



سال یازدهم، شماره شصت و سوم

پاییز ۱۳۹۹

ISSN: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

« با درجه علمی »

**صاحب امتیاز:** انجمن سرامیک ایران

**مدیر مسئول:** دکتر مسعود محبی

**سر دبیر:** دکتر علیرضا سوری

**مدیر اجرایی:** سعیده علیشاهی

**گردآوری مطالب:** محبوبه پیریایی

**نشانی:** تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده

مهندسی مواد و متالورژی، دفتر انجمن سرامیک ایران

**صندوق پستی:** تهران، ۱۱۱-۱۶۸۴۵

**تلفن:** ۷۷۸۹۹۳۹۹

**دورنگار:** ۷۷۸۹۹۳۹۹

**پست الکترونیکی:** info@jicers.ir

**نشانی سایت اینترنتی:** www.jicers.ir

**طراحی، گرافیک و صفحه آرای:** تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر مترجمان و نویسندگان انجام می شود. مسئولیت محتوای مقالات به عهده نویسندگان و مترجمان است. مطالب ارسالی برگردانده نمی شود.

### هیات تحریریه:

دکتر علیرضا آقایی	پژوهشگاه مواد و انرژی
دکتر محمد رضوانی	دانشگاه تبریز
دکتر رسول صراف ماموری	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر پروین علیزاده	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر حسین مولایی	شرکت ایرانا
دکتر علیرضا میرحبیبی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر رحیم نقی زاده	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر علی محمد هادیان	دانشگاه تهران
دکتر عباس یوسفی	شرکت لعاب مشهد

### گروه مشاوران:

دکتر علی اصغر بهنام قادر	پژوهشگاه مواد و انرژی
مهندس نادر خلیلی	فرآورده های دیرگلاز مهر آریان فارس
مهندس سیروس روشنفکر فلاح	شرکت تجهیز مواد پیشگام
مهندس محمد روشنفکر فلاح	انجمن تولید کنندگان کاشی و سرامیک کشور
مهندس میر حسام الدین داعی نیاکی	شرکت گل سرخ گستر آمل
مهندس علی زاویه	انجمن صنفی کارفرمایی صنعت مواد نسوز
مهندس حسین زجاجی	انجمن صنفی صنعت شیشه
مهندس محمود سالاریه	شرکت آرمتناژ
دکتر آرمان صدقی	دانشگاه بین الملل امام خمینی
دکتر احمد صفری	دانشگاه ایالتی نیوجرسی
مهندس حسین عزیزیان	صنعت سیمان
دکتر مهران غفاری	شرکت اشکان پارت آفرین
دکتر عباس فاضلی	سازمان زمین شناسی کشور
دکتر کاووس فلامکی	دانشگاه امیرکبیر
مهندس عباسعلی قصابی	شرکت چینی زرین ایران
مهندس حسین قصابی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر ابراهیم قاسمی	پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
دکتر کاظم قنبری	دانشگاه شفیلد انگلستان
دکتر مهرداد کشمیری	دانشگاه بریتیش کلمبیا
دکتر علیرضا گنجی	شرکت معدنی و صنعتی سوراوچین عقیق
دکتر حمیدرضا نعمتی	شرکت لعابیران
دکتر امیر عباس نوربخش	دانشگاه آزاد

۱	تازه‌ها
۱	اخبار انجمن سرامیک ایران
۱	کسب رتبه A توسط انجمن سرامیک ایران
۱	کسب رتبه اول توسط پژوهشگاه رنگ!
۱	وبینار تخصصی آتور فرانسه
۱	ارتقا رتبه نشریه "Iranian journal of Materials Science and Engineering"
۲	وبینار "چرا و چگونه مقاله مروری بنویسیم؟"
۴	اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی
۴	جهش تولید این بار از نوع عمل انقلابی؛ یک شرکت تولیدی کاشی و سرامیک تزئینی ...
۵	«شلیک به تولید» مشکلات واردات مواد اولیه بلای جان تولید کاشی و سرامیک شد
۶	ابتکار جالب مخترع مشهدی سبب کاهش قیمت نهایی کاشی و سرامیک می‌شود.
۷	رونق اقتصاد ملی با حمایت از صنعت کاشی و سرامیک / مشکلات داخلی، سد ...
۹	سرامیک‌های صنعتی دانش‌بنیان به صنایع کشور نفوذ کرد.
۱۱	اخبار علمی
۱۱	ترمیم ضایعات استخوانی با یک ساختار جدید
۱۲	دومین کنفرانس VITROGEowASTES
۱۲	نانوذراتی که نور خورشید را با کارایی ۹۰ درصد به گرما تبدیل می‌کند.
۱۳	روش سنتز جدید برای نانو کربن‌های سه بعدی
۱۳	نانو رس مایع Liquid NanoClas (LNC)
۱۴	مقاومت‌های حافظه‌ی بر پایه‌ی گرافن نویدبخش انجام محاسبات مبتنی بر مغز هستند.
۱۵	پتانسیل مهندسی نانو برای بهبود ذخیره‌ی انرژی
۱۶	مقالات پژوهشی
۱۶	بررسی تاثیر محیط حلال بر خواص ساختاری و مورفولوژیکی نانو ذرات اکسید روی سنتز شده با...
۲۱	بررسی تاثیر pH حلال بر خواص ساختاری، مورفولوژیکی نانو ذرات ZnO سنتز شده ...
۲۶	گسیل لیتری در شیشه سرامیک‌های فسفاتی آلائیده به $Nd^{+3}$
۳۰	بررسی اثر افزودن آندالوزیت روی شوک پذیری حرارتی جرم‌های ریختنی دیر گداز ...
۳۵	مقالات مروری
۳۵	کاربرد مواد سرامیکی و نانو مواده‌ها در توسعه تجهیزات ارتباطی نسل پنجم (5G)
۴۵	ساخت پوشش‌های مزوسیلیس به روش خودآرایی القاشده با تبخیر؛ مروری بر ساز و کار، عوامل مؤثر و قابلیت‌ها
۶۲	معرفی پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی
۶۵	لیست اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران
۷۳	تقویم رویدادهای سرامیک

# اخبار انجمن سرامیک ایران

## کسب رتبه A توسط انجمن سرامیک ایران

براساس بررسی عملکرد انجمن‌ها در سال ۱۳۹۸ به صورت کمی و کیفی توسط کمیسیون انجمن‌های علمی ایران؛ انجمن سرامیک ایران در رتبه بندی انجمن‌های علمی در گروه‌های تخصصی، امتیاز ۱۵۰۰ و رتبه A را کسب نمود.



### تبریک

بر اساس رتبه سنجی سال ۱۳۹۸ پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) کسب رتبه اول در بین مراکز پژوهشی و تحقیقاتی را به ریاست پژوهشگاه رنگ (عضو حقوقی انجمن سرامیک ایران) سرکار خانم دکتر زهرا رنجبر و همکاران ایشان تبریک عرض نموده و موفقیت‌های روزافزون آن مرکز پژوهشی را در عرصه‌های تحقیق و پژوهش از خداوند متعال خواهانیم.

انجمن سرامیک ایران

## کسب رتبه اول توسط پژوهشگاه رنگ

بر اساس رتبه سنجی سال ۱۳۹۸ پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)؛ پژوهشگاه رنگ (عضو حقوقی انجمن سرامیک ایران) با ریاست سرکار خانم دکتر زهرا رنجبر موفق به کسب رتبه اول در بین مراکز پژوهشی و تحقیقاتی گشت.

## وبینار تخصصی آتور فرانسه

وبینار تخصصی آتور فرانسه در روز سه شنبه مورخ ۶ آبان ماه ۱۳۹۹ ساعت با ارایه دکتر محمد باوند وندچالی عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات و عضو هیات مدیره انجمن سرامیک ایران با هماهنگی انجمن سرامیک ایران برگزار گردید. موضوع سخنرانی آقای دکتر باوند در این وبینار «Microstructure Engineering of Oxide-C Refractories by Addition of Nano-particles» بود که مورد توجه شرکت کنندگان حاضر در وبینار از جمله اساتید؛ دانشجویان و پژوهشگران این حوزه قرار گرفت.



وبینار تخصصی آتور فرانسه:

(Advanced Thermo-mechanical multiscale modelling of Refractory linings)

Microstructure Engineering of Oxide-C Refractories by Addition of Nano-particles

Dr. Mohammad Bavand-vandchali  
Material Eng. Dept., Science and Research Branch, IAU,  
and  
Board member of Iranian Ceramic Society



زمان: سه شنبه ۹۹/۰۸/۰۶  
27 Oct., 2020, 13:00-15:30



لینک وبینار متعلقاً در سایت و کاتالوگ انجمن سرامیک ایران اطلاع رسانی می‌گردد  
[www.lcers.ir](http://www.lcers.ir)

## ارتقا رتبه نشریه "Iranian journal of Materials Science and Engineering"

انجمن سرامیک ایران براساس ارزیابی (SJR) Scimagojr به عنوان یک مرجع معتبر جهت ارزیابی علمی دانشگاه‌ها و موسسات تحقیق محور در سراسر جهان، رتبه نشریه "Iranian journal of Materials Science and Engineering" که با همکاری انجمن سرامیک ایران، انجمن متالورژی ایران و دانشگاه علم و صنعت ایران چاپ می‌گردد از Q3 به Q2 ارتقا یافته است. ضمن تبریک این دستاورد ارزشمند به سردبیر و مسئولین محترم این نشریه، از کلیه اساتید، پژوهشگران، کارشناسان و علاقمندان دعوت بعمل می‌آید تا مقالات خود را جهت چاپ در این مجله به وبسایت [www.ijmse.iust.ac.ir](http://www.ijmse.iust.ac.ir) ارسال نمایند.



براساس ارزیابی (SJR) Scimagojr به عنوان یک مرجع معتبر جهت ارزیابی علمی دانشگاه‌ها و موسسات تحقیق محور در سراسر جهان، رتبه نشریه "Iranian journal of Materials Science and Engineering" که با همکاری انجمن سرامیک ایران، انجمن متالورژی ایران و دانشگاه علم و صنعت ایران چاپ می‌گردد از Q3 به Q2 ارتقا یافته است. ضمن تبریک این دستاورد ارزشمند به سردبیر و مسئولین محترم این نشریه، از کلیه اساتید، پژوهشگران، کارشناسان و علاقمندان دعوت بعمل می‌آید تا مقالات خود را جهت چاپ در این مجله به وبسایت [www.ijmse.iust.ac.ir](http://www.ijmse.iust.ac.ir) ارسال نمایند.



## وبینار "چرا و چگونه مقاله مروری بنویسیم؟"

کارگاه آموزشی انجمن سرامیک ایران به صورت وبینار تحت عنوان "چرا و چگونه مقاله مروری بنویسیم؟" توسط آقایان دکتر مازیار منتظریان از دانشگاه تربیت مدرس و دکتر فرانچسکو بائینو از دانشگاه پلی تکنیک تورین ایتالیا در تاریخ ۲۹ آبان ماه ۱۳۹۹ به مدت ۴ ساعت برگزار شد و مورد استقبال چشمگیری از جانب دانشجویان و پژوهشگران قرار گرفت. پس از پایان این وبینار تخصصی؛ گواهی شرکت در دوره از طرف انجمن سرامیک ایران به شرکت کنندگان اعطا شد.





وبینار  
چرا و چگونه مقاله‌ی مروری بنویسیم؟

به شرکت کنندگان از طرف انجمن سرامیک ایران، گواهی معتبر اعطا خواهد شد.



**دکتر مازیار منتظریان**  
گروه تحقیقاتی عصر شیشه‌ای

۲۹ آبان ۱۳۹۹  
ساعت ۱۸:۳۰-۲۲



**دکتر فرانچسکو بائینو**  
دانشگاه پلی تکنیک تورین ایتالیا

سوابق مدرسین:

دارای بیش از ۲۰ مقاله‌ی مروری در بهترین ژورنال‌های مهندسی مواد، شیمی و مهندسی بافت از جمله:

- Chemical Reviews (JIF: 52.7)
- Chemical Society Reviews (JIF: 42.8)
- 2 proposal accepted in Progress in Materials Science (JIF: 31.5)
- International Materials Review (JIF: 14.4)
- Acta Biomaterialia (JIF: 7.2)
- Materials Science and Engineering C (JIF: 5.8)
- Journal of Biomedical Materials Research: Part A (JIF: 3.5)

هزینه‌ی ثبت نام: ۲۰۰ هزار تومان (۲۰ درصد تخفیف دانشجویی)

برای کسب اطلاعات بیشتر و ثبت نام به شماره واتس‌آپ ۰۹۳۵ ۱۵۱ ۴۹۴۹ پیغام دهید.

پرداخت از طریق: <https://idpay.ir/glassyage>

## وبینار

## چرا و چگونه مقاله‌ی مروری بنویسیم؟

در این وبینار، به مدت ۲ ساعت به زبان فارسی و ۱ ساعت به زبان انگلیسی ما به شما آموزش می‌دهیم که چگونه مقاله‌ی مروری برای ژورنال‌های برتر در علم و مهندسی مواد، بیومواد، شیمی و مهندسی بافت بنویسید. مطالب و عناوین زیر در این وبینار تدریس خواهند شد:

- اگر دانشجو یا استاد هستید، هدف شما برای نگارش مقاله‌ی مروری چه خواهد بود.
- چگونه موضوع و مخاطب‌های خود را انتخاب کنیم؟
- چگونه در منابع جستجو کنیم؟
- چگونه یادداشت برداری کنیم، وقتی منابع خود را می‌خوانیم؟
- چه نوع مقاله‌ی مروری بنویسیم؟
- چگونه تمرکز خود را روی موضوع حفظ کنیم؟
- چه ساختاری را رعایت کنیم؟
- چگونه به مقاله‌های دیگران و خودمان ارجاع دهیم؟
- چگونه نقد و نظرات خود را اضافه کنیم؟
- چگونه و چه اندازه به نام افراد اشاره کنیم؟
- چگونه همکاری بین المللی کنیم؟
- چگونه انگلیسی مقاله را اصلاح کنیم؟
- چگونه شکل‌ها و تصاویر با کیفیت تهیه کنیم؟
- چگونه ژورنال انتخاب کنیم؟
- جداول را چگونه آماده کنیم؟
- اجازه‌های لازم برای استفاده از منابع را چگونه اخذ کنیم؟

و مثال‌های عملی برای نوشتن پروپوزال برای ژورنال‌های برتر و چاپ مقاله در آنها.



GlassyAge.com



polito.it



icers.ir

انجمن سرامیک ایران

جناب آقای مهندس روشنفکر درگذشت همسر گرامیتان را به جنابعالی و خانواده محترم تسلیت عرض نموده، برای آن مرحوم غفران الهی و علو درجات، برای حضرتعالی و سایر بازماندگان صبر و اجر جزیل از خداوند متعال درخواست می‌نماییم.

## اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی

**جهش تولید این بار از نوع عمل انقلابی؛ یک شرکت تولیدی کاشی و سرامیک تزئینی در قزوین بازار چینی‌ها را در آذربایجان تصاحب کرد.**



گروه استان‌ها- یک شرکت تولیدی کاشی و سرامیک تزئینی در قزوین پس از دو سال مطالعه بر روی بازارهای هدف آسیا میانه، عراق، روسیه، پاکستان و آذربایجان صادرات به این کشورها را از سال ۹۷ آغاز کرده و امروز بازار چین در آذربایجان را تصاحب کرده است. به گزارش خبرگزاری تسنیم از قزوین، فرآیند اقتصادی کشور ایران در دهه‌های گذشته با فروش نفت عجین شده بود و علی‌رغم تاکید مکرر رهبر معظم انقلاب بر رونق اقتصاد غیرنفتی هنوز هم فرهنگ تولید آن گونه که باید

و شاید در کشور به جایگاه و منزلت خود نرسیده است.

کم توجهی برخی مسئولان مربوطه به بخش تولید و اهمیت آن در شکوفایی اقتصادی کشور، بار تحریم‌های ظالمانه آمریکا را بر دوش ملت ایران سنگین‌تر کرد اما این در حالی است که اگر مسئله اقتصاد تولید محور از همان سال‌های ۹۰ که رهبری معظم شعار سال را جهاد اقتصادی تعیین کردند مورد توجه جدی قرار می‌گرفت شاید امروز ایران همچون حوزه نظامی در بخش اقتصاد نیز خوش می‌درخشید.

دشمن ناامید و درمانده در میدان جنگ سخت پاشنه آشیل ضربه به ملت ایران را ضعف حوزه اقتصادی تشخیص داد و تا توانست عرصه را تنگ کرد اما در هیاهوی همین جنگ اقتصادی، رهبر معظم انقلاب در سخنرانی‌هایشان به کدهایی مهم که از جنس سلاح تقابل با تحریم‌های اقتصادی شامل تولید ملی، حماسه اقتصادی، جهاد اقتصادی، اقتصاد مقاومتی، رونق تولید و جهش تولید بودند، مکرراً تاکید و اصرار داشتند.

طبیعتاً فردی که در بحث تولید ورود پیدا کند با وجود مسائل فراوان پیش رو، ارزش افزوده کمتری نسبت به بخش دلالی خواهد داشت لذا یکی از دلایل هجوم مردم به سمت اقتصاد زیرزمینی و فعالیت‌های دلالی سود بیشتر و موانع کمتر این بخش نسبت به تولید و ایجاد کسب و کار است.

بها دادن به تولید علاوه بر تولید ثروت برای کشور اشتغال‌زایی و رفاه عمومی نیز در بر خواهد داشت برای توجه به تولید باید زیرساخت‌های ایجاد کسب و کار و تولید مهیا شود و تا وقتی که بیشتر فکر و ذهن تولیدکننده بر انبوهی از قانون‌های دست و پاگیر و بروکراسی‌های اداری باشد، او نمی‌تواند بر تولید ثروت مناسب، فعالیت‌های توسعه‌ای و توجه به اشتغال‌زایی تمرکز کند.

صنعت کاشی و سرامیک که سهم عظیمی در جهش تولید و ارزآوری برای کشور می‌تواند داشته باشد، حدود ۷۰۰ میلیون متر مربع ظرفیت در کشور دارد و سال گذشته چیزی حدود ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلیون متر مربع تولید شده و ۱۴۰ تا ۱۵۰ میلیون متر مربع نیز صادرات داشته و الباقی برای مصارف داخل کشور استفاده شده، مقادیری از تولید نیز مازاد بوده است.

در راستای توجه بیش از پیش به تولید و جهش در تولید یک شرکت تولیدی کاشی و سرامیک تزئینی در قزوین امروز عزم خود



برای صادرات و ارزآوری، تولید بیشتر، اشتغال‌زایی و رقابت در بازارهای جهانی جزم کرده و کشور را از واردات محصول کاشی‌های تزئینی کاملاً بی‌نیاز کرده است.

مدیریت این شرکت پس از دو سال شناسایی دقیق بازارهای هدف در کشورهای آسیا میانه، عراق، روسیه، پاکستان و آذربایجان از دو سال اخیر صادرات را آغاز می‌کند؛ سال ۹۷ پانصد هزار دلار صادرات انجام می‌دهند و در سال ۹۸ این عدد به یک میلیون دلار می‌رسد البته که محصولات این شرکت تولیدی در قالب پکیج کاشی و سرامیک دیگر کارخانجات نیز به صورت غیرمستقیم صادر می‌شود و امروز کاشی‌های تزئینی بزرگترین شرکت تولید کاشی و سرامیک تزئینی ایران محصولات چینی را در بازار آذربایجان کنار زده است.

این مجموعه تولیدی نوآوری، تنوع و ابتکار را سرلوحه تمام فعالیت‌هایش قرار داده و با اضافه کردن خط تولید جدید برای تولید یکسری از کاشی‌های خاص که تکنولوژی آن در دست اسپانیا و ایتالیا بوده، گامی بلند برداشته و انقلابی را تولید رقم زده که تاکنون سابقه نداشته است.

نیروی انسانی این شرکت جوان و دارای میانگین سنی حدود ۳۰ سال هستند و با توجه به فراز و نشیب‌های بازار پرتلاطم داخل و خارج، ۱۵۰ نفر پرسنل جوان امنیت شغلی بالایی دارند این در حالی است که طبق گفته مدیریت شرکت خروج از شرکت دو حالت دارد، یک زمان شخص بنا به مسائل شخصی از کار انصراف می‌دهد اما در زمانی دیگر فرد به آیین‌نامه‌ها و مقررات شرکت پایبند نیست که مدیریت پس از تذکر در صورت تکرار خطا با شخص مورد نظر برخورد می‌کند.

منبع: <https://tn.ai/2389468>

### «شلیک به تولید» مشکلات واردات مواد اولیه بلای جان تولید کاشی و سرامیک شد



یک تولیدکننده کاشی و سرامیک با اعلام اینکه نمی‌توانیم مواد اولیه مورد نیاز خود را در زمان مقرر به خط تولید برسانیم، گفت: روند طولانی و مشکلات خرید مواد اولیه باعث شده تا بارها خط تولید کارخانجات کاشی و سرامیک تعطیل شود.

فرزاد نظیفی در گفت‌وگو با خبرنگار اقتصادی خبرگزاری تسنیم، با اشاره به اینکه مهمترین مشکل فعلی ما موضوع واردات است، اظهار داشت: باید هفت خوان را برای ثبت سفارش مواد اولیه که

نیازمند واردات آن هستیم انجام بدهیم بعد از طی کردن نامه‌های مختلف با وزارت صنعت مبنی بر لزوم واردات این مواد اولیه تازه پشت درب بانک مرکزی برای تخصیص ارز هستیم، این بخش نیز با تأخیرهای بسیار زیاد ارزهای محدودی را در اختیار تولیدکنندگان برای واردات مواد اولیه قرار می‌دهد.

وی با بیان اینکه تأخیر طولانی در تحویل مواد اولیه عاملی شده تا بعضاً خط تولید واحدهای تولیدی بارها تعطیل شود، افزود: در بخش واحد تولیدی ما چون محصولات خاصی تولید می‌شود نیازمند مواد اولیه وارداتی در بخش جوهر و ارتقای کیفیت محصولات خود هستیم که ناچاریم این مواد را از اسپانیا، هلند و آلمان وارد کنیم اما در واردات این مواد همچنان مشکل داریم.

این تولیدکننده کاشی و سرامیک تصریح کرد: گفته شده واردات مواد اولیه مشابه تولد داخل نباید انجام شود اما مواد اولیه مورد نیاز ما به حد کافی و با کیفیت در داخل کشور نیست و ما ناچار به واردات هستیم، هم اکنون ۱۸۰ واحد تولیدی در حوزه کاشی و سرامیک فعالیت می‌کنند که در برخی از موارد یک شرکت مدعی تأمین مواد اولیه کارخانجات می‌شود اما در بررسی‌ها متوجه

می‌شویم که نه تنها مواد اولیه آن کیفیت مناسبی ندارد بلکه توانایی پاسخگویی به حجم بالای نیاز کارخانجات موجود در کشور نیز نیستند.

نظیفی در ادامه با تأکید بر اینکه نیاز مواد اولیه شرکت‌ها در کاشی و سرامیک فرق می‌کند، گفت: در برخی از واحدهای تولیدی نیازمندی آنها به مواد اولیه ۱۰ درصد و در برخی دیگر ۴۰ تا ۵۰ درصد است اما در واحد تولیدی ما چون محصولات خاص هستند باید از مواد اولیه با کیفیت و مرغوبی استفاده کنیم تا بازارهای صادراتی خود را از دست ندهیم.

وی اضافه کرد: محصولات خاص این واحد تولیدی فقط توسط سه تا چهار کشور در دنیا تولید می‌شود که این نشان از اهمیت بسیار بالای آن دارد اگر دولت از ما حمایت کند ما می‌توانیم حضور پررنگ‌تری در بازارهای صادراتی داشته باشیم.

این تولیدکننده با اشاره به اینکه در بازار داخلی نیز رکود معاملات وجود دارد اما شایعه گرانی‌ها باعث شده تا مردم به سمت خرید کاشی و سرامیک بروند، افزود: امروز ما با تلاش بسیار ارز را تهیه و با سودهای حداقلی محصولات را تولید می‌کنیم اما باید این نکته را تأکید کنم عدم حمایت از تولیدکننده‌های داخلی باعث شده ما در شرایط افزایش نرخ ارز نتوانیم حضور پررنگ‌تری در سطح بازارهای جهانی داشته باشیم به این صورت که هر زمان که دلار ارزان‌تر می‌شود هجوم کشورهای همسایه برای محصولات ایرانی افزایش می‌یابد اما در زمانی گرانی دلار این موضوع فرق کرده و ما به زحمت می‌توانیم محصولی که با قیمت تمام شده بالایی را تولید کرده‌ایم در بازارهای صادراتی بفروشیم در این شرایط هیچ حمایتی هم از سوی دولت صورت نمی‌گیرد این در حالی است که مدام از افزایش صادرات و حمایت‌های صادراتی فقط سخنرانی‌های متعددی مطرح می‌شود.

نظیفی با اشاره به اینکه به زحمت در نمایشگاه‌های خارجی حضور یافته و اقدام به معرفی توانمندی خود می‌کنیم، تصریح کرد: جالب اینجاست همیشه برای سفارت کشورمان در کشورهای مختلف نامه‌هایی برای دعوت از آنها جهت بازدید از غرفه ارسال می‌کنیم اما با بی‌مهری آنها روبرو و اصلاً بازدید از غرفه‌های ما انجام نمی‌شود.

وی ضمن انتقاد از اینکه وزارت صنعت نیز بدون هیچ کار کارشناسی اقدام به صدور مجوز برای فعالیت کارخانجات کاشی و سرامیک انجام می‌دهد، گفت: با مازاد تولید که نمی‌توانیم صادرات کنیم این صنعت با مشکل روبرو می‌شود خدای ناکرده اگر عراق و پاکستان بگویند که کاشی و سرامیک ما را نمی‌خرند نصف کارخانجات کشور تعطیل می‌شود چرا که ما مازاد تولید بسیار بالایی داریم.

این تولیدکننده کاشی و سرامیک به افزایش قیمت مواد اولیه داخلی نیز اشاره کرد و افزود: در کنار افزایش قیمت مواد اولیه وارداتی ما با افزایش قیمت مواد داخلی نیز روبرو هستیم به نحوی که آنها بدون هیچ ضابطه خاص با افزایش قیمت دلار تغییرات قیمتی را انجام می‌دهند و من تولیدکننده نیز مجبور به خرید هستم چرا که در این صورت واحد تولیدی ما تعطیل خواهد شد.

منبع: <https://tn.ai/2387410>

### ابتکار جالب مخترع مشهدی سبب کاهش قیمت نهایی کاشی و سرامیک می‌شود.



با ابتکار صورت گرفته از سوی مخترع مشهدی، قیمت نهایی کاشی و سرامیک به طرز محسوسی کاهش می‌یابد.

به گزارش تسنیم از مشهد مقدس، صنعت کاشی و سرامیک در این سال‌ها با پیشرفت فراوانی در تولید دستگاه‌ها منطبق بر فناوری روز دنیا بوده است. برخی پیشرفت‌های این حوزه که در تکنولوژی صنعت کاشی و سرامیک حاصل شده، زمینه‌ساز تکامل زیبایی و فنی کاشی و سرامیک در ۵ ساله گذشته بوده و سبب شده پیشرفت این بخش شتاب قابل توجهی داشته باشد.



مهدی احمدی متولد سال ۶۲ و ساکن مشهد است. وی دوره ارشد و دکتری خود را در رشته شیمی معدنی در دانشگاه مشهد گذراند و ۲۰ مقاله ISI و ۱۵ سمینار داخلی ارائه کرده و پس از آن تصمیم گرفت برای عملیاتی کردن مقالات خود و انجام کارهای بنیادی وارد صنعت شود تا روش‌های تولید مواد معدنی را بهینه سازی و بومی سازی کند.

وی می‌گوید: تاکنون توسط یک تیم ۴۵ نفره در شرکت دانش بنیان "درفش کاویان" روی سنگ معدن کروم و باریوم و در نهایت روی سنگ معدن استرانسیوم کارهای زیادی انجام دادیم.

این مبتکر جوان بیان داشت: ایران ذخایر بزرگی در زمینه سلسیتین دارد و میزان این ذخایر ۲ میلیون تن با عیار ۷۵ تا ۹۵ درصد سولفات استرانسیوم برآورد شده است. هرچند سولفات استرانسیوم در صنعت آنچنان دارای مصرف نیست اما به‌صورت کربنات استرانسیوم در اموری نظیر ساخت لامپ تلویزیون کاربرد دارد.

احمدی ادامه داد: سلسیتین به تنهایی بسیار خاک بی‌ارزشی است و در کشور ما هیچ نگاهی به این ماده نمی‌شد، اما ما روی این خاک کار کردیم، ولی اکنون متأسفانه، چون قیمت دلار افزایش یافته است معدن داران چندان همکاری با ما ندارند و با خواهش و تمنا از آنان سنگ معدن می‌گیریم.

وی گفت: در صنعت لعاب و سرامیک شناختی از سلسیتین و استرانسیوم وجود نداشت اما ما با معرفی این دو ماده سیلیکات استرانسیوم را ابداع کرده و آن را جایگزین اکسید روی که قیمت آن بسیار بالا بود و در قیمت تمام شده کاشی و سرامیک هم تاثیر زیادی داشت جایگزین کردیم و با تولید این ماده به صنعت کاشی و سرامیک خدمت شایانی کردیم.

احمدی اظهار کرد: اکسید روی قیمتش ۱۰ برابر جنسی است که ما تولید کرده‌ایم. اکسید روی سنگ معدنش از کشور ترکیه وارد می‌شود و سپس آن را در زنجان به شمش روی تبدیل می‌کنند و باز این ماده را تبدیل به اکسید روی می‌کنند.

