

هیئت داوران نشریه این دوره

دکتر احمدی، امید (دانشگاه صنعتی سهند)
 دکتر اسداله زاده، مهدی (دانشگاه علم و صنعت ایران)
 دکتر آیتی، بیتا (دانشگاه تربیت مدرس)
 دکتر باباپور، عزیز (دانشگاه محقق اردبیلی)
 دکتر باکری، غلامرضا (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)
 دکتر بیگی، یونس (دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
 دکتر پاشائی، حسن (شرکت نفت فلات قاره)
 دکتر جباری، آسیه (دانشگاه صنعتی سهند)

دکتر حاتمیان، اشرف السادات (دانشگاه تهران)
 دکتر خضرا آقا، همایون (دانشگاه صنعتی سهند)
 دکتر خواجهنوری، مریم (دانشگاه سمنان)
 دکتر دادوندکوهی، احمد (دانشگاه گیلان)
 دکتر دانش فر، زهرا (دانشگاه یزد)
 دکتر رحمانی، محمد (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
 دکتر زهدی، سید حسین (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
 دکتر سرگلزائی، جواد (دانشگاه فردوسی مشهد)
 دکتر سعادت‌مند، مریم (دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر سلمان تبریزی، نوشین (پژوهشگاه مواد و انرژی)
 دکتر سیار، زهرا (دانشگاه بناب)
 دکتر علمداری، امین (دانشگاه ارومیه)
 دکتر فرجادیان، فاطمه (دانشگاه شیراز)
 دکتر کوثری، محمدحسین (دانشگاه زنجان)
 دکتر محبی، علی (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
 دکتر نیکوفرد، حسین (دانشگاه صنعتی شاهرود)
 دکتر یوسفی، وجیهه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)



اهمیت علم و فناوری ذرات جامد در مهندسی شیمی

عبدالرضا صمیمی

گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیک‌بخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

مرطوب شدن، روانه‌شناسی دوغاب، حلالیت، تغییر شکل و شکستگی ذرات، به‌علاوه سازوکارهای گرانول‌سازی نیز حاکی از ارتباط نزدیک مهندسی شیمی و فناوری ذرات است. امروزه، تجزیه و تحلیل‌های ریاضی و آماری مانند کاربرد شبکه‌های عصبی، آنالیزهای مونت کارلو و بیلان جمعیتی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی عددی از جمله روش‌های DEM و CFD در فرایندهای انتقال، کاهش و افزایش اندازه ذرات، شگردهای فراکتال و پردازش تصویر در آنالیزهای شکلی، هم‌چنین هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به‌طور مؤثر در آموزش مهندسی شیمی به‌کار می‌آیند؛ لذا التزام مهندسان شیمی به این موارد، می‌تواند پیامدهای مفیدی را در بخش‌های مختلف از علوم پزشکی تا انرژی در پی بیاورد.

۱) دروس و تحقیقات علمی دانشگاهی

در سطح بین‌المللی بسیاری از گروه‌ها و دانشکده‌های مهندسی شیمی، فناوری ذرات جامد را در برنامه درسی اصلی خود گنجانده‌اند. دوره‌ها عموماً موضوعاتی مانند بررسی خواص ذرات جامد از ابعاد نانو تا ماکرو، برهم‌کنش‌های بین ذرات و سیال و طراحی فرایندهای مرتبط با ذرات را پوشش می‌دهند. دروس تخصصی، انتخابی و پیشرفته در فناوری ذرات جامد به دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی اجازه می‌دهد تا با شناخت علم

