآوری، دانش بالای به‌کاررفته در این فناوری، عملکرد فتوکاتالیست‌ها در بازار ساخت‌وساز و بازده بالای آن‌ها ضرورت استفاده از این محصولات فتوکاتالیستی به‌منظور دست‌یابی به اهداف توسعه پایدار احساس می‌گردد تا بدین روش بتوان آسیب‌های زیست‌محیطی را به حداقل رساند و گامی بزرگ در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار برداشت.

۱۱- مراجع

[۱]- جان بزرگی ا، قناد ز(۱۳۸۹)؛ «کاربرد تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان»، فصلنامه کیسون، دوره جدید، شماره ۴۴

[۲]- حسینی فاطمه السادات، محمدی یزدی سعید(۱۳۹۱)؛ «کاربرد فناوری نانو در صنعت ساخت‌وساز(در کشور آلمان)»، معاونت علمی و فناوری ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو

[۳]- احمد پور، امین، و خشایار شکیبی، ۱۳۹۲، بررسی استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در سلول‌های خورشیدی، پنجمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر و پاک و کارآمد، تهران، هم‌اندیشان انرژی کیمیا، http://www.civilica.com/Paper-WINDCONF05-WINDCONF05_079.html

[۴]- کسمایی کامران، حدیثه، علیرضا براتی فرد، و پریچهر غفاری، ۱۳۹۰، نگرش‌ها و اصول در معماری پایدار، همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی، اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان، http://www.civilica.com/Paper-NCCEAUPEM01-NCCEAUPEM01_086.html

[۵]- گلابچی، محمود، تقی زاده، کتایون، سروش، احسان نیا،۱۳۹۰، نانو فناوری در معماری و مهندسی، ۷۹

[۶]- جعفریان ثمرین، حامد، ندا ضیاء بخش، شلاله قهری، و نازنین نوذری، ۱۳۹۲، استفاده از تکنولوژی نانو در راستای حفظ انرژی در بناهای مسکونی ایران، دومین همایش ملی حفاظت و برنامه زیری محیط‌زیست، همدان، شرکت هم اندیشان محیط‌زیست فردا، http://www.civilica.com/Paper-NATURE02-NATURE02_168.html

[۷]- جمال، اکرم، اکبر غلام پور، سیمین تباردرزی، و عباس رضایی، ۱۳۸۵، بررسی کاربرد فتوکاتالیست‌ها و نانو فتوکاتالیست‌ها در حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی و مکانیسم اثر آن‌ها، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست، http://www.civilica.com/Paper-CEE01-CEE01_151.html

[8]- Smalley, R,(1995 Nanotechnology and the next 50 years, Presentation to the University of Dallas Board of Councilors.

Archive of SID

www.SID.ir

[9]-Ranjit,K.Nath .Kadum,Abdul Amir. New Material LiNbO3 for photocatalytically improvement of indoor air -An overview.Journal Advances in Natural and Applied Sciences. NO 1-6.(2011).

[10]- Weihong Li. 2011. Sustainable design for low carbon architecture.Elesvier Procedia Environmental Sciences 5 , 173–177. 2010 International workshop from the International Congress on Environmental Modeling and Software(iEMSs2010). Available online at www.sciencedirect.com.

[11]- De Marco ,T. Fava, G.Guerrini1,G.L.Manganelli1,G.Moriconi,G.L.Riderelli Use of photocatalytic products for sustainable construction Development.In:Conference on Sustinable Construction Material and Technologies,Kyoto Research Park, Kyoto, Japan ,number 270,session T3-9,NO 1-7,(August 18- August 21 2013)

Archive of SID

www.SID.ir