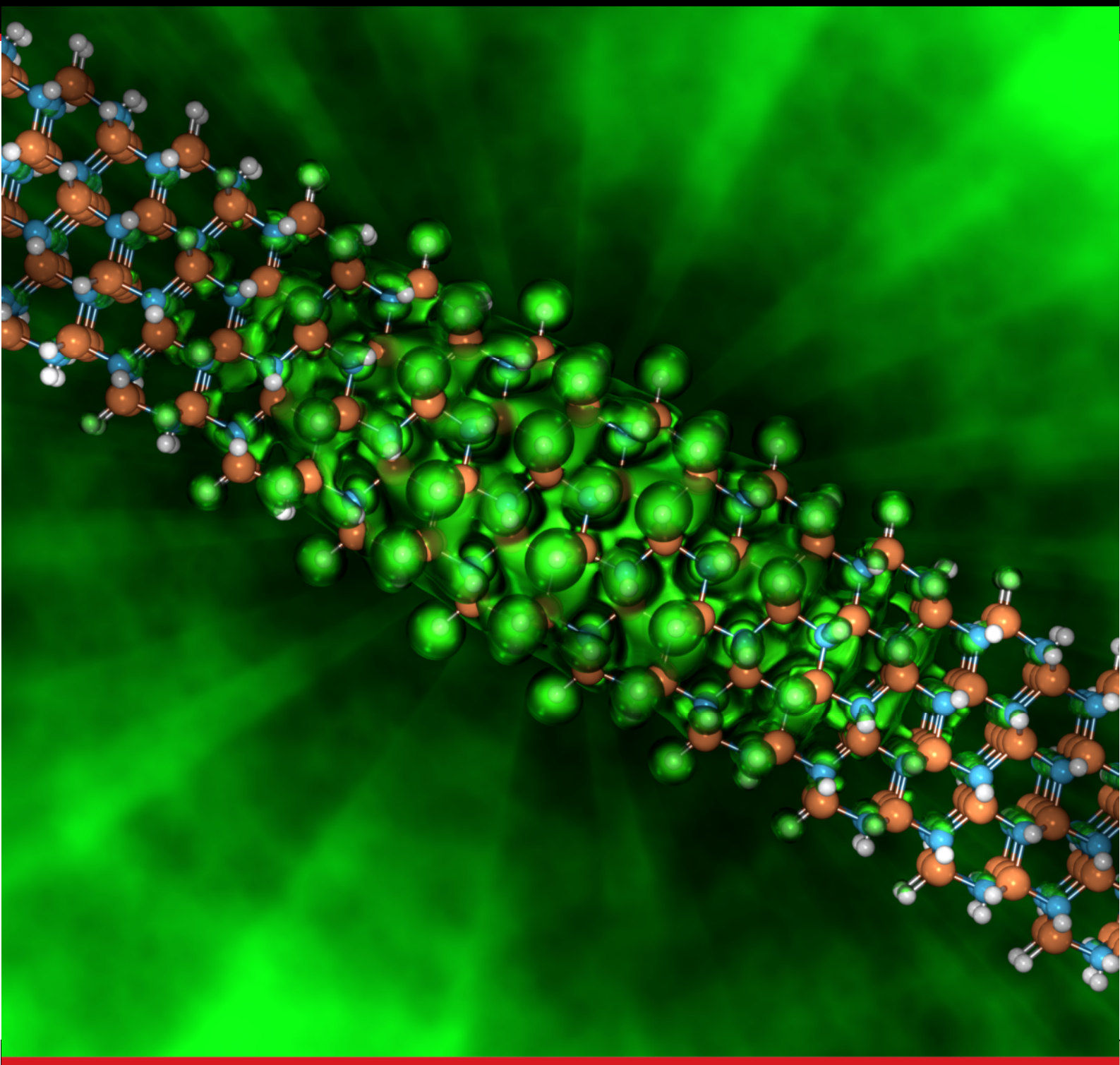
رویدادهای تخصصی

گروه پژوهشی محیط‌زیست

پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی محیط‌زیست

سال چهارم، شماره ۱، تیرماه ۱۳۹۷



بررسی اثرات نانو ذرات بر سلامت انسان و محیط/

سمیه علیجانی

نانو چارچوب‌های فلز–آلی و کاربرد آن در محیط‌زیست / پیمان پورمقدم

بنام خدا

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مرتضی جلالی

سردبیر: عبداله مصطفایی

مدیر اجرایی: پیمان پورمقدم

گرافیست و صفحه‌آرا: پیمان پورمقدم

ویراستار: پیمان پورمقدم

عکس روی جلد: پیمان پورمقدم

➢ **همکاران این شماره:**

همکاران گروه: دکترعبداله مصطفایی، دکتر **سمیه علیجانی**، مهندس پیمان پورمقدم

همکاران معاونت پژوهشی: نوشین فرودی

➢ **ناشر:**

نشانی الکترونیکی:environ@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه محیطزیست

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۴۶-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۳۶۱۶۰۳-۰۲۱

اعضای هیئت تحریریه:

مهندس مرتضی جلالی، مهندس امیر سهرابی کاشانی، دکتر عبداله مصطفایی، مهندس رامین پایدار، دکتر سعید نظری، دکتر مهسا صدیقی، دکتر سمیه علیجانی، مهندس زهرا دلاورمقدم، مهندس پیمان پورمقدم

اعضای هیئت‌داوران:

دکتر کامران آرمان، دکتر آرش الماسیان، مهندس مهسا علائی، مهندس رامین فخری

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی محیطزیست» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با محیطزیست و ایمنی در صنعت برق به‌صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده بر عهده نویسندگان است.

پژوهشگاه نیرو

فهرست مطالب

- سخن سردبیر ۱
- بررسی اثرات نانو ذرات بر سلامت انسان و محیط ۳
- آشنایی با نشریه بین‌المللی علوم و تکنولوژی محیط‌زیست ۲۹
- نانو چارچوب‌های فلز-آلی و کاربرد آن در محیط‌زیست ۳۰
- ساخت بزرگ‌ترین آب‌شیرین‌کن خورشیدی در عربستان ۵۵
- معرفی کتاب ۶۱

سخن سردبیر

وقتی درباره او جستجو کنید، خواهید دید که در اینترنت درباره اش نوشته اند که متولد شهر کمبریج در ایالت ماساچوست آمریکا است. پدرش کنت، از فعالان بورس، و مادرش نانسی، استاد دانشگاه بود. پدرش اصلیت اسکاتلندی-انگلیسی داشته و مادرش فنلاندی-سوئدی است. برادرش در عرصه هنری و مجسمه‌سازی فعالیت می‌کند. چندی بعد وی به همراه خانواده‌اش به شهر نیوتون میروند ولی مجدداً به همراه مادرش به کمبریج برمی‌گردد. بن افلک از دوستان صمیمی او است و این دو از کودکی با یکدیگر دوستان نزدیکی بودند. همچنین هوارد زین، مورخ، نیز از همسایگان او بوده است.

او دوران مدرسه خود را در همین شهر گذراند. شاید اولین بازیگری را در دوران دبیرستانش تجربه کرده باشد جایی که او در نقش‌های مختلف تئاتر بازی میکرد. وی همیشه از معلم نمایشش تقدیر می‌کند. ضمنا از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۲ در دانشگاه هاروارد تحصیل می‌کرد اما هیچ‌وقت فارغ‌التحصیل نشد. در دانشگاه رشته وی زبان انگلیسی بود و در دانشگاه هم نقش‌های زیادی را در تئاتر آنجا قبول می‌کرد. چندی بعد نیز برای ادامه بازیگری، تصمیم به ترک تحصیل گرفته و از دانشگاه هاروارد خارج می‌شود. بعدها در مورد این تصمیمش گفته که "زمانی فهمید که تصمیمش اشتباه بوده که دیگر کار از کار گذشته بود".

او در اصل بازیگر، فیلمنامه‌نویس و تهیه‌کننده آمریکایی است. دوران حرفه‌ای او از زمانی شروع شد که با همراهی بن افلک در فیلم ویل هانتینگ خوب به عنوان نویسنده فعالیت کرد و بخاطر همین نیز این دو، برنده جایزه اسکار بهترین نمایشنامه اصلی شدند. همچنین بخاطر بازی وی در این فیلم نیز نامزد دریافت جایزه اسکار، جایزه گلدن گلاب، جایزه ستلایت و جایزه انجمن بازیگران فیلم شد.

اول در فیلم زیبای نجات سرباز رایان حضور یافت. وی در این فیلم با تام هنکس همبازی بود که نسبتاً نقش کوتاه ولی کلیدی داشت. سپس شروع به نقش‌آفرینی در سه‌گانه‌های اوشن و بعد، مجموعه فیلم‌های بورن کرد. در ادامه در فیلم‌های ژانر درام نیز به خوبی ظاهر شد و فیلم‌های زیبایی همچون سیریانا، چوپان خوب و رفتگان از جمله آثار درام وی است. وی همچنین بخاطر نقش‌آفرینی‌اش در فیلم شکست‌ناپذیر نامزد دریافت گلدن گلاب شد.در سال ۲۰۰۷ ستاره وی را در پیاده‌رو شهرت هالیوود نصب کرده و مجله پیپل وی را بعنوان یکی از جذابترین بازیگران مرد جهان معرفی نمود.

با این پیشینه مشخص نیست که آقای مت دیمون از چه زمانی به موضوع محیط زیست و آب علاقمند شد. او موسسه ای را به نام *water.org* تاسیس نمود تا از آن طریق بتواند کمکی در راه فراهم کردن آب آشامیدنی سالم برای مردم نیازمند جهان انجام دهد. مت دیمون همچنین از گروه هنرمندان فعال در عرصه

خیریه است. وی مؤسس و پشتیبان مؤسسات خیریه در حوزه‌های مختلفی همچون مقابله با فقر و گرسنگی در آفریقا میباشد.

شبکه تلویزیونی اچ‌بی‌او با همکاری مت دیمون و بن افلک فیلمی درباره بحران جهانی آب ساخته است. فیلم تلویزیونی "تشنه" داستانی چند لایه را درباره بحران جهانی آب روایت می کند. رییس برنامه‌های اچ‌بی‌او در بیانیه ای اعلام کرد: از این که همکاری مان را با دیمون و افلک ادامه می‌دهیم بسیار خوشحال هستیم. این در حالی است که این دو فیلمساز خیلی بااستعداد، امروز از استعدادهای سینمایی خود برای آگاهی دادن به این مساله که اهمیتی جهانی دارد استفاده می کنند. این دو پیشتر با "پروژه گرین لایت" با این شبکه همکاری کرده بودند. دو فصل نخست "پروژه گرین‌لایت" اولین‌بار بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ از شبکه اچ‌بی‌او روی آنتن رفت و سومین فصل آن در سال ۲۰۰۵ از طریق شبکه تلویزیونی "براوو" به نمایش درآمد و یک دهه بعد دوباره به روی آنتن شبکه اچ‌بی‌او بازگشت.

اخیرا در برنامه دیگری اعلام شد که آقایان مت دیمون، بن افلک و تام بردی وارد یک کار خیریه جالب شده اند و به این منظور بلیت بخت آزمایی یک برنامه را که شامل پیتزا خوردن با این سه بازیگر است را می‌فروشند. یعنی میان خریداران بلیت این رقابت، قرعه‌کشی می‌شود و برنده به‌عنوان میهمان به بوستون که شهر این سه هنرپیشه است، پرواز می‌کند و در یک هتل چهار ستاره اقامت می‌کند و آنجا با این سه نفر پیتزا می‌خورد و می‌تواند با آنها درباره مسائل ورزشی یا سیاسی صحبت کند. برای شرکت در این قرعه‌کشی بلیتی ۱۰دلاری فروخته می‌شود. هریک از این هنرپیشه ها در کار خیریه هستند. دیمون بنیادی برای بهره‌مندی مردم از آب پاکیزه و سالم دارد، بن افلک یک بنیاد خیریه برای کمک به مردم کنگو و بردی بنیادی برای حمایت از ورزشکاران جوان آماتور دارند. هدف دیمون کمک کردن به مردم در درک این مساله است که کمبود آب یک مسئله جدی است. به همین منظور او در پروژه ای دیگر با همراهی چند تن از دوستان مشهورش ویدیوهایی درست کرده است که در آن‌ها از مردم درخواست می‌شود تا به "بحران آب" فکر کنند.

به تازگی نیز او با ارائه یک چالش جدید در شبکه های اجتماعی موجب جلب نظر مردم کشورهای توسعه یافته به موضوع کمبود آب در کشورهای محروم شده است تا از این طریق کمکهایی را گردآوری نماید. حال اگر به دنبال این فرد و امثال او در اینترنت بگردید، خواهید دید که چه رسالت سنگینی بر دوش فرهیختگان هر جامعه ای است تا از آلام جهانی بکاهند.

عبداله مصطفایی

گروه محیط‌زیست

پژوهش

بررسی اثرات نانو ذرات بر سلامت انسان و محیط

نویسنده: سمیه علیجانی[۱]

چکیده: در طول چند سال گذشته، زمینه علوم نانو رشد بسیار فزاینده‌ای یافته و درنتیجه، توجه بسیاری زیادی از سوی مردم، سازمان‌های قانون‌گذار و جامعه علمی به خود جلب کرده است. بااین‌حال، چالش‌های بسیاری زیادی وجود دارد که باید پیش از کاربرد فناوری نانو در زمینه‌های مختلف با انجام ارزیابی‌های علمی ریسک مواجهه شغلی یا زیست‌محیطی بر آن غلبه کرد. در این مقاله ابتدا برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های نانو ذرات که منجر به سمیت آن‌ها می‌شود، بررسی شده است. سپس مسیرهای متداول مواجهه نانو ذرات با انسان و مکانیزم‌های آن موردبررسی قرار گرفته است. در پایان، راهکارها و روش‌های کنترلی مواجهه با نانو ذرات ارائه شده است.

کلیدواژه: نانو ذرات، سمیت، مکانیزم اثر نانو ذرات، کنترل مواجهه با نانو ذرات.

مقدمه

نانو مواد ساختارهایی هستند که ابعادی ویژه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و زمانی که به‌درستی و با کاربرد اصول مهندسی ساخته شوند، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بی‌نظیر و قابل‌توجهی از خود بروز می‌دهند. این ویژگی‌ها، نانو ذرات مهندسی ساز را به بخش اصلی و عمده در فناوری‌های پیشرو تبدیل کرده است. کاربرد فناوری‌های نانو در زمینه‌هایی نظیر ساخت‌وساز، رنگ، پزشکی، غذا، مواد آرایشی، الکترونیک، نور، نساجی، انرژی و کشاورزی تمرکز بیشتری یافته است. بخش‌ها و واحدهای جدیدی در دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی برای بررسی در این زمینه راه‌اندازی شده‌اند و بسیاری از دولت‌ها، بخش اعظم بودجه‌های خود را صرف پژوهش درزمینهٔ فناوری نانو می‌کنند. اما به‌طور هم‌زمان، پژوهشگران و افراد جامعه، نگرانی

۱- هیأت علمی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: salijani@nri.ac.ir

خود را در مورد تأثیرات زیست‌محیطی محصولات نانو محور ابراز کرده‌اند. در حال حاضر، مطالعات درزمینهٔ سمیت نانو ذرات، در حال گسترش است و بسیاری از پژوهشگران بر این باورند اثرات زیست‌محیطی و اکولوژیکی این دسته از مواد باید قبل از به‌کارگیری آن‌ها در مقیاس وسیع موردتوجه قرار گیرد. تا به امروز، اطلاعات ناقص جمع‌آوری‌شده مانع از تفسیر دقیق یا درک صحیح مسائل سم شناختی رؤیایی شغلی یا اثرات زیست‌محیطی نانو مواد شده است. به‌منظور جلوگیری از اشتباهات گذشته که هنگام معرفی ابتکارهای فناوری‌های جدید رخ می‌دهد و چنین موادی قبل از ارزیابی کامل ریسک در جامعه انتشار می‌یابد، بررسی دقیق اثرات مضر نانو ذرات بر سلامت انسان و محیط‌زیست ضروری است. در این مقاله، ضمن بررسی ویژگی‌های تعیین‌کننده توانمندی اثر سمی نانو ذرات، مسیرها و مکانیزم‌های در معرض خطر قرارگرفتن انسان معرفی شده است. سپس کنترل مواجهه و تماس با نانو ذرات ارائه شده است و درنهایت با توجه به مطالعات موجود در مورد سمیت نانو ذرات نتیجه‌گیری شده است.

۱- اساس مضر بودن نانو ذرات

مهم‌ترین نکته قبل از پیش‌بینی سمیت نانو ذرات، به دست آوردن اطلاعاتی راجع به عوامل و خصوصیاتی است که باعث افزایش مضر بودن و سمیت آن‌ها می‌شود. در اینجا، به‌اختصار به معرفی خصوصیاتی از نانو ذرات که بر سمیت آن‌ها تأثیر می‌گذارد، پرداخته می‌شود.

۱-۱ اندازه ذره

اندازه ذره نقش کلیدی در تعیین ویژگی‌های نهایی نانوذره دارد به‌گونه‌ای که نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که فعالیت بیولوژیکی نانو مواد با کاهش اندازه ذره افزایش می‌یابد و ذرات با اندازه کوچک‌تر اثر سمیت بیشتری در مقایسه با ذرات درشت دانه‌تر نشان می‌دهند[۱]. گفته می‌شود که ذراتی با اندازه کمتر از ۳۵

نانومتر، می‌توانند به سد محافظ خونی مغزی[1] نفوذ کنند و ذرات با اندازه کمتر از ۴۱ نانومتر می‌توانند وارد هسته سلول‌ها شوند درحالی‌که ذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌توانند با عبور از غشاء سلولی وارد سلول شوند[۲, ۳]. پایداری پس از پیوند[2] و قوام پس از پیوند[3] ساختارهای پروتئینی نیز به‌اندازه نانو ذرات بستگی دارد[۴, ۵]. پژوهش‌ها بر پایه تابش پرتو روی انسان (پرتونگاری) نشان می‌دهد زمانی که اندازه ذرات در طیف نانو (۱–۱۰۰ nm) باشند، رسوب آن‌ها در دستگاه تنفسی ۹۰ درصد افزایش می‌یابد[۶]. اغلب نانو ذرات رسوب‌کرده تا دو روز پس از برخورد در شش‌ها باقی می‌مانند. مقدار سمیت ذرات نانو محور را می‌توان با مثال‌های بیشتری توضیح داد. مشاهده شده است که نانو ذرات نقره، به دلیل آزادسازی نقره در محیط سلولی می‌توانند سمیت سلولی در سلول‌های ریوی انسان ایجاد کنند که این سمیت به‌اندازه ذرات بستگی دارد[۷]. مطالعات برهم‌کنش سلولی نشان داد که نانو ذرات نقره کوچک (۱۵ نانومتر) سمیت بیشتری را با تولید ۱۰ برابر اکسیژن در مقایسه با گونه‌های بزرگ (۳۱ و ۵۵ نانومتر) در سلول‌ها ایجاد می‌کنند[۸]. در یک مطالعه، ماهی قزل‌آلا در معرض نانو ذرات نقره تجاری با اندازه‌های مختلف (۱۰، ۳۵ و ۶۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر) قرار داده شد. نتایج نشان داد که مقادیر بالایی از ذرات با اندازه کوچک (۱۰ نانومتر) در بافت‌های روده و کبد تجمع یافته است[۹]. به‌طور مشابه، نانو ذرات طلا با اندازه کوچک (۱/۴ نانومتر)، ۶۰ تا ۱۰۰ برابر سمیت بیشتری را نسبت به اندازه‌های بزرگ‌تر (۱۵ نانومتر) ایجاد کردند[۱۰]. در بررسی دیگری مشخص شد که جذب سلولی اسید کربوکسیلیک حاوی ذرات پلی استیرن در مورد ذرات ۲۰ نانومتری پلی استیرن سریع‌تر از ذرات ۲۰۰ نانومتری پلی استیرن اتفاق می‌افتد[۱۱]. نانو ذرات TiO_2 با اندازه کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر، سمیت سیستم ایمنی را در سیستم ریوی موش ایجاد کردند[۱۲]. تعیین محدوده و

[1] *Blood–brain barrier*
[2] *Binding*
[3] *Post-binding*

شناخت اندازه‌ای نانو ذرات مختلف در ایجاد سمیت بالاتر دشوار است به این دلیل که روش‌های استاندارد سمیت که توسط همه محققین به کار گرفته‌شده باشد وجود ندارد. بیشتر گزارش‌ها در مورد جنبه‌های مطالعات سمیت در مقایسه با یکدیگر متفاوت می‌باشند اما نکته مشترک در تمامی گزارش‌ها بر این فرض استوار است که نانو ذرات کوچک‌تر در مقایسه با نانو ذرات بزرگ‌تر، سمی‌تر می‌باشند. بنابراین اندازه نانو ذرات در تعیین میزان سمیت آن‌ها در موجودات زنده مهم است .جذب سلولی، مکانیسم واکنش و ثبات درون‌سلولی به‌اندازه نانو ذرات بستگی دارند اما بااین‌وجود بر اساس مطالعات انجام‌شده هنوز یک رابطه واضح به دست نیامده است.