وی خاطر نشان کرد: برای صادرات این ماده به کشورهای، چون چین، ترکیه و ایتالیا اقدام کردیم اما به واسطه تحریم‌ها و هزینه بالای حمل و نقل کار عملی نشد و از دولت می‌خواهیم که یکسری قوانین برای صادرات را برای ما تسهیل کند.

منبع: <https://tn.ai/2374468>

### رونق اقتصاد ملی با حمایت از صنعت کاشی و سرامیک / مشکلات داخلی، سد راه تولیدکنندگان است.

گروه استان‌ها- حمایت مسئولان از صنعت کاشی و سرامیک موجب رشد چرخه این صنعت، اشتغال‌زایی و ارزآوری برای کشور می‌شود اما چند سال گذشته به سبب برخی مشکلات، این صنعت تاثیرگذاری در بازار داخلی و رقابت با دیگر کشورها را از دست داده و با رکود مواجه است.

به گزارش خبرگزاری تسنیم از قزوین تولید کاشی از اصلی‌ترین و قدیمی‌ترین مصنوعات ساخت بشر بوده و همواره نقش تعیین کننده‌ای در رشد و فرهنگ جامعه ایفا کرده است؛ این هنر در ابتدا به‌صورت دستی و سنتی رواج داشت و از نیم قرن پیش با احداث اولین کارخانه مدرن تولید کاشی و سرامیک در کشور، شکل صنعتی به خود گرفت.

این صنعت از آن زمان تاکنون توانسته است نقش خود را در اقتصاد ایفا کند به‌طوری که در حال حاضر زمینه اشتغال‌زایی برای ۴۰۰ هزار نفر را فراهم کرده این در حالی است که کشور ما به دلیل برخورداری از منابع و ذخایر طبیعی، نیروی انسانی و تکنولوژی همواره از مزیت اقتصادی برای تولید این محصول برخوردار بوده است.

همچنین این صنعت یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولیدی بوده که می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح صادرات این محصول را افزایش داده و امکان رقابت با پیشتاژان این عرصه را فراهم کرد.

در گذشته این صنعت به لحاظ کیفی و کمی با رشد و توسعه بسیاری همراه شد و میزان تولید آن افزایش چشم‌گیری یافته بود اما در چند سال گذشته به سبب اجرای برخی سیاست‌های غلط با آسیب‌های فراوان و کاهش رونق روبرو شده، در حالی که حمایت از این صنعت علاوه بر رشد و پیشرفت اقتصادی که برای کشور فراهم می‌کند امکان قرار گرفتن ایران در جایگاه‌های جهانی در این حوزه را نیز به وجود می‌آورد.

### بخش اعظم صادرات کاشی و سرامیک به کشورهای همسایه است.

بهنام عزیز زاده دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک اظهار داشت: میزان تولید کاشی و سرامیک در سال ۹۰ حدود

۵۰۰ میلیون عدد بود اما طی سال‌های اخیر علی‌رغم افزایش ظرفیت‌ها، تولید با کاهش چشم‌گیری مواجه شده‌است. وی با اشاره به اینکه ظرفیت واحدهای تولیدی حدود ۶۰ درصد است افزود: ظرفیت تولید کاشی و سرامیک ۷۰۰ میلیون متر مربع در سال است و در پایان سال ۹۸ شاهد تولید ۳۹۰ میلیون متر مربع کاشی و سرامیک در کشور بوده‌ایم. عزیز زاده با بیان اینکه وضعیت تولید نسبت به سال گذشته تغییر چندانی نداشته است خاطر نشان کرد: معضلاتی همچون کرونا بر روند تولید تأثیر بسیاری داشته‌است به طوری که در دو ماه اول سال به سبب محدودیت‌های بهداشتی، با حداقل میزان فعالیت کارخانه‌ها روبرو بوده‌ایم.

دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک گفت: مشکلات بانکی، تأمین مواد اولیه، معضلات ارزی و عدم ثبات اقتصادی از جمله مواردی است که موجب تأثیرات منفی بر روند تولید کاشی و سرامیک شده است.

وی تأکید کرد: رکود موجود در صنعت ساخت‌وساز موجب شده تا واحدهای تولیدی قادر به تولید این کالا به نسبت ظرفیت خود نباشند چراکه رونق ساخت‌وساز موجب رشد صنعت کاشی و سرامیک می‌شود.

عزیز زاده ادامه داد: میزان ساخت و ساز مسکن نسبت به چند سال اخیر در پایین‌ترین مقدار خود قرار داشته و این موضوع سبب شده تا عرضه محصول بیش از تقاضا بوده و با شکست نرخ، رکودی در این صنعت ایجاد شود.

دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک افزود: در مقطعی از زمان به سبب افزایش ساخت‌وساز در قالب مسکن مهر، مصرف کاشی و سرامیک افزایش یافت؛ در صورت اصلاح وضعیت مسکن و افزایش قدرت خرید مردم که توسط ارزان‌سازی در این حوزه صورت می‌گیرد می‌توان بخش زیادی از معضلات را حل نمود.

این مقام صنفی عنوان کرد: محدودیت‌های به‌وجود آمده صادراتی و رعایت پروتکل‌های بهداشتی در گمرک‌ها مانع از ارسال محصولات به تمامی کشورها شده‌است؛ همچنین معضلات موجود در سیستم بانکی و بازگشت ارز نیز بر این مشکلات دامن زده‌اند.

عزیز زاده ادامه داد: در حال حاضر بخش اعظم صادرات محصولات تولیدی به کشورهای همسایه همچون عراق، پاکستان و افغانستان است؛ در صورت رفع موانع صادرات قادر خواهیم بود تا گام بلندی در این حوزه برداریم.

دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک ادامه داد: به سبب کیفیت بالا و قیمت پایین کاشی ایران به نسبت دیگر کشورها همواره ظرفیت عظیمی برای صادرات به کشورهای همسایه وجود دارد به طوری که کشور عراق بیش از ۸۰ درصد تقاضای خود را از بازار ایران تهیه می‌کند.

وی بیان کرد: کشور پاکستان با جمعیت بالای ۲۰۰ میلیون نفر ظرفیت عظیمی برای صادرات این محصول است و در سال گذشته موفق به صادرات بیش از ۲۰ میلیون متر مربع به این کشور بوده و در صورت برنامه‌ریزی مناسب قادر به صادرات بیشتری خواهیم بود.

عزیز زاده تأکید کرد: ایران دارای ۱۵ کشور همسایه بوده و در صورت استفاده صحیح از این ظرفیت و گسترش روابط تجاری با آن‌ها، چه بسا نیاز به صادرات به کشورهای دور دست نبوده و این کشورها قادر به رفع نیازهای صادراتی کشور باشند.

دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک خاطر نشان کرد: اخیراً دولت محدودیت‌هایی مبنی بر استفاده صرف تولیدکنندگان از مواد اولیه داخلی و عدم تخصیص ارز در واردات نموده‌است؛ این در حالی است که برخی از محصولات مشابه داخلی از لحاظ کیفیت و کمیت پاسخگوی نیاز تولیدکنندگان نبوده‌اند.

وی ادامه داد: این موضوع باعث مشکلاتی برای تولیدکنندگان شده و تولید ناکافی این مواد، افزایش قیمت آن‌ها برای واحدهای تولیدی را به دنبال داشته است.

این مسئول عنوان کرد: در صورت اصلاح سیستم بانکی و امکان بازگشت پول محصولات صادر شده تمایل شرکت‌ها نسبت به صادرات به دیگر کشورها افزایش خواهد یافت.

عزیز زاده با اشاره به اینکه در حال حاضر میزان صادرات ۱۷۰ میلیون متر مربع است ادامه داد: محصولات کشور به دلیل کیفیت بالا و قیمت پایین نسبت به دیگر کشورها توان رقابت و قرار گرفتن در جایگاه‌های جهانی، ارزآوری و اشتغال‌زایی را فراهم می‌کند.

دبیر انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک عنوان کرد: تحریم‌ها و سیاست‌های ساخت ساز از مواردی هستند که در صورت اصلاح تأثیر زیادی در بهبود روند وضعیت فعلی این صنعت خواهند داشت.

### کاهش رغبت سرمایه‌گذاران برای سرمایه‌گذاری در صنعت کاشی و سرامیک

سید احمد میرزایی رئیس اتاق تعاون استان یزد و یک فعال اقتصادی اظهار داشت: تهیه مواد اولیه مورد نیاز تولیدکنندگان صنعت کاشی و سرامیک، افزایش قیمت خرید آن و بالا رفتن قیمت دلار باعث شده تا مشکلاتی برای واحدهای تولیدی و فعالان این عرصه ایجاد شود.

وی ادامه داد: شکست قیمت توسط شرکت‌های ضعیف‌تر، خرید ریالی توسط تاجران دیگر کشورها، عدم تخصیص ارز کافی توسط بانک به شرکت‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی نیز از جمله مواردی است که به بالا رفتن مشکلات واحدهای تولیدی دامن زده است.

رئیس اتاق تعاون استان یزد گفت: افزایش قیمت مسکن و تورم نیز از دلایلی است که موجب کم شدن قدرت خرید مردم و به تبع آن کاهش ساخت‌وساز و مصرف کاشی و سرامیک شده است.

میرزایی با بیان اینکه در گذشته سرمایه‌گذاری در صنعت کاشی و سرامیک صرفه اقتصادی بیشتری داشت تأکید کرد: افزایش قیمت دلار و کاهش ارزش پول ملی موجب شده تا سرمایه‌گذاران رغبت کمتری برای ورود به این عرصه داشته باشند.

این مسئول خاطرنشان کرد: تجهیزات و تکنولوژی واحدهای تولیدی کاشی و سرامیک مناسب زمان حال هستند و در سال‌های آینده در صورت فرسودگی و عدم سرمایه‌گذاری سرمایه‌گذاران، ممکن است کارایی خود را از دست بدهند.

وی با اشاره به نقش مخرب دلالتان در این صنعت عنوان کرد: مشکلاتی همچون خرید جنس بی‌کیفیت و عرضه آن در بازارهای خارجی که موجب کاهش اعتبار جنس ایرانی می‌شود، از معضلاتی است که توسط این افراد در این حوزه به وجود می‌آید.

### توجه به صادرات غیرنفتی می‌تواند راهگشای مشکلات اقتصادی باشد.

صنعت کاشی و سرامیک با وجود مزیت‌های اقتصادی، ارزش‌آوری، اشتغال‌زایی و منافی که برای کشور دارد طی سالیان گذشته از توجه کمتری نسبت به قبل برخوردار بوده و با مشکلات عدیده‌ای دست و پنجه نرم می‌کند.

مشکلات فراوانی موجب رکود و معضلات بسیاری در میان تولیدکنندگان و فعالان این عرصه شده؛ مسائلی که گستره عظیمی از، مواد اولیه تا دخالت دلالتان را دربر می‌گیرد.

معضلاتی همچون مسئله ارز، کمبود ساخت و ساز و تأثیر که در صنعت کاشی و سرامیک به وجود می‌آورد، منطبق نبودن بازار مصرف داخلی با ظرفیت تولیدی و تحریم‌ها که بار سنگینی بر دوش تولیدکننده قرار داده؛ این در حالی است که در سند چشم‌انداز کشور کاهش وابستگی هرچه بیشتر به نفت و توجه به صادرات غیر نفتی پیش‌بینی شده و با برنامه‌ریزی صحیح در این عرصه می‌توان به جایگاه حقیقی خویش، کسب جایگاه چهارم جهانی و صادرات دو میلیارد دلاری دست یافت.

به همین منظور لازم است مسئولان و متولیان امر در حمایت همه‌جانبه از این صنعت اشتغال‌زا و ارزآور بیش از پیش برنامه‌ریزی کنند.

منبع: <https://tn.ai/2385230>

### سرامیک‌های صنعتی دانش‌بنیان به صنایع کشور نفوذ کرد.

یک هلدینگ دانش‌بنیان انواع محصولات پیشرفته آلومینایی، کاتالیست، سیلیکاتی، آلفا آلومینا، گاما آلومینا و غیره را در ایران تولید می‌کند.

به گزارش خبرگزاری مهر به نقل از معاونت علمی و فناوری، هلدینگ دانش‌بنیان، انواع محصولات پیشرفته آلومینایی، کاتالیست، سیلیکاتی، آلفا آلومینا، گاما آلومینا و غیره در ایران را تولید می‌کند که این محصولات بخش بزرگی از نیاز صنایع مختلف کشور را مرتفع کرده است.



این شرکت دانش‌بنیان از سال ۷۴ کار خود را در حوزه تولید گلوله‌های سرامیکی آلومینایی مورد استفاده در بالمیل‌های صنعتی



(آسیاب‌های صنعتی) آغاز کرد و این کار را با ایجاد خط تولید لاینرهای آلومینایی بالمیل برای حفاظت از پوشش فلزی آسیاب‌های صنعتی ادامه داد. پس از تثبیت این دسته از محصولات در بازار، برنامه بعدی خود را نفوذ به صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و سرامیک قرار داد. این محصولات در صنایع مختلفی مانند نفت، گاز و پتروشیمی، معدن و فولاد، کاشی، سرامیک، چینی، لعاب، رنگ و سیمان، صنایع شیمیایی و غذایی، صنایع هوای فشرده، دیر گداز و غیره به کار

می‌رود. سرامیک بال‌های آلومینایی و سیلیکاتی به عنوان یک محصول استراتژیک توسط این شرکت، تولید و در مدت کوتاهی با توجه به کیفیت بالا و اختلاف قیمت چشمگیر آن با نمونه‌های مشابه خارجی در بازار داخلی، توانست جای خود را در صنعت باز کند.

به گفته اصغر برهانی، مدیر عامل این شرکت دانش‌بنیان، توسعه تولید محصولات سرامیک‌های ضد سایش مورد مصرف صنایع معدنی و فولادی هدف بعدی این شرکت قرار گرفت. تولید اکتیو آلومینا با اتکا به دانش بومی و ساخت ۱۰۰ درصدی تجهیزات لازم در صنایع مختلف محصول دیگر این شرکت بود. این محصول، شرکت را در لیست تولیدکنندگان کاتالیست و جاذب در اندازه صنعتی قرار داد.

وی گفت: قطعات ویژه آلومینایی مورد نیاز صنایع مختلف کشور و تولید کاتالیست‌های بازیابی گوگرد برای پالایشگاه‌های گاز کشور و صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، آجرهای ضد اسید در صنایع غذایی و آزمایشگاهی و فرآوری سنگ آهن الیژیست مورد استفاده در گل حفاری، رنگ‌های ضد خوردگی و صنایع فولاد از محصولات دیگر شرکت ما است.

این فعال دانش‌بنیان بیان کرد: ما با اتکا به توان داخلی از سال ۹۵ به تولید پودر گاما آلومینا به عنوان ماده اولیه تعدادی از محصولات مورد استفاده در این صنایع همت کردیم و با این کار، خروج ارز از کشور را کاهش دادیم. تولید با کیفیت آلفا آلومینا در این شرکت، ایران را به پنجمین کشور تولید کننده این ماده استراتژیک در دنیا بدل کرد.

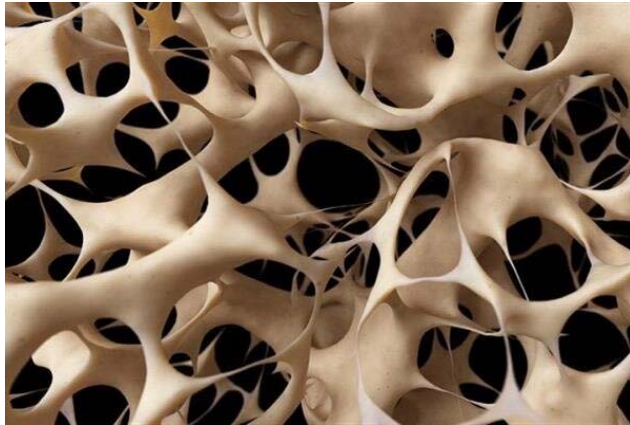
برهانی ادامه داد: آلومینا دارای ساختارهای کریستالی متفاوت است که بیشتر آنها ناپایدار هستند. تنها فاز پایدار، فاز آلفا آلومینا است. ویژگی‌های آلفا آلومینای ما شامل استحکام فشاری بالا، سختی بالا، مقاومت به سایش، مقاومت در برابر محیط‌های شیمیایی حتی در دماهای زیاد، رسانایی گرمایی بالا، دیرگدازی بالا و مقاومت دی‌الکتریک بالا می‌شود.

منبع: <https://www.mehrnews.com/news/5047426>

## اخبار علمی

### ترمیم ضایعات استخوانی با یک ساختار جدید

محققان کشور ساختار جدیدی متشکل از کلسیم فسفات، ژلاتین و هیدروکسی آپاتایت برای ترمیم ضایعات استخوانی معرفی کردند.



به گزارش خبرنگار مهر، در حال حاضر استاندارد طلایی برای پیوند استخوان به نواحی استخوانی صدمه دیده که با وجود گذشت زمان و دریافت درمان بهبود نیافته‌اند، استفاده از استخوان‌های اسفنجی خود فرد یا قطعات رگزایی شده از استخوان فیبولا یا استیخ ایلیاک است. با این وجود برداشت استخوان‌ها باعث افزایش هزینه‌های عمل می‌شود، با محدودیت‌های آناتومیک همراه است و منجر به عوارض قابل توجه در محل برداشت استخوان می‌گردد.

می‌توان از پیوند استخوان‌های اهداشده بیماران مرگ مغزی

به‌عنوان جایگزین استفاده کرد، اما این روش با کمبود اهداکننده، احتمال انتقال بیماری‌های ویروسی و باکتریایی و لزوم سرکوب سیستم ایمنی فرد دریافت کننده پیوند همراه است. یکی از روش‌های درمان شکستگی‌های بهبود نیافته که پژوهش‌های زیادی در جهت توسعه آن انجام گرفته، استفاده از مواد زیست-مهندسی شده است.

گروهی از سرامیک‌های زیستی به نام کلسیم فسفات‌ها که به دلیل ویژگی‌های زیستی مناسب و شباهت ساختاری و شیمیایی به بافت استخوان سال‌ها در دندان پزشکی و جایگزینی مفاصل مورد استفاده قرار گرفته‌اند گزینه مناسبی برای استفاده در درمان شکستگی‌های بهبود نیافته محسوب می‌شوند.

با هدف ارتقاء ساختار کلسیم فسفات برای استفاده در درمان شکستگی‌های بهبود نیافته، دکتر مهرداد خاکبیز، محمد نوری، نادر نظامی، دکتر محمدرضا باغبان اسلامی‌نژاد و همکارانشان در دانشگاه تهران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، و پژوهشگاه رویان، طی پژوهشی، این ترکیب را با ریزکره‌هایی از ژلاتین و ریزرشته‌های هیدروکسی آپاتایت ترکیب کردند و به بررسی ویژگی‌های آن پرداختند.

نتایج این پژوهش که در مجله بین‌المللی Journal of Alloys and Compounds به چاپ رسیده است، نشان داد افزودن ژلاتین و هیدروکسی آپاتایت، اثر منفی زیادی در یکپارچگی ساختاری کلسیم فسفات ندارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد استفاده از ریزکره‌های ژلاتین میزان تخلل این ساختار را تا ۶۹٪ افزایش داده است. علاوه بر این، بررسی‌ها مشخص کرد ویژگی‌های مکانیکی و ریزساختاری در کامپوزیت‌های محتوی ۱۰ درصد هیدروکسی آپاتایت، مناسب‌تر است.

بررسی‌های سلولی در شرایط آزمایشگاهی نشان داد افزودن ژلاتین و هیدروکسی آپاتایت پاسخ زیستی کلسیم فسفات را بهبود می‌بخشد. با این وجود با توجه به نوع استخوان نیازمند ترمیم، ویژگی‌های کامپوزیت پیوندی قابل تنظیم و کنترل است.

برای استفاده درمانی از این کامپوزیت پژوهش‌های بیشتر ضروری است.

منبع: <https://www.mehrnews.com/news/5058183>

## دومین کنفرانس VITROGEOWASTES

May 23-26, 2021

Baeza, Spain

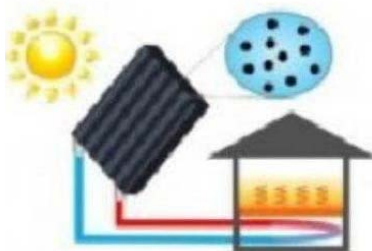
این کنفرانس در یک مکان زیبا در جنوب اسپانیا به نام Baeza برگزار می‌شود. یکی از اصلی‌ترین وظایفی که امروزه توسط جامعه علمی - فنی در زمینه مواد به آن پرداخته می‌شود. حل یکی از مشکلات انرژی و زیست محیطی ناشی از تولید گسترده سیمان پرتلند است. جستجوی سیمان‌های جایگزین یا سبز جدید برای محدود کردن انتشار CO<sub>2</sub> ضروری است. امیدوار کننده‌ترین سیمان جایگزین، سیمان قلیایی با سیمان ژئوپلیمر است که به دلیل خواص و تأثیر کم زیست محیطی، سیمان آینده محسوب می‌شود. یکی از مزایای ژئوپلیمرها با توجه به سیمان‌های سنتی و مواد سرامیکی از منظر زیست محیطی تا حد زیادی با انتشار CO<sub>2</sub> در ارتباط است. زیرا در روند تولید ژئوپلیمر انتشار بسیار کمتر است. این امر عمدتاً به دلیل عدم وجود مرحله کلسینه‌ی دمای بالا در فرایند سنتز است. مواد فعال قلیایی (AAM)، پلیمرهای معدنی یا ژئوپلیمرها، دسته‌ی جدیدی از مواد پلیمری غیر آلی مصنوعی را تشکیل می‌دهند که با فعال سازی قلیایی آلومینوسیلیکات تولید می‌شوند که با ساختار شبکه سه بعدی به طور عمده آمورف مشخص می‌شوند. این مواد را می‌توان در چندین کاربرد استفاده کردن مواد سیمانی، کاتالیست‌ها و حتی به عنوان یک ماتریس تقویت کننده برای مواد کامپوزیتی با الیاف. در چارچوب تاکید گسترده و روزافزون بر پایداری، AAM توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است زیرا موادی هستند که می‌توانند از پیش ماده‌های مختلف غنی از مواد معدنی SI- A1، از جمله ضایعات و محصولات جانبی صنعتی، با تولید دما پایین به دست بیایند. بنابراین دلالت بر مزایای زیست محیطی بسیار در مقایسه با مواد سیمانی سنتی به دلیل تأکید مداوم بر پایداری دارند. علاوه بر این، جنبه‌های اصلی ساختاری و ریزساختاری شیشه‌های شیشه سرامیک‌ها و ژئوپلیمرهای بدست آمده از هر دو فرآیند شیشه سازی و ژئوپلیمریزاسیون از انواع ضایعات صنعتی برای رسیدن به بهترین ویژگی‌ها، برای بهبود دانش و خواص نهایی، بررسی و مورد بحث قرار خواهند گرفت. مباحث دیگری شامل اصول اساسی ساکن کردن ضایعات با زینتر کردن سرامیک سازی، مشخصه‌یابی مواد سرامیکی ساخته شده با بازیافت ضایعات، اصول فرایند شیشه سازی برای ساکن سازی ضایعات و تبلور بعدی و مشخصه‌یابی کامل آنها و مبانی ژئوپلیمریزاسیون ضایعات برای ساکن سازی و مشخصه‌یابی آنها در یز ساختار و خواص تکنولوژیکی، پوشش داده می‌شوند.

عناوین اصلی:

- ژئوپلیمرهای مواد قلیایی فعال شده
- مدیریت مواد زائد و محصولات فرعی اعمال شده روی مواد سرامیکی
- شیشه سازی و اقتصاد دایره‌ای
- سیمان‌های مبتنی بر ضایعات

منبع: <http://Vitrogeowastes.com>

## نانوذراتی که نور خورشید را با کارایی ۹۰ درصد به گرما تبدیل می‌کند.



محققان ژاپنی نانوذرات نیتريد تیتانیوم ساختند که در صورت وارد شدن در آب می‌تواند با کارایی ۹۰ درصد نور خورشید را به گرما تبدیل کند. یک گروه تحقیقاتی از ژاپن با انجام تحقیقی نشان دادند که نانوذرات فلزات انتقالی که به صورت نیتريد و کاربرد باشند قادر به جذب نور خورشید خواهند بود.

محققان این پروژه برای اثبات یافته‌های خود، این نانوذرات را به آب افزوده و نشان دادند که به سرعت دمای آب افزایش می‌یابد. ساتوشی ایشی و تاداکا ناگاو از گروه

نانوسیستم‌های فتونیک مؤسسه نانو معماری مواد ژاپن (MANA) نشان دادند که افزودن نانوذرات کاربیدی و نیتريدی فلزات انتقالی می‌تواند به سرعت دمای آب را افزایش دهد. نور خورشید از منابع مهم برای تأمین انرژی است. معمولاً از نور خورشید برای گرم کردن آب و سپس از آن برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. میزان تبدیل نور به گرما یکی از عوامل مهم در این فرآیند است. نیمی از مصرف انرژی در منازل صرف گرم کردن آب و هوا می‌شود. اگر بتوان روشی برای استفاده از نور خورشید



برای این کار ارائه کرد، می توان بدون نیاز به الکتروسیته، آب یا هوا را گرم کرد با این کار میزان نشر دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. در این پروژه محققان به صورت مستقیم نانوذرات را وارد آب کردند تا جذب نور خورشید توسط آب را به حداکثر برسانند. ناتو لومزاو و همکارانش محاسباتی انجام دادند که بهترین مواد را برای تولید نانوذرات به منظور استفاده در آب معرفی کنند. آنها به دنبال ترکیبی بودند که بتواند با کارایی بالا تبدیل انرژی را انجام دهد. نتایج یافته‌های آنها نشان داد، کاربیدها و نیتريد‌های فلزات انتقالی می‌تواند بهترین گزینه برای این کار باشد. این ترکیبات سرمیکی جاذب‌های بسیار مناسبی هستند. این گروه نیتريد تیتانیوم را انتخاب و آن را در آب غوطه ور کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که این نانوذرات با کارایی ۹۰ درصد می‌توانند انرژی را تبدیل کنند. از آنجایی که رزونانس پلاسمونی در سطح این ذرات اتفاق می‌افتد، فرآیند جذب نور با کارایی بالاتری نسبت به نانوذرات طلا و کربن اتفاق می‌افتد. این گروه قصد دارند از این روش برای گرم کردن زمین، آب و پساب‌ها استفاده کنند. برای این کار از مواد هیبریدی حاوی پلیمر و نانوذرات استفاده می‌شود.

منبع: [t.me/IrCeC](http://t.me/IrCeC)

### روش سنتز جدید برای نانو کربن‌های سه بعدی



گروهی از دانشمندان به سرپرستی Kenichiro Itami، استاد و مدیر انستیتوی زیست مولکول‌های قابل تغییر (WPI - ITPM)، روش جدیدی را برای سنتز نانو کربن‌های سه بعدی با پتانسیل پیشرفت علم مواد ایجاد کرده‌اند. نانوکربن‌های سه بعدی، مواد نسل بعدی با ویژگی‌های فیزیکی برتر است که انتظار می‌رود در سلول‌های سوختی و الکترونیک طبیعی کاربردهایی پیدا کنند. تاکنون برای سنتز کردن با روشی دقیق

و کاربردی بسیار چالش برانگیز بوده‌اند. این روش جدید با استفاده از یک کاتالیست پالادیومی برای اتصال هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای برای تشکیل یک ساختار هشت ضلعی، امکان سنتز موفق مولکول نانو کربن سه بعدی را فراهم می‌کند. نانوکربن‌ها مانند فولرن (کره‌ای که برای آن جایزه نوبل ۱۹۹۶ اعطا شد). نانولوله‌های کربنی (استوانه‌ای که در سال ۱۹۹۱ کشف شد) و گرافن (صفحه‌ای که برای آن جایزه نوبل سال ۲۰۱۰ داده شد) توجه زیادی را به عنوان مولکول‌های کاربردی با انواع مختلفی از ویژگی‌ها، به خود جلب کردند. از زمانی که Mackay و همکاران نظریه‌ی خود را در سال ۱۹۹۱ مطرح کردند. انواع نانو کربن‌های دوره‌ای سه بعدی ارائه شده است. با این حال، سنتز این‌ها فوق العاده دشوار است. یک چالش خاص، ساختار هشت حلقه ای است که به صورت تناوبی ظاهر می‌شود و به یک روش کارآمد برای سنتز آن نیاز است. برای این کار، تیم پژوهشی دکتر Itami روش جدیدی را برای اتصال هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای با استفاده از یک کاتالیست پالادیومی برای تولید حلقه های هشت تایی از طریق اتصال عرضی ایجاد کرد که اولین واکنش از نوع آن در جهان است. موفقیت این پژوهش نشان دهنده‌ی یک دستاورد انقلابی در سنتز مولکول نانو کربن سه بعدی است و پیش بینی می‌شود که منجر به کشف و توضیح خصوصیات خاص در آینده و توسعه مواد سازهای نسل بعدی شود.

منبع: <https://nano-magazine.com/news/2020/7/31/a-new-synthesis-method-for-three-dimensional-nanocarbons>

### نانو رس مایع (LNC) Liquid NanoClas

نانو رس مایع (LNC) Liquid NanoClas هنگامی که آب و خاک رس در یک فرآیند ثابت اختراع مخلوط می‌شود ایجاد می‌شود.

این روش درمانی خصوصیات بدنی ذرات ماسه را به طور کامل تغییر می‌دهد و به آنها امکان اتصال آب را می‌دهد. این ماده خاک شنی با کیفیت پایین را به خاک با کیفیت مناسب تبدیل می‌کند.

LNC با استفاده از روش‌های سنتی آبیاری (یا تزریق مستقیم به سیستم‌های آبیاری آب) مستقیماً در بالای زمین‌های شنی و ماسه‌ای اعمال می‌شود. مخلوط خاک را تا عمق ۶۰-۴۰ سانتی متر اشباع می‌کند و آب را مانند اسفنج نگه می‌دارد.