علم و فناوری ذرات جامد^۱، حوزه‌ای حیاتی در مهندسی شیمی است که با بررسی رفتار، خصوصیات، فراوری و انتقال موادی شامل ذرات پودری و گرانولی سروکار و در صنایعی مانند داروسازی، مواد غذایی، شوینده، سیمان، کود شیمیایی و کاتالیزور کاربرد اساسی دارد. در واقع، بیش از ۷۰ درصد فرایندهای صنعتی، با ذرات جامد- از اندازه‌های نانومتری تا مقیاس‌های بزرگ در محدوده میلی‌متر و سانتی‌متر- نیز با آشکال، خواص مکانیکی و سایر ویژگی‌های منفرد یا توده‌ای مختلف درگیر هستند. فناوری ذرات جامد به‌طور مستقیم با مبانی عملیات واحدهای مکانیکی از جمله کاهش اندازه (خرد کردن، آسیاب کردن)، افزایش اندازه (گرانولاسیون و قرص‌سازی)، سیالیت (بستر سیال)، جداسازی (فیلتراسیون، شناورسازی، ته‌نشینی)، طبقه‌بندی (براساس اندازه یا شکل)، اختلاط مواد، ذخیره‌سازی و جابه‌جایی ذرات در ارتباط است. هم‌چنین پدیده‌های انتقال مانند انتقال حرارت و جرم در فرایندهای خشک کردن و تبلور جزء جدایی‌ناپذیر فناوری ذرات است. برخی از ویژگی‌های مربوط به مبانی علم ذرات مانند انتشار (حرکت براونی، انتشار حرارتی)، آثار بار سطحی در سامانه کلئیدی (لایه دوگانه الکتریکی^۲، پراکندگی آیرودینامیکی پودرها، برهم‌کنش‌های ذره/ ذره یا دیواره/ ذره (نیروهای پیوستگی و چسبندگی)،

1. Particulate Solids Science and Technology
 2. Electric Double Layer

برگزار شد. انستیتو مهندسان شیمی^۳ بریتانیا نیز متولیگردهمایی‌های سالانه‌ای است که شامل جلساتی برای تبادل نظر اعضا در مورد سامانه‌های ذرات، فرایندها و موضوعات مرتبط است. کنفرانس‌های منطقه‌ای مانند سمپوزیوم اروپایی فناوری ذرات- که فدراسیون مهندسی شیمی اروپا^۴ آن را سازماندهی می‌کند- نیز با تأکید بر فناوری ذرات در چهارچوب اروپا و چالش‌ها و نوآوری‌های مرتبط از اهمیت خاصی برخوردار است. کنفرانس CHISA یکی از مهمترین آن‌ها است که سالانه در کشور جمهوری چک برگزار می‌شود و علم و فناوری ذرات بخش مهمی از مقالات آن را تشکیل می‌دهد. نیز، سمپوزیوم فناوری ذرات آسیایی^۵ یک رویداد کلیدی برای منطقه آسیا و اقیانوسیه است که بر آخرین پیشرفت‌های تحقیقاتی و فناوری در ذرات جامد تمرکز دارد و نهمین دوره آن در سیدنی استرالیا در دسامبر ۲۰۲۴ برگزار می‌شود.

۳) گروه‌های موضوعی در جوامع و انجمن‌های علمی

انستیتو مهندسان شیمی آمریکا (AIChE) دارای یک گروه موضوعی اختصاصی به نام انجمن فناوری ذرات^۶ است. این انجمن جلسات، کارگاه‌ها و موضوعات چاپ ویژه در مجلات را سازماندهی می‌کند. انجمن فناوری ذرات، هم‌چنین فرصت‌های شبکه‌سازی میان متخصصان و دانشگاهیان علاقه‌مند به علوم و فناوری ذرات جامد را فراهم می‌کند و با بخش‌های زیرمجموعه انستیتو مهندسان شیمی آمریکا مانند توسعه فرایند، برای رسیدگی به چالش‌های مرتبط با فناوری ذرات و مهندسی فرایندهای شیمیایی، همکاری می‌کند. انستیتو مهندسان شیمی بریتانیا (IChemE) نیز با تشکیل گروه‌های علاقه ویژه^۷، گروه فناوری ذرات را به‌عنوان بستری برای اعضای انجمن فراهم کرده‌است تا در مورد پیشرفت‌های مرتبط با فناوری ذرات بحث و تبادل نظر کند و یافته‌های تحقیقاتی خود را به اشتراک بگذارند. این انستیتو، وبینارها و کارگاه‌های آموزشی متنوعی را نیز در زمینه فناوری ذرات سازماندهی می‌کند و فرصت‌های توسعه حرفه‌ای را برای مهندسان در این زمینه ارائه می‌دهد. سایر انجمن‌ها مانند فدراسیون اروپایی مهندسی شیمی (EFCE)، کارگروه اختصاصی فناوری ذرات را ایجاد کرده که بر ترویج آن در سراسر

مواد، فناوری نانو و مهندسی محیط زیست درک جامعی از رفتار ذرات را در زمینه‌های مختلف در خود تقویت کنند. این دروس اغلب با تلفیق مباحث نظری، نرم‌افزاری و عملی/آزمایشگاهی همراه هستند که می‌توانند تجربه‌های تئوری و کاربردی را در مورد تجهیزات اندازه‌گیری، روش‌های فراوری و طراحی فرایندی ذرات ارائه دهند.