۱-۲ شکل ذره

نانو مواد، شکل‌ها و ساختارهای گوناگونی ازجمله کره‌ای، سوزنی، لوله‌ای، میله‌ای، صفحه‌ای دارند. شکل ذره می‌تواند دو اثر اصلی داشته باشد:

۱- در محل‌ها و آئروسل‌ها، در شعاع هیدرولیکی بین ذرات کروی و دیگر ذرات درشت‌تر که دارای جرم مشابه هستند تفاوت‌هایی ایجاد می‌شود که این اختلاف شعاع، مسئول ایجاد اختلاف در توانایی جابجایی و انتشار پذیری ماده در فازهای گازی و مایع است.

۲- شکل ذره بر رفتار جذب و جایگزینی ذره در محیط‌های بیولوژیکی اثر می‌گذارد که این امر به دلیل مکانیزم‌های بستن کانال‌های یونی موجود در دیواره سلول‌ها است و ایجاد این اثر وابسته به شکل ذره است. نتیجه برخی پژوهش‌های سم-شناسی آزمایشگاهی نشان داد که نانولوله‌های کربنی، احتمال ایجاد توده و انباشته شدن را افزایش می‌دهد[۱۳]. در عوض، شکل لایه‌های گرافیتی استوانه‌ای و لوله‌ای ایجادشده در ساختار لوله‌های کربنی می‌تواند بر فعالیت بیولوژیکی آن‌ها اثر

بگذارد، چراکه به نظر می‌رسد که نانولوله‌های کربنی تک دیواره، اثر سمی بیشتری نسبت به نانولوله‌های کربنی چند دیواره با طول مشابه از خود بروز می‌دهند[۱۴].

به‌طورکلی، زمانی که اندازه و مساحت برای یک‌گونه از نانو ذرات مشابه نگه‌داشته شود، آنگاه تأثیر شکل آن‌ها در ارزیابی میزان سمیت آن‌ها برجسته‌تر می‌شود. به‌عنوان‌مثال، نانو ذرات اکسید روی با شکل لوله‌ای سمیت بیشتری را برای تنفس انسان (سلول‌های اپی تلیوم ریه) در مقایسه با نانو ذرات کروی ایجاد می‌کنند[۱۵]. به‌طور مشابه نانو ذرات طلا با کارکرد مشابه نشان دادند که ذرات کروی در مقایسه با ذرات میله‌ای، سمیت بیشتری دارند و این ممکن است به دلیل رهاسازی سریع مولکول‌های عملکردی از سطح کروی به دلیل تعاملات سلولی باشد[۱۶].

۱-۳ ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی، برحسب ساختار شیمیایی و ترکیب مولکول‌های عناصر مختلف و ماهیت ذرات از دیگر مؤلفه‌های کلیدی است که در سمیت آن‌ها نقش دارد. برخی نانو ذرات، ساختار هیبریدی و هسته‌ای شکل دارند که مشابه این ساختار را می‌توان در ذرات کوانتومی نانو کریستالی مورداستفاده در نیمه‌هادی‌ها مشاهده کرد. این مواد، از یک هسته فلزی بلوری و یک پوسته غیر آلی که ذرات کوانتومی موجود در هسته را پوشش داده و ثبات بخشیده، تشکیل شده است. این مواد کاربردهای ویژه‌ای ازجمله کاربردهای الکترونیکی و نیز کاربردهایی در تصویربرداری‌های تشخیصی – پزشکی دارند. ذرات کوانتومی ممکن است با بدن موجودات زنده سازگار باشد اما تجزیه فیزیکی (حرارتی) و شیمیایی (فتوشیمیایی، اکسیداسیون) لایه پوشش‌دهنده می‌تواند هسته درونی شده را دربر بگیرد (که این هسته به‌طورمعمول از کادمیوم، روی، تلوریم، سلنیوم، انیدیوم و آرسنیک تشکیل شده است) و اثرات سمی ایجاد کند، البته این امر ممکن است به دلیل تجزیه هسته به اجزای ساختاری‌اش نیز رخ بدهد[۱۷]. حتی خلوص شیمیایی ماده، عامل شیمیایی مهمی

است که باید در نظر گرفته شود، چراکه برخی از نانو مواد (نظیر نانولوله‌های کربنی و نانو ذرات فلزی) ممکن است دارای ناخالصی‌های فلزی ازجمله آهن، نیکل و کبالت باشند که از طریق غلبه بر رفتار نانوذره به دلیل اثر سمی، می‌تواند بر چگونگی واکنش و پاسخ بیولوژیکی اثر بگذارند[۱۸, ۱۹]. به‌عنوان‌مثال، وجود ذرات منگنز روی ذرات میکرونی دی‌اکسید تیتانیوم مورداستفاده در کرم‌های ضد آفتاب، باعث کاهش ایجاد رادیکال‌های آزاد می‌شود و درنتیجه ثبات نوری را در برابر اشعه ماورای بنفش با طول‌موج بلند (UVA) افزایش می‌دهد که در مقایسه با ذرات تیتانیومی فاقد منگنز، چنین تفاوتی چشمگیر است[۲۰]. درواقع ماهیت ذرات در میزان سمیت آن‌ها اثرگذار است. به‌عنوان‌مثال، نانو ذرات نقره با آزمایش‌های متعدد اندازه-گیری میزان سمیت، سمی‌تر از نانو ذرات اکسید مس بوده‌اند[۲۱]. نانو ذرات نقره سمیت بیشتری را برای جنین ماهی گورخری[1] در مقایسه با ذرات طلا با اندازه مشابه ایجاد می‌کنند[۲۲].

۱-۴ شیمی سطح

نانو ذرات مهندسی ساز به‌ویژه آن‌ها که کاربردهای زیستی – پزشکی دارند، اغلب به کمک روش-های خاص پوشش دهی می‌شوند تا از تشکیل توده‌ها و انباشته‌های این ذرات جلوگیری شود. نانو ذراتی که در سطح خود گروه‌های عاملی دارند، به طول معمول با مولکول‌های آلی پوشش دهی می‌شوند که دارای گروه‌های عاملی انتهایی با خاصیت آب‌دوستی (و در برخی مواقع سازگار با موجودات زنده) ازجمله گروه‌های –SH، -CN، -OH، -COOH و $-NH_2$ هستند که با پیوندهای کووالانسی با اتم‌های سطحی نانوذره پیوند دارند[۲۳]. این گروه‌های عاملی سطحی می‌توانند نانو ذرات غیرمحلول یا ناپایدار را به موادی بسیار محلول در آب تبدیل کنند که ایجاد چنین خاصیتی بستگی به کاربرد ویژه آن نانوذره دارد. پاسخ اثر

[1] *Zebrafish*

سمی سلول به نانولوله-های کربنی در سلول‌های کشت‌شده در محیط‌های کشت آزمایشگاهی، بستگی کامل به گروه‌های عاملی سطحی این نوع نانو ذرات دارد[۲۴, ۲۵].

نانو ذرات تک لایه و اصلاح‌شده آب‌دوست و آب‌گریز طلا برای بررسی جذب، توزیع و سمیت در ماهی مدیکا موردبررسی قرار گرفتند .نتایج حاکی از آن بود که ذرات آب‌دوست در روده‌های ماهی وجود داشتند اما هیچ اثر سلامتی واضحی مشاهده نشد درحالی‌که ذرات آب‌گریز در اعضای مختلف بدن ماهی پخش‌شده بودند که .باعث مرگ ماهی در کمتر از ۲۴ ساعت شدند[۲۶].

دست‌کاری و ایجاد تغییر در سطح کوارتز، بر خاصیت ایجاد اثر سمی سلولی، التهاب زایی و ایجاد فیبروز سیلیکا و آسیب DNA در سلول‌های مخاطی بافت ریه اثر می‌گذارد[۲۷]. بنابراین باید از پوشش دهی و طبیعت شیمیایی سطح یک نانوذره قبل از شروع آزمایش‌ها و پژوهش‌ها اطلاع داشت[۲۸].

۱-۵ بار الکتریکی سطح

نانو ذرات هنگامی‌که در محیطی مایع پخش می‌شوند، ممکن است روی سطح خود بار الکتریکی داشته باشند. این بار الکتریکی می‌تواند وابسته به طبیعت ذره و محیط دربرگیرنده آن باشد[۲۹]. اندازه و بار الکتریکی سطحی از عوامل اصلی و مؤثر بر انتشار نانو ذرات در محیط‌های واسط هستند. بررسی‌ها نشان داده است که بار الکتریکی سطحی بر پاسخ زیستی در برابر نانو ذرات اثر دارد و به‌عبارت‌دیگر می‌تواند بر فرآیندهای زیستی ازجمله فاگوسیتوز[۱]، اثر سمی در ژن و ایجاد التهاب اثر بگذارد[۳۰]. زنجیره نانو ذرات طلا با زنجیره گروه عامل کاتیون، دارای سمیت بار متوسط بوده درحالی‌که نانو ذرات طلا با زنجیره گروه عامل آنیونی غیر سمی می‌باشند[۳۱].

[۱] بلعیدن جسم خارجی توسط گلبول سفید

بار سطحی نانو ذرات عاملی است که می‌تواند بر انتخاب چگونگی تجویز و ورود ماده به بدن یا سلول اثر بگذارد و چه‌بسا در چگونگی انتشار در اندام‌های بدن، مکانیزم‌های جذب سلولی و اثر سمی در سلول مؤثر واقع شود. بار الکتریکی نانوذره در موش‌ها باعث تغییر یکپارچگی سد خونی – مغزی پس از رؤیایی با نانو ذرات امولسیون چربی شده است که در آن نانو ذرات به کمک پیش ماده میکرو امولسیون روغن در آب و در حضور یک سطح دهنده (سورفکتانت) تهیه شدند[۳۲]. کاهش بار سطحی، باعث کاهش اثر سمی دندریمرهای پلی آمینو دی آمین با سر انتهایی آمین شده است که برای دارورسانی هوشمند مورداستفاده قرار می‌گیرند[۳۳].

۱-۶ انباشتگی نانو ذرات

نانو ذرات توانایی متراکم شدن در محلول‌ها را دارند. میزان تراکم و تجمع نانو ذرات به‌اندازه، شکل، غلظت، بار الکتریکی، دما و نوع نانوذره بستگی دارد .نانو ذرات تجمیع شده بیشتر به دلیل تغییرات در ویژگی‌های مربوط به سطحشان، رفتار متفاوتی نسبت به ذرات پراکنده و منفرد دارند. بنابراین نحوه تعامل آن-ها با سلول‌ها و تمایل آن‌ها در جذب پروتئین تحت تأثیر قرار می‌گیرد .تجمع تا حد زیادی بر جذب سلولی تأثیر می‌گذارد و نتیجتاً بر .میزان سمیت آن‌ها نیز اثر می‌گذارد[۳۴]. جذب سلولی نانو ذرات طلا پوشش داده‌شده توسط سلول‌های HeLa و A 549 پس از تجمع و متراکم شدن نانو ذرات طلا تا ۲۵ درصد کاهش یافت اما در مورد سلول‌های MDA-MB 435 جذب سلولی این نانو ذرات دو برابر شد[۳۵].

برخی نشانه‌ها ثابت می‌کنند که نوع و میزان انباشتگی نانو ذرات می‌تواند بر استرس اکسیداتیو و ایجاد التهاب حاصل از آن‌ها اثر بگذارد[۳۶]. بنابراین میزان انباشتگی را باید به هنگام تعیین مشخصات نانو مواد در نظر گرفت.

۱-۷ فاکتورهای محیطی مؤثر بر سمیت نانو ذرات

عوامل زیست‌محیطی می‌توانند در سمیت نانو ذرات نقش داشته باشند. شرایط آب و هوایی مانند رطوبت، دما، سرعت جریان باد، ارتفاع جغرافیایی و ماهیت نور می‌توانند بر ویژگی‌های خاصی از نانو ذرات که باعث سمیت آن‌ها می‌شوند، تأثیر بگذارند. در دماهای بالاتر، نانو ذرات می‌توانند با سرعت بالاتری نسبت به دماهای پایین‌تر یا معمولی پراکنده شوند. کاملاً مشخص‌شده است که نانو ذرات در نورهای مختلف مانند نور مرئی و فرابنفش رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. سرعت باد می‌تواند در نفوذ این ذرات بسیار ریز در بافت‌های گیاهی و جانوری نقش داشته باشد. برخی از بیماری‌ها در یک محل جغرافیایی خاص میزان بروز بالایی دارند و در مورد سمیت نانو ذرات نیز می‌توان چنین رفتاری را انتظار داشت.

۲- مسیرهای متداول مواجهه نانو ذرات با انسان و مکانیزم‌های آن

مواجهه بدن انسان و محیط‌زیست در برابر نانو ذرات از طریق مکانیزم‌های مختلفی صورت می‌گیرد. مواجهه اولیه شغلی در مورد کارکنان شامل مهندسین، دانشمندان و تکنسین‌ها در طی دوره سنتز در مقیاس پژوهش و تولید تجاری محصولاتی که بر پایه نانو ذرات هستند اتفاق می‌افتد. این‌گونه مواجهه‌ها معمولاً در حمل‌ونقل و انتقال مواد خام اولیه صورت می‌گیرد .از منابع دیگر مواجهه می‌توان به کار و عملیات بر روی مواد، بسته‌بندی و انتقال اشاره کرد. در مرحله بعد، خریداران نیز در حین استفاده و به‌کارگیری نانو ذرات در معرض خطر قرار می‌گیرند و ممکن است اثرات سمی و مضر زیادی بر آن‌ها داشته باشد. در اینجا جزئیات برخی از مکانیزم‌های مواجهه نانو ذرات با بدن انسان و اثرات سمی آن‌ها بحث می‌شود .ورود و ارتباط انسان با نانو ذرات از طریق نفوذ در غدد پوستی، ورود به سیستم تنفسی از طریق تنفس و ورود به سیستم گوارشی از طریق بلعیدن صورت می‌گیرد.

۲-۱ جذب از طریق پوست

تماس پوستی با نانو ذرات، می‌تواند آگاهانه باشد. از راه‌های تماس آگاهانه می‌توان به استفاده از لوازم‌آرایشی مانند کرم‌ها، لوسیون‌ها، و کرم های ضد آفتاب حاوی نانو ذرات TiO_2 و ZnO اشاره کرد. خصوصیات ضد باکتریال نانو ذرات نقره، این ذرات را به یکی از پرکاربردترین ترکیبات نانو در تولید محصولات پوستی تبدیل کرده است .گزارش شده است که سمیت نانو ذرات نقره باعث ایجاد فشار اکسیداتیو می‌شود و از فعالیت میتوکندری جلوگیری کرده و ایجاد اپوپتوزیس و مرگ سلولی می‌شود[۳۷].

از راه‌های تماس تصادفی می‌توان به مراحل ساخت نانو ذرات، احتراق و یا دفع محصولاتی که بر پایه نانو ذرات ساخته می‌شوند اشاره کرد. از دیگر منابع تصادفی مواجهه انسان و محیط با نانو ذرات می‌توان به انتشار از طریق اگزوز وسایل نقلیه و تجهیزاتی که با گاز طبیعی کار می‌کنند اشاره نمود. ذرات قابل‌حل در چربی که می‌توانند از طریق مکانیزم چربی بین سلولی و سلول‌های استراتوکورنیوم نفوذ کنند، مسیرهای سلول‌های ترانس سلولار ، فولیکول مو و مجاری عروق ازجمله مکانیسم‌های نفوذ نانو ذرات در پوست می‌باشند. نگرانی‌های موجود درزمینهٔ نگرانی‌های موجود درزمینهٔ نفوذ نانو ذرات از طریق پوست و اثرات سمی ایجادشده توسط آن‌ها، ازجمله موضوعات چالش بین پژوهشگران و دانشمندان است. ازجمله این نگرانی‌ها می‌توان به سمیت برای سلول‌های پوست در حین تجمع در پوست برای مدت‌زمان طولانی، متابولیسم با پتانسیل سمیت بالا و فعالیت نوری نانو ذرات اشاره کرد[۳۸].

بسیاری از نانو امولسیون‌ها قابلیت نفوذپذیری بالایی داشته و ترکیبات فعال آن‌ها به لایه‌های عمیق‌تر پوست نفوذ می‌کنند. زمانی که این ذرات راهی برای ورود به پوست پیدا کنند، به شکل‌های مختلف سمیت خود را می‌توانند نشان دهند. ممکن است حساسیت‌زا یا محرک باشند و یا ممکن است بخش‌های سلولی یا

زیر سلولی بدن را مورد صدمه قرار دهند، همچنین ممکن است واکنش‌های شیمیایی را ایجاد کنند که باعث اکسیداسیون ترکیبات موجود در بدن انسان شوند. ذراتی که اندازه ۱۰۰۰ نانومتر یا کوچک‌تر دارند می‌توانند از طریق پوست یک شخص نرمال نفوذ کنند و این موضوع موردتوافق پژوهشگران است. اما متأسفانه تاکنون هیچ‌یک از تولیدکنندگان این محصولات، این خاصیت نفوذپذیری را مطرح نکرده‌اند. علت نیز عدم بررسی این ذرات از این زاویه دید است. این امر به تولید و ذخیره این ترکیبات می‌انجامد درحالی‌که میزان سمیت و تأثیرات بلندمدت آن‌ها به‌درستی بررسی نشده است. لذا ضرورت آزمایش‌های بلندمدت و آزمایش‌های حیوانی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

۲-۲ نفوذ از طریق تنفس

نانو ذرات می‌توانند از طریق تنفس، وارد عمق ریه‌ها شوند و با اپی تلیوم تماس داشته باشند. این امر می‌تواند التهاب و اثرات مزمنی را بانفوذ به بافت ریه ایجاد کند و نهایتاً ممکن است به غدد لنفاوی نیز نفوذ کند[۳۹]. اثرات تنفسی نانو ذرات بر ریه‌ها به عواملی نظیر غلظت آن‌ها، ترسیب در ریه‌ها، ابعاد ذرات، مقاومت ذرات و مکانیسم مقاومت و پاک‌سازی سلول‌ها، بستگی دارد[۴۰]. بخش فراوانی از این ذرات در منطقه تبادل گاز و ساختارهای اپی تلیال راه‌های هوایی قرار دارند. از طریق تنفس مداوم ذرات غیرقابل‌حل و غیرقابل تجزیه که ماندگاری بیشتری در ریه‌ها دارند تجمع می‌یابند. نانو ذرات قابل‌حل و تجزیه از آلوئل‌ها به قسمت بلع منتقل‌شده، بلعیده‌شده و هضم می‌شوند و نهایتاً از بدن انسان دفع می‌شوند. ازآنجاکه سرعت جابجایی پایین است، فقط حدود یک‌سوم این ذرات از طریق این مکانیسم پاک‌سازی می‌شوند. ذرات باقی‌مانده اثرات پاتوژنیک بیشتری داشته مگر اینکه از بین روند یا تجزیه شوند.

نانو ذرات می‌توانند باعث تحریک و آسیب به بینی نیز شوند. در این مواقع زمانی که سلول‌های اپی تلیال بینی در معرض قرار می‌گیرند، ممکن است آسیب‌دیده و غشاهای موکوس نیز ممکن است تخریب شوند. قدرت

حس بویایی و مرطوب نگه‌داشتن کاهش می‌یابد و این اثرات با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات برجسته‌تر می‌شوند.

مطالعات مرتبط به مکانیسم انتقال نانو ذرات در ارگان‌های بدن بسیار محدود بوده و در حال حاضر یک موضوع چالش‌برانگیز است. در یک مطالعه انتقال سریع بیشتر از ۵۱ درصد نانو ذرات کربن (۱۳ با اندازه ۲۶ نانومتر) به سمت کبد پس از ۲۴ ساعت تنفس در موش‌ها مشاهده شد[۴۱]. در مطالعه‌ای دیگر، جابجایی تنها کمتر از۱ درصد نانو ذرات ایریدیوم (با اندازه ۱۵ تا ۲۱ نانومتر) به سیستم گردش خون موش‌ها مشاهده شد. اما میزان اندک واردشده به خون نه‌تنها به کبد بلکه به اندام‌های دیگر نظیر کلیه، طحال، قلب و مغز نیز منتقل شد[۴۲]. جذب سریع ۳ تا ۵ درصدی نانو ذرات بر پایه کربن در عرض یک دقیقه مواجهه و ورود به جریان خون و متعاقب آن جذب توسط کبد نیز گزارش‌شده است[۴۳].