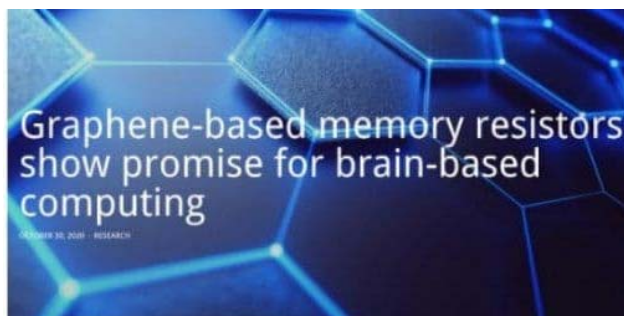
فرایندی برای استخراج نانورس از خاک رس، مانند بنتونیت، ارایه شده است. این فرایند شامل مخلوط کردن خاک رس لایه‌ای با ۳۰ تا ۵۰ برابر وزن آب است. این مخلوط را حدود ۲۴ ساعت هنوز نگه می‌دارند تا خاک رس و لایه به لایه تحت یک واکنش هیدراتاسیون قرار بگیرند. مخلوط کردن مخلوط برای تشکیل مایع. نگه داشتن مایع در ظرف اول برای حدود ۴۸ ساعت، که در آن یک رسوب در پایین اولین ظرف اول تشکیل شده است. جداسازی مایعاتی که از رسوب از اولین ظرف خارج می‌شود. نگه داشتن مایع از رسوب در ظرف دوم به مدت ۱-۱۸۰ روز، که در آن رسوب در انتهای ظرف دوم تشکیل می‌شود. جداسازی و خشک کردن مایعی که از رسوب خارج شده از ظرف دوم باشد تا نانو رس تهیه شود.

راه حل LNC در نیمه دوم سال ۲۰۱۹ به صورت تجاری راه اندازی می‌شود.

LNC بر پایه مواد معدنی است (زیرا از آب و خاک رس تشکیل شده است)، بنابراین فقط از اجزای طبیعی ساخته شده است، و از نظر زیست محیطی نیز سالم است و تهدیدی برای اکوسیستم ندارد.

منبع: [t.me/lrCeC](http://t.me/lrCeC)

### مقاومت‌های حافظه‌ی بر پایه‌ی گرافن نوبدبخش انجام محاسبات مبتنی بر مغز هستند.



با کندشدن پیشرفت در محاسبات سنتی، اشکال جدیدی از محاسبات ظاهر شدند. در ایالت Penn، تیمی از پژوهشگران در حال تلاش برای تولید نوعی محاسبات هستند که ضمن بهره برداری از طبیعت آنالوگ مغز، از کارایی شبکه‌های عصبی آن تقلید می‌کند.

محاسبات مدرن دیجیتال است و از در حالت خاموش یا روشن و یا صفر و یک تشکیل شده است. یک کامپیوتر

آنالوگ، مانند مغز. حالات ممکن بسیاری دارد. این تفاوت بین چرخاندن سوئیچ نور برای روشن یا خاموش کردن و چرخاندن کلید کم نور به مقادیر مختلف روشنایی است.

طبق گفته‌ی Saptarshi Das سرپرست تیم و استادیار علم مهندسی و مکانیک دانشگاه ایالتی Penn محاسبات نورومورفیک با الهام گرفته از مغز بیش از ۴۰ سال مورد مطالعه قرار گرفته است. نکته جدید این است که با دستیابی به محدودیت‌های محاسبات دیجیتال، نیاز به پردازش تصویر با سرعت بالا. به عنوان مثال برای اتومبیل‌های خودران افزایش یافته است. ظهور داده‌های بزرگ که به انواع تشخیص الگو نیاز دارد و ساختار مغز به ویژه برای آنها مناسب است، عامل دیگری در زمینه‌ی محاسبات نورومورفیک است. Das گفت: "ما رایانه‌های قدرتمندی داریم و در این شکی نیست. مشکل این است که شما باید حافظه را در یک محل ذخیره کنیم و محاسبات را در محل دیگری انجام دهیم." جابجایی این داده‌ها از حافظه به منطق و برگشت دوباره. انرژی زیادی می‌برد و سرعت محاسبات را کاهش می‌دهد. همچنین، این معماری کامپیوتر به فضای زیادی نیاز دارد. اگر محاسبه و ذخیره سازی حافظه در یک فضا قرار داشته باشد، می‌توان این گلوگاه را از بین برد.

Thomas Shrangnamer دانشجوی دکترای گروه Das و اولین نویسنده‌ی مقاله‌ای که اخیراً در Nature Communications منتشر شده است، توضیح داد: "ما در حال ایجاد شبکه‌های عصبی مصنوعی هستیم که به دنبال تقلید از انرژی و بازده منطقه‌ای مغز هستند. مغز بسیار فشرده است و می‌تواند در بالای شانه‌های شما قرار گیرد. در حالی که یک ابر رایانه‌ی مدرن فضایی به اندازه دو یا سه زمین تنیس را اشغال می‌کند." مانند سیناپس‌های متصل کننده‌ی نورون‌های مغز که می‌توانند دوباره پیکربندی شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی که تیم در حال ساخت آن است نیز می‌توانند با استفاده از یک میدان الکتریکی مختصر روی

یک ورق گرافن، یک لایه‌ی ضخیم اتمی از اتم‌های کربن. پیکربندی شوند. در این کار. آنها حداقل ۱۶ حالت حافظه احتمالی را برخلاف دو حالت موجود در اکثر حافظه‌های بر پایه‌ی اکسید نشان می‌دهند. Das گفت: "آنچه ما نشان دادیم این است که می‌توانیم تعداد زیادی از حالت‌های حافظه را با استفاده از ترانزیستورهای متأثر از میدان گرافنی، با دقت کنترل کنیم." این تیم فکر می‌کند ارتقا این فناوری در مقیاس تجاری امکان پذیر است. با توجه به اینکه بسیاری از بزرگترین شرکت‌های نیمه هادی فعالانه محاسبات نورومورفیک را دنبال می‌کنند؛ Das معتقد است که این کار مورد علاقه را پیدا خواهند کرد. علاوه بر Das و Shranghamer نویسنده‌ی دیگر مقاله با عنوان Synapses Merristive Graphene for High Precision Aaryan Oberoi "Neuromorphic Computing"، دانشجوی دکترای علم مهندسی و مکانیک است.

منبع:

<https://nano-magazine.com/news/2020/10/30/graphene-based-memory-resistors-show-promise-for-brain-based-computing>

### پتانسیل مهندسی نانو برای بهبود ذخیره‌ی انرژی



توسعه‌ی سریع منابع انرژی تجدیدپذیر باعث ایجاد تقاضای فراوان در سیستم‌های ذخیره‌ی انرژی ثابت با مقادیر بزرگ، مقرون به صرفه و با چگالی انرژی بالا می‌شود.

باتری‌های لیتیوم-یونی (LIBs) مزایای بسیاری دارند اما عناصر فلزی فراوان دیگری از جمله سدیم، پتاسیم، روی و آلومینیوم در دسترس هستند.

این عناصر، شیمی مشابهی با لیتیوم دارند و اخیراً

به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند که شامل باتری‌های سدیم یونی (SIBs)، باتری‌های پتاسیم یونی (PIBs)، باتری‌های روی یونی (ZIBs) و باتری‌های آلومینیوم یونی (AIBs) می‌شوند. با وجود جنبه‌های امیدوار کننده‌ی مربوط به پتانسیل کاهشی و چگالی انرژی، تولید این باتری‌های برتر از LIBs به دلیل کمبود مواد الکترودی مناسب با مشکلاتی مواجه شده است. پژوهش‌های جدید به رهبری پروفسور Guoxiu Wang از دانشگاه فناوری سیدنی و منتشر شده در نشریه‌ی Nature Communications، یک استراتژی را با استفاده از مهندسی کرنش سطح تماس در نانوماده‌ی گرافن دوجهدی برای تولید نوع جدیدی از کاتد شرح می‌دهد. مهندسی کرنش، فرآیند تنظیم ویژگی‌های ماده با تغییر خصوصیات مکانیکی یا ساختاری آن است. پروفسور Wang، مدیر مرکز UTS برای فناوری انرژی پاک گفت: «باتری‌های برتر از لیتیوم-یونی نامزدهای مناسبی برای کاربردهای ذخیره با چگالی انرژی بالا، کم هزینه و فراوان انرژی هستند. اما چالش اصلی در تولید مواد الکترودی مناسب است.» این پژوهش نوع جدیدی از کاتدهای کرنش صفر را برای تعامل برگشت پذیر یون‌های برتر از  $\text{Li}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Al}^{3+}$ ،  $\text{Zn}^{2+}$  از طریق مهندسی کرنش سطح تماس هتروساختار گرافن  $\text{VOPO}_4^-$  چند لایه‌ی دو بعدی نشان می‌دهد. هنگامی که به عنوان کاتد در باتری‌های پتاسیم یونی استفاده می‌شود، به یک ظرفیت ویژه‌ی بالا  $160 \text{ mA.h.g}^{-1}$  و چگالی انرژی زیاد  $570 \text{ w.h.kg}^{-1}$  دست می‌یابیم که بهترین عملکرد گزارش شده تاکنون است. علاوه بر این، هتروساختار چند لایه‌ی دو بعدی می‌تواند به عنوان کاتد برای باتری‌های با کارایی بالا  $\text{Zn}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Al}^{3+}$  یونی نیز گسترش یابد.

پژوهشگران می‌گویند که این پژوهش یک استراتژی امیدوار کننده را برای استفاده از مهندسی کرنش مواد دوجهدی برای کاربردهای ذخیره‌ی پیشرفته‌ی انرژی ارائه می‌دهد.

پروفسور Wang گفت: استراتژی مهندسی کرنش می‌تواند برای بسیاری از نانومواد دیگر برای طراحی منطقی مواد الکترودی به جهت کاربردهای ذخیره انرژی بالا و برتر از شیمی لیتیوم-یون گسترش یابد.»

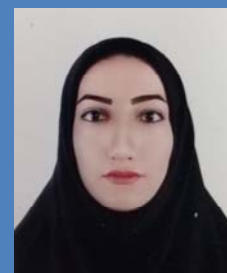
منبع: <https://nano-magazine.com/news/2020/7/6/nano-engineering-shows-potential-for-improved-ene-gy-storage>



# بررسی تأثیر محیط حلال بر خواص ساختاری و مورفولوژیکی نانو ذرات اکسید روی سنتز شده با روش سل-ژل

شکوفه احمدپور\*، ابراهیم شریفی، محمدرضا نیلفروشان

بخش مهندسی مواد، دانشگاه شهرکرد، ایران



مهندس شکوفه احمدپور، نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه شهرکرد  
\* Sh.ahmadpour1996@gmail.com

**چکیده:** در این تحقیق نانو ذرات اکسید روی (ZnO) با استفاده از روش سل ژل سنتز شدند و تأثیر محیط حلال بر خواص ساختاری، مورفولوژیکی و اپتیکی ZnO با استفاده از پراش اشعه ایکس ((SEM), XRD), (DRS) و (Far-FTIR) مورد بررسی قرار گرفت. متوسط اندازه بلورک‌های ZnO با استفاده از معادله دبای شرر برای نمونه‌های WZO, EZO و MZO به ترتیب، ۱۹/۹۷، ۲۱/۳ و ۲۸/۶ نانومتر محاسبه شد. الگوهای XRD ساختار تک فاز و ترتیب هگزاگونال را تایید کرد. تصاویر SEM بیانگر ذرات آگلومره تقریباً کروی شکل و دارای توزیع یکنواخت برای هر سه نمونه می‌باشد. توزیع اندازه ذرات با استفاده از نرم‌افزار SemAfore برای هر سه نمونه WZO, EZO و MZO به ترتیب ۳۶/۲ و ۳۵/۷ و ۴۳/۸ تخمین زده شد. کلمات کلیدی: سل-ژل، نانو ذرات، اکسید روی، حلال آلی.

## ۱- مقدمه

ZnO یک ترکیب غیر آلی و نیمه رسانای نوع n با باند ممنوعه (۳/۳۷eV) و انرژی اتصال بزرگ 60meV می‌باشد که دارای ساختار شش گوشه‌ی پایدار است. نانو ذرات اکسید روی در انواع مختلفی از برنامه‌های کاربردی مانند جذب UV جذب آنتی باکتریال، ابزارهای نوری، وریستورها و سنسورهای گازی استفاده می‌شوند. خواص جالب این نانو ذرات از قبیل نیمه هادی، پیزوالکتریک و پیروالکتریک توجه زیادی را بر روی سنتز کردن و ویژگی این مواد متمرکز نموده است. روش‌های مختلفی برای سنتز کردن نانو ذرات ZnO وجود دارد این روش‌ها اساساً به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: فرآیندهای حالت جامد، سنتز شیمیایی، چگالش از فاز بخار. دو روش اخیر در سنتز و ساخت نانو ذرات ZnO کاربرد بیشتری دارند. از میان روش‌های سنتز نانو ذرات روش مبتنی بر پایه‌ی محلول، ارزان‌ترین و کمترین مصرف انرژی را داراست. از طریق این روش سنتز، مورفولوژی نانو ساختارها را می‌توان با دستیابی به عوامل تجربی مثل نوع حلال، مواد شروع کننده و شرایط واکنش کنترل نمود [۱]. حلال‌ها از طریق کنترل بیشینه دمای احتمالی انجام واکنش نقش مهمی در فرایندها دارند. قطبیت حلال فاکتور اصلی مطرح شده در هر دو بحث جوانه‌زنی و رشد نانو ذرات ZnO بوده که متعاقباً روی شکل، اندازه و مورفولوژی نسبی نانو ذرات اثر می‌گذارد و باعث بهبود خواص مغناطیسی، شیمیایی، الکتریکی و نوری آن‌ها برای کاربردهای مختلف می‌شود. در این مطالعه آب، مخلوط اتانول-آب و مخلوط متانول-آب به عنوان محیط حلال برای سنتز نانو ذرات ZnO با روش سل ژل در نظر گرفته شدند [۲]. روش‌های مبتنی بر پایه‌ی محلول برای سنتز نانو ذرات ZnO از قبیل هیدروترمال، سل ژل، هم رسوبی، میکرومولسیون، ماکروویو، روش شیمیایی مرطوب و... می‌باشند که از میان این روش‌ها، سل ژل به دلیل داشتن ویژگی‌هایی همچون قابلیت تکرارپذیری خوب، پایین بودن درجه حرارت پروسه تولید، هزینه تولید کمتر و سهولت در کنترل فیزیکی مشخصات و مورفولوژی نانو ذرات و همگنی ترکیب و خواص اپتیکی جذاب‌ترین روش برای سنتز نانو ساختار ZnO به شمار می‌رود. این روش شامل تشکیل یک سوسپانسیون کلئیدی (سل) است که متعاقباً به ژل‌های ویسکوز یا مواد جامد تبدیل می‌گردد. [۱].

## ۲- مواد و روش تحقیق

نانو ذرات ZnO در نسبت‌های حجمی مختلف از حلال ۱:۰، ۲۵:۲۵:۷۵، که به ترتیب آب، آب: اتانول و آب: متانول می‌باشند در دمای رشد ۷۰ درجه سانتی‌گراد سنتز شدند. مواد شیمیایی مصرفی شامل زینک استات دی هیدراته  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  با درجه خلوص ۹۸٪ و جرم مولی ۲۱۹/۵gr، اگزالیک اسید با فرمول شیمیایی  $HOOC-COOH \cdot 2H_2O$  با درجه خلوص ۹۹/۵٪ و جرم مولی ۱۲۶/۰۷ بدون تصفیه‌ی اضافی بوده که به عنوان مواد اولیه استفاده شدند. برای تهیه نانو ذرات ZnO در محیط آب با نسبت: (۱:۰) از آب: حلال آلی، مقدار ۲/۷۵ گرم زینک استات در ۵۰cc آب برای تهیه محلول ۰/۲۵ مولار حل گردید سپس به مدت ۱ ساعت بر روی همزن مغناطیسی هم زده شد، پس از رسیدن به دمای ۶۰-۷۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه تحت شرایط رفلکس هم زده شد. هم چنین برای تهیه محلول ۰/۵ مولار اگزالیک اسید، مقدار ۱/۵۷۵ گرم از اگزالیک اسید به ۲۵cc آب اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه در حمام سونیکیت حل شد، پس از اتمام زمان ۳۰ دقیقه‌ای شرایط رفلکس محلول ۰/۲۵ مولار زینک استات، محلول ۰/۵ مولار اگزالیک اسید با استفاده از کیف دکانتور به صورت قطره‌ای و به تدریج به محلول زینک استات که به طور مداوم در حال هم زده شدن بود اضافه گردید تا ژل مطلوب تهیه گردد. هنگامی که ژل به طور کامل تشکیل شد، مخلوط به طور مداوم به مدت ۶۰ دقیقه همزده شد. ژل تولید شده در دمای ۸۰ درجه به مدت ۲ ساعت خشک و سپس پودر نانو ذرات ZnO به دست آمده به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه کلسینه شد. روش مشابهی برای تولید نانو ذرات ZnO در محیط‌های حلال ۲ و ۳ انجام شد. پودرهای سنتز شده با آب، اتانول-آب و متانول-آب به ترتیب (WZO)، (EZO) و (MZO) نامگذاری شدند. برای توصیف نانو ذرات ZnO، الگوهای پراش XRD با یک دستگاه پراش اشعه ایکس مدل PW1730، ساخت شرکت Philips اندازه‌گیری شد. همچنین مورفولوژی سطح با استفاده تصاویر SEM مطالعه شد [۲].

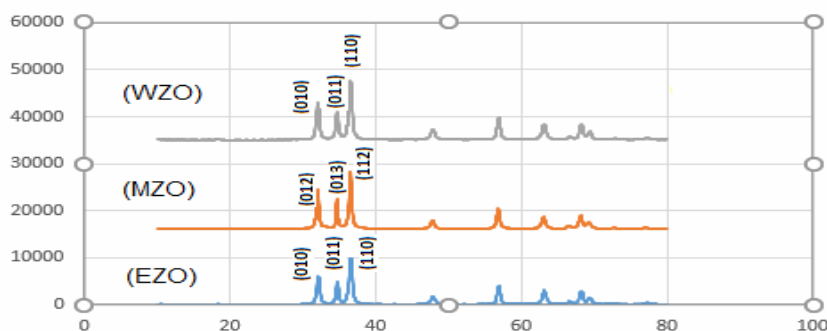
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- آنالیز XRD

شکل ۱ الگوهای پراش XRD هر سه نمونه سنتز شده را نشان می‌دهد. الگوها شامل پیک‌های شارپ است که با ساختار تک فاز و ترتیب هگزاگونال ZnO مطابقت دارد. مقادیر میانگین محاسبه شده برای پارامترهای محاسبه شده از الگوهای XRD هر سه نمونه در جدول ۱ آورده شده است. اندازه متوسط بلورک محصولات با استفاده از پیک‌های XRD، نرم‌افزار High Score plus و فرمول شرر محاسبه شد:

$$D = K \lambda / \beta \cos \theta \quad (1)$$

در این فرمول D اندازه بلورک و واحد آن برابر با واحد  $\lambda$  است و معمولاً آنگستروم یا نانومتر است،  $\lambda$  طول موج  $K\alpha_1$  آند دستگاه، K فاکتور شکل با مقدار تقریبی ۰/۹۴،  $\beta$  پهنای پیک در نیمه ارتفاع یا همان FWHM که باید برحسب رادیان وارد فرمول شود و  $\theta$  مکان پیک روی محور افقی الگوی پراش می‌باشد [۳].



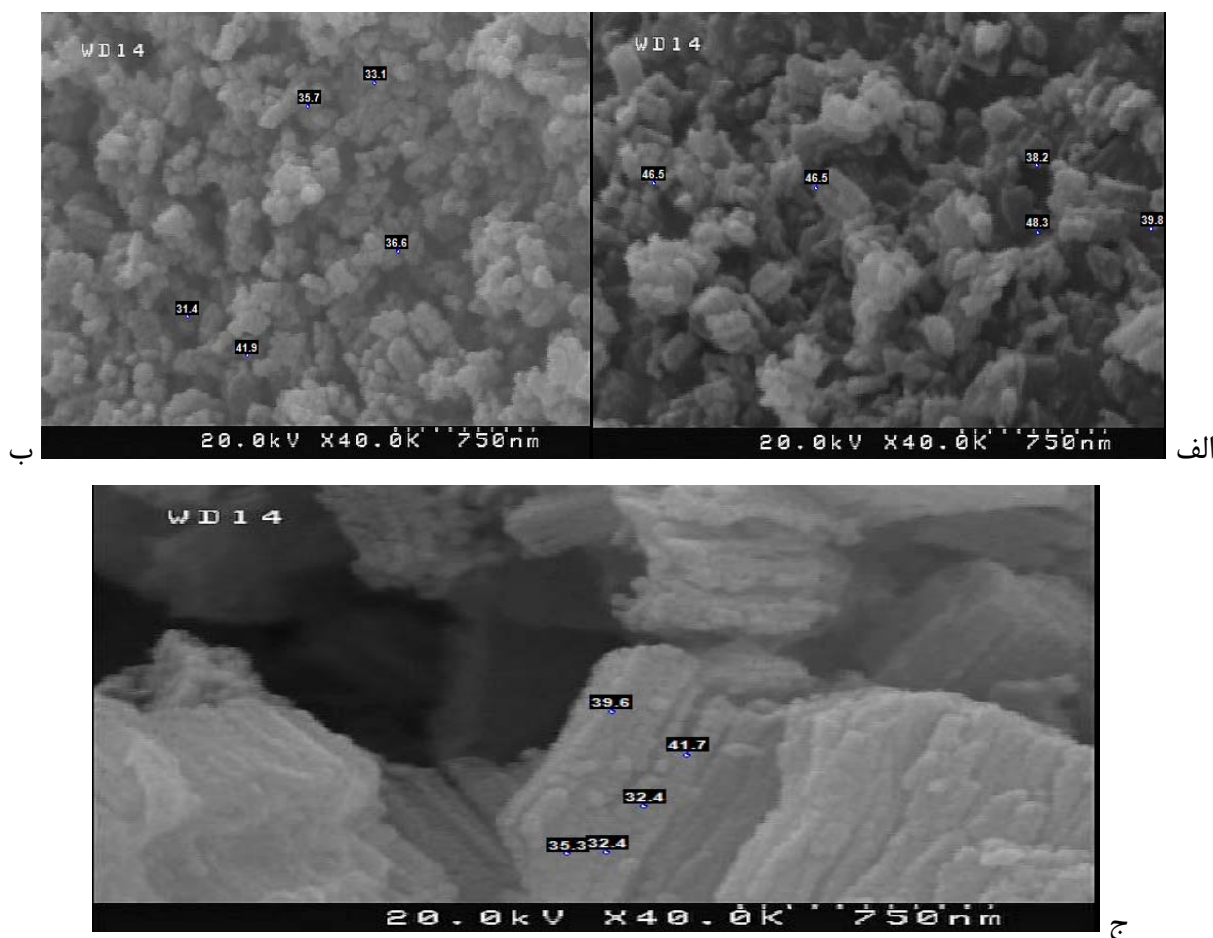
شکل ۱- الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه‌های WZO، MZO و EZO.

جدول ۱- پارامترهای الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه‌های EZO، WZO و MZO

نمونه	ساختار کریستالی	ثابت شبکه (Å) a=b	ثابت شبکه (Å) c	اندازه بلورک (Å)
WZO	ورترزیت هگزاگونال	۳/۲۳۴۰	۵/۱۷۷۰	۱۹۹/۶۶
EZO	ورترزیت هگزاگونال	۳/۲۳۴۰	۵/۱۷۷۰	۲۱۳
MZO	ورترزیت هگزاگونال	۳/۲۳۴۰	۵/۱۷۷۰	۲۸۶

### ۳-۲- میکروسکوپ الکترونی SEM و آنالیز EDX

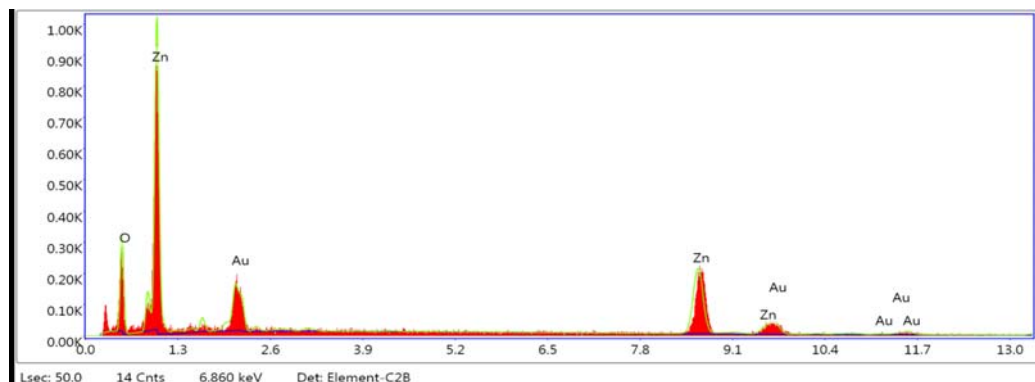
درمواد با ساختار نانو اندازه ذرات و توزیع آن‌ها نقش موثری را ایفا می‌نماید. به منظور بررسی شکل کلی ذرات و بررسی توزیع ذرات می‌توان از تصویر میکروسکوپ الکترونی استفاده نمود. شکل ۲ (الف-ج) بیانگر تصویر SEM این ذرات می‌باشد. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود توزیع یکنواختی از ذرات دیده می‌شود که دارای ساختار تقریباً کروی شکل و به صورت آگلومره می‌باشند. در این شکل‌ها توزیع اندازه ذرات با استفاده از نرم‌افزار SemAfore برای هر سه نمونه EZO، WZO و MZO به ترتیب ۳۶/۲ و ۳۵/۷ و ۴۳/۸ تخمین زده شد [۳ و ۴]. نتایج SEM نشان می‌دهند که با سنتز در محیط حلال اتانول و آب، اندازه نانوذرات ZnO کاهش می‌یابد. ژئو و همکاران گزارش دادند که شکل ذرات وقتی که از اتانول به عنوان حلال استفاده می‌شود، بسیار کوچک است و ذرات ناپایدار هستند و تمایل به آگلومره شدن دارند و به دلیل قطبش کمتر اتانول در مقایسه با آب، منجر به یونیزاسیون کمتر و نرخ رسوب کمتر می‌شود. شکل کروی ذرات WZO به دلیل مکان‌های فعال کمتر ناشی از گوشه‌ها و لبه‌ها می‌باشد. [۲]



شکل ۲- (الف) ساختار EZO، (ب) ساختار MZO، (ج) ساختار WZO



طیف سنجی پراش اشعه ایکس (EDX) به منظور تجزیه و تحلیل ترکیب عنصری یکی از نمونه‌های سنتز شده (EZO) انجام شد. شکل ۳ پیک‌های آنالیز EDX نمونه EZO را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود وجود پیک‌های شارپ Zn و O نشان دهنده فاز خالص و رتزیت هگزاگونال ZnO می‌باشد و پیک‌های مربوط به عنصر Au حاکی از پوشش طلای نمونه هنگام آنالیز می‌باشد. [۴] طیف EDX نمونه‌ها نشان می‌دهد که پودرهای فراهم شده ترکیبی از اکسیژن و روی هستند و مسیر فازهای ZnO خالص را دارند. این خلوص بالای نانو ذرات با الگوی پراش XRD نیز تایید شد. [۲]



شکل ۳- طیف EDX نمونه EZO

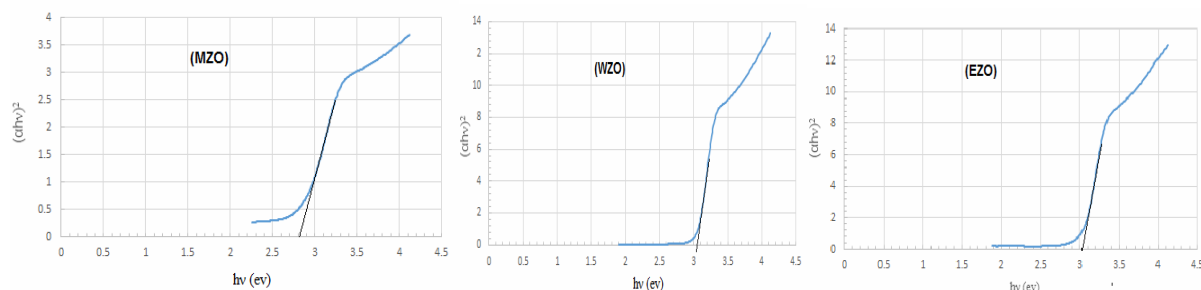
### ۳-۳- آنالیز DRS

برای مطالعات شکاف باند، روش اندازه‌گیری طیف بازتابی (DRS) استفاده شد. از طیف DRS انرژی شکاف باند هر سه نمونه WZO، EZO و MZO با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$h\nu = 1.2398 / (\lambda / 1000) \quad (2)$$

$$(\alpha h\nu)^2 = (((1-f) / 100) * 1.2398(\lambda / 1000))^2 \quad (3)$$

که  $\lambda$  طول موج پیک مربوطه،  $h$  ثابت پلانک،  $c$  سرعت نور،  $f$  بازتاب،  $\alpha$  عدد ثابت،  $\nu$  عدد ثابت است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است با رسم نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  برحسب  $h\nu$  و خط مماس بر منحنی، محل برخورد خط مماس با محور انرژی نشان دهنده انرژی شکاف باند می‌باشد که انرژی شکاف باندهای نمونه‌های EZO، WZO و MZO به ترتیب  $3/0.8$ ،  $3/0.2$  و  $2/81$  الکترون ولت محاسبه شد. [۴] حیبی نیز در کار خود مقدار شکاف باند نانو پودر اکسید روی خالص را  $3/64$  الکترون ولت محاسبه کرد و این افزایش مقدار شکاف باند در مقایسه با گاف انرژی حالت پایه ( $3/37$  الکترون ولت) را ناشی از کاهش اندازه نانو ذرات بیان کرد، که به صورت افزایش گاف انرژی ظاهر می‌شود. [۵]

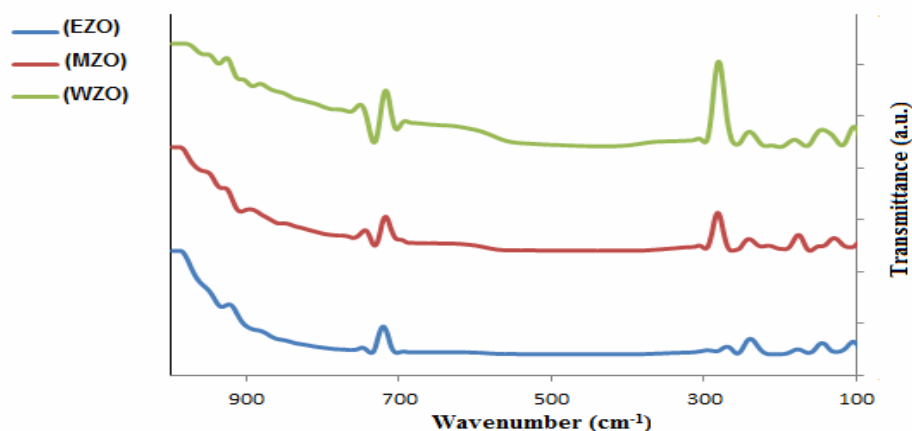


شکل ۴- نمودارهای DRS نمونه‌های EZO و MZO، WZO

### ۳-۴- آنالیز Far-FTIR

در اینجا طیف سنجی مادون قرمز جهت شناسایی ساختار در محدوده  $500-50 \text{ cm}^{-1}$  انجام شده است. با توجه به شکل ۵ پیک جذب برای هر سه نمونه EZO و WZO و MZO به ترتیب در  $421 \text{ cm}^{-1}$  و  $418 \text{ cm}^{-1}$  و  $402 \text{ cm}^{-1}$  در محدوده استاندارد

$400-600\text{ cm}^{-1}$  مشاهده می‌شود که به علت ارتعاش اکسید فلزی روی (Zn-O) می‌باشد. بنابراین نتایج Far-FTIR تشکیل ساختار ورتزیت برای نانو ذرات ZNO را تایید می‌کند که قبلاً هم توسط مطالعات XRD و EDX نیز تایید شده است [۴].