در باب پژوهش‌های علمی و توسعه فناوری مواد نوآورانه، تحقیقات در زمینه ذرات جامد با شناخت خواص، روش‌های سنتز و کاربرد آن‌ها می‌تواند به توسعه مواد جدید با خواص مکانیکی، شکلی و توزیع اندازه مورد نظر کمک کند که در صنایعی با فناوری بالا از جمله داروسازی، کاتالیستی، ایجاد پوشش‌های نازک و کاربردهای الکترونیک اهمیت وافر دارند. تحقیقات در علم و فناوری ذرات جامد هم‌چنین به بهینه‌سازی فرایندهای مربوط به سامانه‌های ذرات با تولید کارآمدتر، کاهش ضایعات و بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند. علم ذرات جامد از دیدگاه محیط زیستی نیز در مطالعات فناوری‌های کنترل آلودگی، مانند جذب ذرات آلاینده در گازها و تصفیه آب و پساب با استفاده از عملیات جذب و پالایش نقش کلیدی بازی می‌کند.

۲) کنگره‌های جهانی و منطقه‌ای

مهم‌ترین کنگره‌ها و گردهمایی‌ها در زمینه علوم و فناوری ذرات، بیشتر زیر نظر انجمن‌های مهندسی شیمی برگزار می‌شود. از برجسته‌ترین گردهمایی‌ها با تمرکز بر علوم و فناوری ذرات جامد، کنگره جهانی فناوری ذرات^۱ است که هر چهارسال یک‌بار در یک کشور برگزار می‌شود. این کنگره پژوهشگران، کارشناسان صنعت و دانشگاهیان را گرد هم می‌آورد تا در مورد آخرین پیشرفت‌های علم ذرات جامد- از تحقیقات بنیادی گرفته تا کاربردهای صنعتی- بحث کنند. در این راستا دهمین کنگره فناوری ذرات به میزبانی ژاپن در سال ۲۰۲۶ برگزار خواهد شد. انستیتو مهندسان شیمی آمریکا^۲ میزبان جلسات سالانه‌ای است که به تبادل نظرات در خصوص فناوری ذرات جامد می‌پردازد و طیف گسترده‌ای از موضوعات را مانند فناوری پودر، سیال‌سازی و خصوصیات ذرات پوشش می‌دهد. آخرین اجلاس از این دست در اکتبر ۲۰۲۴ در شهر سان‌دیگو آمریکا

3. Institute of Chemical Engineers (IChemE)
4. European Federation of Chemical Engineering (EFCE)
5. Asian Particle Technology Symposium (APTS)
6. Particle Technology Forum (PTF)
7. Special Interest Groups (SIGs)

1. World Congress of Particle Technology (WCPT)
2. American Institute of Chemical Engineers (AIChE)

اروپا به‌وسیله کنفرانس‌ها، نشریات و پروژه‌های مشترک تمرکز دارد.