۲-۳ بلعیدن

بلعیدن نانو ذرات از راه‌های اصلی ورد آن‌ها به بدن انسان است. نانو ذرات به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در محصولات غذایی و دارویی بکار گرفته می‌شوند و می‌توانند از طریق دهانی بلعیده شوند و جذب دستگاه گوارش شده و ازآنجا وارد سلول‌های لنفاوی شوند[۴۴]. عوامل بسیاری ازجمله اندازه ذرات، شکل هندسی ذرات، بار سطحی، نوع لیگاند و قابلیت اتصال به لیگاند در کنترل جذب نانو ذرات در سیستم گوارشی نقش دارند[۴۵]. نانو ذرات بلعیده‌شده با توجه به ماهیتشان اگر ناپایدار باشند دفع می‌شوند و یا توسط تغییرات فیزیکی یا شیمیایی به‌هم‌پیوسته شده و بزرگ‌شده و باعث انسداد دستگاه گوارش و مرگ می‌شوند[۴۶].

نانو ذرات وقتی وارد گردش خون کبدی می‌شوند ممکن است رفتار متفاوتی از خود نشان دهند. آن‌ها می‌توانند هپاتوکسیک باشند یا در مجاری صفراوی و مجاری پانکراس رسوب‌کرده و باعث انسداد و یا

فیبروزیس تدریجی شوند. آن‌ها ممکن است باعث تغییر نفوذپذیری سیستم گوارشی و ایجاد زخم، ضعیف شدن سلول‌های اپی تلیال، ایجاد سوء جذب مواد و یا در موارد حاد ممکن است باعث خونریزی مزمن شوند.

۴- کنترل مواجهه با نانو ذرات

نانو ذرات مهندسی ساز، روزبه‌روز در مقیاس گسترده‌ای از کاربردهای الکترونیک، دارویی، صنایع خودروسازی، هوا- فضا و دیگر محصولات به کار گرفته می‌شوند. در کار با نانو ذرات در طول چرخه زندگی‌شان، رویارویی‌های تنفسی، پوستی و حتی خوراکی در افراد و در مواردی در محیط‌زیست منجر به ایجاد اثرات نامطلوب می‌شود. این مواجهه‌ها ممکن است دربردارنده گستره گوناگونی از نانو ذرات با اندازه‌ها، شکل‌ها، عملکردها و غلظت باشد. میزان تکرار و طول زمان مواجهه نیز در شرایط مختلف متفاوت است. پیش‌بینی، شناسایی، ارزشیابی و کنترل این مواجهه در حفظ سلامتی محققان، کارگران خط تولید، کاربران و اعضای جامعه حائز اهمیت است.

در نظر گرفتن محدوده و میزان سمیت در مورد این ذرات به دلیل عدم وجود مطالعات کافی در این زمینه نیازمند مطالعات بیشتر و جامع‌تر است .بااین‌وجود برخی از استراتژی‌های عمومی برای کنترل خطرات مواجهه با نانو ذرات وجود دارد .مطالعه‌ای جهت ارزیابی نانو ذرات موجود در هوا طی آماده‌سازی ترکیبات نانو انجام شد، نتایج نشان داد که خطرات نانو ذرات به جریان هوا، تهویه، روش و نوع تغذیه، ویژگی‌ها و ماهیت ذرات بستگی دارد[۴۷]. در یک مطالعه دیگر گزارش شده است که میزان TiO_2 و نانو ذرات دوده کربن را می‌توان با استفاده از سیستم تهویه و ماسک محافظتی N95 کاهش داد[۴۸]. استفاده از سیستم تهویه مکانی در محل، تجهیزات، دستگاه‌ها و سیستم تهویه عمومی می‌تواند در کاهش ذرات موجود در هوا مؤثر باشد. ایزوله کردن منابع تولیدکننده ذرات نیز می‌تواند در کاهش مواجهه مؤثر باشد. علاوه بر آن، کاهش تعداد کارگران و به‌کارگیری سامانه‌های تولید خودکار نیز می‌تواند میزان مواجهه را کاهش دهد. استفاده از ابزار

حفاظتی مانند دستکش، ماسک و پوشش کامل قسمت‌های مختلف بدن نیز می‌تواند به طرز قابل‌توجهی میزان مواجهه را کاهش دهد. پاک‌سازی مرتب محل کار، دیوارها، ابزارآلات، تجهیزات و سایر تعلقات نیز یک شیوه برای کاهش مواجهه با نانو ذرات است. از خوردن و آشامیدن در محل کار جهت پیشگیری از تنفس چنین ذرات سمی باید اجتناب شود. در یک مطالعه، استفاده از دستکش جهت پیشگیری از تماس با نانو ذرات پیشنهاد شده است[۴۸]. علاوه بر تمام اقدامات پیشگیرانه، آزمایش‌های دوره‌ای کارگران نیز باید به‌طور مستمر انجام شود. به دلیل اندازه بسیار کوچک، نانو ذرات در مقایسه با سایر مواد قدرت نفوذ بالایی دارند. لذا در محل‌های کار باید سامانه‌هایی نظیر آزمایشگاه‌های پیشرفته که با کارایی بالا گازها و آئروسل‌های موجود در محیط آزمایشگاه را کنترل می‌کنند، نصب گردد.کاربرد فیلترها در آزمایشگاه‌ها می‌تواند مفید باشد. این فیلترها باید قادر به پاک‌سازی محیط کار قبل از شروع نوبت بعدی کار باشند. ابزار حفاظت فردی نیز می‌توانند باعث کاهش یا حذف نانو ذرات از جریان هوای تنفسی شوند. به‌طور مشابه، کاهش ساعات کاری در مورد چنین مشاغلی که با نانو ذرات سروکار دارند نیز می‌تواند مفید واقع شود. چنین راهبردهایی را می‌توان به‌منظور پیشگیری از تماس‌های پوستی و مواجهه دهانی نیز به کار گرفت.

دستگاه‌های مورداستفاده جهت اندازه‌گیری نانو ذرات موجود در هوا بر اساس اصول متفاوتی کار می‌کنند و گونه‌های مختلفی از آشکارسازها (دتکتورها) را به کار می‌گیرند. ابزارهایی که عملیات جمع‌آوری ذرات را بر اساس زمان یا اندازه ذرات انجام می‌دهند بر پایه خصوصیات نوری یا شاخص‌های الکتریکی جابجایی کار می‌کنند. این‌گونه ابزارها، تمامی ذرات را کروی و یا معادل آن در نظر می‌گیرند که در محیط‌های کاری این‌گونه نمی‌تواند باشد[۴۹]. دستگاه اندازه‌گیری OPS[1] بر اساس اندازه‌گیری نور تشعشع شده از این ذرات کار می‌کند. شرط لازم برای آشکارسازهای نوری این است که اندازه ذره نباید کوچک‌تر از نصف

[1] *Optical particle sizer*

طول‌موج نور باشد. لذا این آشکارسازها توانایی اندازه‌گیری ذرات با اندازه کوچک‌تر از ۲۱۱ نانومتر را ندارند و ممکن است خطاهایی در اندازه‌گیری ذرات رخ دهد. این محدودیت را می‌توان با استفاده از شمارشگر متراکم کننده ذرات (CPC[1]) که در آن ذرات با استفاده از ماده‌ای نظیر آب یا الکل به حدی متراکم می‌شوند که بتوان به‌راحتی آن‌ها را با نور چشمی تشخیص داد برطرف نمود. CPCها می‌توانند ذرات را در محدوده اندازه‌ای بین ۲/۵ نانومتر تا ۱۰ میکرون پوشش دهند و اندازه بگیرند.

دستگاه اندازه‌گیری ذرات با خاصیت اسکن جابجایی (SPMS[2]) بر اساس خاصیت جابجایی الکتریکی ذرات کار می‌کند. ذرات باردار می‌شوند و از داخل یک آنالیزور متحرک عبور می‌کنند و در معرض ولتاژهای مختلف قرار می‌گیرند. ذرات بر اساس جابجایی الکتریکی‌شان جدا و سپس شمرده می‌شوند. جابجایی الکتریکی رابطه مستقیمی با نسبت بار به‌اندازه دارد. برای ذرات با بار مشابه، جابجایی الکتریکی برای ذرات با اندازه کوچک‌تر بیشتر است. زمان تفکیک سازی در SMPS در محدوده زمانی ۳ تا ۵ دقیقه است اما در شرایط واقعی، توزیع اندازه نانو ذرات ممکن است در مقیاس زمانی چند ثانیه تغییر کند. بنابراین وسایل بازمان تفکیک پایین‌تر می‌توانند اندازه‌گیری تغییرات سریع در توزیع اندازه ذرات را انجام دهند. دستگاه اندازه‌گیری ذرات با جابجایی سریع FMPS می‌تواند ذرات را در رنج اندازه‌ای ۵/۶ تا ۵۶۰ نانومتر بازمان تفکیک سازی ۱ ثانیه اندازه‌گیری کند. همانند SMPS، FMPS[3] نیز بر اساس خاصیت جابجایی الکتریکی ذرات را اندازه‌گیری می‌کند. این‌گونه دستگاه‌ها در مطالعات ارزیابی سمیت، پایش هوای داخل ساختمان‌ها و پژوهش‌های محیطی مورداستفاده قرار می‌گیرند. آزمایش‌هایی برای مقایسه عملکرد SMPS و FMPSدر اندازه‌گیری غلظت و تعداد ذرات در مورد ذرات موجود در هوای آزاد و ذرات تولیدشده در

[1] *Condensation particle counter*
[2] *Scanning mobility particle sizer*
[3] *Fast mobility particle sizer*

آزمایشگاه‌ها انجام شده است و نتایج نشان داد که غلظت اندازه‌گیری شده در مورد FMPS به‌طور فراوانی بیشتر بود[۵۰]. علی‌رغم اینکه FMPS اندازه‌گیری‌های سریع‌تری را انجام می‌دهد و غلظت و تعداد بالاتری از ذرات را می‌تواند اندازه‌گیری کند اما برخی از گزارش‌ها نشان می‌دهند که اندازه ذرات را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند[۵۱].

ایمپکتور(برخورددهنده) الکتریکی با فشار پایین (ELPI[1]) عکس‌العمل سریع‌تری را با زمان تفکیک ۰/۱ ثانیه انجام می‌دهد و ذرات با محدوده اندازه‌ای ۶ نانومتر تا ۱۱ میکرون را جهت اندازه‌گیری، پوشش می‌دهد. سپس وارد یک قسمت آبشاری با فشار پایین شده و بر اساس قطر آئرودینامیکی خود در بخش‌های مختلف ایمپکتور جمع می‌شوند.

سیگنال‌های الکتریکی تولیدشده نشانگر غلظت و اندازه ذرات است. این روش، مناسب‌ترین شیوه برای اندازه‌گیری ذرات با توزیع غیر پایدار غلظت و اندازه است. کاربردهای اصلی شامل اندازه‌گیری ذرات در خروجی موتور، پایش کیفیت هوای داخل و خارج ساختمان‌ها و ذرات حاصل از فرآیند سوختن و احتراق است.محدودیت اصلی از این واقعیت نشئت می‌گیرد که ذرات وقتی به یک ناحیه با فشار کم از طریق یک روزنه کوچک وارد می‌شوند، دوباره از هم جدا و پخش می‌شوند[۵۲].

این امر می‌تواند سطح‌فعال بخش وسیعی از ذرات را تغییر دهد و در اندازه‌گیری‌ها خطا ایجاد کند. علاوه بر آن، تجهیزاتی که بر اساس انتشار بار کار می‌کنند نیز برای اندازه‌گیری غلظت مساحت سطحی ذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰۰ نانومتر استفاده می‌شوند.

علاوه بر تجهیزاتی که بر اساس زمان واقعی می‌توانند تعداد و غلظت ذرات را اندازه‌گیری نمایند برخی دستگاه‌ها نیز می‌توانند جرم نانو ذرات را در زمان واقعی اندازه‌گیری کنند. آنالیزور جرم ذرات آئروسلی

[1] *Electrical low-pressure impactor*

APMA[1]، ذرات را بر اساس نسبت جرم به بارشان اندازه‌گیری می‌کنند. چنین اندازه‌گیری‌هایی به‌اندازه یا شکل ذرات بستگی ندارد. میکروبالانس عنصری مخروطی نوسان دار TEOM[2] نیز جهت مقاصد مشابه به کار گرفته می‌شود.

در روش‌های آفلاین، نانو ذرات روی نمونه‌گیرهای فیلتری جمع شده و سپس از طریق آنالیز مورفولوژیکی یا شیمیایی موردبررسی قرار می‌گیرند. فیلترهای متنوعی را می‌توان برای نمونه‌گیری استفاده کرد اما گاهی اوقات روش، آنالیز نوع فیلتر را مشخص می‌کند.

پلی کربنات یا سیکلون وافر در میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM یا میکروسکوپ الکترونی عبوری TEMمورداستفاده قرار می‌گیرد. دشوار بودن آماده‌سازی نمونه، نگه‌داشتن نمونه‌ها در شرایط خلأ، گران‌قیمت بودن دستگاه و نیاز به نیروی انسانی ماهر استفاده از SEM و TEM را در مطالعات مربوط به‌مواجهه و کنترل ذرات با محدودیت روبرو می‌سازد.

ترسیب دهنده حرارتی برای ذرات با اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر مناسب است. در این روش یک سیم یا جسم کروی داغ بین دو صفحه قرار می‌گیرد. ذراتی که از میان صفحه سردتر و قسمت گرم شده عبور می‌کنند در سطح سردتر رسوب یافته و سپس از طریق هر روشی قابل آنالیز می‌باشند[۵۳]. به‌کارگیری ترسیب دهنده‌های حرارتی به دلیل میزان جریان و ظرفیت‌های پایین نمونه‌گیری، محدود است.

علی‌رغم تمامی پیشرفت‌های صورت گرفته در اندازه‌گیری آنلاین و آفلاین نانو ذرات و همچنین تکنیک‌های نمونه‌برداری، اندازه‌گیری میزان مواجهه و کنترل آن‌ها، معیار مشخصی جهت برقراری ارتباط و مقایسه روش‌های مختلف و نوع خاص نانو ذرات وجود ندارد.

[1] *Aerosol particle mass analyzer*
[2] *Tapered element oscillating microbalance*

۴- نتیجه‌گیری

نانو ذرات به خاطر ویژگی‌های خاصشان، به‌طور گسترده در محصولات استفاده می‌شوند. اما شواهد کافی وجود دارد که آن‌ها باعث ایجاد سمیت در انسان و حیات‌وحش می‌شوند. جذب سلولی این ذرات ممکن است، با تولید گونه‌های فعال اکسیژن باعث ایجاد سمیت سلولی شود. سمیت سلولی و سمیت ژنوم نانو ذرات توسط تعدادی از پژوهشگران موردمطالعه قرار گرفته است. خصوصیات خاص نانو ذرات موجب افزایش کاربرد آن‌ها در فرآیندهای خانگی و صنعتی و نتیجتاً افزایش سمیت آن‌ها در اثر افزایش سمیت نانو ذرات تحت تأثیر ویژگی‌هایی نظیر اندازه، شکل، ماهیت، شیمی سطح، بار محیط سنتز، زمان ذخیره، تجمع، ثبات، جابجایی و واکنش‌پذیری آن‌ها قرار می‌گیرد. تماس پوستی، تنفس و گوارش سه مسیر اصلی مواجهه و تماس انسان و حیات‌وحش با نانو ذرات است .تماس پوستی ممکن است از طریق روش‌های آگاهانه یا غیرآگاهانه صورت گیرد. لوازم‌آرایشی نانو محور به‌طور مستقیم روی پوست استفاده می‌شود و غالب‌ترین شیوه آگاهانه تماس با نانو ذرات به‌حساب می‌آید. علی‌رغم اینکه پوست یک مانع مؤثر در برابر نفوذ ذرات است اما غدد عرق و فولیکول‌ها مسیری را برای نفوذ ذرات فراهم می‌کنند. تنفس نیز مسیری را به ریه‌ها فراهم می‌کند که از این مسیر، ذرات به اعضای مختلف بدن منتقل می‌شوند. موضوع جابجایی از ریه‌ها به سایر اعضا موردبحث و شک و تردید بوده و چالش آمیز است. نانو ذرات در محصولات غذایی و داروها مستقیماً بلعیده‌شده و وارد سیستم گوارشی می‌شوند و با سلول‌های لنفاوی ارتباط برقرار می‌کنند. ذرات بلعیده‌شده بر اساس ماهیت آن‌ها دفع می‌شوند اما در صورت مسدود کردن دستگاه گوارشی توسط این ذرات ممکن است باعث مرگ شوند. شرایط زیست‌محیطی در تعیین سمیت نانو ذرات مهندسی‌شده مهم می‌باشند. کنترل مواجهه و تماس با نانو ذرات از طریق تجهیزات کنترلی و ابزار مهندسی در محیط کار امکان‌پذیر است. استفاده از ابزار حفاظت شخصی و چک کردن و معاینات دوره‌ای پزشکی مستمر نیز ممکن است از خطر

مواجهه با نانو ذرات بکاهد. مطالعات موجود درزمینهٔ سمیت نانو ذرات بسیار پراکنده بوده و ارزیابی‌های متعدد سمیت در مورد نانو ذرات مختلفی صورت پذیرفته است. نتیجه‌گیری قاطع در این مورد بر اساس مطالعات موجود امکان‌پذیر نیست. لذا روش‌های استاندارد جهت شناخت سمیت انواع مختلف نانو ذرات باید شکل گیرد و توسعه یابد.

مراجع

[1] Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., and Lai, D., 2005, Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. Particle and fibre toxicology. 1. 8.

[2] Brant, J., Lecoanet, H., Hotze, M., and Wiesner, M., 2005, Comparison of electrokinetic properties of colloidal fullerenes (n-C60) formed using two procedures. Environmental science & technology. 17. 6343-6351

[3] Masala, O. and Seshadri, R., 2004, Synthesis routes for large volumes of nanoparticles. Annu. Rev. Mater. Res. 41-81.

[4] Brayner, R., Ferrari-Iliou, R., Brivois, N., Djediat, S., Benedetti, M.F., and Fiévet, F., 2006, Toxicological impact studies based on Escherichia coli bacteria in ultrafine ZnO nanoparticles colloidal medium. Nano letters. 4. 866-870.

[5] Nel, A., Xia, T., Mädler, L., and Li, N., 2006, Toxic potential of materials at the nanolevel. science. 5761. 622-627.

[6] James, A., Stahlhofen, W., Rudolf, G., Egan, M., Nixon, W., Gehr, P., and Briant, J., 1991, The respiratory tract deposition model proposed by the ICRP task group. Radiation Protection Dosimetry. 1-3. 159-165.

[7] Gliga, A.R., Skoglund, S., Wallinder, I.O., Fadeel, B., and Karlsson, H.L., 2014, Size-dependent cytotoxicity of silver nanoparticles in human lung cells: the role of cellular uptake, agglomeration and Ag release. Particle and fibre toxicology. 1. 11.

[8] Carlson, C., Hussain, S.M., Schrand, A.M., K. Braydich-Stolle, L., Hess, K.L., Jones, R.L., and Schlager, J.J., 2008, Unique cellular interaction of silver nanoparticles: size-dependent generation of reactive oxygen species. The journal of physical chemistry B. 43. 13608-13619.

[9] Scown, T.M., Santos, E.M., Johnston, B.D., Gaiser, B., Baalousha, M., Mitov, S., Lead, J.R., Stone, V., Fernandes, T.F., and Jepson, M., 2010, Effects of aqueous exposure to silver nanoparticles of different sizes in rainbow trout. Toxicological Sciences. 2. 521-534.

[10] Pan, Y., Neuss, S., Leifert, A., Fischler, M., Wen, F., Simon, U., Schmid, G., Brandau, W., and Jahnen-Dechent, W., 2007, Size-dependent cytotoxicity of gold nanoparticles. Small. 11. 1941-1949.

[11] Clift, M.J., Rothen-Rutishauser, B., Brown, D.M., Duffin, R., Donaldson, K., Proudfoot, L., Guy, K., and Stone, V., 2008, The impact of different nanoparticle surface chemistry and size on uptake and toxicity in a murine macrophage cell line. Toxicology and applied pharmacology. 3. 418-427.

[12] Liu, R., Zhang, X., Pu, Y., Yin, L., Li, Y., Zhang, X., Liang, G., Li, X., and Zhang, J., 2010, Small-sized titanium dioxide nanoparticles mediate immune toxicity in rat pulmonary alveolar macrophages in vivo. Journal of nanoscience and nanotechnology. 8. 5161-5169.

[13] Radomski, A., Jurasz, P., Alonso-Escolano, D., Drews, M., Morandi, M., Malinski, T., and Radomski, M.W., 2005, Nanoparticle-induced platelet aggregation and vascular thrombosis. British journal of pharmacology. 6. 882-893.