شکل ۵- (a) نمودار Far-FTIR نمونه WZO، (b) نمونه MZO، (c) نمونه EZO

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق نانو ذرات اکسید روی با استفاده از روش سل ژل در سه محیط حلال مختلف تهیه گردید. آنالیزهای مختلف XRD، EDX و Far-FTIR تشکیل تک فاز ورتزیت هگزاگونال نانوذرات اکسید روی را تایید نمودند. تصویر SEM نیز نشان دهنده ذرات تقریباً کروی شکل و آگلومره اکسید روی در هر سه نمونه می‌باشد که نمونه EZO از اندازه ذرات کوچک تری نسبت به دو نمونه دیگر برخوردار است. طیف سنجی DRS نمونه‌ها نیز بیانگر این است که انرژی شکاف باند نمونه‌های EZO، MZO، EZO، WZO به ترتیب ۲/۸۱، ۳/۰۲ و ۳/۰۸ می‌باشد. با مقایسه نتایج حاصل از همه آنالیزها فهمیده شد که حلال ۷۵:۲۵ از آب: اتانول محیط بهتری برای سنتز نانو ذرات اکسید روی می‌باشد.

#### مراجع

- [1] C.Boon Ong, L.Yong Ng, A. W. Mohammad, "A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018) 536–551.
- [2] J. Ungula, B.F.Dejene, "Effect of solvent medium on the structural, morphological and optical properties of ZnO nanoparticales synthesized by the sol-gel method" *Physica B* 480 (2016) 26-30.
- [3] Muneer M. Ba-Abbad, Abdul Amir H. Kadhum a, Abu Bakar Mohamad a, Mohd S. Takriff a, Kamaruzzaman Sopian "The effect of process parameters on the size of ZnO nanoparticles synthesized via the sol-gel technique" *Journal of Alloys and Compounds* 550 (2013) 63–70.
- [4] M. Sajjada, I. Ullaha, M. I. Khanb, J.Khanc, M. Yaqoob Khana, M. Tauseef Qureshi "Structural and optical properties of pure and copper doped zinc oxide Nanoparticles" *Results in Physics* 9 (2018) 1301–1309.

[۵] ع.حیبی، مطالعه برخی از خواص نوری و ساختاری نانو ذرات اکسید روی تهیه شده به روش لایه نشانی بازپخت، چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش درمهندسی، علوم و تکنولوژی، آتن یونان، ۱۳۹۵



\* n. khodabandeh13@gmail.com.

مهندس نجمه خدابنده، نویسنده  
اول مقاله، دانشگاه شهر کرد

# بررسی تاثیر pH حلال بر خواص ساختاری، مورفولوژیکی نانو ذرات ZnO سنتز شده با روش میکرو امولسیون

نجمه خدابنده<sup>۱\*</sup>، ابراهیم شریفی<sup>۲</sup>، حسن شریفی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی مواد دانشگاه شهرکرد، ایران<sup>۲</sup> استادیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شهرکرد، ایران<sup>۳</sup> دانشیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شهرکرد، ایران

چکیده: باتوجه به گسترش روز افزون نانوذرات مغناطیسی در حوزه‌های گوناگون نظیر الکترونیک و میکروالکترونیک، بیولوژیکی، پزشکی و داروسازی، در دهه گذشته مطالعات بر روی این دسته از نانوذرات اهمیت بسیاری یافته است. اکسید روی نیمه رسانایی باگاف نوار پیچیده است. باتوجه به نداشتن هیچ گونه آلودگی زیست محیطی و سهولت سنتز این اکسید نیمه‌رسانا در اندازه‌های گوناگون، ماده‌ای مناسب برای کاربردهای مختلف خواهد بود. در این مطالعه، نانوذرات ZnO در محلول آبی همگن در حضور سورفاکتانت Tween-80 از طریق روش میکروامولسیون تهیه شد. اندازه ذرات با استفاده از سورفاکتانت مورد کنترل قرار گرفت. برای بررسی ریخت شناسی و تعیین اندازه نانوذرات سنتز شده، به ترتیب از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. نتیجه‌های بدست آمده از XRD نشان می‌دهد که نانوذرات ZnO، Zn<sub>10</sub>، Zn<sub>11</sub> تهیه شده به ترتیب دارای اندازه بلورک ۳۱/۹۶ و ۲۷/۲ و ۲۸/۲ نانومتر و دارای ساختار ورتزیت هگزاگونال می‌باشند. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نانوذرات ZnO با استفاده از روش میکروامولسیون در pH برابر ۱۰ به خوبی شکل می‌گیرد. تنظیم pH با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید صورت گرفت. علاوه بر این تاثیر pH محیط بر خواص ساختاری، اپتیکی و مورفولوژیکی نانوذرات ZnO با استفاده از آنالیزهای DRS و Far-FTIR مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: نانو ذرات مغناطیسی، اکسید روی، میکروامولسیون، سورفاکتانت.

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، دسته‌ی جدیدی از آلیاژهای نیمه رسانا به نام نیمه‌هادی‌های مغناطیسی رقیق شده (DMS) مانند TiO<sub>2</sub>، SnO<sub>2</sub>، ZnO و... توجه بسیار زیادی را در سراسر دنیا به خود جلب کرده است. نیمه رساناهای مغناطیسی رقیق شده مواد آلیاژی هستند که شبکه‌ی بلوری آنها حاوی یون‌های مغناطیسی جانشینی هستند. وجود این یون‌های مغناطیسی درون شبکه‌ی DMS منجر به یک برهم کنش نیرومند به نام برهم کنش مبادله‌ای میان اسپین‌های گشتاورهای مغناطیسی جایگزین شده و اسپین‌های الکترون‌های باند می‌گردد. برای استفاده از DMSها برای دستگاه‌های اسپینترونیک<sup>۱</sup> کاربردی، غلظت نسبتا بالایی از عناصر مغناطیسی ضروری در نیمه‌هادی میزبان و یک فلز فرومغناطیس با دمای کوری (T<sub>c</sub>) بالاتر از دمای اتاق مورد نیاز است. فریت‌های فلز انتقالی (TM) با ساختار اسپینل (MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; M=Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, ...) در طیف گسترده‌ای از کاربردهای فناوری مانند دستگاه‌های حافظه‌دار مغناطیسی، ترانزیستورهای اثر میدان اسپین وزیست پزشکی استفاده می‌شوند. اخیرا، ZnO به عنوان یک نیمه رسانای مغناطیسی رقیق با شکاف باند مستقیم (۳/۳۷ev) و انرژی اتصال بالای حدود ۶۰ meV از پتانسیل تکنولوژیکی نسبتا بالایی برخوردار است. علاقه به بهره‌گیری از ZnO به عنوان یک ماده‌ی DMS با محاسبات نظری شدت

<sup>1</sup> Spintronics

یافته و این نشان می‌دهد که ZnO می‌تواند خاصیت فرومغناطیس خود را در دمای بالا با دوپینگ برخی از فلزات انتقالی 3d نشان دهد. علاوه بر این، شفافیت نوری آن ممکن است یک ماده شفاف فرومغناطیس را فراهم کند که امکان بهره‌گیری از آن را در دستگاه‌های جدید ممکن می‌سازد [۳۲]. این نیمه رسانا به دلیل داشتن گاف باندی مستقیم، نورتابی خوبی از خود نشان می‌دهد. همچنین بالابودن انرژی بستگی اکسایتونی در این نیمه رسانا بازده نورتابی گسیل نور را افزایش می‌دهد. رسانندگی بالای الکتریکی، غیرسمی بودن، فراوانی و کم هزینه بودن رشد این نیمه رسانا باعث کاربردهای فراوان آن مانند استفاده در سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل، حسگر گازهایی از قبیل آمونیاک، اوزون، مونوکسید کربن و هیدروژن و تولید فوتوکاتالیست‌ها برای حذف آلودگی‌های محیط زیست گردیده است. ویژگی‌های شیمیایی، میکروساختاری و فیزیکی پودرهای اکسید روی به روش سنتز آن‌ها وابسته است. بنابراین به دلیل کاربردهای گسترده اکسید روی در تکنولوژی‌های پیشرفته، در سال‌های اخیر محققان بیش تر بر روی روش سنتز نانو ذرات اکسید روی متمرکز شده‌اند [۱]. نانوذرات اکسید روی در ساختارهای مختلفی مانند نانومیله، نانوسیم، نانوباند، نانوفنر و با روش‌های مختلفی مانند رسوب دهی شیمیایی، سنتز در میکرومولسیون، سل ژل، هیدروترمال و... تولید می‌شود [۴]. در بین روش‌های موجود روش میکرومولسیون نسبت به روش‌های دیگر بهتر است، زیرا معرف‌ها در سطح مولکولی مخلوط شده و بنابراین کنترل استوکیومتری، ریخت شناسی، خلوص و یکنواختی به خوبی صورت می‌گیرد. هدف اصلی این تحقیق تلاش برای سنتز اکسید روی هگزاگونال پایدار با بلورک‌های نانو متری در سه pH مختلف ۹، ۱۰، ۱۱ با استفاده از فرایند میکرومولسیون در دمای پایین و بررسی تاثیر این تغییر بر روی خواص ساختاری، مورفولوژیکی و اپتیکی نانو ذرات اکسید روی به دست آمده می‌باشد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

روش میکرومولسیون به عنوان یک روش مفید و کارآمد است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی اندازه نانو ذراتی که با این روش تهیه می‌شوند را می‌توان با تغییر پارامترهای مختلف از جمله تغییر pH محلول، اضافه کردن سورفکتانت و تغییر دمای محلول کنترل کرد. در پژوهش حاضر، نانو ذرات اکسید روی خالص با استفاده از روش میکرومولسیون در سه pH مختلف سنتز شدند. در تمامی مراحل آزمایش از آب دو بار تقطیر استفاده شد. برای تهیه نمونه‌های اکسید روی، ابتدا محلول‌های آبی برای نسبت‌های مناسب از مواد اولیه از نیترات روی و سدیم هیدروکسید تهیه می‌شود. به منظور تهیه محلول اول مقدار ۰/۵۲۴ گرم سورفکتانت Tween-80 (۲Mm) در چند قطره اتانول با خلوص ۹۸٪ حل شده و به محلول ۲۰ میلی مولار نیترات روی آماده شده اضافه گردید. محلول بدست آمده به مدت ۳ دقیقه در حمام سونیکیت قرار داده شد و سپس با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۱ ساعت به طور یکنواخت در دمای ثابت ۷۰°C همزده شد. در مرحله بعد، محلول ۵۰ میلی مولار از سدیم هیدروکسید به عنوان عامل رسوب دهنده تهیه شده و به مدت ۳ دقیقه در حمام سونیکیت قرار گرفت. پس از طی شدن زمان ۱ ساعته محلول اول، محلول سدیم هیدروکسید با استفاده از قیف دکانتور به صورت قطره‌ای و با سرعت متوسط به محلول نیترات روی اضافه شده و با کنترل لحظه‌ای pH محلول، زمانی که pH محیط به ۹ رسید اضافه شدن سدیم هیدروکسید را متوقف نمودیم. محلول به دست آمده به مدت ساعت روی همزن مغناطیسی همزده شد. ذرات کلئیدی حاصل شده را با دور ۸۰۰۰rpm سانتریفیوژ کرده و فرآورده نهایی با آب دو بار تقطیر و اتانول برای حذف هرگونه ناخالصی، چند مرتبه شستشو داده شد. رسوبات باقی مانده را به مدت ۳ ساعت در دمای ۷۰°C خشک نموده و در ادامه به منظور جلوگیری از آگرومره شدن نانو ذرات، پودر آماده شده را در دمای ۲۵۰°C به مدت ۲ ساعت در کوره قرار دادیم. به همین ترتیب نانو ذرات دیگر ZnO را نیز در pHهای ۱۰ و ۱۱ به طور مشابه سنتز کردیم. پودرهای تهیه شده در pHهای ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب Zo9، Zo10، Zo11 نامگذاری شد. خواص نانو ذرات ZnO سنتز شده، با استفاده از روش‌های XRD, SEM, EDX, Far-FTIR, DRS مورد بررسی قرار گرفت. برای توصیف نانوذرات ZnO، الگوهای پراش XRD بایک دستگاه پراش اشعه ایکس مدل PW1730، ساخت شرکت Philips اندازه‌گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

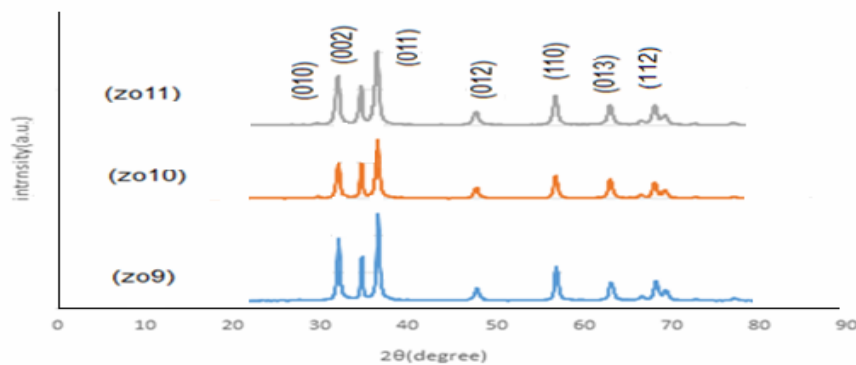


## ۳-۱- آنالیز XRD

شکل ۱ الگوهای پراش XRD هر سه نمونه سنتز شده توسط روش میکرومولسیون را نشان می‌دهد. تمام پیک‌های بدست آمده از طیف ZnO تایید می‌کند که پودر سنتز شده دارای ساختار شش ضلعی وورتزیت هگزاگونال می‌باشد. پیک‌های موجود به دلیل کریستالی بودن نانو ذرات سنتز شده تیز بوده و جدایی پیک‌ها بسیار خوب است که نشان دهنده‌ی تک فاز بودن ساختار کریستالی است [۵]. به این ترتیب تغییر pH محلول سنتز در دمای آزمایش شده تغییری در محصول ایجاد نمی‌کند [۶]. اندازه متوسط بلورک محصولات با استفاده از پیک‌های XRD برای سه نمونه ZO9، ZO10 و ZO11 توسط نرم افزار High Score plus و فرمول شرر به ترتیب ۳۱/۹، ۲۷/۲ و ۲۸/۲ نانومتر محاسبه شد:

$$D = K \lambda / \beta \cos \theta \quad (1)$$

در این فرمول D اندازه بلورک و واحد آن برابر با واحد  $\lambda$  است و معمولاً آنگستروم یا نانو متر است،  $\lambda$  طول موج  $K\alpha_1$  آند دستگاه، K فاکتور شکل با مقدار تقریبی ۰/۹۴،  $\beta$  پهنای قله در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) که باید برحسب رادیان وارد فرمول شود و  $\theta$  مکان پیک روی محور افقی الگوی پراش می‌باشد [۷و۸]. در جدول ۱ پارامتر شبکه، اندازه بلورک و دیگر محاسبات ساختار بلوری مربوط به داده‌های XRD نمایش داده شده است.



شکل ۱- الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه‌های ZO9, ZO10, ZO11

جدول ۱- محاسبات داده‌های طیف XRD نانو ذرات.

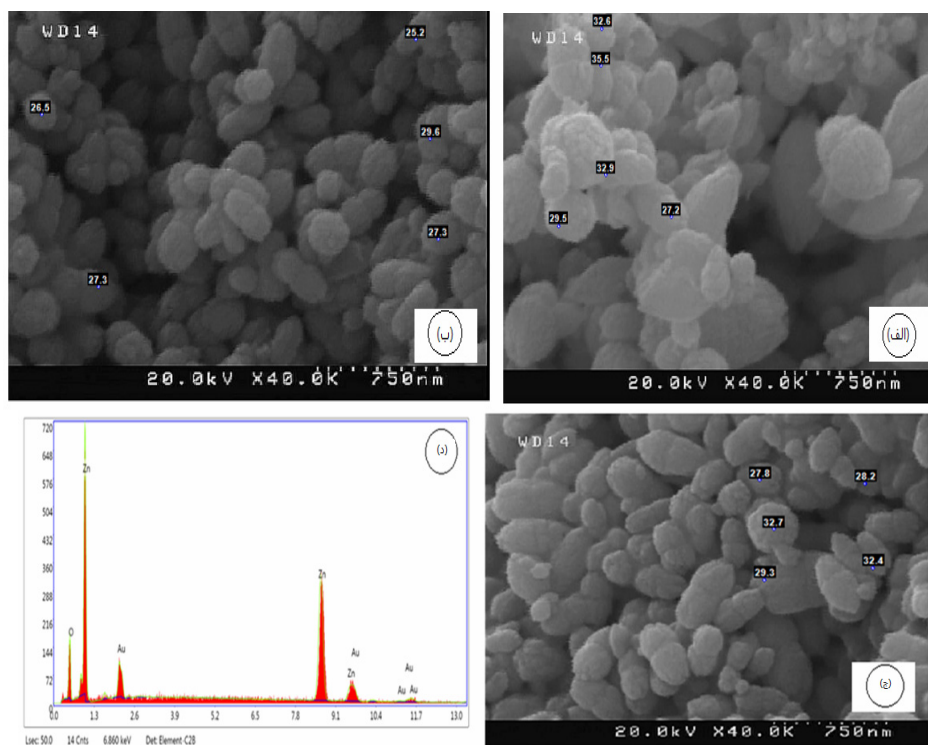
نام نمونه	ساختار کریستالی	ثابت‌های شبکه (Å) a=b c	اندازه بلورک (Å)
Zo9	هگزاگونال	۳/۲۳۴۰ ۵/۱۷۷۰	۳۱۹
Zo10	هگزاگونال	۳/۲۳۴۰ ۵/۱۷۷۰	۲۷۲
Zo11	هگزاگونال	۳/۲۳۴۰ ۵/۱۷۷۰	۲۸۲

## ۳-۲- آنالیز SEM و EDX

اختلاف در شدت پیک‌ها به عنوان عامل موثر در مورفولوژی ذرات می‌باشد که این نشان دهنده جهت یابی مختلف رشد ذرات ZnO می‌باشد. برای بررسی مورفولوژی و نوع کلوخگی ذرات از اندازه گیری SEM استفاده شد. همانطور که از همانطور که در شکل ۲ الف تا ج مشاهده می‌شود تصاویر SEM برحسب شرایط دارای شکل‌های متفاوتی از کلوخگی می‌باشند. در این شکل‌ها توزیع اندازه ذرات با استفاده از نرم افزار SemAfore برای هر سه نمونه ZO9، ZO10 و ZO11 به ترتیب ۳۱/۵۴، ۲۷/۱۸ و ۳۰/۰۸ تخمین زده شد [۶].

طیف سنجی پراش اشعه ایکس (EDX) به منظور تجزیه و تحلیل ترکیب عنصری یکی از نمونه‌های سنتز شده (ZO10) انجام شد. شکل ۲(د) پیک‌های آنالیز EDX نمونه ZO10 را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود وجود پیک‌های شارپ Zn و O

نشان دهنده فاز خالص ورتزیت هگزاگونال ZnO می‌باشد و پیک‌های مربوط به عنصر Au حاکی از پوشش طلای نمونه هنگام آنالیز می‌باشد.



شکل ۲- الف، ب، ج) به ترتیب تصاویر SEM نانو ذرات ZnO، ZnO9، ZnO10 و ZnO11، د) طیف EDX نمونه ZnO.

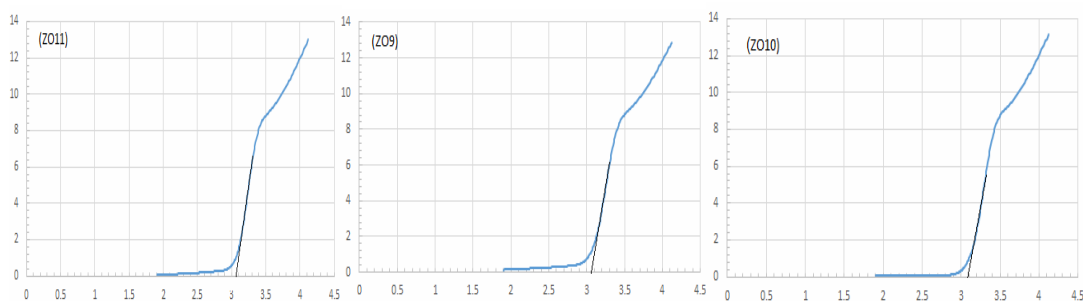
### ۳-۳- آنالیز DRS

برای مطالعات شکاف باند، روش اندازه‌گیری طیف بازتابی (DRS) استفاده شد. از طیف DRS انرژی شکاف باند هر سه نمونه ZnO9، ZnO10 و ZnO11 با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$hv = 1.2398 / (\lambda / 1000) \quad (2)$$

$$(\alpha hv)^2 = (((1-f) / 100) * 1.2398 / (\lambda / 1000))^2 \quad (3)$$

که  $\lambda$  طول موج پیک مربوطه،  $h$  ثابت پلانک،  $c$  سرعت نور،  $f$  بازتاب،  $\alpha$  عددتایت،  $v$  ثابت است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است با رسم نمودار  $(\alpha hv)^2$  برحسب  $hv$  و خط مماس بر منحنی، محل برخورد خط مماس با محور انرژی نشان دهنده انرژی شکاف باند می‌باشد که انرژی شکاف باندهای نمونه‌های ZnO9، ZnO10، ZnO11 به ترتیب ۳/۰۸، ۳/۱ و ۳/۰۹ الکترون ولت محاسبه شد.

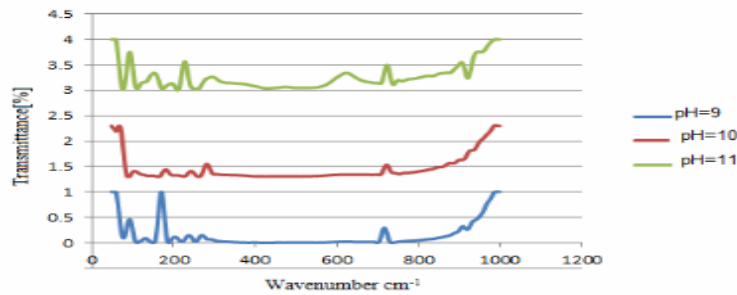


شکل ۳- نمودارهای DRS نمونه‌های ZnO9، ZnO10 و ZnO11

### ۳-۴- آنالیز Far-FTIR

در اینجا طیف سنجی مادون قرمز جهت شناسایی ساختار در محدوده 50-500 $cm^{-1}$  انجام شده است. شکل ۴ باندهای جذب نانو

ذرات اکسید روی سنتز شده به روش میکرومولسیون را نشان می‌دهد. [۹] پیک‌های جذب برا هر سه نمونه ZO11, ZO10, ZO9 به ترتیب در  $400/71$  و  $400/81$  و  $407/97$  مشاهده می‌شود که ساختار هگزاگونال نانو ذرات اکسید روی سنتز شده را تایید می‌کند.



شکل ۴- نمودار Far-FTIR نمونه ZO9، ZO10 و ZO11.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق نانوذرات اکسید روی باموفقیت در حضور سورفاکتانت Tween-80، در سه pH مختلف ۹، ۱۰ و ۱۱ سنتز شد. طیف XRD بیانگر ساخته شدن نانوذرات اکسید روی می‌باشد که با گزارشات قبلی مطابقت دارد. آنالیزهای مختلف EDX، XRD و Far-FTIR تشکیل تک فاز و رتزیته هگزاگونال نانوذرات اکسید روی را تایید نمودند. براساس طیف SEM می‌توان گفت که اکسید روی ساخته شده از ذرات تقریباً کروی شکل و آگلومره در هر سه نمونه می‌باشد. اثر pH محلول بر خواص ساختاری و اپتیکی و اندازه ذرات مورد بررسی قرار گرفت. که نمونه ZO10 از اندازه ذرات کوچک تری نسبت به دو نمونه دیگر برخوردار است. طیف‌سنجی DRS نمونه‌ها بیانگر این است که انرژی شکاف باند نمونه‌های ZO9، ZO10 و ZO11 به ترتیب  $3/08$  و  $3/1$  و  $3/09$  الکترون ولت می‌باشد. با مقایسه نتایج حاصل از همه آنالیزها فهمیده شد که با کوچک شدن اندازه ذرات، گاف انرژی افزایش می‌یابد که به دلیل اثرات کوانتومی است، بنابراین نمونه با  $pH=10$  محیط بهتری برای سنتز نانوذرات اکسید روی را فراهم می‌کند.

#### مراجع

- [۱] علی بلوچ سیرگانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ۱۳۹۳.
- [2] S. Fabbiyola, L. John Kennedy, T. Ratnaji, J. Judith Vijaya, Udaya Aruldoss, M. Bououdina, "Effect of Fe-doping on the structural, optical and magnetic properties of ZnO nanostructures synthesised by co-precipitation method" *Ceramics International*. 142(2016)1588–1596.
- [3] D.P. Rai, Amel Laref, A. Shankar, R. Khenata, R.K. Thapa, "Spin-induced transition metal (TM) doped SnO<sub>2</sub> a dilute magnetic semiconductor (DMS): A first principles study" *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 120 (2018) 104–108.
- [4] C. Boon Ong, L. Yong Ng, A. W. Mohammad, "A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018) 536–551.
- [5] R. Ashraf, S. F. Riaz, S. Hussain, "Effect of pH on properties of ZnO nanoparticles" *Materials Today: Proceedings* 2 (2015) 5754 – 5759.
- [6] A. Rayerfrancis, P. B. Bhargav, N. Ahmed, B. Chandra, "Effect of pH on the morphology of ZnO nanostructures and its influence on structural and optical properties", *Physica B* 457(2015)96–102.
- [7] Ying Tao Chung, Muneer M. Ba-Abbad, AbdulWahab Mohammad Nur Hanis Hayati Hairom, Abdelbaki Benamor, "Synthesis of minimal-size ZnO nanoparticles through sol-gel method: Taguchi design optimization" *Materials and Design* 87 (2015) 780–787.
- [8] J. Ungula, B. F. Dejene, "Effect of solvent medium on the structural, morphological and optical properties of ZnO nanoparticles synthesized by the sol-gel method" *Physica B* 480 (2016) 26-30.
- [9] M. Sajjada, I. Ullaha, M. I. Khanb, J. Khanc, M. Yaqoob Khana, M. Tauseef Qureshi "Structural and optical properties of pure and copper doped zinc oxide Nanoparticles" *Results in Physics* 9 (2018) 1301–1309.

# گسیل لیزری در شیشه سرامیک‌های فسفاتی آلانید به $Nd^{+3}$

وحید امیرزاده فتوت\*، یوسف هاتفی

دانشکده و پژوهشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)



دکتر وحید امیرزاده فتوت،  
نویسنده اول مقاله، دانشگاه  
جامع امام حسین (ع)  
\* v.amirzadeh757@gmail.com

چکیده: نمونه‌های شیشه-سرامیکی فسفاتی شفاف آلانید به یون  $Nd^{+3}$  ساخته شد. ویژگی‌های فازی و ساختار پودری نمونه‌ها به کمک پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفت و اندازه نانوبلورها با بکارگیری معادله شرر حدود ۴۵ نانومتر برآورد شد همچنین طیف‌های برانگیختگی و گسیل نمونه بررسی شد. در نهایت از نمونه شیشه سرامیکی فسفاتی آلانید به نئودیمیوم ساخته شده در داخل، تحت دمش لامپ درخش، گسیل لیزری حاصل شد. کلمات کلیدی: شیشه فسفاتی- شیشه سرامیک، نانوبلور، گسیل لیزری.