۴) مؤسسات تحقیقاتی، گروه‌ها و دانشکده‌های بین‌المللی پیشرو در فناوری ذرات جامد

باتوجه به گستره وسیع و بینارشته‌ای علم و فناوری ذرات جامد، بسیاری از دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی بین‌المللی مراکز، گروه‌ها و آزمایشگاه‌های تخصصی مرتبطی را ایجاد کرده‌اند. در این راستا، دانشکده مهندسی شیمی و فرایند دانشگاه لیدز انگلستان^۱ یکی از مراکز تحقیقاتی پیشرو در جهان است که در علم و مهندسی ذرات اشتغال دارد و تحقیقات بنیادی را با کاربردهای صنعتی تلفیق می‌کند و بر درک و توسعه سامانه‌های ذرات جامد متمرکز است. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن شامل این موارد است: سنتز ذرات و فرمول‌بندی، فرآوری و انتقال ذرات پودری، فناوری نانوذرات، تعیین خواص ذرات جامد، مدل‌سازی تجربی و محاسباتی و مهندسی ذرات دارویی. از دیگر مؤسسات معتبر می‌توان به مرکز تحقیقات فناوری ذرات دانشگاه فلوریدای آمریکا^۲ اشاره کرد که بر پیشرفت و درک اساسی از سامانه‌های ذرات معلق و به کارگیری این دانش در فرایندهای صنعتی تمرکز دارد و به‌طور گسترده برای حل مشکلات عملی مربوط به فناوری ذرات، با صنایع همکاری می‌کند. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن عبارت‌است از: سیال‌سازی ذرات، فرایندهای گرانول‌سازی و تجمع ذرات، پوشش‌دادن ذرات و کپسوله‌کردن، مدل‌سازی محاسباتی فرایندهای ذرات جامد و بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی انتشار ریزگردها. گروه مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی دلفت هلند^۳ تمرکز زیادی بر روی سامانه‌های چندفازی مرتبط با فناوری ذرات دارد. این گروه برای درک و بهینه‌سازی فرایندهای ذرات، روی کردهای تجربی و محاسباتی را با یکدیگر تلفیق می‌کند. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن شامل بررسی جریان‌های امولسیون و دوغابی، فرایندهای تبلور، دینامیک جریان ذرات گرانولی، سامانه‌های چندفازی واکنشگاهی، نانو و میکروسیالات می‌شود. مرکز فرایندها و محصولات ذرات جامد دانشگاه پردو

آمریکا^۴ یک مؤسسه تحقیقاتی چندرشته‌ای است که هدف آن نوآوری و بهینه‌سازی فرایندهای تولید ذرات است. این مرکز برای تبدیل یافته‌های تحقیقاتی به کاربردهای عملی، با حامیان صنعتی خود همکاری می‌کند. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن شامل فرایندهای تولید دارو، جریان و فشرده‌سازی پودری، طراحی و فرمول‌بندی ذرات، تولید افزودنی‌های پودری و تجزیه و تحلیل فرایندی سامانه‌های ذرات می‌شود. مؤسسه فناوری شیمیایی فراونهور آلمان^۵ برای تحقیقات کاربردی در زمینه فناوری شیمیایی از جمله فناوری ذرات فعالیت می‌کند. این مؤسسه با شرکای صنعتی خود در توسعه راه‌حل‌های نوآورانه برای فرآوری مواد همکاری می‌کند. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن عبارت است از سنتز ذرات عامل‌دار، متالورژی پودر، فرآوری مواد انرژی‌زا، مواد کامپوزیتی با پرکننده‌های ذرات جامد و تولید افزودنی‌های پودری. آزمایشگاه فناوری ذرات زوریخ سویس^۶ به درک اصول سامانه‌های ذرات و توسعه مواد پیشرفته به‌وسیله شگردهای فرآوری ذرات اختصاص یافته‌است. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن شامل سنتز و تجمع نانوذرات، فناوری آئروسول‌ها، امولسیون‌ها و فوم‌های تثبیت‌شده با ذرات، تعیین خصوصیات پیشرفته ذرات، بررسی اثرات زیست‌محیطی انتشار ریزگردها می‌شود. مرکز فرآوری و انتقال ذرات پیشرفته دانشگاه نیوکاسل استرالیا^۷ نیز بر بهبود کارایی و پایداری سامانه‌های فرآوری ذرات و انتقال آن‌ها و چالش‌های عملی صنعت و معدن تمرکز دارد. حوزه‌های کلیدی تحقیقاتی آن شامل آب‌گیری و خشک‌کردن ذرات دوغابی، جداسازی و طبقه‌بندی ذرات ریز، روانه‌شنای دوغاب‌ها، بررسی فرسایش در حمل و نقل ذرات و کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در سامانه‌های ذرات می‌شود. شرکت جنیک و جوهانسون آمریکا^۸ درحالی‌که یک مؤسسه آکادمیک نیست، یک مشاور مهندسی پیشرو است که در امور ذخیره‌سازی، جریان و فرآوری مواد جامد به‌صورت فله تخصص دارد و پیشگام بسیاری از شگردها و استانداردهای مورد استفاده در سطح جهانی در حمل‌ونقل جامدات فله است.