[14] Jia, G., Wang, H., Yan, L., Wang, X., Pei, R., Yan, T., Zhao, Y., and Guo, X., 2005, Cytotoxicity of carbon nanomaterials: single-wall nanotube, multi-wall nanotube, and fullerene. Environmental science & technology. 5. 1378-1383.

[15] Hsiao, I.-L. and Huang, Y.-J., 2011, Effects of various physicochemical characteristics on the toxicities of ZnO and TiO2 nanoparticles toward human lung epithelial cells. Science of the Total Environment. 7. 1219-1228.

[16] Tarantola, M., Pietuch, A., Schneider, D., Rother, J., Sunnick, E., Rosman, C., Pierrat, S., Sönnichsen, C., Wegener, J., and Janshoff, A., 2011, Toxicity of gold-nanoparticles: synergistic effects of shape and surface functionalization on micromotility of epithelial cells. Nanotoxicology. 2. 254-268.

[17] Werth, J., Linsenbühler, M., Dammer, S., Farkas, Z., Hinrichsen, H., Wirth, K.-E., and Wolf, D., 2003, Agglomeration of charged nanopowders in suspensions. Powder Technology. 1-3. 106-112.

[18] Maynard, A.D., Baron, P.A., Foley, M., Shvedova, A.A., Kisin, E.R., and Castranova, V., 2004, Exposure to carbon nanotube material: aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 1. 87-107.

[19] Pulskamp, K., Diabaté, S., and Krug, H.F., 2007, Carbon nanotubes show no sign of acute toxicity but induce intracellular reactive oxygen species in dependence on contaminants. Toxicology letters. 1. 58-74.

[20] Wakefield, G., Lipscomb, S., Holland, E., and Knowland, J., 2004, The effects of manganese doping on UVA absorption and free radical generation of micronised titanium dioxide and its consequences for the photostability of UVA absorbing organic sunscreen components. Photochemical & Photobiological Sciences. 7. 648-652.

[21] Gaiser, B.K., Fernandes, T.F., Jepson, M.A., Lead, J.R., Tyler, C.R., Baalousha, M., Biswas, A., Britton, G.J., Cole, P.A., and Johnston, B.D., 2012, Interspecies comparisons on the uptake and toxicity of silver and cerium dioxide nanoparticles. Environmental toxicology and chemistry. 1. 144-154.

[22] Bar-Ilan, O., Albrecht, R.M., Fako, V.E., and Furgeson, D.Y., 2009, Toxicity assessments of multisized gold and silver nanoparticles in zebrafish embryos. Small. 16. 1897-1910.

[23] Dutta, J. and Hofmann, H., 2004, Self-organization of colloidal nanoparticles. Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology. 617-640.

[24] Sayes, C.M., Fortner, J.D., Guo, W., Lyon, D., Boyd, A.M., Ausman, K.D., Tao, Y.J., Sitharaman, B., Wilson, L.J., and Hughes, J.B., 2004, The differential cytotoxicity of water-soluble fullerenes. Nano letters. 10. 1881-1887.

[25] Sayes, C.M., Liang, F., Hudson, J.L., Mendez, J., Guo, W., Beach, J.M., Moore, V.C., Doyle, C.D., West, J.L., and Billups, W.E., 2006, Functionalization density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro. Toxicology letters. 2. 135-142.

[26] Zhu, Z.J., Carboni, R., Quercio, M.J., Yan, B., Miranda, O.R., Anderton, D.L., Arcaro, K.F., Rotello, V.M., and Vachet, R.W., 2010, Surface properties dictate uptake, distribution, excretion, and toxicity of nanoparticles in fish. Small. 20. 2261-2265.

[27] Knaapen, A.M., Albrecht, C., Becker, A., Höhr, D., Winzer, A., Haenen, G.R., Borm, P.J., and Schins, R.P., 2002, DNA damage in lung epithelial cells isolated from rats exposed to quartz: role of surface reactivity and neutrophilic inflammation. Carcinogenesis. 7. 1111-1120.

[28] Yin, H., Too, H., and Chow, G., 2005, The effects of particle size and surface coating on the cytotoxicity of nickel ferrite. Biomaterials. 29. 5818-5826.

[29] Eastman, J., 2009, Colloid stability. Colloid Science: Principles, Methods and Applications. 36-49.

[30] Schins, R.P., Duffin, R., Höhr, D., Knaapen, A.M., Shi, T., Weishaupt, C., Stone, V., Donaldson, K., and Borm, P.J., 2002, Surface modification of quartz inhibits toxicity, particle uptake, and oxidative DNA damage in human lung epithelial cells. Chemical research in toxicology. 9. 1166-1173.

[31] Goodman, C.M., McCusker, C.D., Yilmaz, T., and Rotello, V.M., 2004, Toxicity of gold nanoparticles functionalized with cationic and anionic side chains. Bioconjugate chemistry. 4. 897-900.

[32] Lockman, P.R., Koziara, J.M., Mumper, R.J., and Allen, D.D., 2004, Nanoparticle surface charges alter blood–brain barrier integrity and permeability. Journal of drug targeting. 9-10. 635-641.

[33] Malik, N., Wiwattanapatapee, R., Klopsch, R., Lorenz, K., Frey, H., Weener, J., Meijer, E., Paulus, W., and Duncan, R., 2000, Dendrimers:: Relationship between structure and biocompatibility in vitro, and preliminary studies on the biodistribution of 125I-labelled polyamidoamine dendrimers in vivo. Journal of Controlled Release. 1-2. 133-148.

[34] Skebo, J.E., Grabinski, C.M., Schrand, A.M., Schlager, J.J., and Hussain, S.M., 2007, Assessment of metal nanoparticle agglomeration, uptake, and interaction using high-illuminating system. International journal of toxicology. 2. 135-141.

[35] Albanese, A. and Chan, W.C., 2011, Effect of gold nanoparticle aggregation on cell uptake and toxicity. ACS nano. 7. 5478-5489.

[36] Duffin, R., Tran, C., Clouter, A., Brown, D., MacNee, W., Stone, V., and Donaldson, K., 2002, The importance of surface area and specific reactivity in the acute pulmonary inflammatory response to particles. Annals of Occupational Hygiene. suppl_1. 242-245.

[37] Foldbjerg, R., Olesen, P., Hougaard, M., Dang, D.A., Hoffmann, H.J., and Autrup, H., 2009, PVP-coated silver nanoparticles and silver ions induce reactive oxygen species, apoptosis and necrosis in THP-1 monocytes. Toxicology letters. 2. 156-162.

[38] Tsuji, J.S., Maynard, A.D., Howard, P.C., James, J.T., Lam, C.-w., Warheit, D.B., and Santamaria, A.B., 2005, Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part IV: risk assessment of nanoparticles. Toxicological sciences. 1. 42-50.

[39] Donaldson, K., Li, X., and MacNee, W., 1998, Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury. Journal of Aerosol Science. 5-6. 553-560.

[40] Borm, P.J. and Kreyling, W., 2004, Toxicological hazards of inhaled nanoparticles—potential implications for drug delivery. Journal of nanoscience and nanotechnology. 5. 521-531.

[41] Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Lunts, A., Kreyling, W., and Cox, C., 2002, Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. Journal of Toxicology and Environmental Health Part A. 20. 1531-1543.

[42] Kreyling, W., Semmler, M., Erbe, F., Mayer, P., Takenaka, S., Schulz, H., Oberdörster, G., and Ziesenis, A., 2002, Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low. Journal of Toxicology and Environmental Health Part A. 20. 1513-1530.

[43] Nemmar, A., Vanbilloen, H., Hoylaerts, M., Hoet, P., Verbruggen, A., and Nemery, B., 2001, Passage of intratracheally instilled ultrafine particles from the lung into the systemic circulation in hamster. American journal of respiratory and critical care medicine. 9. 1665-1668.

[44] Teow, Y., Asharani, P., Hande, M.P., and Valiyaveettil, S., 2011, Health impact and safety of engineered nanomaterials. Chemical communications. 25. 7025-7038.

[45] Hillyer, J.F. and Albrecht, R.M., 2001, Gastrointestinal persorption and tissue distribution of differently sized colloidal gold nanoparticles. Journal of pharmaceutical sciences. 12. 1927-1936.

[46] Wang, B., Feng, W., Wang, M., Wang, T., Gu, Y., Zhu, M., Ouyang, H., Shi, J., Zhang, F., and Zhao, Y., 2008, Acute toxicological impact of nano-and submicro-scaled zinc oxide powder on healthy adult mice. Journal of Nanoparticle Research. 2. 263-276.

[47] Tsai, C.S.-J., White, D., Rodriguez, H., Munoz, C.E., Huang, C.-Y., Tsai, C.-J., Barry, C., and Ellenbecker, M.J., 2012, Exposure assessment and engineering control strategies for airborne nanoparticles: an application to emissions from nanocomposite compounding processes. Journal of Nanoparticle Research. 7. 989.

[48] Ling, M.-P., Chio, C.-P., Chou, W.-C., Chen, W.-Y., Hsieh, N.-H., Lin, Y.-J., and Liao, C.-M., 2011, Assessing the potential exposure risk and control for airborne titanium dioxide and carbon black nanoparticles in the workplace. Environmental Science and Pollution Research. 6. 877-889.

[49] Kuhlbusch, T.A., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D., and Stintz, M., 2011, Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: a review. Particle and fibre toxicology. 1. 22.

[50] Jeong, C.-H. and Evans, G.J., 2009, Inter-comparison of a fast mobility particle sizer and a scanning mobility particle sizer incorporating an ultrafine water-based condensation particle counter. Aerosol Science and Technology. 4. 364-373.

[51] Lee, B.P., Li, Y.J., Flagan, R.C., Lo, C., and Chan, C.K., 2013, Sizing characterization of the fast-mobility particle sizer (FMPS) against SMPS and HR-ToF-AMS. Aerosol Science and Technology. 9. 1030-1037.

[52] Stahlmecke, B., Wagener, S., Asbach, C., Kaminski, H., Fissan, H., and Kuhlbusch, T.A., 2009, Investigation of airborne nanopowder agglomerate stability in an orifice under various differential pressure conditions. Journal of Nanoparticle Research. 7. 1625.

[53] Azong-Wara, N., Asbach, C., Stahlmecke, B., Fissan, H., Kaminski, H., Plitzko, S., and Kuhlbusch, T.A., 2009, Optimisation of a thermophoretic personal sampler for nanoparticle exposure studies. Journal of Nanoparticle Research. 7. 1611.

Influence of Nanotoxicity on Human Health and Environment

Author: **Somayeh Alijani**[1]

Abstract*: Nanotechnology continues to offer new materials and applications that will benefit society. But, recently the stunning developments in nanotechnology have been with issues regarding to their potential effect on human health and the environment. There are no particular regulations on nanoparticles apart from existing regulations covering the similar material in bulk form. To maturely develop nanotechnology, we must review, through appropriate metrics, new nanomaterials and nano-manufacturing processes and employ these findings to guide this promising industry. The use of nanomaterials to achieve the goals of green chemistry will provide new opportunity to build up superior products and processes with reduced impact on the environment and human health. The combination of these two emerging fields provides even superior opportunities for reducing the impact of new technologies on the environment and society.*

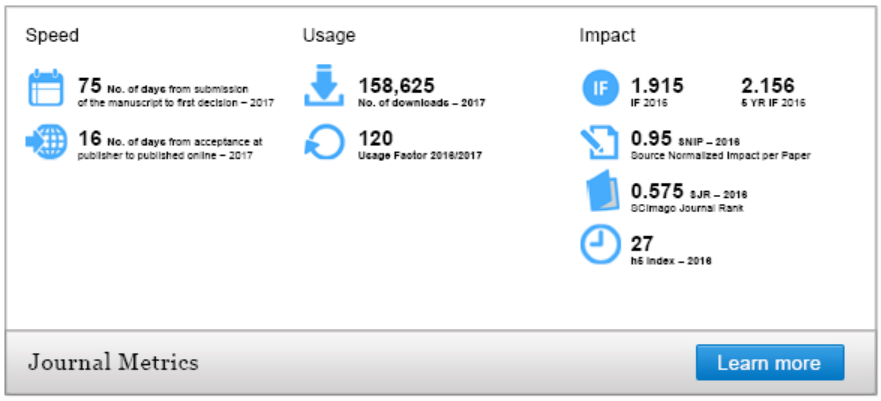
[1] *Energy and Environment Research Center, Niroo Research Institute. Salijani@nri.ac.ir*

گزارش و خبر

آشنایی با نشریه بین‌المللی علوم و تکنولوژی محیط‌زیست

International Journal of Environmental Science and Technology

نشریه بین‌المللی IJEST واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی بر اساس علم‌سنجی مرکز انتشارات بین‌المللی Springer ، یکی از نشریات مهم در رشته علوم محیط‌زیست معرفی شده است. این نشریه دارای قدمت ۱۴ ساله است به لحاظ شاخص تأثیر (Impact Factor) در رده اول کشور قرار گرفته است.



ارتقاء علمی این نشریه از جانب مرکز Thomson Reuters (ISI)نشان‌دهنده برتری و به استاندارد درآمدن این نشریه در مقیاس جهانی است، لذا این افتخاری بزرگ برای جامعه علمی کشور ایران محسوب می‌شود.

نشریه IJEST از سال ۲۰۰۴ به‌صورت فصلنامه چاپ می‌شود که در شماره‌های نخست آن ۱۰ مقاله در هر شماره چاپ می‌شد و به‌تدریج ۱۲، ۱۴، ۱۶ و هم‌اکنون به دلیل استقبال نویسندگان از سراسر دنیا به تعداد ۲۰ مقاله بالغ شده است. این نشریه از زمان انتشار نخستین شماره در اکثر پایگاه اطلاعات علمی دنیا نمایه شده که یکی از دلایل این امر، رعایت استانداردهای بین‌المللی از نخستین شماره نشریه و دیگری وجود بهترین متخصصین زیست‌محیطی دنیا در مسئولیت‌های مختلف این مجله در راستای هیئت تحریریه و هیئت مشاوران و داوران برجسته جهانی عنوان است. اعضاء هیئت تحریریه این نشریه به تعداد ۳۵ نفر هستند که بیش از ۸۰ درصد آن‌ها از میان متخصصین بین‌المللی برگزیده‌شده‌اند که در تخصص‌های ویژه خویش از میان برجسته‌ترین اعضاء هیئت‌علمی دانشگاه‌های جهان و در سطح اساتید بنام هستند.

برای آشنایی بیشتر با این نشریه می‌توان به وب‌سایت زیر مراجعه نمود.

https://www.springer.com/environment/journal/13762

پژوهش

نانو چارچوب‌های فلز-آلی و کاربرد آن در محیط‌زیست

نویسنده: پیمان پورمقدم [۱]

چکیده: چارچوب‌های فلز-آلی یک فناوری نوین با طیف گسترده‌ای از کاربردها به شمار می‌آید. در مطالعه حاضر، مروری بر پیشینه چارچوب‌های فلز-آلی و روش‌های سنتز این مواد انجام شده است و کاربردهای مرتبط با محیط‌زیست، انرژی، برق و نیروگاه این مواد بررسی شده است. این فناوری می‌تواند در تصفیه آلاینده‌های آبی، تصفیه آلاینده‌های دود دوکش نیروگاه‌ها، تصفیه هوا، تولید کاتالیست‌ها و فوتوکاتالیست‌های دوستدار محیط‌زیست، ساخت شناساگرها و آنالایزرهای آلاینده‌های زیست‌محیطی آب‌وهوا، تولید سوخت از CO_2، تولید H_2 از آب با استفاده از نور خورشید، جذب و ذخیره‌سازی H_2 و متان و بازیابی گرمای تلف‌شده در نیروگاه‌ها و صنایع و استفاده در باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی به کار گرفته شود.

کلیدواژه: چارچوب‌های فلز-آلی ، سنتز MOF ، محیط‌زیست، انرژی، نیروگاه

مقدمه

چهارچوب‌های فلزی-آلی یکی از جدیدترین انواع مواد نانو متخلخل بوده که در سال‌های اخیر موردتوجه محققان قرارگرفته است. این مواد دارای ساختار بلوری متشکل از مولکول‌های کاتیون مرکزی متصل شده با لینکرهای آلی به یکدیگر بوده و دارای یک ساختار فضایی سه‌بعدی هستند[۵].

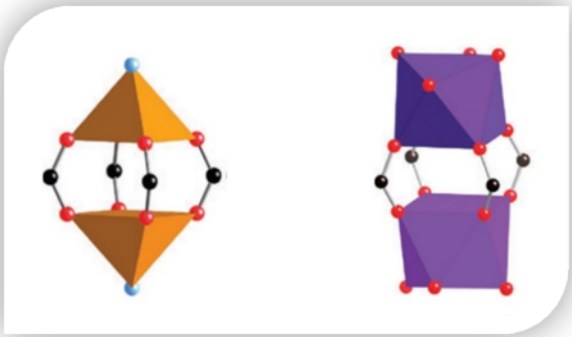
آنچه در طراحی شیمیایی مواد متخلخل موردتوجه محققین بوده است طراحی چیدمان و تجمع پیوندهای هیدروژنی و کئوردیناسیونی باهدف حصول خواص موردنظر محققین بوده که در دهه‌های قبل به آن پرداخته‌شده و ساخت محصولات متخلخل ارزشمندی نظیر زئولیت‌های آلومینیوم سیلیکات را منجر شده است [۱]. محدودیت‌های موجود در زئولیت‌های موجود منجر به طراحی مواد با ساختار غیر اکسیدی و با تخلخل ریز در سال‌های اخیر شده است. فضای داخلی این دسته از جامدات متخلخل می‌توانند قطبیت[۲]،

[۱] کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ppourmoghaddam@nri.ac.ir

[2] Polarity

موقعیت فضایی، عملکرد و واکنش‌پذیری کاملاً متفاوتی نسبت به زئولیت‌های آلومینیوم سیلیکات معمول داشته باشند[۲]. اخیراً توجه زیادی بر روی چهارچوب‌های فلزی-آلی[۱] انجام شده است. ساختارهای متخلخل جدید حاصل پژوهش‌هایی در اوایل دهه ۱۹۹۰ ، بخصوص به‌وسیله رابسون و هاسکینز است[۱]. این دانشمندان با ساخت چهارچوب‌های جامد به‌وسیله کئوردیناسیون لیگاندهای چنددندانه[۲] به فلزات ، چهارچوب‌هایی با فضایی ویژه را طراحی و ارائه نمودند. این ساختارها از پیوندهای کووالانسی خطی لیگاندهای چنددندانه و آرایش فضایی مولکول که توسط آرایش الکترونی و اندازه مرکز فلزی شکل می‌گیرد ناشی می‌شود[۱]. برای ایجاد شبکه گسترش‌یافته چهارچوب‌ها، از پیوندهای کئوردیناسیونی فلز- لیگاند و پیوندهایی بین مولکول‌های دهنده و پذیرنده[۳] پیوند هیدروژنی استفاده شده است. تنوع شبکه‌های گسترش یافته به‌دست‌آمده به این روش قابل توجه است. این چهارچوب‌ها به‌طور پیش‌فرض ساختارهای فضایی شبکه مانندی را ایجاد می‌کنند که از اتصال رأس‌ها به یکدیگر به دست می‌آید. جذابیت این روش در ایجاد حفرات بزرگ است. اگر اندازه نسبی رأس‌ها و فاصله‌اندازها[۴] به‌طور مناسبی تعیین شود از درهم تنیدگی شبکه‌ها و تخریب تخلخل اجتناب شده و به‌طور موفقیت‌آمیزی شبکه‌هایی تزیین‌شده به دست می‌آید. از سویی دیگر رأس‌ها می‌توانند یک کمپلکس فلزی مجزا نباشند، بلکه یک خوشه[۵] شامل دو یا چندین مرکز فلزی باشند. برای مثال دایمرهای دو هسته‌ای با چهار پل استات چرخ‌های پره دار[۶] و یا خوشه‌های کربوکسیلات Zn_4O از این دسته‌اند[۱].

[1] *Metal Organic Framework, MOF*
[2] *Multidendate Chelate*
[3] *Donor & Acceptor*
[4] *Nodes & Spacer*
[5] *Cluster*
[6] *Paddle Wheel*



شکل (۱)- چرخ‌های پره دار مربعی که در آن‌ها رنگ مشکی نشانگر اتم کربن، رنگ قرمز نشانگر اتم اکسیژن و فضای ارغوانی و طلایی‌رنگ نشانگر موقعیت قرارگیری فلز است[۲]

دلایلی که در تحقیقات MOFها را گزینه‌ای مناسب برای فرایند جداسازی عنوان کرده‌اند را می‌توان ۵ مورد زیر برشمرد[۳]:

۱- مساحت سطح بالا (تا حدود $۶۰۰۰ m^2/gr$)

۲- طبیعت کریستالی MOFها

۳- گستره وسیع از لیگاندهای آلی و روش‌های سنتز مختلف که امکان طراحی MOFها را فراهم خواهد کرد و امکان تسهیل بهینه کردن مشخصات موردنیاز از جاذب

۴- اثر فوق متراکم کنندگی MOF ها در برخی گازها نظیر H_2

۵- پتانسیل بالای فاکتورهای سینتیک جذب و واجذب MOFها در تسهیل فرایند جداسازی

۱-روش‌های سنتز *MOF*ها

روش تبخیر حلال : این روش به شرایط مناسبی نیاز دارد: الف) بلورها در محلول‌های اشباع‌شده رشد نمایند, ب) با افزایش دما انحلال‌پذیری افزایش‌یافته و بلورها می‌توانند در طی مرحله سرد شدن طاهر شوند.