## ۱- مقدمه

شیشه سرامیک‌های حاوی یون‌های خاکی کمیاب به دلیل پتانسیل کاربردی بالا در وسایل اپتیکی مانند قطعات تبدیل فرکانس و مواد فعال لیزر حالت جامد، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. از میان ماتریس‌های مختلف شیشه، شیشه‌های فسفاتی دارای چندین مزیت مانند ضریب هدایت گرمایی بالا، دمای ذوب و نرم شدگی پایین و گذار فرابنفش بالا در مقایسه با شیشه‌های اکسیدی معمولی می‌باشند [۲]. یون‌های نئودیمیوم به دلیل امکان کاربرد آن‌ها به عنوان مراکز فعال در وسیله‌های لیزری، تقویت کننده‌های اپتیکی و تبدیل فرکانس فرابنفش و مرئی، بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۳]. شیشه-سرامیک‌های شفاف کلروفسفاتی آلانید به یون‌های  $Nd^{3+}$  حاوی نانوبلور هالیدی به روش ذوب، با موفقیت تهیه شد. نمونه‌های شیشه سرامیکی با بازپخت شیشه‌های اولیه در دمای  $590^{\circ}C$  به مدت ۲ ساعت تهیه شد. بررسی بلوری شدن نمونه‌ها با استفاده از آزمایش پراش اشعه X، (XRD)، تشکیل نانو بلورهای  $Ca(ClO)_2$  را نشان می‌دهد. میانگین اندازه نانوبلورهای تشکیل شده با استفاده از رابطه شرر حدود ۴۵ نانومتر به دست آمد. توصیف طیفی با استفاده از طیف‌های جذبی، برانگیختگی و گسیلی مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات در طیف‌های جذبی و گسیلی شیشه سرامیک‌ها در مقایسه با شیشه‌های اولیه به ایجاد محیط جدید در اطراف یون‌های فعال که در نمونه شیشه وجود ندارد، مربوط می‌شود. همچنین طیف‌های جذبی و گسیلی بررسی شده به دام افتادگی تعداد قابل توجهی از یون‌های  $Nd^{3+}$  را در نانو بلورها بیان می‌کند. نانو بلورهای قرار گرفته در ماتریس شیشه، یک محیط با انرژی فونونی پایین برای یون‌های  $Nd^{3+}$  ایجاد می‌کنند و در نتیجه شدت گذارهای غیر تشعشی کاهش می‌یابند [۴-۵]. مطالعات طیفی صورت گرفته بر روی نمونه‌های آلانید شده به یون‌های  $Nd^{3+}$  نشان می‌دهد که شیشه-سرامیک‌ها سیستم‌هایی با پتانسیل کاربردی به عنوان مواد لیزری با گسیل در طول موج 1.06 میکرومتر هستند.

## ۲- بخش تجربی، نتایج و تحلیل

الف- ساخت: ترکیب فسفوکرایدی با درصدهای مولی زیر:

$P_2O_5$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ,  $xNd_2O_3$

and  $x = 0.5, 1, 1.5, 2$

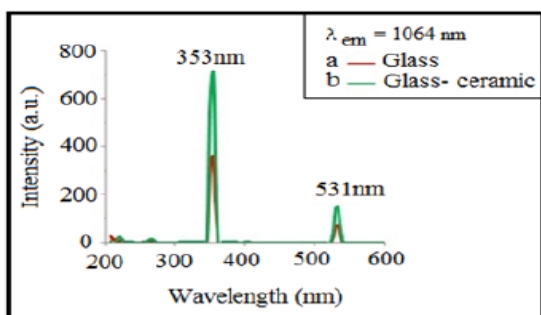


برای ساخت نمونه‌های با درصد‌های مختلف آرایش بکار گرفته شد. در ساخت این نمونه‌ها به میزان ۵۰ گرم از این ترکیب توزین و مخلوطی همگن تهیه شد. پس از حرارت دهی اولیه، بوتله حاوی نمونه به کوره‌ای که در دمای  $1100^{\circ}\text{C}$  قرار داشت منتقل شد و در این دما به مدت ۲ ساعت تحت عملیات حرارت دهی قرار گرفت. شکل ۱ یکی از نمونه‌های شیشه-سرامیک شفاف ساخته شده به شکل میله‌ای به طول ۲۹ میلی‌متر و مقطع ۵ میلی‌متر مربع و با ۱ در صد آلتایده به نئودیمیوم را نشان می‌دهد.

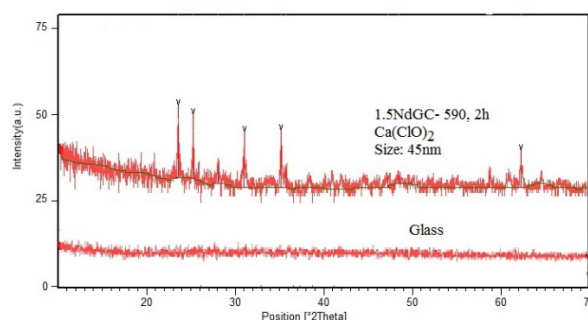


شکل ۱- نمونه شیشه-سرامیک شفاف

الگوی پراش XRD نمونه شیشه‌ای و شیشه-سرامیکی مطابق با شکل ۲ بدست آمد. اندازه این نانوبلورها با بکارگیری معادله شرر حدود ۴۵ نانومتر برآورد شد. طیف‌های برانگیختگی که در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر دیده بانی شده است مطابق شکل ۳ می‌باشد.

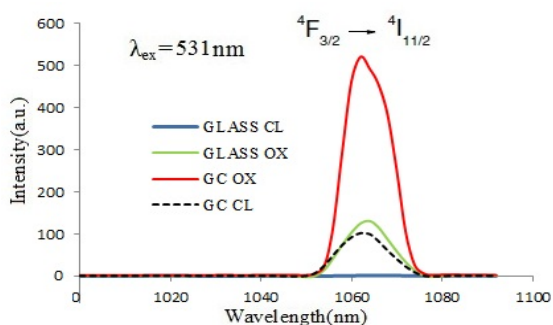


شکل ۳- طیف‌های برانگیختگی نمونه (a) شیشه‌ای و (b) شیشه-سرامیکی

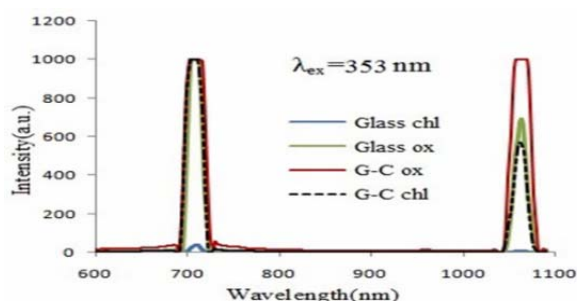


شکل ۲- الگوهای پراش XRD نمونه شیشه‌ای (پایین) و نمونه شیشه-سرامیکی (بالا).

طیف‌های گسیلی نمونه‌های شیشه و شیشه-سرامیکی کلرایدی و اکسیدی مطابق با شکل ۴ بدست آمد. نمونه شیشه-سرامیکی اکسیدی شدیدترین گسیل را نشان می‌دهد. شکل ۵ نتایج تحریک نمونه‌ها در طول موج ۵۳۱ نانومتر را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌کنید نمونه شیشه-سرامیکی اکسیدی شدیدترین گسیل را نشان می‌دهد.



شکل ۵- طیف‌های گسیلی کلرایدی و اکسیدی با تحریک در طول موج ۵۳۱ نانومتر برای نمونه‌های شیشه‌ای و شیشه-سرامیکی



شکل ۴- طیف‌های گسیلی کلرایدی و اکسیدی با تحریک در طول موج ۳۵۳ نانومتر برای نمونه‌های شیشه‌ای و شیشه-سرامیکی

## ب- اخذ گسیل لیزری از نمونه شیشه سرامیک:

با دمش نوری به کمک ۲ تا لامپ درخش روسی مدل ۷/۸۰A در یک آرایش نوری جفت شدگی نزدیک مطابق با چیدمان لیزری شکل ۶ تحت دمش قرار گرفت.

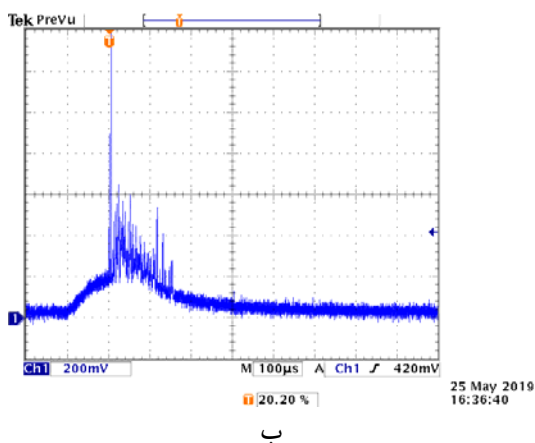


شکل ۶- چیدمان لیزری

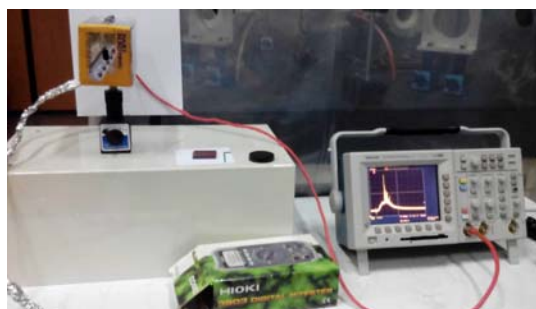
تجهیزات لیزری شامل:

آینه مقعر عقب با شعاع ۳ متری و با ۹۸٪ بازتاب در طول موج ۱۰۶۴ nm - آینه مقعر جلو با شعاع ۳ متری و با ۹۸٪ بازتاب در طول موج ۱۰۶۴ nm - تریگر دو تا خازن ۱۰۰ میکروفارادی روسی - منبع تغذیه با ولتاژ تا ۱۵۰۰ ولت - دو تا فلاش لامپ روسی - دوربین مرئی کننده IR - حسگر سیلیکون پین دایود و اسیلوسکوپ - کالری متر شرح آزمایش:

نمونه در وسط دو لامپ توسط زورق آلومینیومی که دو طرف آن آینه‌های مقعر با شعاع ۳ متری و بازتاب ۹۸٪ در طول موج ۱۰۶۴ nm قرار گرفت، طول کاواک ۳۵ سانتیمتر بوده که نمونه در وسط آن قرار گرفت، با منبع تغذیه از ۹۰۰ تا ۱۲۵۰ ولت به دو سر لامپ، ولتاژ اعمال شده که معادل ۸۰ تا ۱۵۰ ژول بوده است. همچنین برای همراستا کردن از لیزر هلیوم نئون استفاده شد. پس از اینکه ولتاژ منبع تغذیه به ۹۰۰ ولت رسید با سوئیچ کردن تریگر، نمونه توسط ۲ تا لامپ درخش دمش شده و با زدن ۱ پالس، در فاصله ۴ متری توسط حسگر سیلیکون پین دایود و اسیلوسکوپ، لیزر به صورت میخه‌های لیزری مشاهده شد و با افزایش ولتاژ تا ۱۵۰۰ ولت، شدت و مقدار انرژی افزایش یافت. (شکل ۷)



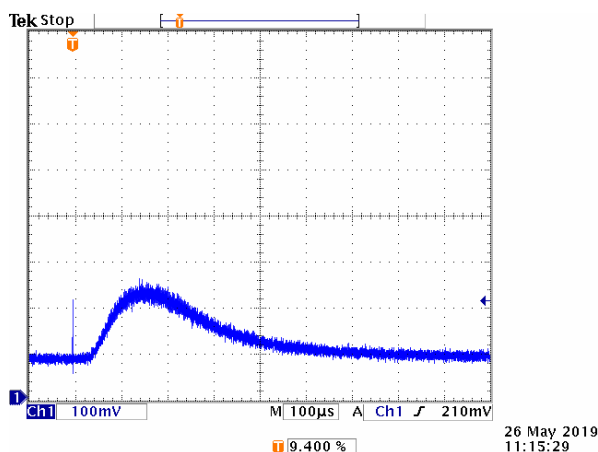
ب



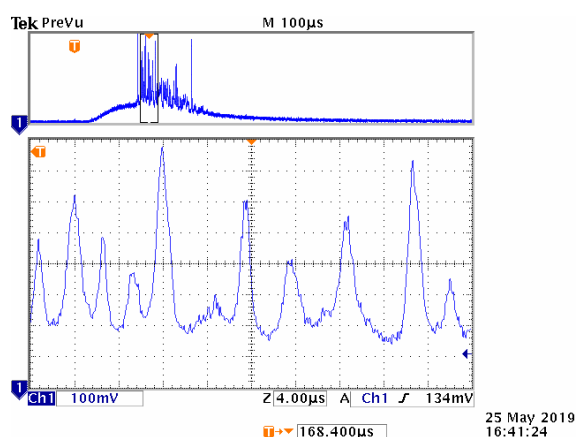
الف

شکل ۷- الف) حسگر پین دایود و اسیلوسکوپ، ب) میخه‌های لیزری مشاهده شده با اسیلوسکوپ

پس از باز کردن قسمتی از میخه‌های لیزری، چندین پهنای پالس زمانی لیزری کمتر از ۳ میکروثانیه دیده شد. (شکل ۸) جهت اطمینان از گسیل لیزری، پس از مسدود کردن آینه عقب، فقط پهنای پالس لامپ دیده شد. (شکل ۹) همچنین نور لیزر IR توسط دوربین مرئی کننده در فاصله ۴ متری با قطر پرتو ۳ سانتیمتری مشاهده شد و نیز توسط کالری متر، انرژی لیزر در مرتبه ۷۱۲ میکروژول بدست آمد.



شکل ۹- پهنای پالس زمانی لامپ پس از مسدود کردن آینه عقب



شکل ۸- پهنای پالس‌های زمانی لیزری کمتر از ۳ میکروثانیه

### ۳- نتیجه گیری

- شیشه سرامیک فسفاتی شفاف آلائیده به  $Nd^{+3}$  ساخته شد.
- اندازه نانوبلورها در حدود ۴۵ نانومتر بدست آمد.
- طیف‌های گسیلی نمونه‌های شیشه و شیشه سرامیکی مورد بررسی قرار گرفت.
- پهنای پالس زمانی لیزری کمتر از ۳ میکروثانیه بدست آمد.
- نور لیزر IR توسط دوربین مرئی کننده در فاصله ۴ متری با قطر پرتو ۳ سانتیمتری مشاهده شد.
- توسط کالری متر، انرژی لیزر در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر در مرتبه ۷۱۲ میکروژول بدست آمد.

### سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر فرهبد و آقای ترکاشوند از سازمان انرژی اتمی برای گرفتن گسیل لیزری از نمونه‌های ساخته شده تقدیر و تشکر می‌کنیم.

### مراجع

- [1] P.A. Tick, N.F. Borrelli, L.M. Reaney, "The relationship between structure and transparency in glass-ceramic materials", Opt. Mater, 15 (2000) 81.
- [2] G .N. Hemantha Kumar, J .L. Rao, K .Ravindra Prasad, Y. C. Ratnakaram, "Fluorescence and Judd-Ofelt analysis of  $Nd^{3+}$  doped  $P_2O_5-Na_2O-K_2O$  glass", J. Alloys Compounds, 480 (2009) 208.
- [3] M. Abril, J. Mendez-Ramos, I.R. Martin, U.R. Rodriguez-Mendoza, "Optical properties of  $Nd^{3+}$  ions in oxyfluoride glasses and glass ceramics comparing different preparation methods", J. Appl. Phys. 95 (2004) 5271.
- [4] Y. Hatefi, N. Shahtahmasebi, A. Moghimi, E. Attaran, "Frequency-conversion properties of  $Eu^{3+}$  doped chlorophosphate glass ceramics containing  $CaCl_2$  nanocrystals", Journal of Luminescence 131 (2011) 114.
- [5] Y. Hatefi, N. Shahtahmasebi, A. Moghimi, E. Attaran, "Ultraviolet to visible frequency-conversion properties of rare earths doped glass ceramics", J. Rare Earths 29 (2011) 484.

# بررسی اثر افزودن آندالوزیت روی شوک‌پذیری حرارتی جرم‌های ریختنی دیرگداز تبلار آلومینایی

زهرا خلیلی اواتی<sup>۱</sup>، محمد رجبی<sup>۲</sup>، علیرضا سوری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

<sup>۳</sup> گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر

دکتر علیرضا سوری، نویسنده

مستول مقاله، عضو هیات علمی

دانشگاه ملایر

**چکیده:** در این مقاله اثر مقادیر مختلف آندالوزیت روی شوک‌پذیری حرارتی جرم‌های ریختنی دیرگداز تبلار آلومینایی مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه جرم‌های دیرگداز با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد آندالوزیت ساخته شدند و بعد از عمل آوری و خشک کردن در دماهای ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته شدند. آزمایش‌های استحکام فشاری سرد، دانسیته کلی و تخلخل ظاهری اندازه‌گیری شدند. آزمایش مقاومت در برابر شوک حرارتی با روش دمش هوای سرد روی نمونه‌های باز پخت شده در ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. مشخصه‌یابی مورفولوژیکی و ساختاری نمونه‌ها توسط آنالیز تفرق پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی مطالعه شد. نتایج آنالیز فازی نشان می‌دهند که با حضور آندالوزیت در جرم‌های ریختنی دیرگداز تبلار آلومینایی فاز مولایت تشکیل شده است. وجود فاز مولایت باعث بهبود خواص مکانیکی نمونه‌ها در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد شده است. همچنین نتایج آزمایش مقاومت در برابر شوک حرارتی برای نمونه‌ی با مقدار ۱۰ درصد وزنی آندالوزیت بالاترین کاهش درصد استحکام خمشی سرد از ۷۳/۹۵ درصد به ۵۷ درصد را نشان می‌دهند.

**کلمات کلیدی:** جرم دیرگداز آلومینایی، شوک‌پذیری حرارتی، آندالوزیت، مولایت.

## ۱- مقدمه

امروزه تولید مواد دیرگداز با کیفیت بهتر و طول عمر بیشتر برای صنایع مصرف کننده دیرگداز مانند صنایع آهن و فولاد، صنایع سیمان و انواع کوره‌های صنعتی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. دیرگدازهای مونولیتیک به دلیل مقاومت بالایی که در برابر شوک حرارتی و واکنش‌های شیمیایی دارند، به طور وسیع در آستر کوره‌های قوس الکتریکی، پاتیل‌ها و تاندیش‌های ریخته‌گری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. مزایای دیرگدازهای مونولیتیک باعث افزایش تمایل به مصرف این گروه از مواد و جایگزینی تدریجی آن‌ها به جای دیرگدازهای شکل‌دار شده است [۲]. فرآورده‌های دیرگداز ممکن است حین کار تحت شوک حرارتی قرار گیرند. برای جلوگیری از ترک برداشتن و شکسته شدن و به دست آوردن حداکثر عمر، لازم است که محصولات دیرگداز شوک‌پذیری حرارتی مناسبی با توجه به محل مصرف داشته باشند. مقاومت در برابر شوک حرارتی به شاخص‌های فیزیکی ماکروسکوپی مانند استحکام، مدول الاستیسیته و ضریب انبساط حرارتی وابسته است. علاوه بر این‌ها عوامل درونی مانند ساختار مواد، اندازه‌دانه، شکل و توزیع نقص داخلی نیز تأثیرگذار است [۳].

یکی از راه‌های بهبود خواص جرم‌های ریختنی کم سیمان پایه آلومینایی، تشکیل فاز مولایت در ساختار آن‌ها می‌باشد که در رشد و توسعه این دیرگدازها اهمیت بسزایی دارد. به دلیل دمای ذوب بالای مولایت (۱۸۵۰ درجه سانتی‌گراد)، هدایت حرارتی و انبساط حرارتی پایین، استحکام بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی خوب و سرعت خزش پایین مولایت، این ماده فازی مطلوب و قابل توجه در صنعت دیرگداز می‌باشد [۴ و ۵].

یکی از مینرال‌های آلومینوسیلیکاتی که قابلیت مولایت‌زایی بالایی دارد، آندالوزیت می‌باشد.



آندالوزیت یک مینرال آلومینوسیلیکاتی با ساختار بلوری اورتورومبیک است و دارای خواصی همچون پایداری حجمی مناسب در دمای بالا، استحکام مکانیکی بالا، مقاومت به شوک حرارتی و مقاومت به خزش می‌باشد [۶]. مهم‌ترین خصوصیتی که آندالوزیت را از دیگر آلومینوسیلیکات‌ها متمایز می‌سازد نسبت مناسب آلومینا به سیلیس موجود در ماده جهت تشکیل فاز مولایت، استحاله آسان و برگشت ناپذیر به مولایت و قیمت مناسب آن می‌باشد [۷]. در این پژوهش، بهبود شوک‌پذیری حرارتی جرم‌های دیرگداز آلومینا بالای کم‌سیمان با افزودن درصد‌های مختلف آندالوزیت مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

### ۲-۱- مواد اولیه

مواد اولیه شامل تبولار آلومینا، راکتیو آلومینا، سیمان سکار ۷۱ و آندالوزیت می‌باشد که در جدول ۱ ترکیب شیمیایی آنها نشان داده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد اولیه استفاده شده برای ساخت جرم ریختنی دیرگداز

	آلمینای تبولار	آلمینای راکتیو	آندالوزیت	سیمان سکار ۷۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹۸/۸۸	۹۹/۴۹	۵۹/۱	≥۶۸,۵
SiO <sub>2</sub>	۰/۰۷	-	۳۸/۵	۰/۸
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۰۵	-	۰/۸	۰/۴
TiO <sub>2</sub>	-	-	۰/۲۵	۰/۴
Na <sub>2</sub> O	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۱	-
K <sub>2</sub> O	-	۰/۰۱	۰/۳	-
MgO	-	-	۰/۱۵	۰/۵
CaO	۰/۰۸	-	-	≤۳۱
SO <sub>r</sub>	۰/۰۷	-	-	۰/۳
LOI	۰/۵	۰/۲۳	۰/۷	-

### ۲-۲- اختلاط و آماده‌سازی جرم‌های ریختنی

مواد اولیه بعد از توزین با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم، در یک میکسر هوبارت دو دقیقه اختلاط خشک و ۳ دقیقه اختلاط تر شدند. سپس جرم‌ها در قالب ریخته شده و روی میز ویبره تحت عمل لرزش به مدت یک دقیقه با فرکانس ۵۰HZ ساخته شدند. نمونه‌ها در محفظه‌ای با رطوبت ۹۰٪ به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. نمونه‌ها از قالب خارج شده و به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس همه نمونه‌ها در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک و در سه دمای ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بر ساعت پخت شدند.

### ۲-۳- آزمایش‌ها و مشخصه‌یابی

دانسیته بالک، تخلخل باز، استحکام خمشی سرد مطابق استاندارد ASTM روی نمونه‌های استاندارد انجام شد. برای اندازه‌گیری شوک حرارتی نمونه‌هایی به شکل شمش ساخته شدند پس از پخت در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، برای انجام سیکل‌های حرارتی آماده شدند. بدین صورت که نمونه‌ها در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت دیدند و سپس از کوره خارج شده و تحت دمش هوای سرد به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. این سرد و گرم کردن ۵ بار تکرار شد و پس از آن از نمونه‌ها

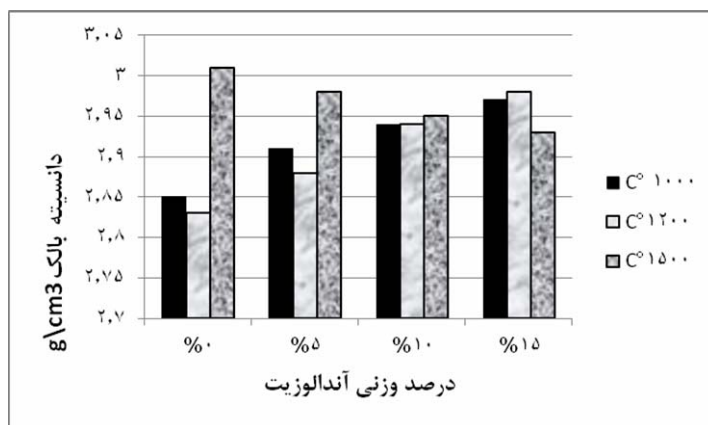
آزمون استحکام خمشی سرد گرفته شد. به منظور ارزیابی ساختاری و فازی نمونه‌ها بعد از پخت در دماهای ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، آنالیز تفرق پرتو ایکس (XRD) به کار گرفته شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت مشخصه‌یابی نمونه‌های بالک استفاده شد. با استفاده از تصاویر حاصل، اثر افزودن آندالوزیت و حضور یا عدم حضور فاز مولایت مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- اثر آندالوزیت بر روی دانسیته بالک و تخلخل ظاهری جرم‌های ریختنی

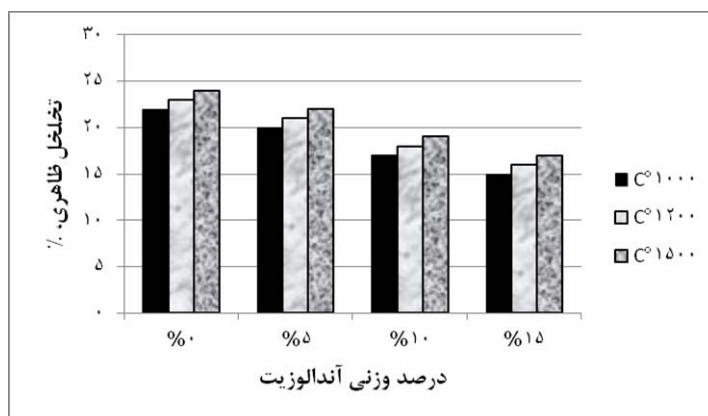
دانسیته بالک و تخلخل ظاهری دو پارامتر مهم در بحث جرم‌های ریختنی دیرگداز هستند. در شکل ۱ اثر افزودن آندالوزیت روی دانسیته بالک جرم‌های آلمینایی کم سیمان نشان داده شده است.

در محدوده دمایی ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد که نمونه‌ها پخت شدند دو عامل روی دانسیته تأثیر می‌گذارد. عامل اول حذف فازهای هیدراته  $CAH_{10}$  و  $AH_3$  و خروج مواد فرار است که باعث کاهش دانسیته می‌شود [۴]. از طرفی با افزایش بیشتر دما تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد عامل دوم که زینترینگ می‌باشد منجر به افزایش دانسیته می‌گردد. بنابراین در نمونه‌های ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪، علت کاهش دانسیته را می‌توان غلبه عامل اول دانست و در نمونه ۱۵٪، افزایش درصد آندالوزیت سبب افزایش میزان فاز شیشه شده که از طریق کمک به انجام زینترینگ و پر کردن حفرات بر عامل اول غلبه نموده و دانسیته را افزایش می‌دهد.



شکل ۱- دانسیته بالک نمونه‌های مختلف در دماهای پخت متفاوت

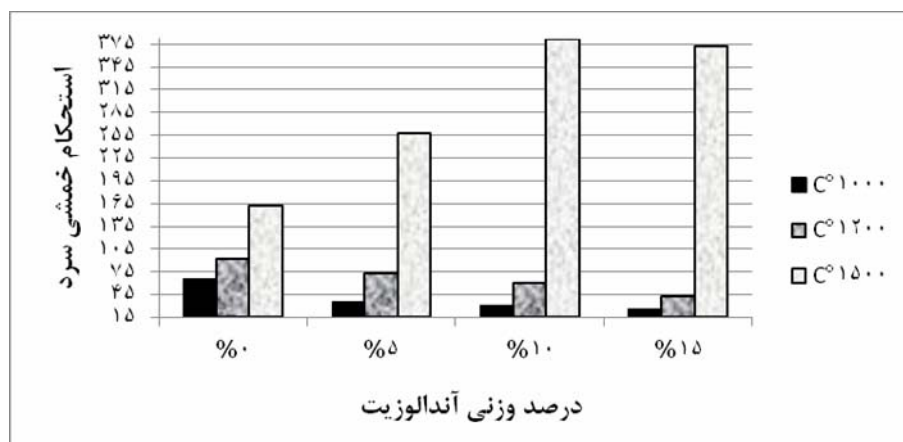
تخلخل ظاهری نمونه‌ها در دماهای مختلف با افزایش درصد آندالوزیت در شکل ۲ نشان داده شده است، میزان تخلخل ظاهری به علت پر شدن حفرات توسط فاز شیشه کاهش می‌یابد و با افزایش دما تخلخل ظاهری مقدار جزئی افزایش داشته است. در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به علت کامل شدن زینترینگ درصد تخلخل ظاهری تمام نمونه‌ها به یک مقدار تقریباً ثابت می‌رسد.