در ایران نیز مؤسسات پژوهشی و دانشگاهی متنوعی با زیرگروه‌های

4. Center for Particulate Processes and Products (CP3)-Purdue University, USA
 5. Fraunhofer Institute for Chemical Technology (ICT)-Germany
 6. Laboratory of Particle Technology - ETH Zurich, Switzerland
 7. Center for Advanced Particle Processing and Transport-University of Newcastle, Australia
 8. Jenike & Johanson, Inc.-USA

1. School of Chemical and Process Engineering- University of Leeds, UK
 2. Particle Technology Research Center (PTRC)-University of Florida, USA
 3. Department of Chemical Engineering-Delft University of Technology (TU Delft), Netherlands

۵) نشریات و مجلات علمی پژوهشی معتبر ملی و بین‌المللی
در میان مجلات علمی و پژوهشی چاپ داخل کشور نشریه مهندسی شیمی ایران (به زبان فارسی) طیف وسیعی از مطالعات مروری و پژوهشی مرتبط با مهندسی شیمی را از جمله زمینه فناوری ذرات جامد چاپ می‌کند. نیز، مجله تخصصی *Journal of Particle Science and Technology (JPST)* به زبان انگلیسی را می‌توان در این باره نام برد. از مجلات بین‌المللی معتبر نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Powder Technology (Elsevier), Advanced Powder Technology (Elsevier), Particuology (Elsevier), Particle & Particle Systems Characterization (Wiley), Granular Matter (Springer), Journal of Aerosol Science (Elsevier), Journal of Powder Metallurgy (Taylor & Francis)

۶) نتیجه‌گیری

علم و فناوری ذرات جامد، جزء جدایی‌ناپذیر مهندسی شیمی و برخی دیگر میان‌رشته‌ها است و باید با توجه ویژه بر برنامه‌های درسی دانشگاهی کشور تأثیرگذار باشد. ایجاد ساختارها و کارگروه‌های موضوعی در انجمن مهندسی شیمی ایران و گروه‌های آموزشی مهندسی شیمی می‌تواند در پیش‌برد آموزش، تحقیقات علمی و افزایش سطح آمادگی فناوری ذرات جامد پیشرو باشد و همکاری‌های ملی و بین‌المللی و فعالیت‌های اجتماعی را تقویت کند. همچنین با توسعه مداوم و به‌روز فناوری ذرات، ارائه راه‌کارهای مقابله با چالش‌های درگیر در صنایع و محیط زیست تضمین شود.

موضوعی مرتبط، به امر تحقیق و گاهی توسعه فناوری ذرات جامد می‌پردازند. یکی از این مجموعه‌ها گروه مهندسی شیمی دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان است که طی ۴۵ سال فعالیت آموزشی و پژوهشی خود نقش به‌سزایی در تربیت دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی (ارشد و دکتری) در جنوب شرق کشور داشته‌است. در این گروه علاوه بر آزمایشگاه‌های آموزشی مختص صنایع شیمیایی و معدنی، با لحاظ کردن اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری کشور، منطقه و استان، چندین هسته پژوهشی نیز با امکانات آزمایشگاهی مرتبط با علم ذرات شامل کاتالیست‌های هتروژن، فناوری‌های ذرات نانو و بیو و فناوری‌های غشایی در حال پژوهش هستند. در آزمایشگاه کاتالیست‌های هتروژن و جاذب‌ها، سنتز و شکل‌دهی انواع این ذرات و بررسی خواص ساختاری و مکانیکی آن‌ها، مدل‌سازی سینتیکی واکنش‌های کاتالیستی و جذب آلاینده‌ها انجام می‌شود. در آزمایشگاه مهندسی پزشکی، مدل‌سازی ریاضی بیوراکتورهای مهندسی بافت و تهیه داربست‌های آن‌ها انجام می‌شود و در آزمایشگاه فناوری‌های غشایی با ساخت غشاهای سرامیکی و پلیمری کامپوزیتی آبدوست یا آب‌گریز در کاربردهای پیل سوختی میکروبی، نمک‌زدایی آب و تصفیه پساب تحقیق می‌شود.