روش نفوذ (انتشار): آمیختن سریع محلول حاوی یوهای فلزی و محلول شامل لیگاندهای پل دهنده، میکروبلورها را با اندازه‌ای در حدود میکرومتر تولید می‌کند. برای جلوگیری از ترسیب فرم‌های پودری

اغلب از روش نفوذ استفاده می‌شود. با نفوذ آهسته دو محلول ذکرشده تک‌بلورهای بزرگ مناسب برای آنالیز کریستالوگرافی اشعه ایکس به دست می‌آیند. وسایل متنوعی از قبیل سل‌های شیشه‌ای نوع افقی ، نوع H و نوع Y برای این‌گونه سنتزها ساخته شده‌اند[۳]. مهم‌ترین رکن این روش نفوذ آهسته به سمت لایه اتصال دو محیط متفاوت است.

روش هیدرو (سولو) ترمال: اساس این روش جمع شدن محصولات از محلول حاوی مواد تشکیل‌دهنده جسم جدید است. این روش در اصل برای سنتز زئولیت‌ها استفاده می‌شود اما آن را می‌توان برای سنتز MOFها نیز تطبیق داد. محدوده دمای موردنیاز ۲۶۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد درون اتوکلاو تحت فشاری است که به‌طور خودبه‌خودی به وجود می‌آید. در این روش سرعت سرد شدن در انتهای واکنش مؤلفه مهمی عنوان شده است. از مزایای این روش می‌توان به کنترل دقیق شکل، اندازه و ساختار محصول و تولید تک‌بلور برای شناسایی ترکیب اشاره نمود و از معایب آن می‌توان به زمان طولانی برای سنتز و عدم تولید MOFهای خالص به‌صورت بالک برای کاربردهای صنعتی را نام برد[۳].

واکنش ماکروویو و روش‌های التراسونیک: این روش‌ها تاکنون به‌طور گسترده برای تهیه بلورهای MOF استفاده نشده است، اما روش‌های خوبی برای انجام سنتز با سرعت‌بالا به شمار می‌روند. همچنین عنوان‌شده که دو روش فوق برای کنترل اندازه و شکل نهایی ذرات مناسب هستند[۳]. تابش ماکروویو به‌عنوان روش حرارت دادن جدید برای سنتزهای هیدروترمال ترکیبات معدنی یا آلی گسترش پیدا کرده است. مزایای این روش عبارت‌اند از زمان‌های تبلور کم، توزیع اندازه ذرات محدود، کنترل مورفولوژی آسان، انتخاب گری فاز و ارزیابی مؤثر پارامترهای فرایند.

روش اختلاط فیزیکی: روش اختلاط فیزیکی یا سنتز بدون حلال بنا به دلایلی قابل توجه است. برای مثال می‌تواند بینشی در مورد نقش مولکول‌های حلال در شکل‌گیری ساختارهای میکرو حفره در اختیار قرار دهد

و امکان دسترسی به فرایندهای تولید در مقیاس بزرگ سازگار با محیط‌زیست را فراهم می‌کند و حتی روش‌های مقدماتی در مقیاس آزمایشگاهی را آسان می‌کند. از مزایای این روش می‌توان به بازده محصول بیشتر، زمان کوتاه‌تر برای سنتز، عدم نیاز به حلال و یا حرارت دادن اضافی برای تولید محصول، کارایی بالاتر در استفاده از مواد اولیه مناسب و صرفه‌جویی در انرژی را نام برد، اما با استفاده از این روش نمی‌توان تک‌بلورهای مناسب جهت تعیین ساختار را به دست آورد[۳].

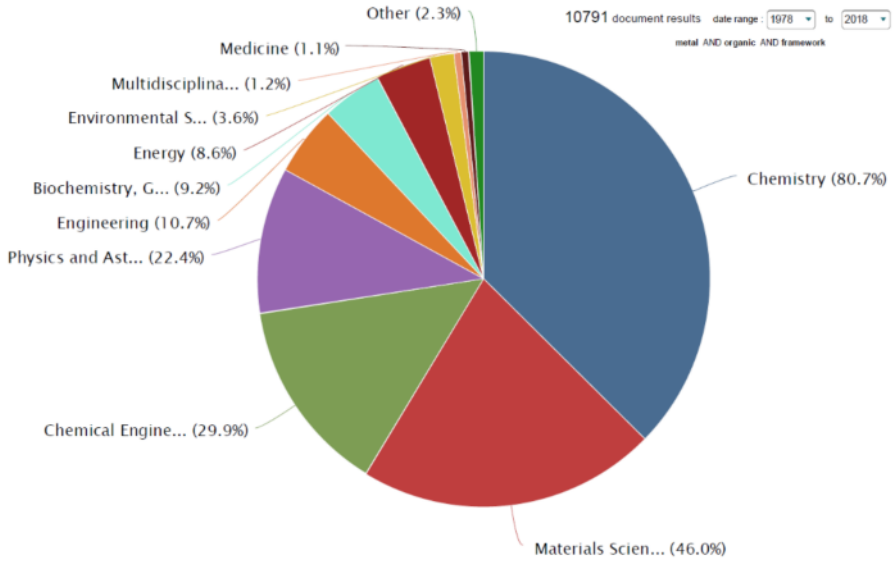
۲-پیشینه تحقیقات انجام شده درزمینهٔ MOFها

در طی چهار دهه گذشته تحقیقات زیادی درزمینهٔ MOFها انجام شده است به‌گونه‌ای که در بررسی انجام شده در سایت SCOPUS بیش از ۲۰۰۰۰ مقاله به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در آن‌ها MOFها به‌کاررفته و موردبررسی قرارگرفته‌اند. از این تعداد مقاله به‌طور خاص ۱۰۷۹۱ مقاله درزمینهٔ توسعه تحقیقات MOFها بوده است. شاخه‌های فناوری که در آن‌ها MOFها توسعه‌یافته‌اند به ترتیب تعداد مقاله شامل شیمی (۸۰/۷٪ از کل مقالات)، مواد (۴۶٪)، مهندسی شیمی (۲۹/۹٪)، فیزیک و نجوم (۲۲/۴٪)، مهندسی (۱۰/۷٪)، بیوشیمی (۹/۲٪)، انرژی (۸/۶٪)، محیط‌زیست(۳/۶ ٪)، علوم چند رشته‌ای[1] (۱/۲ ٪)، پزشکی(۱/۱ ٪)، و سایر علوم (۲/۳ ٪) بوده‌اند، شکل(۲).

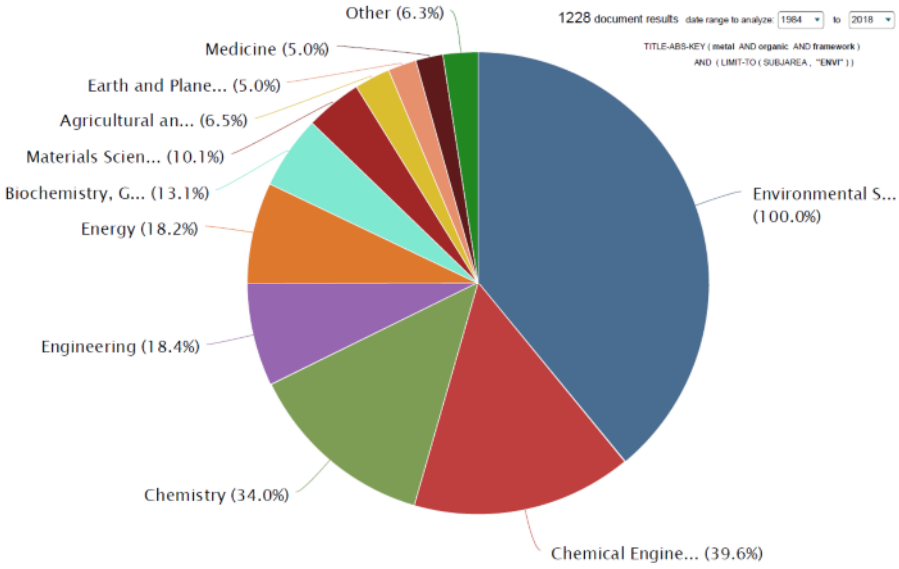
پیشینه تحقیقات انجام شده MOFها مرتبط با محیط‌زیست: طبق آنالیز سایت SCOPUS در محدوده سال‌های ۱۹۸۴ تا زمستان ۲۰۱۸ درمجموع ۱۲۲۸ مقاله زیست‌محیطی مرتبط با توسعه MOFها منتشر شده است و بیشترین رشد ارائه مقاله در محدوده سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ بوده است به‌گونه‌ای که تنها در سال ۲۰۱۷ بیش از ۲۶۰ مقاله درزمینهٔ توسعه MOFها در شاخه‌های مختلف محیط زیستی ارائه شده است. چین، آمریکا، کره جنوبی، انگلستان و فرانسه پنج کشور اول در ارائه مقالات این شاخه بوده‌اند. شاخه فناوری‌های

[1] *Multidisciplinary*

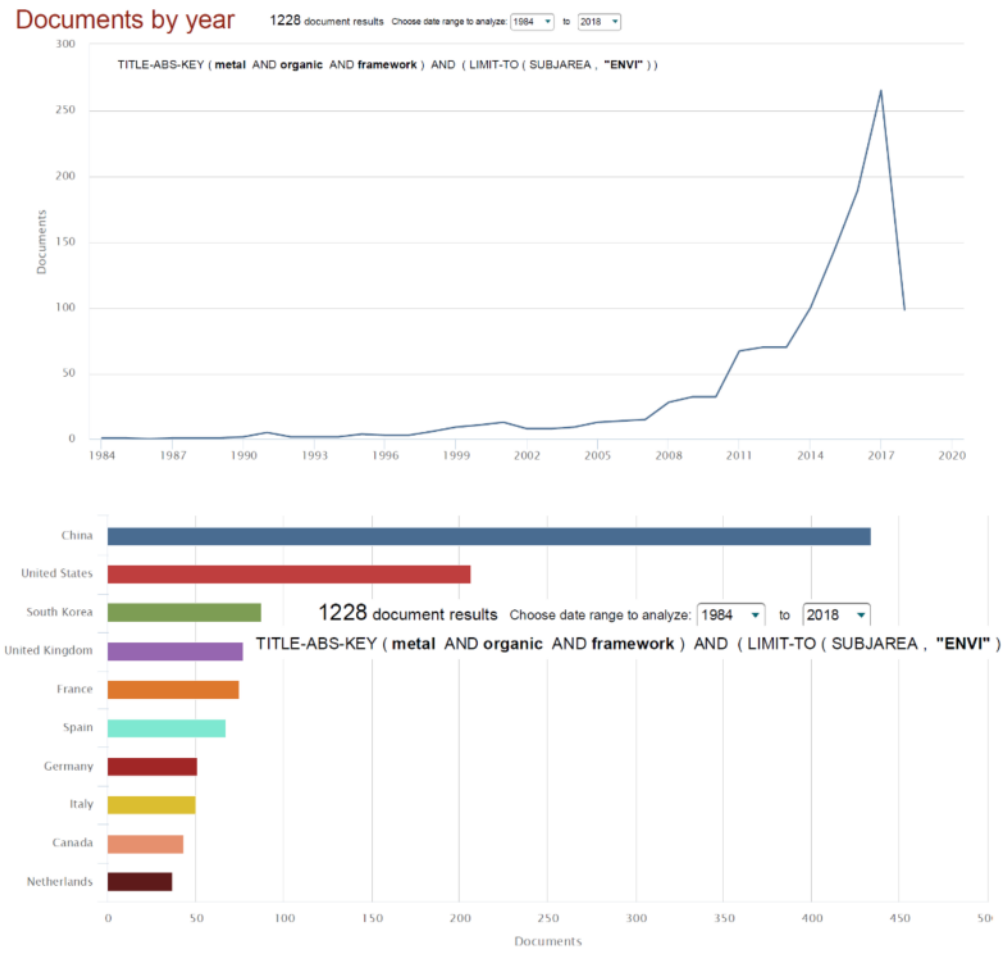
مهندسی شیمی، شیمی و انرژی نیز سه‌شاخه برتر بوده که با شاخه اصلی محیط‌زیست همپوشانی داشته‌اند، شکل (۳).



شکل (۲)- شاخه‌های مختلف فناوری که در آن‌ها MOFها توسعه‌یافته‌اند [۴]

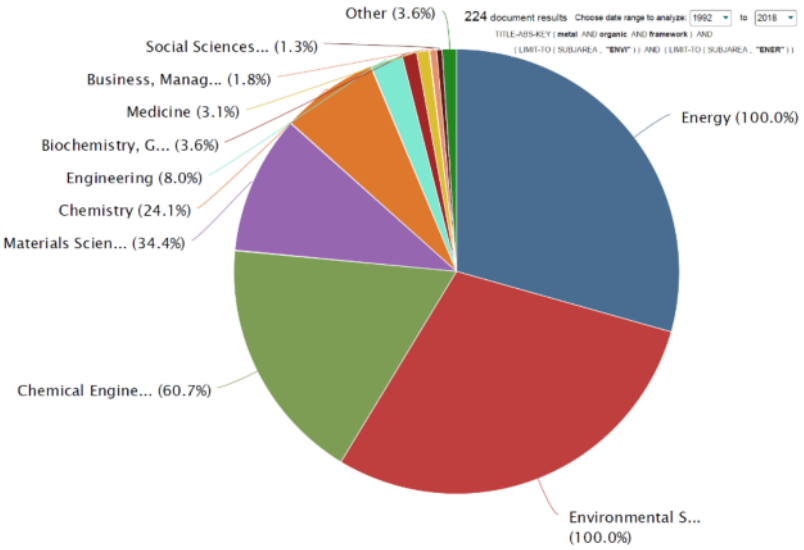


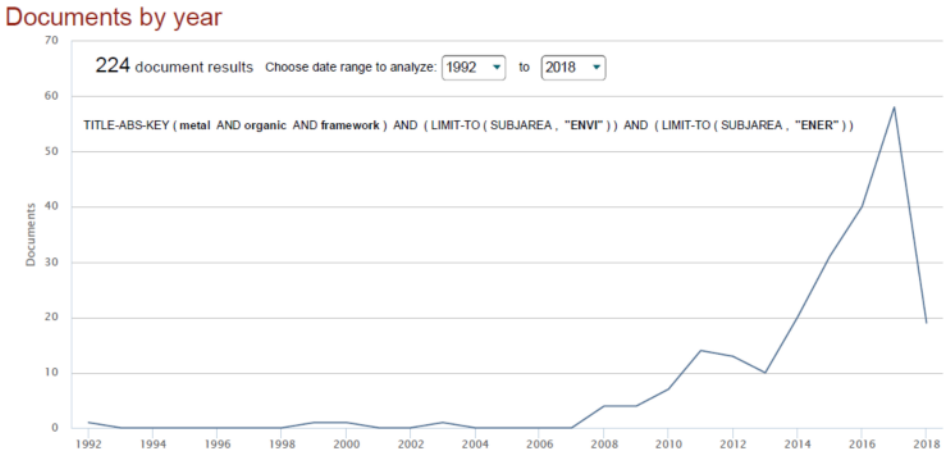
شکل (۳)- نتایج آنالیز سایت SCOPUS از تحقیقات MOF در شاخه محیط‌زیست [۴]

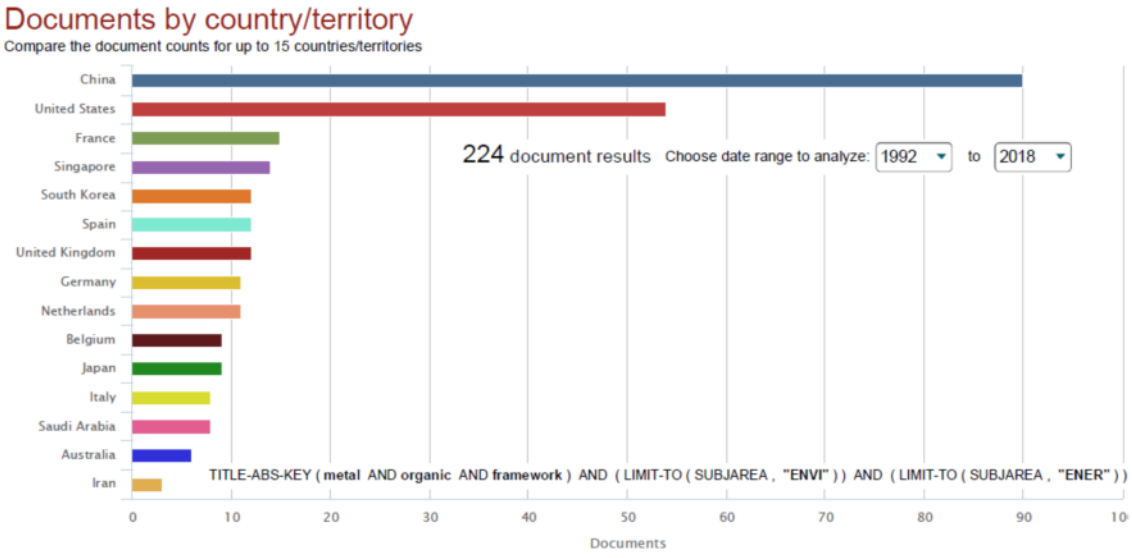


ادامه شکل (۳)...

پیشینه تحقیقات انجام‌شده MOFها مرتبط با حوزه انرژی در محیط‌زیست: طبق آنالیز سایت SCOPUS از ۱۲۲۸ مقاله زیست‌محیطی مرتبط با توسعه MOFها تعداد ۲۲۴ مقاله در زیرشاخه مرتبط با حوزه انرژی بوده است. و بیشترین رشد ارائه مقاله در محدوده سال‌های ۲۱۴ تا ۲۰۱۸ بوده است به‌گونه‌ای که تنها در سال ۲۰۱۷ بیش از ۵۸ مقاله درزمینهٔ توسعه MOFها در شاخه‌های مختلف حوزه انرژی و محیط‌زیست ارائه شده است. چین، آمریکا، فرانسه، سنگاپور و کره جنوبی پنج کشور اول در ارائه مقالات این شاخه بوده‌اند. شاخه فناوری‌های مهندسی شیمی، مواد و شیمی نیز سه‌شاخه برتر بوده که با حوزه انرژی در محیط‌زیست همپوشانی داشته‌اند، شکل (۴).