شکل ۲- تخلخل ظاهری نمونه‌های مختلف در دماهای پخت مختلف

### ۳-۲- اثر افزودن آندالوزیت روی مقاومت به شوک حرارتی

استحکام خمشی سرد نمونه‌ها در دماهای مختلف و در درصد‌های وزنی مختلف آندالوزیت اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- استحکام خمشی سرد نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آندالوزیت در دماهای پخت متفاوت

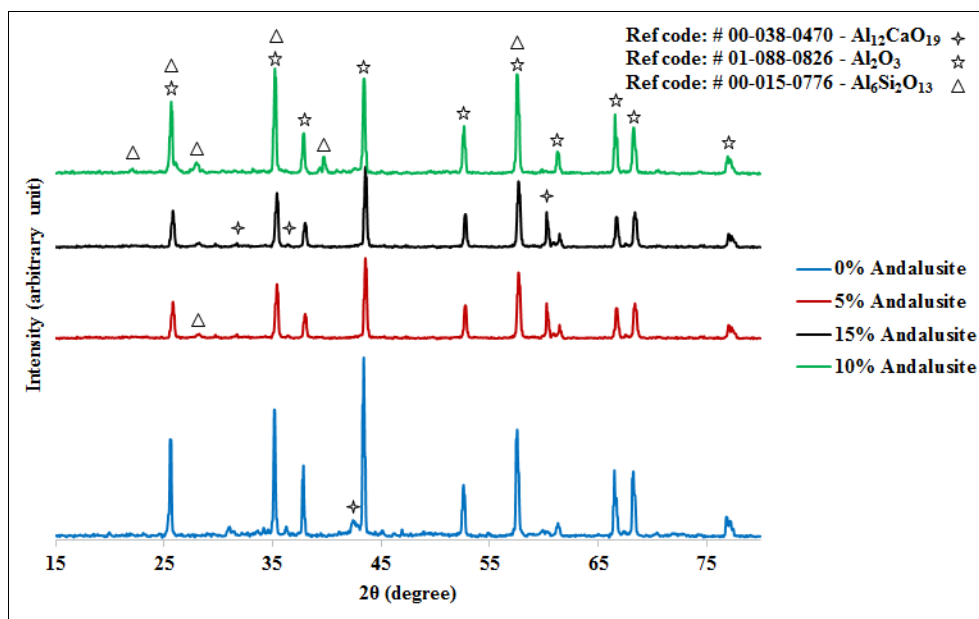
نتایج شکل ۳ مربوط به استحکام خمشی سرد قبل از وارد شدن شوک حرارتی به نمونه‌ها است. بعد از تحمل سیکل‌های حرارتی نیز مقدار استحکام خمشی سرد در ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری گردید. درصد کاهش مقدار استحکام خمشی سرد نمونه‌ها با مقادیر مختلف آندالوزیت در دمای پخت اولیه ۱۵۰۰ درجه‌سانتی‌گراد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- درصد کاهش استحکام خمشی سرد پس از شوک حرارتی

مشخصه نمونه‌ها، مقدار آندالوزیت	% کاهش استحکام خمشی سرد (MOR)
0%	۷۳/۹۵
5%	۶۸/۰۷
10%	۵۷
15%	۵۷/۷۱

همانگونه که در جدول مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار آندالوزیت تا ۱۰ درصد وزنی روند کاهش استحکام خمشی سرد بهبود یافته است و در ۱۵ درصد آندالوزیت این روند کاهشی متوقف شده است.

برای درک بهتر اثر آندالوزیت روی بهبود شوک پذیری حرارتی آنالیز فازی (XRD) برای نمونه‌هایی که در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت شدند انجام شد. با افزایش درصد آندالوزیت تا ۱۰٪، مقدار مولایت در نمونه‌ها بیشتر تشکیل می‌گردد که در شکل ۴ افزایش شدت پیک‌های ظاهر شده مولایت در آنالیز پراش پرتو ایکس بیانگر همین موضوع هست. نکته قابل توجه آن است که با افزایش آندالوزیت تا ۱۵٪ از تعداد و شدت پیک‌های مولایت کم شده‌است، که بنظر می‌رسد احتمالاً مقدار فاز شیشه بالاتر در سیستم تشکیل شده و باعث جلوگیری از تشکیل مولایت بیشتر شده است.



شکل ۴- الگوی XRD نمونه‌های مختلف در دمای پخت ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر درصدهای مختلف آندالوزیت روی شوک پذیری حرارتی جرم‌های ریختنی تبولار آلومینایی کم سیمان بررسی گردید و نتایج نشان می‌دهند که با افزایش آندالوزیت تا ۱۰ درصد وزنی در این نوع جرم‌ها باعث بهبود کاهش استحکام خمشی سرد نمونه‌ها تا حدود ۱۷ درصد بعد از اعمال شوک حرارتی شده است. نتایج الگوهای پراش اشعه ایکس در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهند که در نمونه حاوی ۱۰ درصد آندالوزیت بیشترین فاز مولایت تشکیل شده که با توجه به ویژگی‌های فاز مولایت باعث بهبود بیشتر شوک پذیری حرارتی گردیده است.

#### مراجع

- [1] Rahid, C. A., "Refractories; manufacture, properties, application", India, 1986.
- [2] Myrhe, B. et al, "On the influence of superfines in high Alumina castables", proceeding of international colloquium on refractories, vol. 45, pp. 184-188, 1996.
- [3] Zhang Wei, "Research on thermal shock resistance of mullite-bauxite-silicon carbide refractory castable", Chin. J. Geochem, vol 31, pp.204-208, 2013.
- [4] Zawrah, M.F., Kalil N.M., "Effect of Mullite formation on properties of Refractory castable", Ceramic International, vol 27. pp.689-694, 2001.
- [5] H.Schneider, et.al., "Structure and properties of mullite-A review", journal of The European Ceramic Society, vol 28. p.p. 329-344, 2008.
- [6] Roy Hagen, et al., "Mullite Formation, High Temperature properties of Andalusite Alumina Based LCC and ULCC", UNITERCR, 2009.
- [7] C.Odegard, et al., "Mullite-Bonded castable With Andalusite as agregate", International colloquium on Refractories, 1998.





\*ab.shanaghi@gmail.com

مهندس ابوالفضل شانقی، نویسنده اول مقاله، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

## کاربرد مواد سرامیکی و نانو مواد در توسعه تجهیزات ارتباطی نسل پنجم (5G)

ابوالفضل شانقی<sup>۱</sup>، علی شانقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی  
<sup>۲</sup> گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر

**چکیده:** امروزه، افزایش سریع تعداد دستگاه‌های تلفن همراه، داده‌های حجیم، و نرخ داده بالاتر، توسعه ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم (5G) را بسیار مورد توجه قرار داده است. شبکه‌های 5G به طور گسترده با سه ویژگی منحصر به فرد مشخص می‌شوند، که عبارتند از اتصال فراگیر، تاخیر بسیار پایین، و انتقال داده بسیار سریع از طریق اتخاذ فن آوری جدید همانند نانو آنتن‌ها. ساخت نانو آنتن‌ها وابسته با خواص نانو مواد و سرامیک‌های با خاصیت الکترومغناطیس و دی الکتریک ویژه همراه با مورفولوژی نانو ساختار می‌باشد. شیشه-سرامیک‌ها برای وسایل بی‌سیم 5G سرامیکی پخت شده با دمای پایین<sup>۲</sup> (LTCC) خواص مایکروویو عالی دارند، همچنین گرافن، نانولوله‌های کربنی، نانومواد فلزی و فرامواد دارای کاربرد گسترده‌ای در امواج با پهنای باند میلیمتری هستند، که مورفولوژی و خواص الکترومغناطیسی آنها تاثیر قابل توجهی در بازدهی و تجاری سازی تجهیزات 5G دارد. در این مقاله بطور کلی کاربرد سرامیک‌ها و مواد نانو ساختار گرافن، نانوتیوپ‌های کربن و نانو مواد فلزی در گسترش نانو آنتن‌ها و تجهیزات 5G مورد بحث قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** نانو مواد، شیشه-سرامیک، گرافن، نانو تیوپ‌های کربن، تجهیزات ارتباطی نسل پنجم 5G.

### ۱- مقدمه

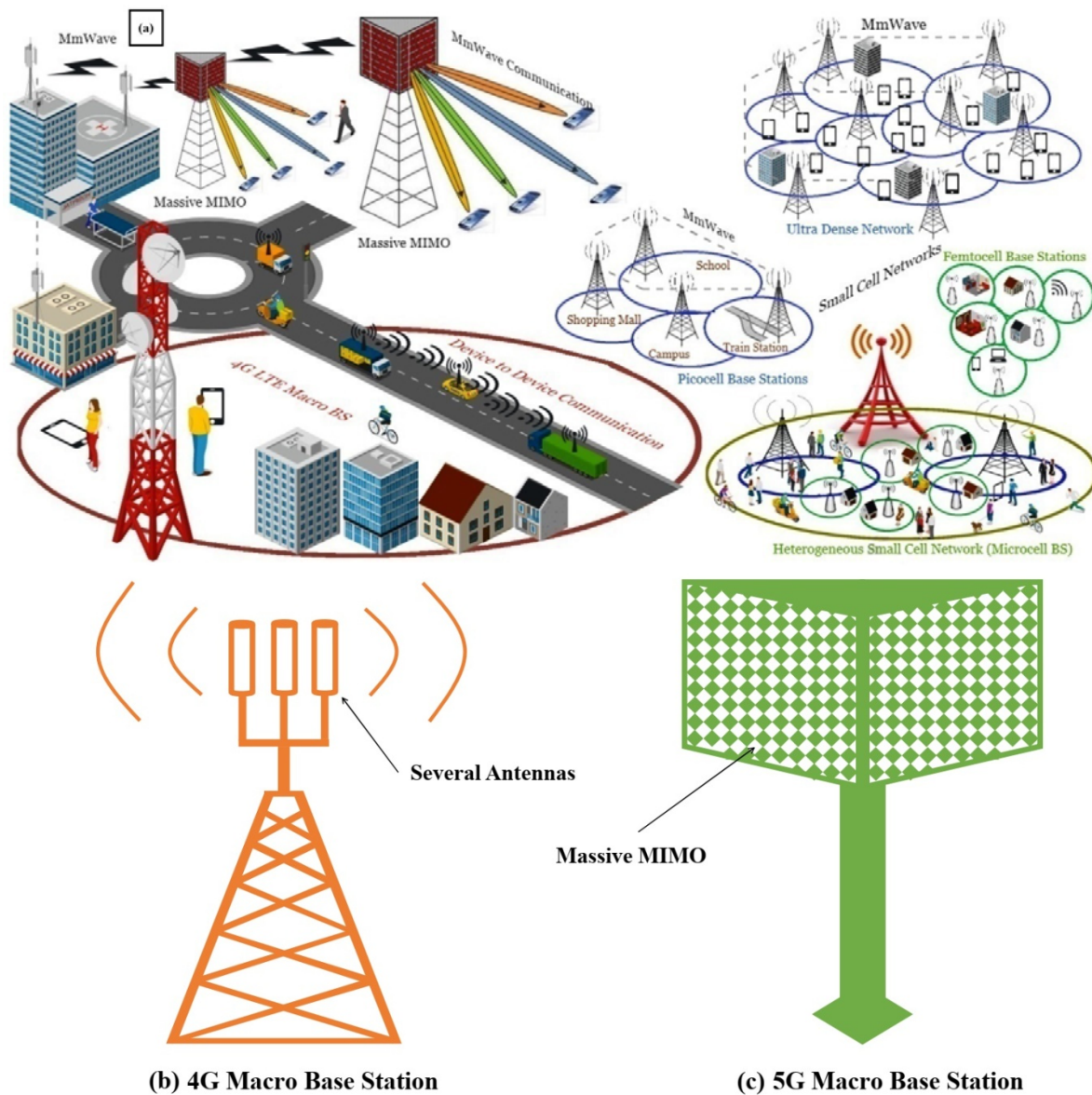
توسعه علمی و تکنولوژیکی ارتباطات بی‌سیم برای جامعه و مردم در زندگی روزمره آن‌ها سودمند است [۱-۳]. پیشرفت و تقاضا در جامعه، به نوبه خود، نوآوری و توسعه سیستم‌های ارتباطات بی‌سیم را گسترش داده است. در دهه پیش رو، استفاده و کاربردهای بسیار زیاد ارتباطات مخابراتی، منجر به افزایش قابل توجه ترافیک تلفن همراه بوسیله میلیاردها اتصال برای دستگاه‌های ارتباطی در مقایسه با آنچه که امروز تجربه می‌شود، مورد نیاز باشد. علاوه بر این، توسعه سریع خدمات ضروری از جمله بانکداری الکترونیک، آموزش الکترونیک، سلامت الکترونیک و تجارت الکترونیک باعث رشد زیادی در حجم داده‌ها شده و نیاز به تاخیر کم و قابلیت اطمینان بالا برای کاربردهای پشتیبانی دارد [۴-۶]. همچنین تقاضای بازی‌های الکترونیک با استفاده از واقعیت و واقعیت مجازی به تدریج از طریق سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم در حال گسترش می‌باشد [۷-۸]. که بایستی طیف گسترده‌ای از نرخ داده‌ها تا چندین گیگابایت در ثانیه پشتیبانی شود و ده‌ها مگابایت در ثانیه باید دارای قابلیت دسترسی با اطمینان بالا باشند [۷-۱۰]. در این میان، ارتباطات بی‌سیم 5G بر پایه نسل چهارم 4G می‌تواند نیازهای عملکردی ذکر شده را تامین نماید و قابلیت‌های عظیم داده، حجم تماس‌های نامحدود و انتشار داده‌های نامحدود را ارائه دهد. در واقع ارتباطات بی‌سیم 5G یک سیستم همگرا با فن آوری دسترسی رادیویی چندگانه یکپارچه است [۱۱-۱۳]، که در مقایسه با 4G، فرکانس و طیف بالاتری را پشتیبانی می‌کند و بر روی امواج میلیمتری ۳۰ - ۱۰۰ GHz کار می‌کند [۱۴-۱۸]، که بطور شماتیک در شکل ۱ خلاصه‌ای از تکنولوژی 5G و آنتن‌های مورد استفاده در ایستگاه‌های 4G و 5G بطور شماتیک نشان داده است.

<sup>1</sup> Fifth-generation wireless communications

<sup>2</sup> low-temperature co-fired-ceramic

<sup>3</sup> Metamaterials

نانو فناوری، که مجموعه‌ای از ابزارها را برای ایجاد اجزای نانو مقیاس فراهم می‌کند، به طور گسترده‌ای در ارتباطات بی‌سیم 5G مورد استفاده قرار گرفته‌است. اندازه کوچک نانومواد نیز تحریک‌ها و حرکات بار در نانومواد را محدود و ساختارهای الکترونیکی پیوسته را مجزا می‌کند و به تدریج طیف نوری را به طور ناگهانی تغییر می‌دهد. همچنین مواد نانوساختار در برهمکنش با میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی یا هر دو میدان، عملکرد جذب امواج را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و برای جذب مایکروویو و تحریک اثر متقابل نور و ماده در ناحیه گیگا هرتز طیف الکترومغناطیسی به می‌توان از مواد نانوساختار جهت افزایش بازدهی استفاده نمود [۱۸-۲۲]. پاسخ الکترومغناطیسی نانومواد توسط گذردهی<sup>۱</sup> و نفوذپذیری<sup>۲</sup> تعیین می‌شود، که مرتبط با ذخیره‌سازی و اتلاف انرژی است، که به طور عمده مقدار اتلاف بازتاب در سطح مشترک نانو مواد - اتمسفر را تعیین می‌کند. اما بیشترین انعکاس یا اتلاف امواج ماکروویو توسط زیر لایه رخ می‌دهد [۲۳].



(b) 4G Macro Base Station

(c) 5G Macro Base Station

شکل ۱- (a) شماتیک کاربرد فناوری‌های پیشرفته بر پایه ارتباطات بی‌سیم 5G، که منجر هوشمندتر، سریع‌تر و کارآمدتر تجهیزات ارتباطی گردیده است، (b) آنتن‌های مورد استفاده در ایستگاه 4G، (c) آنتن‌های مورد استفاده در ایستگاه 5G [۱۷].

<sup>1</sup> Permittivity  
<sup>2</sup> Permeability

بنابراین خواص دی الکتریک و مغناطیسی زیرلایه‌ها و نانو ساختارهای مورد استفاده در تجهیزات ارتباطی نقش بسیار مهمی در تضعیف امواج الکترومغناطیس و یا افزایش بازدهی عملکرد آنها باز می‌کنند [۲۴]، که این هم وابسته با نوع مواد مورد استفاده در ساخت تجهیزات ارتباطی است همانند سرامیک‌ها و نانوفلزها و هم نوع مورفولوژی و ساختار آنها، که بایستی به کمک فرایندهای شبیه سازی ملکولی<sup>۱</sup> (MD) رابطه بین ساختار و خواص مواد در مقیاس نانو تعیین گردد، زیرا که استفاده از سرامیک‌های پیشرفته و توسعه مواد نانو ساختار برای تجهیزات مخابراتی فرکانس بالا و دستگاه‌های الکترونیکی با سرعت فوق‌العاده بالا بسیار مهم است.

در این مقاله پیشرفت‌های اخیر در زمینه کاربرد مواد نانوساختار همانند شیشه-سرامیک‌ها، گرافن، نانولوله‌های کربنی (CNT)، مواد نانو فلزی و فرامواد برای تجهیزات ارتباطی 5G مورد بحث قرار گرفته است.

## ۲- مواد پیشرفته مورد استفاده در گسترش فناوری 5G

### ۲-۱- شیشه-سرامیک‌ها

تجهیزات سرامیکی که در فرکانس‌های مایکروویو و ثابت‌های دی‌الکتریک پایین ( $\epsilon_r < 10$ ) عمل می‌کنند، با توجه به کاربردهای امیدبخش خود در فناوری‌های مخابراتی 5G در فرکانس‌های زیر 6 GHz، 28 GHz و 38 GHz مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۵-۲۸]. در این میان شیشه سرامیک‌های پخته شده در دمای پایین (LTCCs) به دلیل مقرون به صرفه بودن در ساخت میکروالکترونیک برای توسعه نسل بعدی دستگاه‌های ریزموج و چند لایه آنتن/ فیلتر فرکانس‌های بالا مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۹-۳۱]. در تحقیقات جدید از آلومینا در ساخت شیشه‌های  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  استفاده می‌شود، که در این مواد LTCC سنتی، آلومینا به عنوان پرکننده دی‌الکتریک در ماتریس شیشه‌ای عمل می‌کند. با این حال، حضور یک محتوای شیشه‌ای بالا، به دلیل جذب مایکروویو در فاز شیشه، اتلاف بالایی را در محدوده مایکروویو ( $> 1 \text{ GHz}$ ) ایجاد می‌کند [۳۲-۳۴]. دوم، سیستم‌های شیشه-سرامیک با بلورینگی بالا، ثابت دی‌الکتریک پایین و عوامل با کیفیت بالا که می‌توانند با استفاده از مواد دیگر مانند  $\text{CaO-SiO}_2$  (LBC)،  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  (CSB)،  $\text{B}_2\text{O}_3$  و کوردیریت<sup>۳</sup> و شیشه-سرامیک دیوپسید<sup>۴</sup> تولید شوند، که این ترکیبات تلفات تانژانت کمتری را در ناحیه GHz نشان می‌دهند و ساخت دستگاه‌هایی با خواص عالی را ممکن می‌سازند [۳۵-۳۸]، البته در شیشه-سرامیک CSB افزایش مقدار  $\text{B}_2\text{O}_3$  در ساختار باعث ایجاد ریزساختاری فشرده و با افزایش شدت بلورینگی  $\text{CaB}_2\text{O}_4$  شده، که منجر به افزایش قدرت سرامیک CBS می‌شود. با این حال، هنگامی که مقدار  $\text{B}_2\text{O}_3$  بیش از ۲۵ درصد شود، دی‌الکتریک و خواص مکانیکی به دلیل بیش از حد فاز شیشه به سرعت کاهش می‌یابد [۱۷]. تحقیقات بیانگر وجود سیستم‌ها با ثابت‌های دی‌الکتریک پایین ( $\epsilon_r \sim 7.8$ )، فاکتورهای با کیفیت بالا ( $\tan\delta \leq 0.001$ ) در محدوده GHz و پایداری حرارتی گسترده (قابل بررسی توسط ضریب دمای صفر در فرکانس روزنانس) در شیشه-سرامیک‌های بر پایه  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  (CMS) است [۳۹-۴۰].

بنابراین شیشه-سرامیک‌های با اتلاف تانژانت کم انتخاب اصلی برای استفاده در کاربردهای ارتباطی بی‌سیم در محدوده مایکروویو هستند. بطور کلی متناسب با کاربرد سرامیک‌ها از دیدگاه دی‌الکتریک و پایداری دمایی، دو گروه سرامیک تعریف می‌شود، که عبارتند از: اول، سرامیک‌ها با ثابت دی‌الکتریک پایین، که در فرکانس‌های بالاتر از 10 GHz پایداری دمایی نیاز است و مواد بایستی دارای Q بالا و ثابت‌های دی‌الکتریک در محدوده ۶ تا ۱۸ GHz باشند. دوم، سرامیک‌های دارای Q فوق‌العاده بالا و ثابت دی‌الکتریک کمتر از ۳۰، که در این حالت میزان Q با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد، اما برای داشتن اتلاف تانژانتی کم مخصوصاً در فرکانس‌های بالاتر از 28 GHz نیاز به مواد با Q فوق‌العاده زیاد است.

<sup>1</sup> Molecular dynamics

<sup>2</sup> Wollastonite

<sup>3</sup> Cordierite

<sup>4</sup> Diopside

جدول ۱- سرامیک‌ها با ثابت دی‌الکتریک پایین [۱۸].

Material	$\epsilon'$	$Q_f > 50000$
Cordierite	4-5	112500
Eucryptite $\text{LiAlSiO}_4$	5.3	80000
$\text{Li}_2\text{MgSiO}_4$	5.6	80000
Forsterite + Cordierite	6.0	No
Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )	6.6	No
Willemite ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ )	6.6-7.5	147000
Celsian ( $\text{Sr,BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )	7.2	77000
Spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )	8.5	105000
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	10.0	634000

## ۲-۲- گرافن

ارتباطات 5G به آنتن‌هایی با ظرفیت بیشتر، طیف بی‌سیم گسترده‌تر، بهره بالا و قابلیت هدایت بیشتر در مقایسه با 4G نیاز دارد و آنتن‌های معمولی به دلیل محدودیت‌های ساخت و نصب در اندازه‌های کوچک‌تر، قادر به تامین فرکانس بالای نمی‌باشند. همچنین نانوذرات فلزی معمولاً برای ایجاد اتصال هدایتی در آنتن‌ها استفاده می‌شوند، که بالا بودن سطح ویژه نانو ذرات منجر به افزایش واکنش پذیری آنها با محیط اطراف و افزایش شدت تخریب و خوردگی نانو ذرات فلزی در مقایسه با بالک فلزی می‌شود [۶۴-۶۶]. لذا استفاده از مواد نانو مرتبط با کربن مانند گرافن و نانو تیوب‌های کربن (CNTs) با اندازه‌های کوچک‌تر و ابعاد نازک‌تر که قادر به انتشار فرکانس‌های بالا می‌باشند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴۱-۴۴].

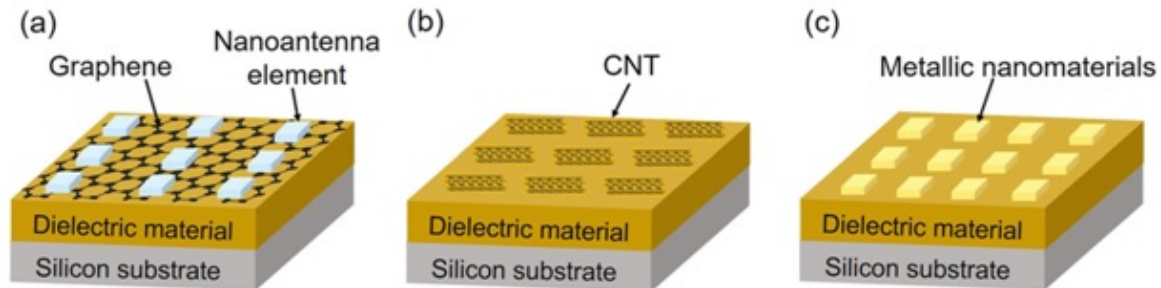
گرافن دارای یک لایه منفرد از اتم‌های کربن در یک ساختار هگزاگونال است با خواص ویژه‌ای همانند جمله انتقال بار در دمای اتاق حدود  $2,000,000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ، مدول یانگ  $5/1 \text{ TPa}$ ، استحکام شکست  $125 \text{ GPa}$ ، و هدایت گرمایی  $5,000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ، آن را در گروه سفت‌ترین مواد با بالاترین تحرک بار در نظر می‌گیرند. همچنین گرافن دارای رسانایی بالایی تا  $10^8 \text{ S/m}$  و  $9/4$  و مقاومت ورقه‌ای کم‌تر از  $30 \text{ } \Omega / \text{m}$  با شفافیت نوری ۹۰٪ می‌باشد و به دلیل ویژگی‌های سوئیچینگ عالی و خواص قابل تنظیم، به یک ماده جذاب برای تولید تجهیزات الکترونیکی با سرعت فوق‌العاده بالا تبدیل شده‌است. بطور مثال، رسانایی یکی از مهم‌ترین خصوصیات آنتن‌های مبتنی بر گرافن است که می‌تواند از طریق ولتاژ بایاس اعمالی و روش‌های دوپینگ کنترل شود [۷۱، ۷۵] و آنجایی که یک لایه گرافن ضخامتی در حدود یک اتم دارد، امکان ذخیره کردن الکترواستاتیکی قابل توجه همراه با انعطاف‌پذیری بسیار بالا را فراهم می‌نماید. تک لایه‌های گرافن می‌توانند حتی در فرکانس‌های تراهرتز، با اتلاف متوسط و میدان قوی موضعی، از امواج پلاریتون پلاسمون<sup>۱</sup> (SPP) سطح فوق‌العاده محدود شده پشتیبانی می‌نمایند [۱۸ و ۴۵-۴۷]. به طور خاص، امواج SPP امواج الکترومغناطیسی هستند که در امتداد فصل مشترک فلز - دی‌الکتریک هدایت می‌شوند و در فرکانس‌های بالا تولید می‌شوند [۷۹، ۸۰]. همچنین گرافن از نظر پتانسیل شیمیایی، می‌تواند غلظت‌های بسیار بالای الکترون انتقال دهد [۴۷-۴۸].

براساس این خواص، گرافن یک ماده بالقوه برای استفاده در قسمت‌های الکترونیکی آنتن‌ها مخابراتی، جهت ساخت آنتن‌هایی با اندازه‌های کوچک‌تر و ابعاد نازک‌تر با توانایی انتشار فرکانس‌های بالا می‌باشد [۸۳، ۸۴]. در شکل ۲ شماتیک ساختار نانو آنتن‌های مبتنی بر گرافن، نانو تیوب‌های کربن و نانو مواد فلزی همراه با یک لایه میانی سرامیکی دی‌الکتریک بر روی زیر لایه

<sup>1</sup> Plasmon polariton



سیلیکونی به ترتیب نشان داده است. نانوانت‌ن‌های مبتنی بر گرافن از سطح تراشه کوچکتری نسبت به همتایان فلزی برخوردار هستند که می‌توانند در محدوده طیف وسیع فرکانسی عمل نمایند، که صدها برابر کوچک‌تر از آنتن‌های میکرواستریپ معمولی بوده و پهنای باند و بهره بیشتری نسبت به نانوانت‌ن‌های فلزی دارند و با کنترل رفتار الکتریکی و دوپ کردن عناصر شیمیایی در ساختار هگزگونال گرافن می‌توان سرعت‌های انتقال داده تا حد تریابت بر ثانیه رسید [۴۹-۵۰].



شکل ۲- شماتیک ساختار نانو آنتن‌های مبتنی بر (a) گرافن، (b) نانو تیوپ‌های کربن و (c) نانو مواد فلزی همراه با یک لایه میانی سرامیکی دی الکتریک بر روی زیر لایه سیلیکونی [۱۸].

## ۲-۳- نانو تیوپ‌های کربن (CNT)

نانو تیوپ‌های کربن مواد تک‌بعدی هستند، که به دلیل خواص الکترونیکی و الکترومغناطیسی غیر معمول همانند دو قطبی‌های انتقالی هم محور، جذب بالای مقاطع عرضی و بازده کوانتومی بالا، به عنوان مواد نانوانت‌ن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدایت الکتریکی بسیار بالا در نزدیکی حدود کوانتومی، تلفات مقاومتی در آنتن به حداقل رسانده، همچنین ساختار تقریباً بدون نقص CNTها منجر به کاهش قابل توجه اتلاف توان گردیده است [۵۱-۵۳]. مطابق شکل ۲b، حرکت الکترون در CNTها ناشی از انتقال بالستیک از طریق نانولوله‌ها است و خواص الکتریکی نانو تیوپ‌های کربن می‌توانند به دو صورت هادی و نیمه هادی باشد، که نانو تیوپ‌های هادی فاقد انرژی باند گپ و نیمه هادی‌ها متناسب با تابش مادون قرمز دارا انرژی بند پگی در حدود بیش از ۱/۵ الکترون ولت هستند [۵۴-۵۵]. بطور مثال، اگر پهنای تابش مادون قرمز و طیف جذبی در نانولوله‌ها در محدوده ۱۵/۰ الکترون ولت باشد، انتظار می‌رود که تقریباً ۱۰ کانال فرکانسی متفاوت ایجاد شود. علاوه بر این، نور ساطع شده قطبیده شده و جذب نوری وابسته به قطبیده شدن است، که شدت قطبیدگی در امتداد محور نانولوله بیشتر است، و این امر باعث دو برابر شدن تعداد کانال‌های ارتباطی موجود با استفاده از نانولوله‌های موازی و عمودی می‌شود. نانو آنتن‌های مبتنی بر CNT قادر به موثر بودن جریان انرژی با توجه به شدت و جهت آن از طریق کنترل مناسب طول و خواص نانو تیوپ‌ها، گزینه‌ای مناسب برای مواد مورد استفاده در سیستم‌های مخابراتی 5G هستند، همچنین از آنجاییکه الکترون‌ها در CNTها از طریق پیوند  $\pi$  اتم‌های کربن هدایت می‌شوند، که در ورقه‌های گرافیت نازک نیز اتفاق می‌افتد، در فرکانس‌های عملیاتی بالا در محدوده تراهرتز دارای کارایی قابل توجهی هستند [۵۶-۵۸].