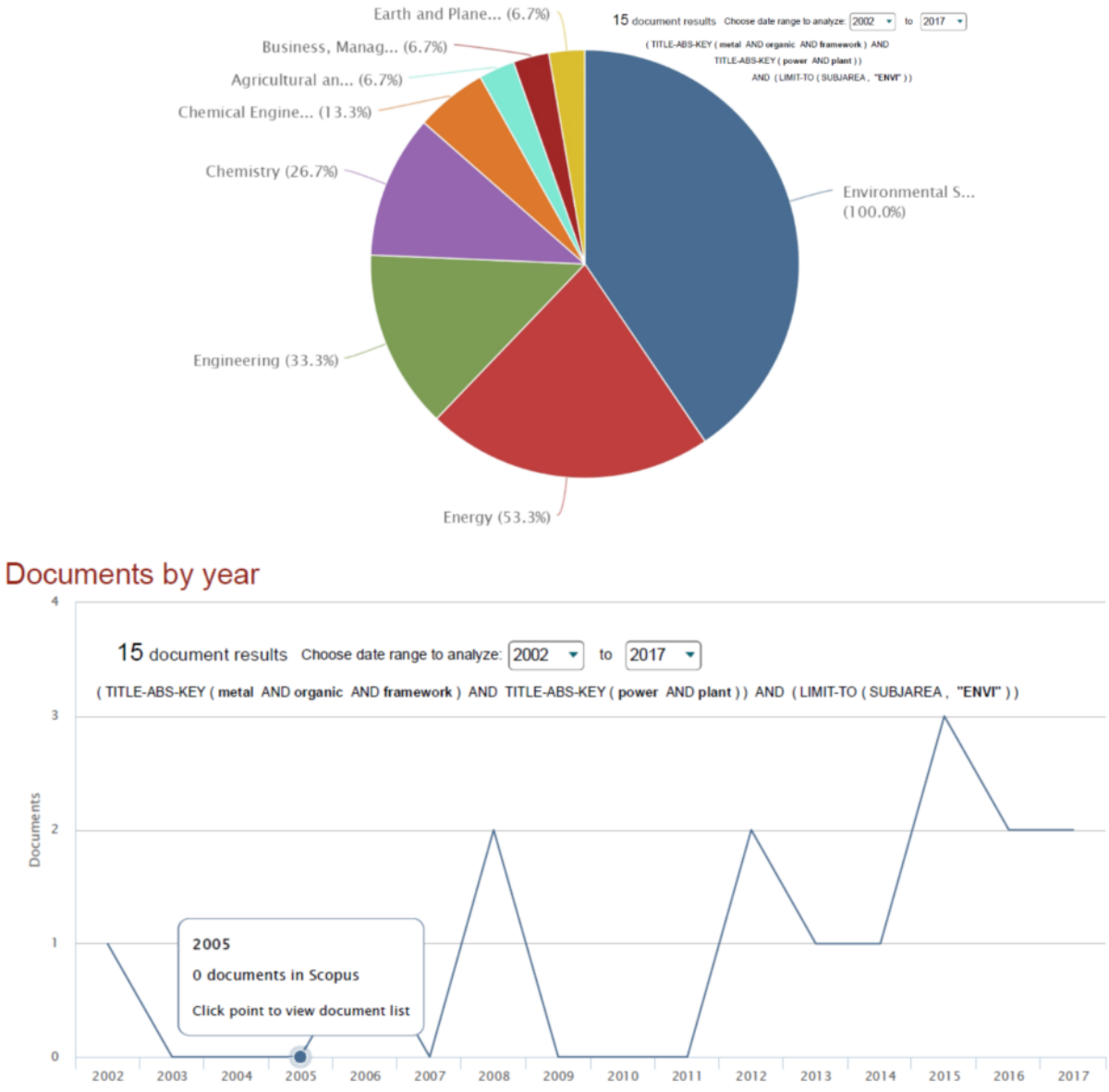




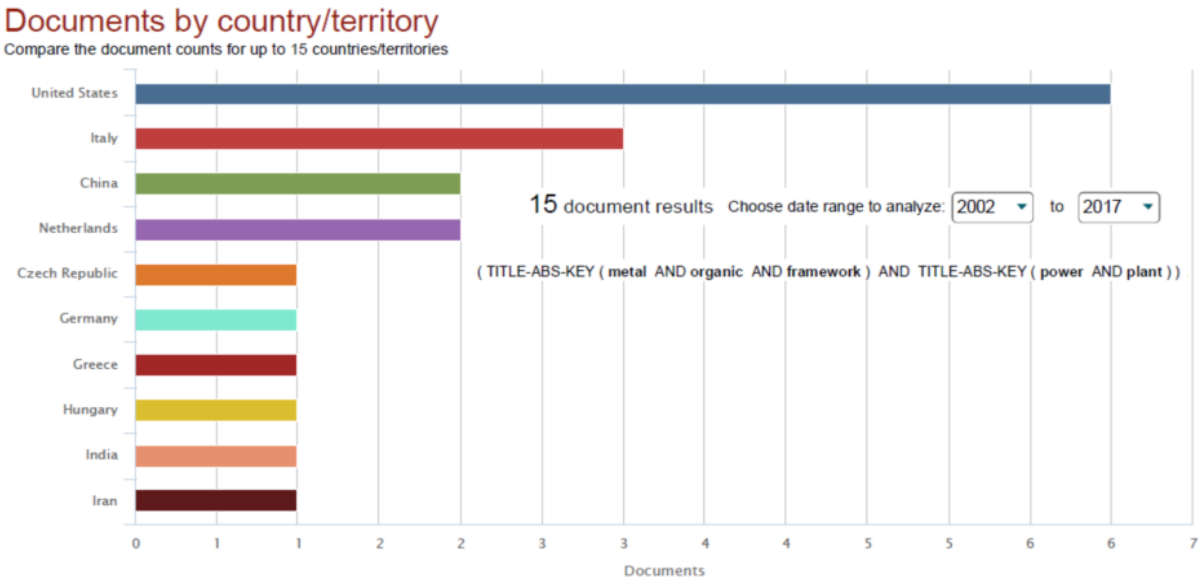


شکل (۴)- نتایج آنالیز سایت SCOPUS از تحقیقات MOF در حوزه انرژی در محیط‌زیست [۴]

پیشینه تحقیقات انجام‌شده MOFها مرتبط با حوزه برق و نیروگـاه : طبـق آنـالیز سـایت *SCOPUS* از ۱۲۲۸ مقاله زیست‌محیطی مرتبط با توسعه MOFها تعداد ۱۵ مقاله در زیرشاخه مرتبط بـا حـوزه بـرق و نیروگـاه منتشر شده است. و بیشترین رشد ارائه مقاله در محدوده سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ بوده است. آمریکا، ایتالیا، چین و نروژ چهار کشور اول در ارائه مقالات این شاخه بوده‌اند. شاخه فناوری‌های انرژی، مهندسی و شیمی نیز سه‌شاخه برتر بوده که با حوزه مشترک برق و نیروگاه و محیط‌زیست همپوشانی داشته‌اند، شکل (۵).



شکل (۵)- نتایج آنالیز سایت SCOPUS از تحقیقات MOF در حوزه انرژی در محیط‌زیست [۴]



ادامه شکل (۵)...

۳- زمینه‌های تحقیقاتی توسعه‌یافته MOFها در فناوری‌های محیط‌زیست، انرژی و صنعت برق

جذب و جداسازی CO_2 و CH_4 توسط جاذب: یکی از کاربردهای جدید MOFها قابلیت این جاذب‌ها در جداسازی CO_2 و CH_4 از گازهای خروجی از منابع تولید انرژی نظیر دود خروجی از نیروگاه‌های حرارتی و یا تغلیظ و جداسازی متان از منابع تولید بیوگاز عنوان شده است[۵]،[۷]، [۸]، [۹]،[۱۳]. نتایج تحقیق آلونسو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ بر روی مواد متخلخل اصلاح‌شده با آمین و فلزات بیانگر آن بوده که MOFهای دارای نانو ذرات نظیر MOF-117[1] بیشترین میزان جذب CO_2 و CH_4 را از میان تعداد زیادی از جاذب‌های بررسی‌شده داشته است ($۱۴۵۲\ ^{mg}/_{gr}$)که این امر ناشی از مقاومت حرارتی و تخلخل بالای آن دانسته شده است.این جاذب میزان جذب بالایی را نیز برای CH_4 ارائه کرده است($220\ ^{mg}/_{gr}$). یکی از مشکلات این استفاده از این نوع MOFها سختی فشرده کردن کریستال‌های

[1] *Zn_4O_6 cluster and 1,3,5-benzenetribenzoate (BTB) ligands*

آن برای تولید دانه‌های بزرگ باهدف افت فشار در بستر پرشده عنوان شده است[۵]. در تحقیقی دیگر Wu و همکارانش استفاده از MOF 508b را در فرایند PSA[1] در جذب گازهای CO_2 و CH_4 بررسی کرده و نتایج را با جاذب‌های متداولی نظیر zeolite 13X و carbon molecular sieve 3K مقایسه نمودند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از مصرف انرژی کمتر MOF 508b (تا ۵۰٪)و میزان جذب بیشتر نسبت به دو جاذب تجاری بوده است[۱۰]. در تحقیق دیگر هاک و همکارانش کارایی انواع مختلفی از جاذب‌ها را در فرایند جذب کردن از سوخت‌هایی نظیر زغال‌سنگ، گاز طبیعی، و جذب کربن از اتمسفر و هوا بررسی کردند. نتایج تحقیق این محققین نیز حاکی از عملکرد خوب Mg-MOF-74 در فرایند CCs بوده است[۱۲]. نتایج مشابهی نیز در تحقیق‌های دیگر گزارش شده است [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]،[۱۶]،[۱۸]،[۱۹]،[۲۱]،[۲۲]،[۵۷]،[۶۱].

جذب و جداسازی CO_2 توسط غشاهای نو ساختار: اکستبریا و همکارانش در تحقیق اخیرشان با ارائه غشای ماتریس مخلوط (MMMs)[2] با پرکننده MOF–ZIF-94 و شبکه ماتریس پلیمری 6FDA-DAM جذب و جداسازی CO_2 از N_2 را بررسی کرده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از انتخاب‌گری بالای این غشا در $CO_2 / N_2 (\cong 22)$ بوده است که ناشی از MOF–ZIF-94 گزارش شده است[۱۷].

جذب و جداسازی پیش از احتراق CO_2: چانگ و همکارانش در تحقیق اخیرشان کارایی MOFها را در جذب و جداسازی پیش از احتراق و جداسازی CO_2 از فرایندهایی نظیر IGCC و گاز سنتز تولیدی در این فرایند بررسی کردند [۲۰]. نتایج ارائه‌شده در این تحقیق نشان‌دهنده کارایی بالاتر MOFها نسبت به سایر جاذب‌های موردمطالعه بوده به‌خصوص در ظرفیت جذب بالاتر و انتخاب پذیری بالاتر CO_2/H_2 بوده است[۲۰].

[1] *pressure swing adsorption*
[2] *mixed matrix membranes*

بازیابی گرمای تلف‌شده در صنایع : بلوچی و همکارانش در تحقیقی که نتایج آن در ۲۰۱۷ منتشر شده است قابلیت استفاده از جاذب‌های MOF را در بازیابی حرارت و گرمای تلف‌شده صنایع بررسی کردند[۶]. نتایج به‌دست‌آمده در یک واحد تولید پاستا بیانگر بازیابی ۴۰-۵۰٪ از حرارت تلف‌شده در این واحد بوده است[۶].

جذب و ذخیره‌سازی سوخت‌های گازی H_2 و CH_4 : در تحقیق اخیری که توسط کاپوتو و همکارانش انجام شده ذخیره‌سازی سوخت‌های گازی H_2 و CH_4 تولیدشده توسط فرایندهای رفرمیگ خورشیدی[1] و یا تولید بیولوژیکی برای استفاده در خودروها با استفاده از MOFها بررسی شده است. هدف پروژه احداث جایگاه‌های سوخت‌گیری هم‌زمان H_2 و CH_4 بوده که با رفرمرهای CSP یکپارچه‌سازی شده‌اند[۱۱]. تحقیقات مشابهی نیز در زمینه‌های استفاده از MOFها در ذخیره‌سازی متان [۴۶]، ارائه شده است.

تولید سوخت از CO_2: باربر و همکارانش در تحقیقی اخیرشان با استفاده از ترکیبات MOFها و کپسوله کردن برخی فلزات فعال نظیر polyoxometallates گونه‌های جدیدی از کاتالیست‌ها را ارائه نموده‌اند که توانی تبدیل آب و CO_2 به سوخت را با استفاده از انرژی خورشید دارا هستند[۲۰]. در تحقیقی دیگر کاردوسو و همکارانش با لایه نشانی MOF-ZIF-8 بر روی نانولوله‌های تیتانیوم گونه جدیدی از فوتوکاتالیست‌ها را ارائه نمودند که جذب بالایی از CO_2 و تبدیل آن به اتانول و متانول در دمای محیط و در حضور نور خورشید داشته است[۲۷]. تحقیقات مشابهی نیز در این زمینه انجام شده است [۸۴].

تولید H2: ژو و همکارانش در تحقیق اخیرشان با استفاده از لایه نشانی MOFها بر روی نیمه‌هادی ZNO گونه جدیدی از فتوآند را برای اکسیداسیون فتو الکتروشیمیایی آب و تولید H_2 ارائه نمودند[۲۳]. فتوآندهای ساخته‌شده کارایی بالایی در اکسیداسیون و تولید H_2 ارائه نموده‌اند. در تحقیق دیگری که اخیراً به چاپ

[1] *Concentrated Solar Power steam reforming*

رسیده است سانگ و همکارانش با استفاده MOFها اقدام به هیدروژن زدایی از محلول آبی بـورن آمونیـاک (NH_3BH_3) با تابش نور و تولید هیدروژن نموده‌اند. محلول آبی بورن آمونیاک یکی از جاذب‌های شـیمیایی ذخیره‌سازی هیدروژن بوده که در مصارف پیل‌های سوختی کارایی بالایی چه ازلحاظ امنیت و چـه ازلحـاظ میزان ذخیره‌سازی داراست[۲۵]. تحقیقات مشابهی نیز در این زمینه انجام شده اسـت[۳۰]، [۳۲]،[۶۴] ،[۷۵] ،[۷۸]، [۷۹]، [۸۱]، [۹۰].

استفاده از MOFها در پیل‌های سوختی: در تحقیقی که ییِنگ و همکارانش انجام داده‌اند از MOFهـا بـرای سنتز آلیاژهای PtCo که به‌صورت نانو ذرات کاتالیستی برای واکنش احیای اکسـیژن در پیـل‌هـای سـوختی تبادل پروتونی استفاده می‌شود بهره بردند. کاتالیست ساخته‌شده به این روش هم کـارایی بـالای در واکـنش احیا داشته و هم طول عمر بالاتری را نشان داده است[۲۶].

جداسازی و حذف آلاینده‌ها از گازهای حاصل از احتراق و هوا : در تحقیقی که اینگـول و همکـارانش انجـام داده‌اند با استفاده از هالوفایبرهای نانوکامپوزیت فیلم نازک MOF توانسته‌اند بخـارآب همـراه دود دودکـش نیروگاه‌ها را جداسازی و به‌عنوان آب با میزان املاح کم بازیابی نمایند[۶۳]. تحقیقات مشـابهی نیـز در ایـن زمینه انجام شده است[۶۸]، [۸۷].

جذب و جداسازی آلاینده‌ها ، مواد دارویی از آب و سوخت : ژیونـگ و همکـارانش در تحقیـق اخیرشـان بـا استفاده کامپوزیت نانولوله کربنی چندهسته‌ای (MWCNT)[1] و MOF-MIL-53(Fe) جـذب و جداسـازی آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین[2] را بررسی نمودند. قابلیت بازیابی و استفاده مجدد این کامپوزیت و ثبـات طـولانی مدت در محیط‌های آبی از عواملی بالقوه کاربرد این ترکیب کامپوزیت در حذف TCS از محلـول‌هـای آبـی عنوان شده است[۲۴]. تحقیقات دیگری نیز در زمینه‌های حذف فلزات سنگین[۳۵]، حذف آلاینده‌هـای آلـی

[1] *multi-walled carbon nanotube (MWCNT)*
[2] *tetracycline*

آب‌گریز [۳۶]، حذف آلاینده‌های رنگی از فاضلاب‌ها[۳۷]، جداسازی و حذف مواد دارویی از آب [۴۷]،[۶۹]، حذف ترکیبان نیتروژن دار از سوخت[۵۴]، حذف ترکیبات گوگرددار سوخت[۵۹]، حذف ترکیبات آروماتیکی از آب [۶۰]، ارائه شده‌اند.

استفاده از MOFها در شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌ها : پنگ و همکارانش در تحقیق اخیرشان با استفاده از MOFها روشی جدید در شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌هایی نظیر مواد آلی حل‌شده و اترفورفسفات استرها شده‌اند[۲۸]. تحقیقات دیگری نیز در زمینه‌های استفاده از MOFها در ساخت آنالایزرهای آلاینده-های زیست‌محیطی ارائه شده‌اند[۵۲]،[۵۳]،[۷۰] ،[۸۳] ،[۹۲].

استفاده از MOFها در ساخت کاتالیست و فتوکاتالیست‌های دارای کاربری‌های محیط زیستی: (بخش مایع) کیو و همکارانش در تحقیق اخیرشان با استفاده از MOF-ZIF-8 فتوکاتالیست جدیدی برای احیای فلزات سنگین محلول در آب نظیر Cr(VI) را با استفاده از نور خورشید ارائه نمودند. نتایج این تحقیق بیانگر قابلیت بالای نانوکامپوزیتهای MOF در ساخت فتوکاتالیست‌های مناسب برای بازسازی محیط‌زیست دارا هستند[۲۹]. لیو نیز در تحقیق مشابهی با استفاده از فتوکاتالیست Ag/AgCl@MIL-53-Fe کارایی بالایی را برای احیای Cr(VI) گزارش کرده‌اند[۳۱]. تحقیقات مشابهی نیز در زمینه‌های حذف مواد دارویی با استفاده از کاتالیست-های ساخته‌شده از چارچوب‌های فلزی-آلی[۳۸]، [۴۳]، [۷۷]، [۹۶]، تصفیه آلاینده‌های آلی[۳۹]، [۴۰]، [۴۱]، [۶۷]، حذف فلزات سنگین[۴۱]،[۴۲]،[۶۵]، [۸۹]، [۹۴]، [۹۸]، حذف بیس فنول A از آب[۴۵]، [۷۱]، [۷۶]، [۹۷]، حذف آلاینده‌های فسفری از آب[۵۱]، [۵۲]، حذف فلوراید از آب [۵۸]،[۸۶]، حذف ترکیبات رنگی [۶۶]، [۸۵]، [۹۵]، سولفور زدایی از سوخت[۸۰]، ارائه شده است.

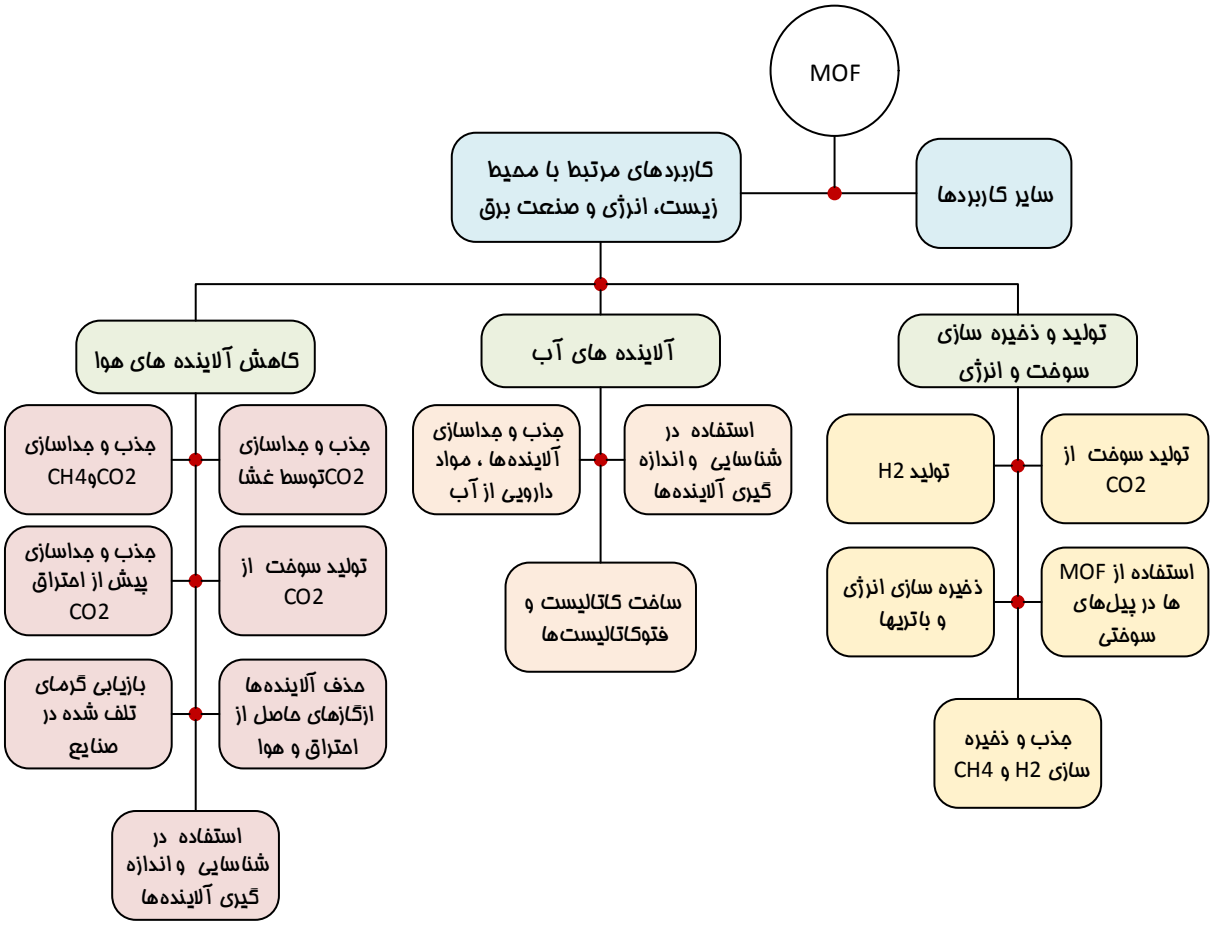
(بخش هوا) ژانگ و همکارانش با استفاده از فتوکاتالیست Au/ZIF-8-TiO2 موفق به تسهیل اکسیداسیون CO در حضور نور خورشید شدند، گزارش‌شده که فتوکاتالیست جدید ساخته‌شده کارایی

بالایی در تصفیه هوا، پیل‌های سوختی PEM و تصفیه گازهای خروجی از اگزوز خودرو دارا است[۳۳]. تحقیقات مشابهی نیز درزمینهٔ اکسیداسیون و حذف آلاینده‌های گازی دیگر نظیر ایزوپروپانول [۳۴] ،حذف و تجزیه CO2 [۴۹]، تولید کاتالیست‌های جدید رآکتورهای SCR فرایندها حذف NOx [۵۰]، ارائه شده است.

استفاده از MOFها در ذخیره‌سازی انرژی و باتری‌ها: یکی از کاربردهای MOFها استفاده آن‌ها در تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی است. نیو و همکارانش با استفاده از کامپوزیت Cu0.39Zn0.14Co2.47O4-ZnO/RGO/Cu و استفاده از MOF- RGO آندی جدیدی را برای باتری‌های لیتیومی ارائه نمودند که ظرفیت برگشت‌پذیری بالایی را پس از ۵۰۰ چرخه شارژ و دشارژ ارائه نموده است[۴۴]. تحقیقات دیگری نیز در زمینه‌های استفاده از MOFها در ساخت آندهای باتری‌ها [۴۸]،[۵۵]،[۵۶]، [۷۲]، [۷۳]، [۷۴]، [۸۸]، ارائه شده‌اند.

۸- نتیجه‌گیری

در دو دهه اخیر تحقیقات متعددی درزمینهٔ توسعه چهارچوب‌های فلزی-آلی انجام شده که بخش قابل‌توجهی از آن‌ها در زمینه‌های مرتبط با محیط‌زیست، انرژی و صنعت برق بوده است. در این مقاله با بررسی پیشینه این مواد و روش‌های سنتز آن‌ها تحقیقات انجام شده مرتبط با فناوری‌های محیط‌زیست، انرژی و صنعت برق بررسی و زمینه‌های مختلف تحقیقات انجام شده در این حوزه‌ها مشخص و در شکل (۶) ارائه‌شده است.



شکل (۶)- تحقیقات انجام شده مرتبط با فناوری‌های محیط‌زیست، انرژی و صنعت برق

استفاده از MOF ها در برخی کاربردهای تجاری نظیر استفاده به‌عنوان جاذب‌های صنعتی و تصفیه آلاینده‌های آبی گسترش‌یافته و در برخی دیگر از کاربردها نظیر تولید سوخت همچنان در مرحله رشد قرار دارد. تلاش‌های زیادی لازم است تا جنبه‌های مختلف این فناوری گسترده به‌صورت کامل توسعه یابد.

مراجع:

[1] Rosseinsky, M. J. "Recent developments in metal–organic framework chemistry: design, discovery, permanent porosity and flexibility." Microporous and Mesoporous Materials 73.1-2 (2004): 15-30.

[۲] حسن گلبن حقیقی, محسن سروری, "چارچوب‌های فلزی-آلی (*Metal Organic Frameworks*)", سیستم جامع آموزش فناوری نانو, ۱۳۹۳, *http://edu.nano.ir/paper/118*

[۳] لیدا هاشمی, علی مرسلی, "چارچوبهای فلز-آلی(*MOFs*)؛ اصول، سنتز و کاربرد", دنیای نانو، سال یازدهم (۱۳۹۴)، شماره سی و نه

[4] SCOPUS, 2018, *https://www.scopus.com/*

[5]Alonso, Amanda, et al. "Critical review of existing nanomaterial adsorbents to capture carbon dioxide and methane." Science of the Total Environment 595 (2017): 51-62.

[6] Bellocchi, Sara, et al. "Adsorbent materials for low-grade waste heat recovery: Application to industrial pasta drying processes." Energy 140 (2017): 729-745.

[7] Belmabkhout, Youssef, Vincent Guillerm, and Mohamed Eddaoudi. "Low concentration CO2 capture using physical adsorbents: Are metal–organic frameworks becoming the new benchmark materials?" Chemical Engineering Journal 296 (2016): 386-397.

[8] Shi, Yao, Qing Liu, and Yi He. "CO2 Capture Using Solid Sorbents." Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation. Springer International Publishing, 2017. 2349-2404.

[9] Sreenivasulu, Bolisetty, et al. "Development trends in porous adsorbents for carbon capture." Environmental science & technology 49.21 (2015): 12641-12661.

[10] Wu, Bin, et al. "Assessment of the energy consumption of the biogas upgrading process with pressure swing adsorption using novel adsorbents." Journal of Cleaner Production 101 (2015): 251-261.

[11] Caputo, Giampaolo, Domenico Mazzei, and Mauro Francesco Sgroi. "Methane/Hydrogen Mixtures from Concentrated Solar Energy: The METISOL Project." Enriched Methane. Springer, Cham, 2016. 37-51.

[12] Huck, Johanna M., et al. "Evaluating different classes of porous materials for carbon capture." Energy & Environmental Science 7.12 (2014): 4132-4146.

[13] Wilmer, Christopher E., et al. "Structure–property relationships of porous materials for carbon dioxide separation and capture." Energy & Environmental Science 5.12 (2012): 9849-9856.

[14] Liu, Yangyang, Zhiyong U. Wang, and Hong-Cai Zhou. "Recent advances in carbon dioxide capture with metal-organic frameworks." Greenhouse Gases: Science and Technology 2.4 (2012): 239-259.

[15] Fout, T.E., Feeley III, T.J., Pennline, H.W., Plasynski, S.I., Jones, A.P. Carbon capture for coal-fired power plants: DOE/NETL's RD and D activities (2008) Air and Waste Management Association - 7th Power Plant Air Pollutant Control 'Mega' Symposium 2008, 1, pp. 27-38. Cited 1 time.

[16] Figueroa, José D., et al. "Advances in CO2 capture technology—the US Department of Energy's Carbon Sequestration Program." International journal of greenhouse gas control 2.1 (2008): 9-20.

[17] Etxeberria-Benavides, Miren, et al. "High performance mixed matrix membranes (MMMs) composed of ZIF-94 filler and 6FDA-DAM polymer." Journal of Membrane Science 550 (2018): 198-207.

[18] Liang, Linfeng, et al. "Carbon dioxide capture and conversion by an acid-base resistant metal-organic framework." Nature communications 8.1 (2017): 1233.

[19] Milner, Phillip J., et al. "A Diaminopropane-Appended Metal–Organic Framework Enabling Efficient CO2 Capture from Coal Flue Gas via a Mixed Adsorption Mechanism." Journal of the American Chemical Society 139.38 (2017): 13541-13553.

[20] Barber, James. "Bioenergetics, Water Splitting and Artificial Photosynthesis."

[21] Martínez, Fernando, et al. "Amino-impregnated MOF materials for CO2 capture at post-combustion conditions." Chemical Engineering Science 142 (2016): 55-61.

[22] Deria, Pravas, et al. "A MOF platform for incorporation of complementary organic motifs for CO 2 binding." Chemical Communications 51.62 (2015): 12478-12481.

[23] Peng, L., et al. "Kinetic assessment of simultaneous removal of arsenite, chlorate and nitrate under autotrophic and mixotrophic conditions." The Science of the total environment 628 (2018): 85-93.

[24] Xiong, Weiping, et al. "Adsorption of tetracycline antibiotics from aqueous solutions on nanocomposite multi-walled carbon nanotube functionalized MIL-53 (Fe) as new adsorbent." Science of the Total Environment 627 (2018): 235-244.

[26] Ying, Jie, et al. "Metal-organic frameworks derived platinum-cobalt bimetallic nanoparticles in nitrogen-doped hollow porous carbon capsules as a highly active and durable catalyst for oxygen reduction reaction." Applied Catalysis B: Environmental 225 (2018): 496-503.

[27] Cardoso, J. C., et al. "MOFs based on ZIF-8 deposited on TiO2 nanotubes increase the surface adsorption of CO2 and its photoelectrocatalytic reduction to alcohols in aqueous media." Applied Catalysis B: Environmental 225 (2018): 563-573.

[28] Pang, Long, et al. "Application of Fe 3 O 4@ MIL-100 (Fe) core-shell magnetic microspheres for evaluating the sorption of organophosphate esters to dissolved organic matter (DOM)." Science of the Total Environment 626 (2018): 42-47.

[29] Qiu, Jianhao, et al. "Constructing Cd 0.5 Zn 0.5 S@ ZIF-8 nanocomposites through self-assembly strategy to enhance Cr (VI) photocatalytic reduction." Journal of hazardous materials (2018).

[30] Li, He, et al. "Charge-regulated sequential adsorption of anionic catalysts and cationic photosensitizers into metal-organic frameworks enhances photocatalytic proton reduction." Applied Catalysis B: Environmental 224 (2018): 46-52.

[31] Liu, Qiuxia, et al. "Boosting visible light photoreactivity of photoactive metal-organic framework: Designed plasmonic Z-scheme Ag/AgCl@ MIL-53-Fe." Applied Catalysis B: Environmental 224 (2018): 38-45.

[32] Kumar, D. Praveen, et al. "Noble metal-free metal-organic framework-derived onion slice-type hollow cobalt sulfide nanostructures: Enhanced activity of CdS for

improving photocatalytic hydrogen production." Applied Catalysis B: Environmental 224 (2018): 230-238.

[33] Zhang, Yujuan, et al. "The promoted effect of a metal-organic frameworks (ZIF-8) on Au/TiO2 for CO oxidation at room temperature both in dark and under visible light irradiation." Applied Catalysis B: Environmental 224 (2018): 283-294.

[34] Shi, Li, et al. "Implantation of Iron (III) in porphyrinic metal organic frameworks for highly improved photocatalytic performance." Applied Catalysis B: Environmental 224 (2018): 60-68.

[35] Huang, Lijin, et al. "Magnetic Zr-MOFs nanocomposites for rapid removal of heavy metal ions and dyes from water." Chemosphere (2018).

[36] Li, Xiang, et al. "Novel approach for removing brominated flame retardant from aquatic environments using Cu/Fe-based metal-organic frameworks: A case of hexabromocyclododecane (HBCD)." Science of the Total Environment (2017).

[37] Oveisi, Mina, Mokhtar Alina Asli, and Niyaz Mohammad Mahmoodi. "MIL-Ti metal-organic frameworks (MOFs) nanomaterials as superior adsorbents: Synthesis and ultrasound-aided dye adsorption from multicomponent wastewater systems." Journal of hazardous materials (2017).

[38] Azhar, Muhammad Rizwan, et al. "Submicron sized water-stable metal organic framework (bio-MOF-11) for catalytic degradation of pharmaceuticals and personal care products." Chemosphere (2017).

[39] Li, Chen-Xuan, et al. "Metal organic framework-derived CoMn2O4 catalyst for heterogeneous activation of peroxymonosulfate and sulfanilamide degradation." Chemical Engineering Journal 337 (2018): 101-109.

[40] Pi, Yunhong, et al. "Adsorptive and photocatalytic removal of Persistent Organic Pollutants (POPs) in water by metal-organic frameworks (MOFs)." Chemical Engineering Journal (2017).

[41] Li, Xing, et al. "Porous Fe 2 O 3 microcubes derived from metal organic frameworks for efficient elimination of organic pollutants and heavy metal ions." Chemical Engineering Journal 336 (2018): 241-252.

[42] Yin, Na, Ke Wang, and Zongqun Li. "Novel melamine modified metal-organic frameworks for remarkably high removal of heavy metal Pb (II)." Desalination 430 (2018): 120-127.

[43] Niu, Hongyun, et al. "Continuous generation of hydroxyl radicals for highly efficient elimination of chlorophenols and phenols catalyzed by heterogeneous Fenton-like catalysts yolk/shell Pd@ Fe3O4@ metal organic frameworks." Journal of hazardous materials 346 (2018): 174-183.

[44] Niu, Ji-Liang, et al. "An efficient multidoped Cu0. 39Zn0. 14Co2. 47O4-ZnO electrode attached on reduced graphene oxide and copper foam as superior lithium-ion battery anodes." Chemical Engineering Journal 336 (2018): 510-517.

[45] Ma, Wenjie, et al. "Non-radical-dominated catalytic degradation of bisphenol A by ZIF-67 derived nitrogen-doped carbon nanotubes frameworks in the presence of peroxymonosulfate." Chemical Engineering Journal 336 (2018): 721-731.

[46] Kim, Seo-Yul, et al. "Creation of mesoporous defects in a microporous metal-organic framework by an acetic acid-fragmented linker co-assembly and its remarkable effects on methane uptake." Chemical Engineering Journal 335 (2018): 94-100.

[47] Sarker, Mithun, Ji Yoon Song, and Sung Hwa Jhung. "Adsorptive removal of anti-inflammatory drugs from water using graphene oxide/metal-organic framework composites." Chemical Engineering Journal 335 (2018): 74-81.

[48] Li, Jiabao, et al. "Metal-organic frameworks derived yolk-shell ZnO/NiO microspheres as high-performance anode materials for lithium-ion batteries." Chemical Engineering Journal 335 (2018): 579-589.

[49] Huang, Z., Dong, P., Zhang, Y., Nie, X., Wang, X., Zhang, X. A ZIF-8 decorated TiO2grid-like film with high CO2adsorption for CO2photoreduction (2018) Journal of CO2 Utilization, 24, pp. 369-375.

[50] Xue, Yijun, et al. "Sparsely loaded Pt/MIL-96 (Al) MOFs catalyst with enhanced activity for H2-SCR in a gas diffusion reactor under 80° C." Chemical Engineering Journal 335 (2018): 612-620.

[51] Amann, A., et al. "Environmental impacts of phosphorus recovery from municipal wastewater." Resources, Conservation and Recycling 130 (2018): 127-139.

[52] Du, Yaran, et al. "Design of a calix [4] arene-functionalized metal-organic framework probe for highly sensitive and selective monitor of hippuric acid for indexing toluene exposure." Analytica chimica acta (2017).

[53] Wang, Xu-Sheng, et al. "Fast, highly selective and sensitive anionic metal-organic framework with nitrogen-rich sites fluorescent chemosensor for nitro explosives detection." Journal of hazardous materials 344 (2018): 283-290.

[54] Sarker, Mithun, et al. "Adsorptive removal of indole and quinoline from model fuel using adenine-grafted metal-organic frameworks." Journal of hazardous materials 344 (2018): 593-601.

[55] Park, Seung-Keun, Jin Koo Kim, and Yun Chan Kang. "Electrochemical properties of uniquely structured Fe 2 O 3 and FeSe 2/graphitic-carbon microrods synthesized by applying a metal-organic framework." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 2440-2449.

[56] Wang, Jianing, et al. "Metal-organic-framework-derived NC-Co film as a shuttle-suppressing interlayer for lithium sulfur battery." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 2356-2362.

[57] Kayal, Sibnath, and Anutosh Chakraborty. "Activated carbon (type Maxsorb-III) and MIL-101 (Cr) metal organic framework based composite adsorbent for higher CH4 storage and CO2 capture." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 780-788.

[58] Karmakar, Sankha, Saikat Bhattacharjee, and Sirshendu De. "Aluminium fumarate metal organic framework incorporated polyacrylonitrile hollow fiber membranes: Spinning, characterization and application in fluoride removal from groundwater." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 41-53.

[59] Khan, Nazmul Abedin, Biswa Nath Bhadra, and Sung Hwa Jhung. "Heteropoly acid-loaded ionic liquid@ metal-organic frameworks: Effective and reusable adsorbents for the desulfurization of a liquid model fuel." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 2215-2221.

[60] Bhadra, Biswa Nath, et al. "Adsorptive removal of aromatic hydrocarbons from water over metal azolate framework-6-derived carbons." Journal of Hazardous Materials 344 (2018): 1069-1077.

[61] Mohamedali, Mohanned, Hussameldin Ibrahim, and Amr Henni. "Incorporation of acetate-based ionic liquids into a zeolitic imidazolate framework (ZIF-8) as efficient sorbents for carbon dioxide capture." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 817-828.

[62] Ingole, Pravin G., et al. "Water vapor separation from flue gas using MOF incorporated thin film nanocomposite hollow fiber membranes." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 2450-2458.

[63] Ingole, Pravin G., et al. "Water vapor separation from flue gas using MOF incorporated thin film nanocomposite hollow fiber membranes." Chemical Engineering Journal 334 (2018): 2450-2458.

[64] Fu, Junwei, et al. "Hollow CoSx polyhedrons act as high-efficiency cocatalyst for enhancing the photocatalytic hydrogen generation of g-C3N4." ACS Sustainable Chemistry & Engineering.

[65] Yuan, Guoyuan, et al. "A novel ion-imprinted polymer induced by the glycylglycine modified metal-organic framework for the selective removal of Co (II) from aqueous solutions." Chemical Engineering Journal 333 (2018): 280-288.

[66] Lin, Kun-Yi Andrew, Hongta Yang, and Fu-Kong Hsu. "Zr-Metal Organic Framework and Derivatives for Adsorptive and Photocatalytic Removal of Acid Dyes." Water Environment Research 90.2 (2018): 144-154.

[67]Yang, Qingxiang, et al. "Selective separation of methyl orange from water using magnetic ZIF-67 composites." Chemical Engineering Journal 333 (2018): 49-57.

[68]Al-Janabi, Nadeen, et al. "Cyclic adsorption of water vapour on CuBTC MOF: Sustaining the hydrothermal stability under non-equilibrium conditions." Chemical Engineering Journal 333 (2018): 594-602.

[69]Peng, Yaguang, et al. "Flexibility induced high-performance MOF-based adsorbent for nitroimidazole antibiotics capture." Chemical Engineering Journal 333 (2018): 678-685.

[70]Hai, Xiao-man, et al. "A fluorescence aptasensor based on two-dimensional sheet metal-organic frameworks for monitoring adenosine triphosphate." Analytica chimica acta 998 (2018): 60-66.

[71]Sinha, Ankita, et al. "Advances in sensing and biosensing of bisphenols: A review." Analytica chimica acta (2017).

[72]Xiong, Peixun, Xinxin Zhao, and Yunhua Xu. "Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes Derived from Metal–Organic Frameworks for Potassium-Ion Battery Anodes." ChemSusChem 11.1 (2018): 202-208.

[73]Ren, Jin-Tao, et al. "Rationally Designed Co3O4-C Nanowire Arrays on Ni Foam Derived From Metal Organic Framework as Reversible Oxygen Evolution Electrodes with Enhanced Performance for Zn-Air Batteries." ACS Sustainable Chemistry & Engineering (2017).

[74]Li, Jingsha, et al. "Cu–MOF-Derived Cu/Cu2O Nanoparticles and CuN x C y Species to Boost Oxygen Reduction Activity of Ketjenblack Carbon in Al–Air Battery." ACS Sustainable Chemistry & Engineering 6.1 (2017): 413-421.

[75]Shen, Rongchen, et al. "Enhanced Solar Fuel H2 Generation over g-C3N4 Nanosheet Photocatalysts by the Synergetic Effect of Noble Metal-Free Co2P Cocatalyst and the Environmental Phosphorylation Strategy." ACS Sustainable Chemistry & Engineering 6.1 (2017): 816-826.

[76]Li, Xiaona, et al. "Effective adsorption of sulfamethoxazole, bisphenol A and methyl orange on nanoporous carbon derived from metal-organic frameworks." Journal of Environmental Sciences (2017).

[77]Jiang, Wei, et al. "Phenol degradation catalyzed by a peroxidase mimic constructed through the grafting of heme onto metal-organic frameworks." Bioresource technology 247 (2018): 1246-1248.

[78]Zhou, Gang, et al. "Synthesis and characterizations of metal-free Semiconductor/MOFs with good stability and high photocatalytic activity for H2 evolution: A novel Z-Scheme heterostructured photocatalyst formed by covalent bonds." Applied Catalysis B: Environmental 220 (2018): 607-614.

[79]Liu, Hong, Jiang Zhang, and Dan Ao. "Construction of heterostructured ZnIn2S4@ NH2-MIL-125 (Ti) nanocomposites for visible-light-driven H2 production." Applied Catalysis B: Environmental 221 (2018): 433-442.

[80]Li, Si-Wen, et al. "Direct synthesis of mesoporous SRL-POM@ MOF-199@ MCM-41 and its highly catalytic performance for the oxidesulfurization of DBT." Applied Catalysis B: Environmental 221 (2018): 574-583.

[81]Zhu, Lingxiang, Mark T. Swihart, and Haiqing Lin. "Unprecedented size-sieving ability in polybenzimidazole doped with polyprotic acids for membrane H 2/CO 2 separation." Energy & Environmental Science (2018).

[82]Shahat, Ahmed, et al. "Novel nano-conjugate materials for effective arsenic (V) and phosphate capturing in aqueous media." Chemical Engineering Journal 331 (2018): 54-63.

[83]Wu, J. X., and B. Yan. "A Europium ion post-functionalized indium metal–organic framework hybrid system for fluorescence detection of aromatics." Analyst 142.24 (2017): 4633-4637.