بنابراین پایین بودن اتلاف توان نانو آنتن‌های مبتنی بر CNT منجر به بازدهی بالای آنها نسبت به آنتن‌های پایه فلزی با اندازه مشابه می‌گردد و هنگامی که چندین میکرو امپر جریان را تحت ولتاژ اعمالی حمل می‌کند، حداکثر چند میکرو وات توان را به محیط اطراف خود منتشر می‌کند، که جهت افزایش محدوده ارتباطی مورد نیاز، امکان تقویت توان انتقال با استفاده از تعداد نانولوله به صورت موازی وجود دارد. اما بایستی توجه داشت امپدانس بسیار بزرگ نانو تیوپ‌های کربن در حدود  $10\text{ k}\Omega / \mu\text{m}$  منجر به مشکلات عدم انطباق نانو آنتن‌ها با خطوط معمولی انتقال داده‌ها که دارای امپدانس در محدوده  $50\ \Omega / \mu\text{m}$  است، می‌گردد. علاوه بر خواص ذکر شده، رسانایی گرمایی بالای نانو آنتن‌های مبتنی بر گرافن ( $5000\text{ W/(m K)}$ ) و مبتنی بر CNT ( $2000\text{ W/(m K)}$ )، همراه با ساختار ویژه آنها همانند مساحت سطحی بالا منجر به افزایش سرعت کاهش دما نانو آنتن‌ها و قابلیت کاربرد آنها در دماهای بالا گردیده است [۵۹-۶۱]. همچنین افزایش بیش از حد دما منجر به اکسید شدن نانو تیوپ‌های کربن و گرافن گردیده، که اکسید گرافن نیز به دلیل جذب ماکروویو خوب در نانو آنتن‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۶۱]. نانو تیوپ‌های

کربن در دمای حدود ۷۰۰ درجه کلونین اکسید می‌شوند و بطور قابل توجهی خواص الکترومغناطیسی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای افزایش بازده هدایت حرارتی نانو آنتن‌های حاوی CNT ها از کامپوزیت آنها با ترکیبات سرامیکی همانند اکسید سیلیسیوم استفاده کرده، بطوریکه کامپوزیت CNT 10 % SiO<sub>2</sub>- دارای پایداری حرارتی از ۴۰۰ تا ۸۰۰ درجه کلونین هستند. بنابراین ترکیبات سرامیکی با درصدهای مختلف گرافن و CNT ها می‌توانند منجر به تولید نانو آنتن‌ها با خواص ویژه‌ای گردند. علاوه بر آن می‌توان با کمک رسوب دادن نانوذرات مانند CdS بر روی سطح CNT ها اثر دماهای بالا بر مقدار گذردهی را کاهش داد [۶۱-۶۲].

## ۲-۴- نانو مواد فلزی

اگرچه موجبرهای فلزی معمولاً تلفات و تداخل سیگنال کمی دارد، اما خیلی سخت است که ساختار آنها کوچک و یکپارچه گردد. تحقیقات مختلف بیانگر کاربرد نانو مواد فلزی در ساخت نانو آنتن‌های شبکه 5G است. به عنوان مثال، نانوساختارهای نانوذرات فلزی از رزونانس‌های پلاسماون سطحی<sup>۱</sup> (SPRs)، که شامل نوسان چگالی بار است، حمایت کرده، و منجر به ایجاد میدان‌های الکترومغناطیسی موضعی در فصل مشترک بین فلز و دی‌الکتریک می‌گردد. رزونانس‌های پلاسماون سطحی موضعی همراه با نوسانات الکترون‌های آزاد جمع شده، می‌توانند میدان بزرگی را در یک حجم بسیار کوچک ایجاد کنند [۱۴۳۶۳-۱۴۵-۶۵]. در واقع ویژگی کلیدی نانوذرات فلزی، فرکانس پلاسماون‌های سطحی موضعی است که به اندازه، شکل و ترکیب نانوذرات و همچنین حساسیت به محیط دی‌الکتریک وابسته است [۱۴۵-۱۴۷]. مطابق شکل ۲c، نانو آنتن‌های مبتنی بر نانومواد فلزی دارای ویژگی‌های جذاب بسیاری همانند افزایش جهت‌گیری<sup>۲</sup>، کنترل قطبش<sup>۳</sup>، بهبود شدت<sup>۴</sup>، افزایش نرخ تاخیر<sup>۵</sup> و شکل‌دهی طیفی<sup>۶</sup> می‌باشند [۱۵۰-۱۵۲]. با این حال علاوه بر ویژگی ذاتی نانو مواد فلزی و اندازه و شکل نانو ذرات فلزی، طول‌موج رزونانس و شدت میدان‌های موضعی در نانوآنتن‌های فلزی وابسته به هندسه ساختاری و ضریب شکست محیط اطراف نیز می‌باشند [۶۵-۶۷].

علاوه بر ترکیبات سرامیکی، گرافن، نانوتیوب‌های کربن و ناذرات فلزی، دسته ای دیگری از مواد به نام فراموادها<sup>۷</sup>، به دلیل خواص الکترومغناطیسی منحصر به فرد به عنوان موادی برای افزایش عملکرد نانوآنتن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فراموادها دارای ساختاری مصنوعی هستند که از مجموعه‌های عناصر متعدد از مواد کامپوزیتی همانند فلزات و پلاستیک ساخته شده‌اند و برای فراهم کردن خواص الکترومغناطیسی که به راحتی در طبیعت در دسترس نیست، مهندسی شده‌اند. به عنوان مثال، فرامواد می‌توانند ضریب گذردهی منفی و نفوذپذیری منفی در فرکانس یکسان داشته باشند. همچنین موج الکترومغناطیسی را می‌توان در جهت مخالف با انتشار موج در مواد فرامواد شکست داد [۱۵۵]. فرامواد را می‌توان به انواع مختلفی از جمله فرامواد منفی الکتریکی، فرامواد منفی مغناطیسی و فرامواد منفی دوتایی براساس گذردهی الکتریکی و تراوایی ایجاد شده توسط ساختارهای مختلف طبقه‌بندی کرد. در شکل ۳ ساختار فرامواد با خواص الکترومغناطیسی مختلف برای آرایه آنتن نشان داده شده، که فرامواد منفی الکتریکی<sup>۸</sup> می‌توانند از سیم‌های نازک فلزی برای به دست آوردن مقادیر منفی گذردهی استفاده کنند. سیم‌های فلزی موازی، رفتار عبور بالا را برای یک موج صفحه‌ای ورودی نشان می‌دهند و میدان الکتریکی آن‌ها موازی با سیم‌ها است. همچنین فرامواد منفی مغناطیسی<sup>۹</sup> با مقدار تراوایی منفی می‌توانند ساختاری از تشدیدگر حلقه مجزا داشته باشند که از دو حلقه فلزی هم مرکز تشکیل شده‌است و توسط یک شکاف از هم جدا شده‌اند. فرامواد منفی دو گانه<sup>۱۰</sup> دارای ضریب شکست منفی بوده و ساختار آن‌ها ترکیبی از ساختارهای مبتنی بر سیم نازک با ساختارهای مبتنی بر تشدیدکننده حلقه‌ای است [۶۸-۶۹].

<sup>1</sup> Surface plasmon resonances

<sup>2</sup> Directivity gain

<sup>3</sup> Polarization control

<sup>4</sup> Intensity enhancements

<sup>5</sup> Decay rate enhancement

<sup>6</sup> Spectral shaping

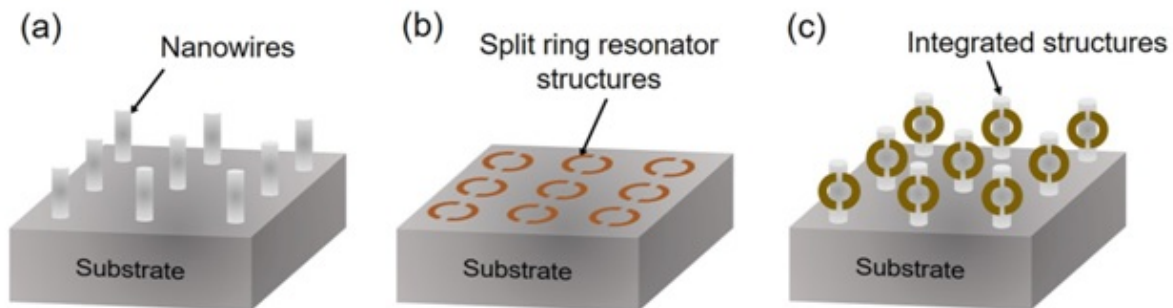
<sup>7</sup> Metamaterials

<sup>8</sup> Electric negative metamaterials

<sup>9</sup> Magnetic negative metamaterials

<sup>10</sup> Double-negative metamaterials

فعل و انفعالات میدان نزدیک بین آن‌ها به دست می‌آید. استفاده از فرامواد در طراحی آنتن نه تنها به طور چشمگیری اندازه آنتن را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند عملکرد نانوآنتن‌ها همانند افزایش پهنای باند، افزایش بهره و ایجاد فرکانس‌های چند بانندی در عملکرد آنتن‌ها را بهبود بخشد. بطور کلی نانوآنتن‌های فرامواد با طراحی و ساخت ساختارهای مصنوعی و ترکیبی از سرامیک‌ها، گرافن، CNT ها و نانو مواد فلزی می‌توانند بر کارایی محدود کننده و محدودیت پهنای باند برای نانوآنتن‌ها غلبه کنند [70-71].



شکل ۳- آرایه آنتن ساخته شده از فرامواد با ساختارهای مختلف و خواص الکترومغناطیسی مختلف، (a) نانوسیم‌های فرامواد دارای مقدار گذردهی منفی و مقدار تراوایی مثبت، (b) ساختاری از تشدیدگر حلقه‌ای جدا شده، متشکل از دو حلقه فلزی هم مرکز که با یک شکاف از هم جدا شده‌اند و دارای مقدار گذردهی مثبت و مقدار نفوذپذیری منفی هستند، (c) نانوآنتن‌ها دارای یک ساختار یکپارچه از نانوسیم و تشدید کننده حلقه با مقدار گذردهی منفی و مقدار تراوایی منفی هستند [18].

در جدول ۲ خواص الکتریکی، مکانیکی و گرمایی گرافن، CNTها و مس بطور خلاصه ذکر شده است. مطابق جدول‌های ۱ و ۲، بطور کلی نانو مواد حاوی شیشه- سرامیک ها، گرافن، CNTها، نانومواد فلزی و فرامواد می‌توانند برای امواج میلی‌متری و حتی فرکانس باند ترهترز استفاده شوند و خواص الکترومغناطیسی، یعنی گذردهی و نفوذپذیری آنها قابل تنظیم بوده و به شدت به ساختار آنها وابسته است که متناسب با شرایط کاربردی و محیطی می‌تواند خواص پراکنشی بهتری<sup>۱</sup> برای ارتباط سیستم‌های 5G ایجاد کرد. بازده خواص پراکنشی نشان‌دهنده کارایی آنتن‌ها در انجام تبدیل از سیگنال‌های الکتریکی به امواج الکترومغناطیسی و تمرکز تابش است.

جدول ۲- خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی گرافن، CNTها و نانو ذرات مس [18].

مدول یانگ (GPa)	ضریب هدایت حرارتی ( $W m^{-1} K^{-1}$ )	شدت جریان ( $A cm^{-1}$ )	ضریب انتقال الکترون در دمای اتاق ( $cm^2 V^{-1} s^{-1}$ )	هدایت الکتریکی (S/m)	
1,500	5,000	109	$2 \times 10^5$	108	گرافن
270-950	3,000	109	$8 \times 10^4$	106-107	CNT
130	400	106	32	$5.96 \times 10^7$	مس

با توجه به خواص سرامیک‌ها، گرافن، CNT ها و نانوذرات فلزی و همچنین ویژگی اصلی ارتباطات بی‌سیم 5G همانند نرخ انتقال بالای داده، تاخیر انتقال بسیار پایین، و اتصال گسترده که می‌تواند همراه با بکارگیری امواج ترهترز باشد. لزوم طراحی و پیشنهاد مواد با ساختار و ترکیب مناسب در طراحی و ساخت تجهیزات سیستم‌های ارتباطی 5G و 6G از اهمیت بسزایی برخوردار است، لذا همانطور که در کارهای تحقیقاتی می‌توان مشاهده کرد، که با توجه به محدودیت اندازه به چند نانومتر در ساخت مواد، استفاده مستقیم از روش‌های تجربی برای طراحی مواد و عناصر مجتمع شده با نانواپزارها دشوار، پرهزینه و زمان بر است، بنابراین شبیه‌سازی‌های MD را می‌توان برای طراحی نانواپزارها با خواص پیش‌بینی‌شده اتخاذ کرد و رابطه بین نانو ساختار و خواص عناصر منفرد را می‌توان مشخص کرد، بطور مثال می‌توان با بکار بردن ترکیب و ساختار مطلوبی از نانو کامپوزیت‌های

<sup>1</sup> High radiation efficiency

جذبی دمای بالا در نانواتن‌ها برای کاهش مصرف انرژی استفاده نمود، به عنوان مثال، CNTها و گرافن می‌توانند با سرامیک‌هایی همانند SiC و SiO<sub>2</sub> به دلیل استحکام بالا، اکسیداسیون کم‌تر، پایداری حرارتی بالا و رسانایی حرارتی در دماهای بالاتر ترکیب شوند و یا اینکه نانوذرات فلزی و سرامیکی را بر روی سطح CNTها و گرافن رسوب داده و سپس رابطه بین خواص الکترومغناطیسی و ترکیب و ساختار نانوکامپوزیت‌ها برای افزایش بازده سیستم‌های ارتباطی 5G و 6G بهینه گردد [۷۲-۷۳].

### ۳- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش نیازهایی همانند فعال بودن سیستم‌های ارتباطی سریع در تمام مکان‌ها، قابلیت اطمینان بسیار بالا و تاخیر بسیار پایین انتقال داده‌ها، تقاضای بسیار زیادی جهت گسترش فناوری‌های 5G و بعد از آن 6G است، اما یکی از مهمترین پارامترها در طراحی و ساخت تجهیزات مناسب سیستم‌های ارتباطی همانند آنتن‌های، نوع مواد همانند کامپوزیت‌ها، سرامیک‌ها، گرافن، CNTها و مواد فلزی با ساختار نانو بوسیله نانو تکنولوژی است. بنابراین به به دلیل محدودیت‌های فن‌آوری و هزینه مواد آن و فناوری 5G در مراحل ابتدایی و منتظر کاهش هزینه نانو تکنولوژی و نانومواد می‌باشد. بالا بودن سرعت انتقال داده‌ها، افزایش تعداد نقل و انتقال داده‌ها و شدت افزایش امواج الکترومغناطیس منجر به افزایش قابل توجه دما در سیستم‌ها و تجهیزات فناوری‌های پیشرفته 5G گردیده که در نهایت بر روی کارایی و بازده آنها موثر است، لذا استفاده از ترکیبات سرامیکی که دارای پایداری حرارتی همراه با هدایت حرارتی و الکتریکی مناسب هستند در ساختن کامپوزیت‌های پایه گرافن یا CNTها می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و بازده سیستم‌های 5G و در ادامه 6G که شامل بکارگیری امواج تراهرتز است، گردد.

### مراجع

- [1] Li Q, Niu H, Papathanassiou A, Wu G. 5G network capacity: key elements and technologies. *IEEE Veh Technol Mag*. 2014;9:71-8.
- [2] Hossain S. 5G wireless communication systems. *Am J Eng Res*. 2013;2:344-53.
- [3] Simko M, Mattsson MO. 5G wireless communication and health effects apragmatic review based on available studies regarding 6-100 GHz. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16:3406.
- [4] Andrews JG, Buzzi S, Choi W, Hanly SV, Lozano A, Soong ACK, et al. What will 5G be? *IEEE J Select Areas Commun*. 2014;32:1065-82.
- [5] Patil GR, Wankhade PS. 5G wireless technology. *Int J Comput Sci Mobile Comput*. 2014;3:203-7.
- [6] Al-Nuaimi E, Al-Neyadi H, Mohamed N, Al-Jaroodi J. Applications of big data to smart cities. *J Internet Serv Appl*. 2015;6:1-15.
- [7] Osseiran A, Boccardi F, Braun V, Kusume K, Marsch P, Maternia M, et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications-the vision of the METIS project. *IEEE Commun Mag*. 2014;52:26-35.
- [8] Papagiannakis G, Singh G, Thalmann NM. A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Comput Animat Virt W*. 2008;19:3-22.
- [9] Demestichas P, Georgakopoulos A, Karvounas D, Tsagkaris K, Stavroulaki V, Lu J, et al. 5G on the horizon: key challenges for the radio-access network. *IEEE Veh Technol Mag*. 2013;8:47-53.
- [10] Yaqoob I, Hashem IT, Gani A, Mokhtar S, Ahmed E, Anuar NB, et al. Big data: from beginning to future. *Int J Inf Manage*. 2016;36:1231-47.
- [11] Atakan B, Galmes S, Akan OB. Nanoscale communication with molecular arrays in nanonetworks. *IEEE T NanoBiosci*. 2012;11:149-60.
- [12] Chavez-Santiago R, Szydelko M, Kliks A, Foukalas F, Haddad Y, Nolan KE, et al. 5G: the convergence of wireless communications. *Wirel Pers Commun*. 2015;83:1617-42.
- [13] Chen M, Zhang Y, Hu L, Taleb T, Sheng Z. Cloud-based wireless network: Virtualized, reconfigurable, smart wireless network to enable 5G technologies. *Mobile Netw Appl*. 2015;20:704-12.
- [14] Panwar N, Sharma S, Singh AK. A survey on 5G: the next generation of mobile communication. *Phys Commun*. 2016;18:64-84.
- [15] Kanerva M, Lassila M, Gustafsson R, O'Shea G, Aarikka-Stenroos L, Hemila J. Emerging 5G technologies affecting markets of composite materials. *Vantaa, Finland: Exel Composites*; 2018.
- [16] Hu F. Opportunities in 5G networks: research and development perspective. USA: CRC Press Florida; 2016.
- [17] Hui H, Ding Y, Shi Q, Li F, Song Y, Yan J. 5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential. *Appl. Energy*. 2020; 257: 113972.
- [18] Hao H, Hui D, Lau D. Material advancement in technological development for the 5G wireless communications. *Nanotechnol. Rev*. 2020; 9: 683-699.
- [19] Patil S, Patil V, Bhat P. A review on 5G technology. *Int J Eng Innov Tech*. 2012;1:26-30.



- [20] Jamthe DV, Bhande SA. Nanotechnology in 5G wireless communication network—an approach. *Int Res J Eng Tech*. 2017;4:58–61.
- [21] Rojas JP, Singh D, Inayat SB, Sevilla GT, Fahad HM, Hussain MM. Review—micro and nano-engineering enabled new generation of thermoelectric generator devices and applications. *ECS J Solid State Sci Technol*. 2017;6:3036–44.
- [22] Green M, Chen X. Recent progress of nanomaterials for microwave absorption. *J Materiomics*. 2019;5:503–41.
- [23] Park S-E, Ryoo R, Ahn W-S, Lee CW, Chang J-S. Nanotechnology in mesostructured materials: Proceedings of the 3 international materials symposium. Elsevier, Amsterdam, Netherlands: Academic Press; 2003.
- [24] Shpak AP, Gorbyk PP. Nanomaterials and supramolecular structures: Physics, chemistry, and applications. Berlin, Germany: Springer; 2010.
- [25] Sudo K, Onaka K, Hirose K, Hasegawa Y, Komura R, Yamada Y, Hiratsuka T, Koshino M, Hayafuji H, 28 GHz antenna-array-integrated module with built-in filters in LTCC substrate. *IEEE Asia-Pacific Microwave Conference*, 2019. 1041-1043.
- [26] Devlin L, Person G, Pittock J, RF and microwave component development in LTCC, IMPAS Nordic 38th annual conference, 2001, 96-110.
- [27] Guo G, Wu LS, Zhang YP, Mao JF, Stacked patch array in LTCC for 28 GHz antenna-in-package applications, *IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium*, 2017, 1-3.
- [28] Outerelo DA, Alejos AV, Sanchez MG, Isasa MV, Microstrip antenna for 5G broadband communication: overview of design issues, *IEEE international symposium on antennas and propagation & USNC/URSI national radio science meeting*, 2015, 2443-2444.
- [29] Baras T, Jacob AF, Manufacturing reliability of LTCC millimeter-wave passive components, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2008; 56: 2574-2581.
- [30] Joseph N, Varghese J, Teirikangas M, Vahera T, Jantunen H, Ultra-low-temperature cofired ceramic substrates with low residual carbon for next-generation microwave applications, *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019; 11: 23798-23807.
- [31] Lamminen AEI, Saily J, Vimpari AR, 60-GHz patch antennas and arrays on LTCC with embedded-cavity substrates, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2008; 56: 2865-2874.
- [32] Feng KC, Chen PY, Tu CS, Chen CS, Chien RR, Chiang CC, Chang WS, Ag diffusion inhibition and enhanced flexural strength in low temperature co-fired CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glasses, *Journal of Alloys and Compounds* 782 (2019) 1094-1102.
- [33] Navias L, Green RL, Dielectric properties of glasses at ultrahigh frequencies and their relation to composition, *Journal of the American Ceramic Society*, 29 (1946) 267-276.
- [34] Wang SH, Zhou HP, Densification and dielectric properties of CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> system glass ceramic, *Materials Science and Engineering B* 99 (2003) 597-600.
- [35] H. Zhu, H. Zhou, M. Liu, P. Wei, G. Ning, Low temperature sintering and properties of CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> system glass ceramics for LTCC applications, *Journal of Alloys and Compounds* 482 (2009) 272-275.
- [36] F. Wang, W. Zhang, X. Chen, H. Mao, Z. Liu, S. Bai, Low temperature sintering and characterization of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO glass-ceramic/LaBO<sub>3</sub> composites for LTCC application, *Journal of the European Ceramic Society*. 2020, 40: 2382-2389.
- [37] R. Müller, R. Meszaros, B. Peplinski, S. Reinsch, M. Eberstein, W.A. Schiller, J. Deubener, Dissolution of alumina, sintering, and crystallization in glass ceramic composites for LTCC, *Journal of the American Ceramic Society* 92 (2009) 1703-1708.
- [38] B.K. Choi, E.S. Kim, Microwave dielectric properties of cordierite-diopside glass-ceramics, *Journal of Electroceramics* 33 (2014) 89-95.
- [39] Feng KC, Chou CC, Chu LW, Chen H, Zirconia nucleating agent on microstructural and electrical properties of a CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> diopside glass-ceramic for microwave dielectrics, *Materials Research Bulletin*. 2012; 47: 2851-2855.
- [40] C.C. Chou, K.C. Feng, I.P. Raevski, H. Chen, C.Y. Tsao, P.Y. Chen, C.S. Chen, C.A. Lu, C.S. Tu, Part I: Effects of two-stage heat treatment on densification, microstructural features and dielectric properties of CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> glass-ceramics with ZrO<sub>2</sub> nucleating agents, *Materials Research Bulletin*. 2017; 96: 66-70.
- [41] Behdinin K, Moradi-Dastjerdi R, Safaei B, Qin Z, Chu F, Hui D. Graphene and CNT impact on heat transfer response of nanocomposite cylinders. *Nanotechnol Rev*. 2020;9:41–52.
- [42] Jin R. Nanoscience and nanotechnology: where are we heading? *Nanotechnol Rev*. 2013;2:3–4.
- [43] Wang G, Chen Q, Gao M, Yang B, Hui D. Generalized locally exact homogenization theory for evaluation of electric conductivity and resistance of multiphase materials. *Nanotechnol Rev*. 2020;9:1–16.
- [44] Lau KT, Hui D. The revolutionary creation of new advanced materials—carbon nanotube composites. *Compos Part B Eng*. 2002;33:263–77.
- [45] Dragoman M, Muller AA, Dragoman D, Coccetti F, Plana R. Terahertz antenna based on graphene. *J Appl Phys*. 2010;107:104313.
- [46] Chen P-Y, Argyropoulos C, Alu A. Terahertz antenna phase shifters using integrally-gated graphene transmission-lines. *IEEE T Antenn Propag*. 2013;61:1528–37.
- [47] Ullah Z, Witjaksono G, Nawi I, Tansu N, Irfan KM, Junaid M. A review on the development of tunable graphene nanoantennas for terahertz optoelectronic and plasmonic applications. *Sensors*. 2020;20(5):1401.

- [48] Carrasco E, Perruisseau-Carrier J. Reflectarray antenna at terahertz using graphene. *IEEE Antenn Wirel Propag Lett.* 2013;12:253–6.
- [49] Anand S, Sriram KD, Wu RJ, Chavali M. Graphene nanoribbon based terahertz antenna on polyimide substrate. *Optik.* 2014;125:5546–9.
- [50] Jornet JM, Akyildiz IF. Graphene-based nano-antennas for electromagnetic nanocommunications in the terahertz band, *Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, Barcelona, Spain, 2010.* p. 1–5.
- [51] Han JH, Paulus GL, Maruyama R, Heller DA, Kim WJ, Barone PW, et al. Exciton antennas and concentrators from core-shell and corrugated carbon nanotube filaments of homogeneous composition. *Nat Mater.* 2010;9:833–9.
- [52] Rutherglen C, Burke P. Carbon nanotube radio. *Nano Lett.* 2007;7:3296–99.
- [53] LanY, ZengB, ZhangH, ChenB, YangZ. Simulation of carbon nanotube THz antenna arrays. *Int J Infrared Millim Waves.* 2007;27:871–7.
- [54] Demoustier S, Minoux E, Le Baillif M, Charles M, Ziaei A. Review of two microwave applications of carbon nanotubes: nano-antennas and nano-switches. *C R Phys.* 2008;9: 53–66.
- [55] Fung CK, Xi N, Shanker B, Lai KW. Nanoresonant signal boosters for carbon nanotube based infrared detectors. *Nanotechnology.* 2009;20:185201.
- [56] Lin X, Han Q, Huang J. Effect of defects on the motion of carbon nanotube thermal actuator. *Nanotechnol Rev.* 2019;8:79–89.
- [57] Huang Y, Yin W-Y, Liu Q. Performance prediction of carbon nanotube bundle dipole antennas. *IEEE Trans Nanotechnol.* 2008;7:331–7.
- [58] Lee S, Choo M, Jung S, Hong W. Optically transparent nanopatterned antennas: a review and future directions. *Appl Sci.* 2018;8:901.
- [59] Lee H, Shaker G, Naishadham K, Song X, Mckinley M, Wagner B, et al. Carbon-nanotube loaded ammonia gas sensor. *IEEE Trans Microw Theory Technol.* 2011;59:2665–73.
- [60] Han Z, Fina A. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: a review. *Prog Polym Sci.* 2011;36(7):914–44.
- [61] Kuruvilla J, Runcy W, Gejo G. *Materials for potential EMI shielding applications: processing, properties and current trends.* Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2019.
- [62] Lu M, Wang X, Cao W, Yuan J, Cao M. Carbon nanotube-CdS core-shell nanowires with tunable and high-efficiency microwave absorption at elevated temperature. *Nanotechnology.* 2016;27:065702.
- [63] Kang J-H, Kim D-S, Seo M. Terahertz wave interaction with metallic nanostructures. *Nanophotonics.* 2018; 7:763–93.
- [64] Derose CT, Kekatpure RD, Trotter DC, Starbuck A, Wendt JR, Yaacobi A, et al. Electronically controlled optical beamsteering by an active phased array of metallic nanoantennas. *Opt Mater Express.* 2013; 21:5198–208.
- [65] Liu N, Tang ML, Hentschel M, Giessen H, Alivisatos AP. Nanoantenna-enhanced gas sensing in a single tailored nanofocus. *Nat Mater.* 2011;10:631–6.
- [66] Hsiao Y-C, Su C-W, Yang Z-H, Cheyesh YI, Yang J-H, Reshetnyak VY, et al. Electrically active nanoantenna array enabled by varying the molecular orientation of an interfaced liquid crystal. *RSC Adv.* 2016;6:84500–4.
- [67] Gómez-Medina R, Yamamoto N, Nakano M, de García DAFJ. Mapping plasmons in nanoantennas via cathodoluminescence. *New J Phys.* 2008;10:105009.
- [68] Chen H-T, Padilla WJ, Zide JMO, Gossard AC, Taylor AJ, Averitt RD. Active terahertz metamaterial devices. *Nature.* 2006;444:597–600.
- [69] Jeong MJ, Hussain N, Park JW, Park SG, Rhee SY, Kim N. Millimeter-wave microstrip patch antenna using vertically coupled split ring metaplate for gain enhancement. *Microw Opt Technol Lett.* 2019;61:2360–5.
- [70] Zheludev NI, Kivshar YS. From metamaterials to metadevices. *Nat Mater.* 2012;11:917–24.
- [71] Gao XJ, Oguz O. Enhancement of gain and directivity for microstrip antenna using negative permeability metamaterial. *IJCSM.* 2016;45:880–5.
- [72] Hong Q, Luo J, Wen C, Zhang J, Zhu Z, Qin S, et al. Hybrid metal graphene plasmonic sensor for multi-spectral sensing in both near- and mid-infrared ranges. *Opt Express.* 2019;27:35914–24.
- [73] Chandel VS, Wang GN, Talha M. Advances in modelling and analysis of nano structures: a review. *Nanotechnol Rev.* 2020;9:230–58.