[84]Wei, Na, et al. "Pentanuclear Yb (III) cluster-based metal-organic frameworks as heterogeneous catalysts for CO2 conversion." Applied Catalysis B: Environmental 219 (2017): 603-610.

[85]Luo, Shuai, and Jianlong Wang. "MOF/graphene oxide composite as an efficient adsorbent for the removal of organic dyes from aqueous solution." Environmental Science and Pollution Research (2017): 1-8.

[86]Karmakar, Sankha, Saikat Bhattacharjee, and Sirshendu De. "Experimental and modeling of fluoride removal using aluminum fumarate (AlFu) metal organic framework incorporated cellulose acetate phthalate mixed matrix membrane." Journal of Environmental Chemical Engineering 5.6 (2017): 6087-6097.

[87]Mohideen, M. Infas H., et al. "A Fine-Tuned MOF for Gas and Vapor Separation: A Multipurpose Adsorbent for Acid Gas Removal, Dehydration, and BTX Sieving." Chem 3.5 (2017): 822-833.

[88]Bai, Xue, et al. "Rational Design of Sandwiched Ni–Co Layered Double Hydroxides Hollow Nanocages/Graphene Derived from Metal–Organic Framework for Sustainable Energy Storage." ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5.11 (2017): 9923-9934.

[89]Wang, Nan, et al. "Fabrication of a magnetic cellulose nanocrystal/metal–organic framework composite for removal of Pb (II) from water." ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5.11 (2017): 10447-10458.

[90]Tong, Jinhui, et al. "MoS2 Thin Sheet Growing on Nitrogen Self-Doped Mesoporous Graphic Carbon Derived from ZIF-8 with Highly Electrocatalytic Performance on Hydrogen Evolution Reaction." ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5.11 (2017): 10240-10247.

[91]Bayazit, Şahika Sena, et al. "Preparation of magnetic MIL-101 (Cr) for efficient removal of ciprofloxacin." Environmental Science and Pollution Research 24.32 (2017): 25452-25461.

[92]Weng, Han, and Bing Yan. "A Eu (III) doped metal-organic framework conjugated with fluorescein-labeled single-stranded DNA for detection of Cu (II) and sulfide." Analytica chimica acta 988 (2017): 89-95.

[93]Qiu, Hui, et al. "Highly selective capture of phosphate ions from water by a water stable metal-organic framework modified with polyethyleneimine." Environmental Science and Pollution Research 24.30 (2017): 23694-23703.

[94]Rahimi, Esmaeil, and Neda Mohaghegh. "New hybrid nanocomposite of copper terephthalate MOF-graphene oxide: synthesis, characterization and application as adsorbents for toxic metal ion removal from Sungun acid mine drainage." Environmental Science and Pollution Research 24.28 (2017): 22353-22360.

[95]Mohammadi, A. A., et al. "Metal-organic framework Uio-66 for adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions." International Journal of Environmental Science and Technology 14.9 (2017): 1959-1968.

[96]Li, Xianghui, et al. "Phosphotungstic acid encapsulated in MIL-53 (Fe) as efficient visible-light photocatalyst for rhodamine B degradation." Environmental Progress & Sustainable Energy 36.5 (2017): 1342-1350.

[97]Yang, Qingxiang, et al. "Assembly of Zr-MOF crystals onto magnetic beads as a highly adsorbent for recycling nitrophenol." Chemical Engineering Journal 323 (2017): 74-83.

[98]Wu, Shibiao, et al. "Adsorption of Cr (VI) on nano Uio-66-NH2 MOFs in water." Environmental technology (2017): 1-12.

Nano-metal-organic frameworks and its application in energy and environment

Author(s): Peiman Pourmoghaddam

Abstract: Metal-organic frameworks are a modern technology with a wide range of applications .History of metal-organic frameworks and methods for synthesizing these materials has been reviewed in this study. This technology can be applied In purification of water pollutants, Cleanup of flue gas emissions which emitted from power plants, Air Purifying, Production of catalysts And environmentally friendly photocatalysts, applied in environmental pollutants and emissions analyzer's, Fuel production from CO_2, H_2 production from water by using sunlight, Adsorption and storage of H_2 and methane and recovery of waste heat in power plants and industries and use in energy storage batteries.

گزارش و خبر

ساخت بزرگ‌ترین آب‌شیرین‌کن خورشیدی در عربستان

مقامات عربستان سعودی با سرمایه‌گذاری عظیم در پروژه نسل جدید آب‌شیرین‌کن‌ها به دنبال بهره‌وری هر چه بیشتر از منبع عظیم انرژی خورشیدی در این کشور هستند.

به گزارش ایسنا به نقل از اسپکتروم، در این پروژه عظیم قرار است که با نصب آخرین نسل از صفحات مبدل خورشیدی پربازده، انرژی موردنیاز جهت شیرین کردن آب دریا به‌صورت مستقل از شبکه سرتاسری برق تأمین شود. طبق اظهارات مقامات عربستانی، دلیل اصلی توجه به رویکرد جدید، پایین آمدن قیمت جهانی سلول‌های خورشیدی و تلاش این کشور برای مدیریت بهتر سوخت‌های فسیلی است.

طبق بررسی‌های انجام شده بین ۴۰ تا ۵۰ درصد هزینه شیرین کردن آب دریا در بخش تأمین انرژی صرف می‌شود. به گفته مسئول شرکت اسپانیایی فعال در این پروژه، تاکنون کشورهای دیگری همچون امارات متحده عربی و شیلی نیز برای سرمایه‌گذاری در این پروژه اعلام آمادگی کرده‌اند.

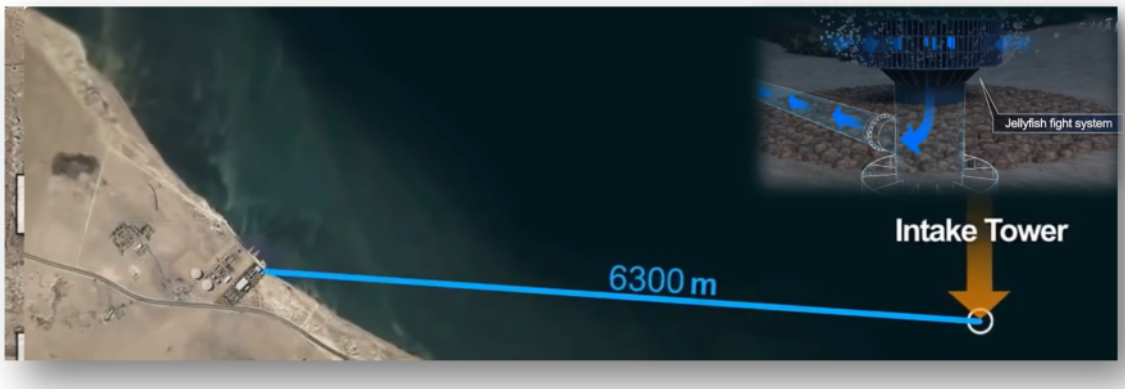
برای شیرین کردن آب دریا با استفاده از انرژی خورشیدی لازم است که برق تولیدی در مبدل‌ها صرف پمپ کردن آب به سمت غشاهای اسمز معکوس شده تا آب آشامیدنی باکیفیت مطلوب حاصل شود.

با توجه به وجود صحراهای پهناور در عربستان، سرمایه‌گذاری در این بخش کاملاً توجیه‌پذیر و هزینه تمام‌شده تولید هر لیتر آب آشامیدنی در مقایسه با سایر روش‌ها به‌مراتب کمتر است.

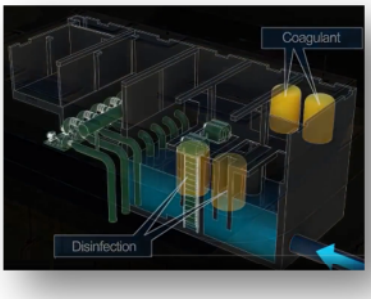
در ادامه گزارشی تصویری از مشخصات این پروژه ارائه شده است.

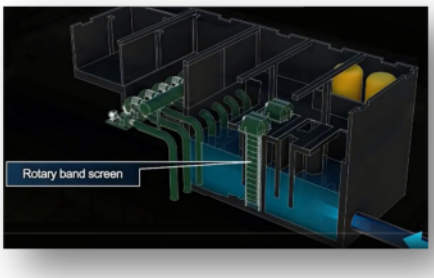
Current MSF
New SWRO

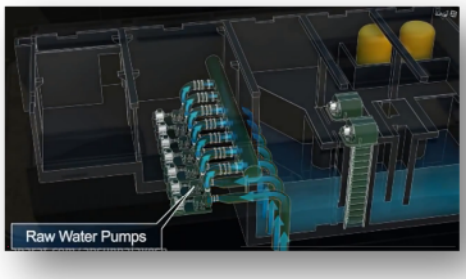
Parking area
Post-treatment
RO Building
Reverse osmosis
Closed Filters
Power conection
to KACST Solar Farm
DAF
Dissolved Air Flotation
Mosque
Energy storage & generator building
Seawater
pump station


Jellyfish fight system
Intake Tower
6300 m

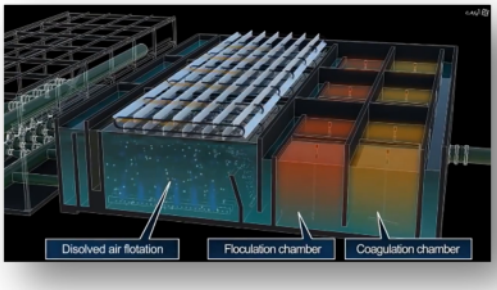
Seawater
Pump Station

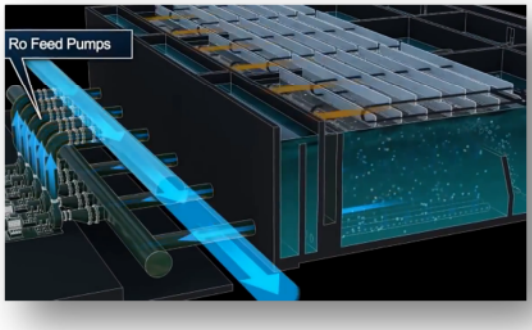

Coagulant
Disinfection

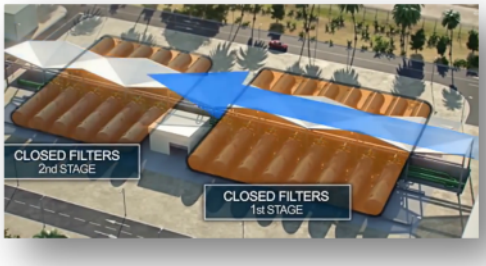

Rotary band screen

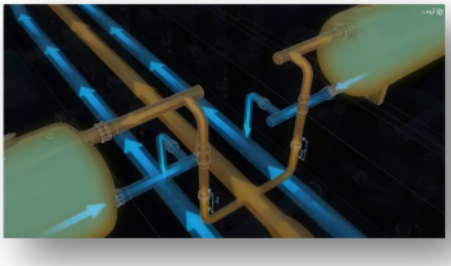

Raw Water Pumps

DAF
Dissolved Air Flotation

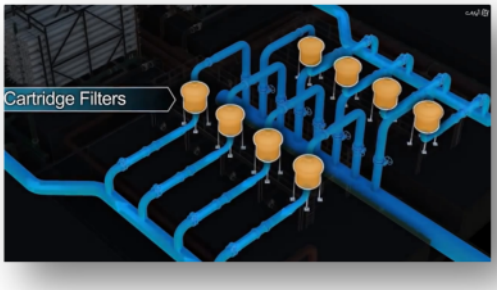

Disolved air flotation
Floculation chamber
Coagulation chamber


Ro Feed Pumps

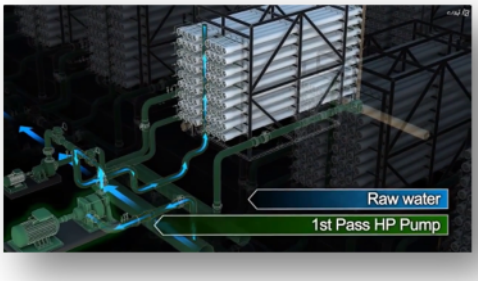

CLOSED FILTERS
2nd STAGE
CLOSED FILTERS
1st STAGE

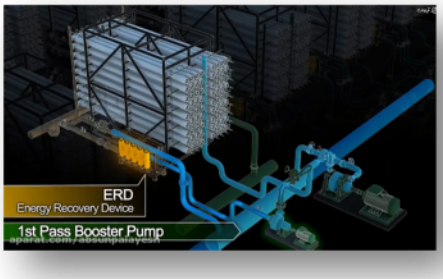


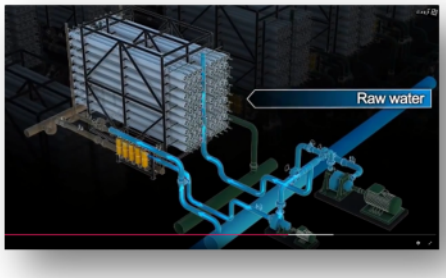
RO Building
Reverse Osmosis
Cartridge Filter

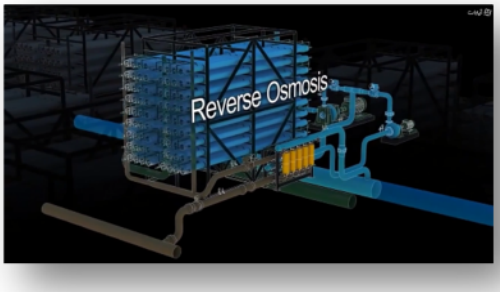

Cartridge Filters

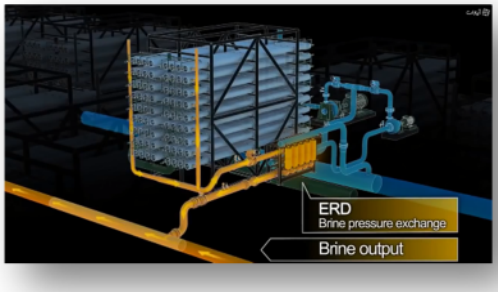
RO First pass
Cartridge Filters

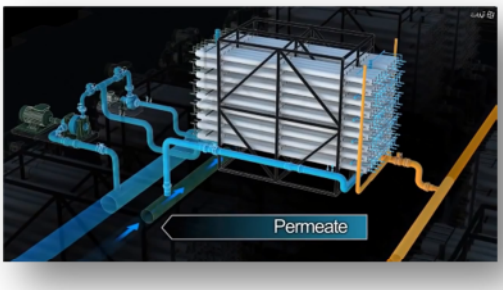

Raw water
1st Pass HP Pump


ERD
Energy Recovery Device
1st Pass Booster Pump


Raw water

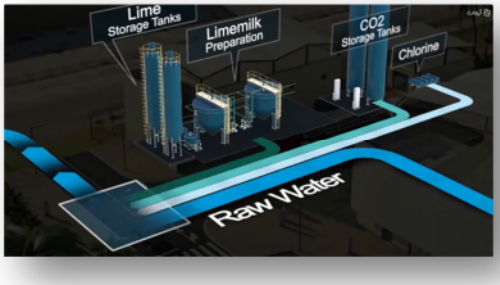

Reverse Osmosis


ERD
Brine pressure exchange
Brine output

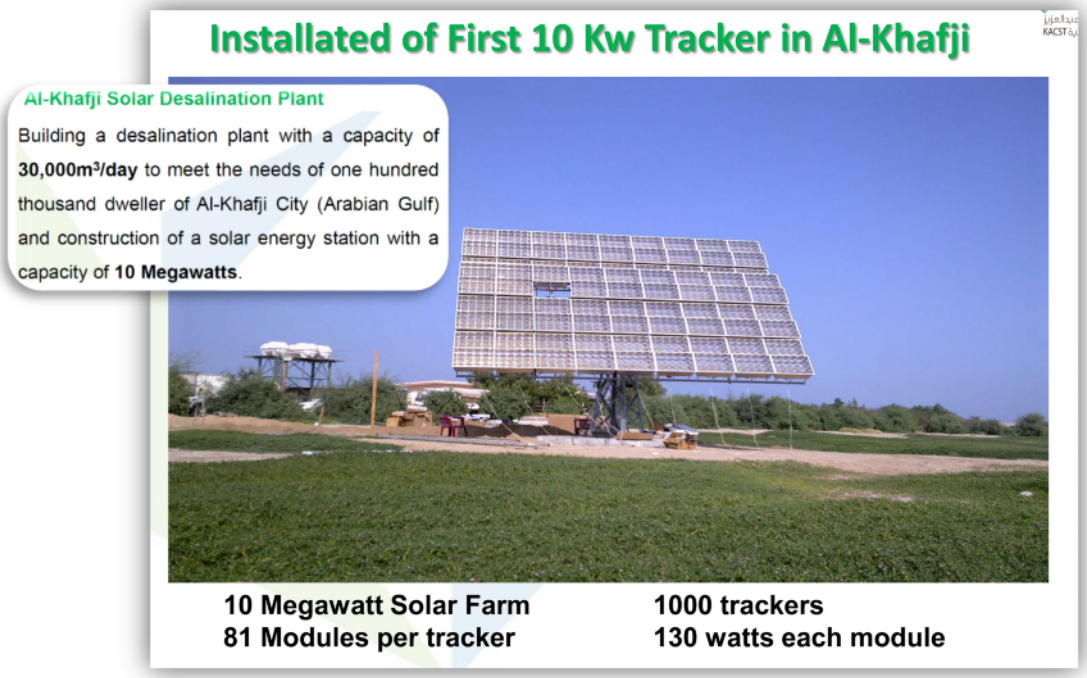

Permeate

2nd Pass RO Trains
RO First pass
Cartridge Filters

BRINE
WATER
Brine discharge


Lime
Storage Tanks
Limemilk
Preparation
CO2
Storage Tanks
Chlorine
Raw Water

Water Tank



مراجع:

ایسنا – ۲ اردیبهشت ۱۳۹۷،

https://www.aparat.com/v/gpzTD/بزرگترین_آب_شیرین_کن_جهان_با_انرژی_خورشیدی

http://www.agu.edu.bh/pdf/sixthzayedseminar/First%20Day/2/Hussam.pdf

معرفی کتاب

عنوان: سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست(HSE)، تأسیسات و تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

پدیدآورنده:مینا رضایی ، سجاد رحیمی ، وحید آقابالائی

سال انتشار: ۲۰۱۸

ناشر: انتشارات آوای قلم

صنعت آب و فاضلاب به‌عنوان عرضه‌کننده مجموعه‌ای از مهم‌ترین خدمات به شهروندان همیشه نیازمند توسعه، متناسب با رشد جمعیت و اصلاح روش‌های بهره‌برداری منابع آب و استفاده از روش‌های نوین جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب است و به‌عنوان یک صنعت پویا در مسیر توسعه اقتصادی وظایف مهم خود را به انجام می‌رساند. شتاب در احداث و گسترش تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان شریان‌های حیاتی در استان‌ها و شهرستان‌های کشور عزیزمان ایران اسلامی، هرچند نشانه توجه به امر سلامتی و بهداشت درزمینهٔ آب و فاضلاب است، بااین‌حال مخاطرات جدی بهداشتی و ایمنی برای کارکنان شاغل در تصفیه‌خانه‌ها و همچنین محیط‌زیست کاملاً واضح است. استفاده از روش‌های فنی و مهندسی به‌تنهایی برای پیشگیری و مقابله با شرایط ناایمن و غیربهداشتی کافی نبوده و لازم است که تدابیری برای تکمیل راهکارهای مورداستفاده شرکت‌های آب و فاضلاب عملکرد بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست خود ، HSE اندیشیده شود. در سیستم مدیریت را از طریق شناسایی ریسک‌های این بخش و تحت کنترل درآوردن آن‌ها، بهبود می‌بخشند.

کتاب حاضر حاوی مطالب کاربردی با تکیه‌بر فنون و دانش روز دنیا سعی بر شناساندن الگوهای صحیح بهداشتی (با اولویت خود مراقبتی)، فرهنگ ایمنی و تکنیک‌های نوین فناوری زیست‌محیطی در راستای کاهش خسارات انسانی و مالی به کارکنان شاغل در حوزه آب و فاضلاب دارد تا الگویی یکنواخت و ملی به‌منظور استقرار ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست ارائه دهد.

این کتاب در ۱۰ فصل تدوین‌شده است که در آن اطلاعات کاملی در مورد تأسیسات تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، ساختارها و مجوزها و دستورالعمل‌ها ، اقدامات مدیریتی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب ، تجهیزات حفاظت فردی، مدیریت ایمنی در واحدهای عملیاتی و فرایندی، ایمنی در تأسیسات، ایمنی و بهداشت گازها ، ایمنی و بهداشت در آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب ، مخاطرات میکروبی و زیست‌محیطی و استانداردهای پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها مطرح‌شده است.