دکتر محمد مسعود محبی،  
نویسنده مسئول مقاله، عضو  
هیئت علمی دانشگاه بین المللی  
امام خمینی

# ساخت پوشش‌های مزوسیلیس به روش خودآرایی القاشده با تبخیر؛ مروری بر ساز و کار، عوامل مؤثر و قابلیت‌ها

فاطمه حسن آقائی، محمد مسعود محبی\*

گروه مهندسی و علم مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

چکیده: لایه‌های نازک مزوسیلیس دارای اهمیت و کاربرد زیادی در حوزه‌های مختلف هستند. کنترل شکل، اندازه و میزان تخلخل‌های پوشش‌ها، نقش مهمی در عملکرد این پوشش در کاربردهای مختلف ایفا می‌کند. به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های موردنظر، به‌کارگیری روش‌های مناسب اهمیت بسیاری دارد. در میان روش‌های مختلفی که برای ساخت پوشش‌های مزوسیلیس مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرکاربردترین روش، روش خودآرایی القاشده با تبخیر است. امکان به‌کارگیری انواع عوامل فعال سطحی برای ایجاد تخلخل، ساخت انواع پوشش با ویژگی‌های مختلف، قابلیت اعمال پوشش بر انواع زیرلایه با شکل و جنس‌های گوناگون (فلزی، سرامیکی و پلیمری) از جمله مزایای این روش هستند. مهم‌ترین بخش روش خودآرایی القاشده با تبخیر، آماده‌سازی محلول است و برای این کار نیاز است واکنش‌های صورت گرفته، مراحل آن و نقش هر یک از اجزا به‌خوبی شناخته شود. در این مقاله مروری به روش خودآرایی القاشده با تبخیر برای ساخت پوشش‌های مزوسیلیس، عوامل مؤثر بر آن و مهم‌ترین قابلیت‌های این روش پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: مزوسیلیس، پوشش، تخلخل، خودآرایی

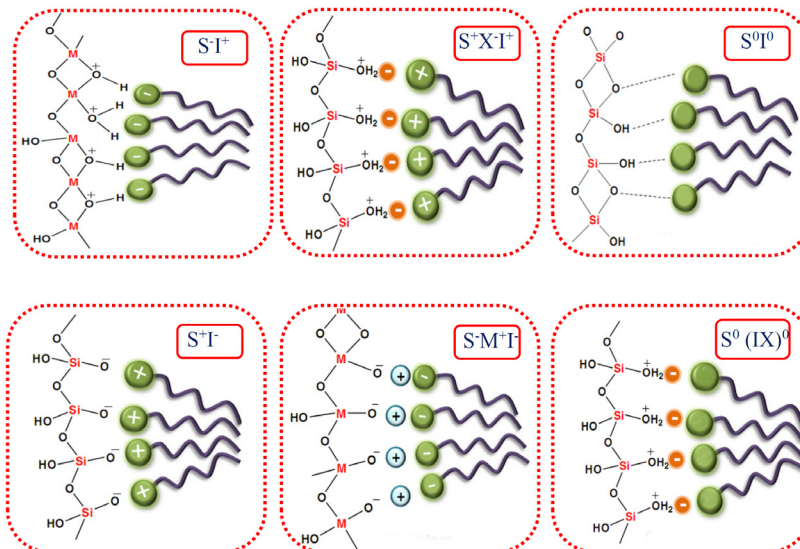
## ۱- مقدمه

در میان اشکال مختلف مزوسیلیس که شامل نانو ذرات، پوشش‌ها و لایه‌های نازک، قطعات یک‌پارچه و ساختارهای هسته-پوسته هستند، لایه‌های نازک مزوسیلیس دارای اهمیت و کاربرد زیادی در حوزه‌های مختلف می‌باشند [۱]. کنترل شکل، اندازه و میزان تخلخل‌های پوشش‌های ساخته‌شده، نقش مهمی در عملکرد این پوشش‌ها در کاربردهای مختلف ایفا می‌کند [۲]. به‌عنوان مثال این پوشش‌ها با دارا بودن توزیع باریکی از اندازه‌ی تخلخل‌ها و قابلیت کنترل دقیق شکل آن‌ها، گزینه مناسبی برای استفاده به‌عنوان بستر کنش‌یارها و حسگرهای شیمیایی نظیر حسگر pH هستند [۳]. ویژگی قابل کنترل دیگر این پوشش‌ها، میزان تخلخل‌های آن‌هاست؛ به‌طوری که وجود تخلخل‌های زیاد آن‌ها باعث کاربرد این پوشش‌ها به‌عنوان یک پوشش با ضریب دی‌الکتریک کم در مدارهای مجتمع شده است [۴]. همچنین پایداری حرارتی و سازگاری ترکیب آن با زیرلایه سیلیکونی، از ویژگی‌های مناسب دیگر این پوشش در این کاربرد است [۵]. این پوشش‌ها با دارا بودن ویژگی‌هایی مانند قابلیت جذب و بارگیری مقادیر نسبتاً زیادی از مولکول‌های زیست فعال [۶] و قابلیت غربال مولکولی در پزشکی نیز کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند که اصلی‌ترین کاربرد آن‌ها در سامانه‌های ره‌ایش آهسته دارو است [۷]. به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های موردنظر، استفاده از یک روش ساخت مناسب اهمیت بسیاری دارد. باوجود اینکه روش‌های مختلفی برای ساخت پوشش‌های مزوسیلیس وجود دارد، اما این روش‌ها دارای معایبی هستند [۸]. برخی از این روش‌ها زمان‌بر بوده و نیاز به اعمال شرایط خاصی دارند [۹]. علاوه بر این در برخی از روش‌ها، بخشی از محصول نهایی به‌صورت پودر بوده و این عامل کاربرد پوشش‌ها را مختل می‌کند [۱۰]. پرکاربردترین روش ساخت پوشش‌های مزومتخلخل، روش خودآرایی القاشده با تبخیر (Evaporation Induced Self-Assembly)

است. از مزایای این روش می‌توان به امکان به‌کارگیری انواع عوامل فعال سطحی برای ایجاد تخلخل، ساخت انواع پوشش با ویژگی‌های متنوع [۱۱]، قابلیت اعمال پوشش بر انواع زیرلایه با شکل و جنس‌های گوناگون (فلزی، سرامیکی و پلیمری) و ساخت پوشش‌های عامل‌دار شده اشاره کرد [۱۲]. این مقاله روش ساده، سریع و پرکاربرد خودآرایی القاشده با تبخیر و قابلیت‌های مهم آن را توصیف می‌کند.

## ۲- معرفی روش خودآرایی القاشده با تبخیر

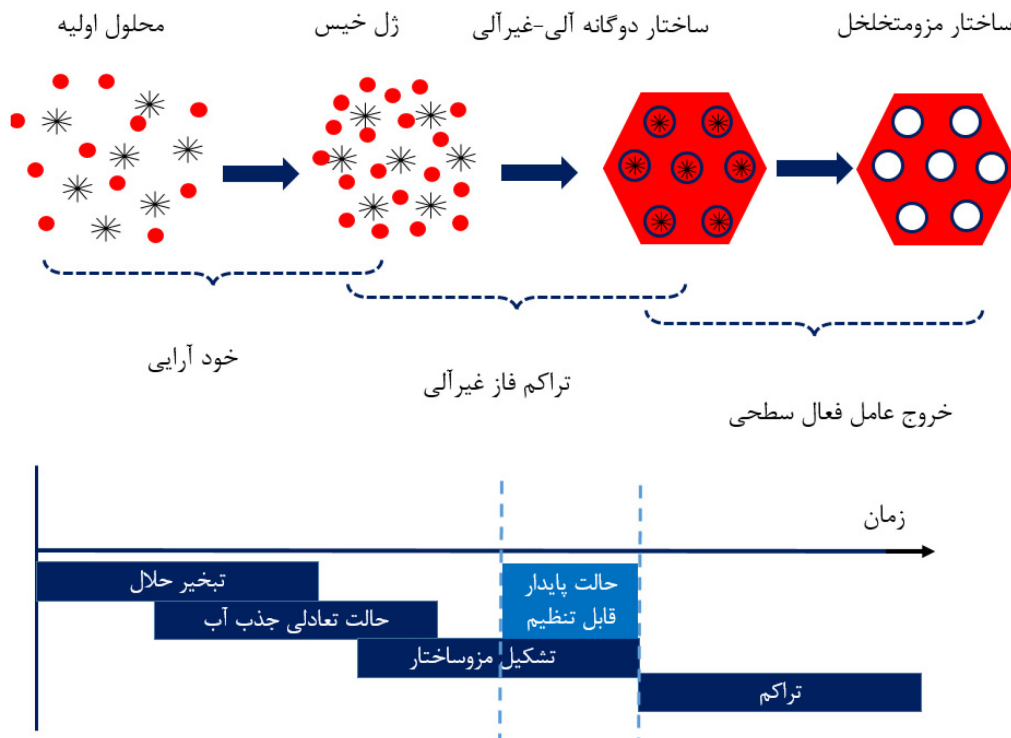
خودآرایی به معنای آرایش خود به خودی مواد به کمک برهم‌کنش‌های غیرکوالانت (مانند پیوند هیدروژنی، نیروی واندروالس، نیروی الکترواستاتیک و موارد دیگر) است [۱۳]. در روش خودآرایی القاشده با تبخیر، لایه‌های نازک مزوسیلیس به کمک خودآرایی پیش‌ماده سیلیس-عامل فعال سطحی تهیه می‌شوند. عوامل فعال سطحی، مولکول‌های آمفیپاتیک هستند. این بدین معنی است که این مولکول‌ها از دو بخش سر آب‌دوست و دم آب‌گریز تشکیل شده‌اند و به دلیل وجود این خاصیت، هنگامی که در محیط‌های آبی یا روغنی قرار می‌گیرند، جهت کاهش انرژی آزادشان در کنار هم تجمع یافته و ساختارهای منظمی به نام میسل را تشکیل می‌دهند [۱۴]. تشکیل میسل همراه با پدیده افزایش غلظت است؛ به طوری که پیش از اینکه غلظت مولکول‌های عامل فعال سطحی به غلظت بحرانی برسد، مولکول‌ها به صورت مجزا در محلول وجود دارند. با افزایش غلظت و رسیدن به غلظت بحرانی که در این روش در اثر تبخیر حلال اتفاق می‌افتد، میسل‌ها تشکیل می‌شوند. این میسل‌ها به‌عنوان یک شابلون ابر مولکول برای پیش‌ماده‌های معدنی عمل می‌کنند و به آن‌ها متصل می‌شوند [۱۵]. در این روش پوشش‌های مزوسیلیس در اثر تبخیر حلال در یک محلول ساخته می‌شوند. در این محلول هنگامی که حلال تبخیر می‌شود، عامل فعال سطحی به صورت کاملاً خود به خودی منظم شده و بین الیگومر سیلیکایی و میسل اتصال ایجاد می‌شود. تشکیل مزوساختارها بر پایه‌ی برهم‌کنش میان عامل فعال سطحی-پیش‌ماده‌ی غیرآلی است. در هنگام تشکیل میسل، سر آب‌دوست مولکول عامل فعال سطحی به سمت محیط آبی و دم آب‌گریز آن به سمت داخل میسل قرار می‌گیرد [۱۶]. بسته به نوع عامل فعال سطحی و pH محیط، شش نوع برهم‌کنش کلی میان عامل فعال سطحی (S) و پیش‌ماده غیرآلی (I) وجود دارد که توسط پیوندهای الکترواستاتیک یا هیدروژنی انجام می‌شود. این برهم‌کنش‌ها می‌توانند مستقیم باشند و یا در مواردی که بار الکتریکی عامل فعال سطحی و پیش‌ماده غیرآلی یکسان است، در حضور یون‌های واسطه (X یا M) انجام شوند (شکل ۱). مسیر  $S^+X^+I^-$  در محیط اسیدی و در حضور آنیون‌های هالوژنی ( $X^- = Cl^-, Br^-$ ) صورت می‌گیرد و مسیر  $S^-M^+I^-$  نیز در محیط بازی و در حضور کاتیون‌های قلیایی تحقق می‌یابد. مسیرهای دیگری نیز با برهم‌کنش‌های مسیر خنثی برای مواد فعال سطحی غیر یونی پیشنهاد شده است که بیان‌کننده‌ی برهم‌کنش اصلی بین عامل فعال سطحی و جزء غیرآلی توسط پیوند هیدروژنی است و با نماد  $S^0I^0$  و  $S^0(IX)^0$  نمایش داده می‌شوند [۱۷].



شکل ۱- انواع برهم‌کنش‌های میان میسل و پیش‌ماده سیلیکا [۱۷]



با تبخیر حلال و رسیدن به غلظت مشخص، میسل‌ها به شکل‌های کروی و میله‌ای درمی‌آیند و با کنار هم قرار گرفتن میسل‌ها، فاز بلور- مایع به وجود می‌آید [۱۸]. اتفاقات انجام‌شده در این روش بر مبنای تبخیر حلال به سه مرحله زمانی تقسیم‌بندی می‌شود. در مرحله نخست اتانول به سرعت تبخیر می‌شود. در بازه میانی، سرعت تبخیر اتانول کم‌تر می‌شود و آب شروع به جدا شدن از ساختار می‌کند. در انتها نیز اتانول به صورت کامل تبخیر شده و آب جذب می‌شود. در نتیجه ساختار شروع به متراکم شدن می‌کند [۱۹]. عملیات حرارتی باعث متراکم شدن و پایداری ساختار شده و با خروج عامل فعال سطحی پوشش‌های مزوسیلیس شکل می‌گیرد. روندی از مراحل انجام‌شده در شکل (۲) دیده می‌شود.

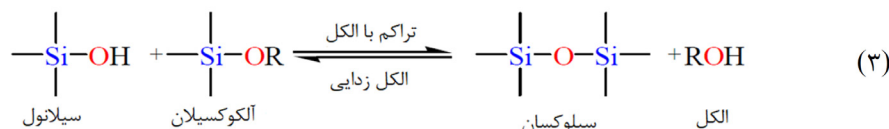
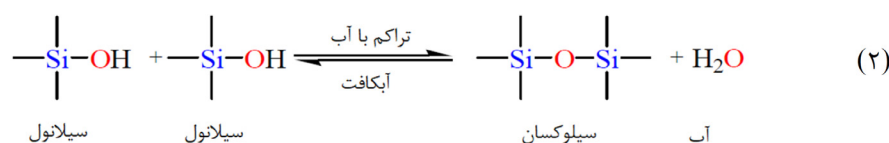
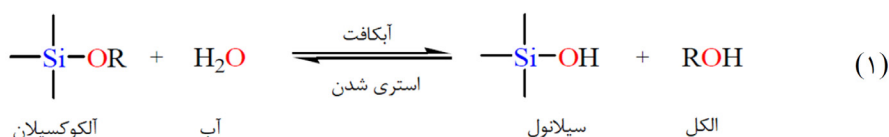


شکل ۲- مراحل روش خودآرایبی القاشده با تبخیر [۱۹].

## ۲-۱- آماده‌سازی محلول

نخستین گام در این روش، تهیه یک محلول رقیق مواد اولیه است. به منظور افزایش میل ترکیبی سر آب‌دوست این مواد با پیش‌ماده سیلیکایی، بهتر است پیش‌ماده تحت واکنش آبکافت قرار گیرد. بنابراین روش سل-ژل با امکان کنترل بسیار خوب خواص ماده و تکرارپذیری زیاد برای این کار انتخاب می‌شود [۲۰]. اساساً در یک واکنش سل-ژل، پیش‌ماده موردنظر که معمولاً یک آلکوکسیدی فلزی است، در آب یا الکل حل شده و یک محلول همگن به دست می‌آید و به یک شبکه غیرآلی تبدیل می‌شود. معادلات ۱ تا ۳ واکنش‌های انجام‌شده را نشان می‌دهد.

چالش بزرگی که در این روش وجود دارد این است که خودآرایبی مولکول‌های عامل فعال سطحی باید پیش از اینکه تراکم فاز غیرآلی آن را متوقف کند، به پایان برسد. به همین دلیل نیاز است واکنش آبکافت به صورت کامل انجام شود و تا حد امکان سرعت واکنش تراکم آهسته باشد [۲۱]. واکنش آبکافت شامل حمله اکسیژن موجود در آب به اتم Si است و در آن گروه OR پیش‌ماده با گروه OH موجود در آب جایگزین می‌شود. لازم به ذکر است که در حضور حلال‌هایی مانند اتانول این واکنش آسان‌تر انجام می‌شود. در واقع پیش از اینکه واکنش آبکافت اتفاق بیفتد، باید پیش‌ماده و آب به صورت همگن درآیند؛ اما این دو ماده امتزاج‌ناپذیر بوده و از الکل‌ها به‌عنوان حلال استفاده می‌شود. آبکافت در حضور کنتشیار با سرعت بیش‌تر و به طور کامل انجام می‌شود [۲۲].



## ۲-۲-۲- اعمال پوشش

در ساخت پوشش‌های مزوسیلیس، لایه‌نشانی محلول نیز به‌عنوان یک گام مهم شناخته شده و تأثیر زیادی در شکل‌گیری یک ساختار منظم دارد. در این مرحله خودآرایی و تراکم شدن اولیه اتفاق می‌افتد. نکته مهمی که در روش خودآرایی القاشده با تبخیر وجود دارد، این است که ساختار تخلخل‌ها و بافت پوشش تشکیل شده، به‌شدت متأثر از شرایط تبخیر حلال است. به همین دلیل روش‌هایی مانند استفاده از افشانه به علت تبخیر سریع حلال، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. لایه‌نشانی محلول می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام شود که در میان این روش‌ها، روش پوشش‌دهی فروبری و پوشش‌دهی چرخشی رایج‌تر هستند [۲۳-۲۴]. در روش پوشش‌دهی فروبری زیرلایه وارد محلول شده و سپس با یک سرعت ثابت و مشخصی از آن خارج می‌شود. هنگامی که زیرلایه خارج می‌شود، حلال تبخیر شده و غلظت عامل فعال سطحی به بالاتر از غلظت بحرانی رسیده و پس از تشکیل میسل، شروع به تشکیل فاز بلور-مایع می‌کند. ضخامت پوشش تشکیل شده در این روش، وابسته به سرعت خروج زیرلایه از محلول، گرانروی، چگالی محلول و کشش سطحی است [۲۵].

در روش پوشش‌دهی چرخشی چند قطره از محلول بر زیرلایه ریخته شده و سپس تحت یک سرعت زاویه‌ای ثابت شروع به چرخش می‌کند و بدین ترتیب به علت وارد شدن نیروی مرکزگریز، محلول به‌صورت یکنواخت روی زیرلایه پخش می‌شود [۲۶]. در این روش علاوه بر اینکه سرعت چرخش بر ضخامت پوشش تشکیل شده تأثیر می‌گذارد، بر تشکیل ساختار مزومتخلخل نیز مؤثر است. در سرعت‌های پایین‌تر، سرعت تبخیر کم بوده و کنترل شکل‌ها راحت‌تر انجام می‌شود. زمان چرخش نیز عامل تأثیرگذار دیگری است؛ به‌طوری که زمان‌های طولانی منجر به پیدایش نظم بیش‌تری می‌شود [۲۷]. در شکل ۳ (الف) تأثیر زمان چرخش بر روی میزان نظم دیده می‌شود.

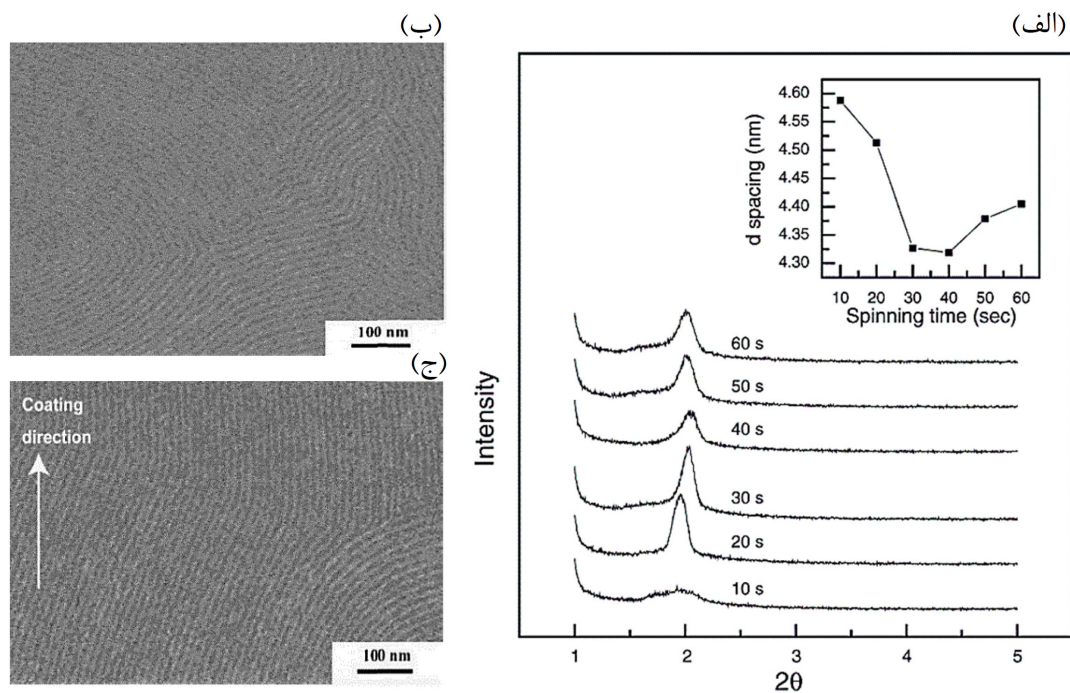
علی‌رغم اینکه این دو روش لایه‌نشانی هدف واحدی دارند، ویژگی‌های پوشش لایه‌نشانی شده با آن‌ها، با یکدیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال پوشش‌های لایه‌نشانی شده به روش پوشش‌دهی چرخشی، از نظر ضخامت و صافی سطح یکنواخت‌تر بوده و در مقابل هم‌راستایی تخلخل‌ها پوشش‌های تهیه‌شده به روش فروبری، بیش‌تر از روش چرخشی است (شکل ۳ (ب) و (ج)) [۲۸].

## ۲-۳- خروج عامل فعال سطحی

با توجه به این که فرآیند خودآرایی در دمای اتاق و شرایط اسیدی انجام می‌شود، معمولاً مقداری از گروه‌های سیلانول واکنش نکرده باقی می‌مانند و در هنگام خروج از ساختار حدود ۲۰ درصد انقباض ایجاد می‌کنند. این انقباض زیاد ممکن است باعث ایجاد ترک نیز بشود؛ بنابراین پیش از اینکه عامل فعال سطحی خارج شود، معمولاً یک مرحله خشک‌کاپش در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. با این کار آب و اتانول باقی‌مانده خارج شده و تراکم ساختار بیش‌تر می‌شود [۲۹]. آخرین مرحله از ساخت پوشش‌های مزوسیلیس خروج عامل فعال سطحی است که به‌عنوان یک گام مهم در ایجاد یک ساختار مستحکم شناخته می‌شود. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد که در همه‌ی آن‌ها هدف این است که عامل فعال سطحی به‌طور کامل حذف شود و در طی فرآیند آسیبی به زیرلایه وارد نشود. برخی مهم‌ترین این روش‌ها در ادامه مرور می‌شوند [۳۰].

رایج‌ترین روش برای حذف عامل فعال سطحی، کلسینه کردن است. در این روش زیرلایه پوشش داده‌شده تا دمای ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به آرامی حرارت داده می‌شود تا مواد آلی تجزیه شوند. این روش ساده بوده و منجر به خروج کامل مواد آلی می‌شود [۳۱]؛ اما در مقابل روش کندی بوده و هر دوره استفاده آن بین ۴ تا ۱۲ ساعت به طول می‌انجامد. یکی از مشکلات دیگر این روش ایجاد تنش حرارتی بین زیرلایه و پوشش تشکیل شده است که می‌تواند باعث جدا شدن پوشش از زیرلایه شود [۳۲].

یک روش جایگزین برای حذف عامل فعال سطحی، انحلال آن در یک حلال مناسب است. از آنجایی که اتصال عامل فعال سطحی و سیلیکا به کمک پیوندهای هیدروژنی و الکتروستاتیک انجام می‌شود، روش انحلال عامل فعال سطحی در یک حلال مناسب نیز، به‌عنوان روشی برای خروج عامل فعال سطحی پیشنهاد می‌شود. برای این کار از حلال‌های مختلفی مانند اتانول، آب اکسیژنه و سولفوریک اسید استفاده می‌شود که رایج‌ترین آن‌ها اتانول خالص یا ترکیبی از اتانول و اسید است. در این روش پوشش ایجادشده برای یک مدت نسبتاً طولانی (حدود ۲۴ تا ۴۸ ساعت) در یکی از محلول‌های ذکرشده قرار داده می‌شود [۳۳]. در این روش انقباضی که در روش کلسینه کردن وجود دارد، کم‌تر دیده می‌شود و امکان عامل دار کردن سطح نیز وجود دارد. بازده این روش وابسته به ساختار عامل فعال سطحی است و ۱۰ تا ۸۰ درصد عامل فعال سطحی خارج می‌شود. از مشکلات این روش می‌توان به باقی ماندن عامل فعال سطحی در ساختار و ایجاد تغییر در ساختار تخلخل اشاره کرد [۳۴].



شکل ۳- تأثیر پارامترهای پوشش‌دهی بر ویژگی‌های پوشش (الف) تأثیر زمان چرخش در روش پوشش‌دهی چرخشی بر روی میزان نظم (ب) هم‌راستایی تخلخل‌ها در روش پوشش‌دهی چرخشی (ج) هم‌راستایی تخلخل‌ها در روش پوشش‌دهی فروری [۲۸-۲۷].

استفاده از پرتو فرابنفش نیز روش دیگری است که برای حذف عامل فعال سطحی استفاده می‌شود. در این روش اشعه با طول موج مشخص به مدت طولانی به نمونه تابیده شده و در طی آن رادیکال آزاد اکسیژن، با عامل فعال سطحی ترکیب شده و آن را می‌سوزاند و محصول آن به کمک پمپ خلأ خارج می‌شود [۳۵]. در این روش در مقایسه با روش کلسینه کردن، به دمای کم‌تری نیاز است و منجر به خروج همه‌ی عامل فعال سطحی می‌شود. قابل ذکر است که در برخی از موارد، استحکام مکانیکی پوشش از روش کلسینه کردن کم‌تر است [۳۶].

روش‌هایی مانند استفاده از ماکروبو [۳۷]، حرارت‌دهی در خلأ [۳۸]، روش دومرحله‌ای حرارت‌دهی و خروج حلال [۳۹] از جمله روش‌های دیگری هستند که برای حذف عامل فعال سطحی استفاده می‌شوند. در جدول (۱) مزایا و معایب این روش‌ها مقایسه شده‌اند.

جدول ۱- مقایسه روش‌های رایج خروج عامل فعال سطحی

معایب	مزایا	نام روش
ایجاد تنش حرارتی، پر هزینه، مصرف انرژی زیاد	ساده، در دسترس بودن، خروج کامل عامل فعال سطحی	کلسینه کردن
زمان طولانی، عدم خروج کامل عامل فعال سطحی	باز یافت عامل فعال سطحی، امکان عامل دار کردن پوشش	خروج به کمک حلال
زمان طولانی، در دسترس نبودن	استفاده برای زیرلایه‌های فلزی	استفاده از پرتو فرابنفش

### ۳- عوامل مؤثر بر فرآیند خودآرایی القاشده با تبخیر

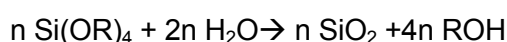
فرآیند خودآرایی القاشده توسط تبخیر شده یک فرآیند به‌ظاهر ساده است ولی در عمل به عوامل زیادی وابسته بوده و کنترل هم‌زمان شرایط سینتیکی و ترمودینامیکی بسیار مشکل است [۴۰]. مهم‌ترین بخش روش خودآرایی القاشده با تبخیر، آماده‌سازی محلول است و برای این کار نیاز است واکنش‌های صورت گرفته، مراحل آن و نقش هر یک از اجزا به‌خوبی شناخته شود. در انجام این فرآیند عواملی مثل نسبت آب به پیش‌ماده، غلظت کنشیار، دمای واکنش، نوع حلال تأثیر بیش‌تری داشته و ممکن است عوامل دیگر هم بر انجام آن مؤثر باشد [۴۱]. در ادامه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روش سل-ژل توضیح داده می‌شود.

#### ۳-۱- کنشیار

در روش سل-ژل از دو نوع کنشیار اسیدی یا بازی استفاده می‌شود. pH محیط واکنش تأثیر زیادی روی فرآیند سل-ژل دارد و ویژگی‌های نهایی را تعیین می‌کند. در حضور اسید گروه OR به‌سرعت پروتونه شده و با ایجاد بار مثبت چگالی الکترونی Si کم شده و برای حمله آب آماده می‌شود. بدین ترتیب سرعت واکنش زیاد می‌شود. این واکنش در حضور کنشیار اسیدی در مقایسه با کنشیار بازی با سرعت بیش‌تر و به‌صورت کامل انجام می‌شود. در pH های کم‌تر از ۲ (نقطه ایزو الکترونیک صفر) بار سطح ذرات و سرعت حرکت ذرات ایجاد شده صفر است. در واقع هیچ دافعه‌ای وجود ندارد و رشد و کلوخه‌ای شدن با هم رخ می‌دهد و حتی ممکن است این مراحل غیرقابل تشخیص باشند. چون در این مرحله انحلال‌پذیری ذرات ایجاد شده کم است، رشد ذرات متوقف شده و سل شفاف می‌تواند تا چندین روز در دمای اتاق پایدار باشد [۴۲-۴۳]. در pH های بازی واکنش بسپارش همراه با جوانه‌زنی است و تراکم و رشد ذرات، بیش‌تر از کلوخه‌ای شدن است. در این محدوده pH سیلیکا به‌سرعت متراکم شده و به‌صورت ژل درمی‌آید. در حالی که اگر سرعت تراکم زیاد باشد، زمان کم بوده و پیش از تشکیل مزوساختار، ساختار سیلیکایی صلب می‌شود [۴۴]. در شکل (۴) اثر pH بر سرعت واکنش نشان داده شده است. در ساخت پوشش‌های مزوسیلیس معمولاً از هیدروکلریک اسید استفاده می‌شود. این اسید کاملاً تبخیر شده و به‌عنوان ناخالصی باقی نمی‌ماند [۴۵].

#### ۳-۲- نسبت آب به الکوکسیدی

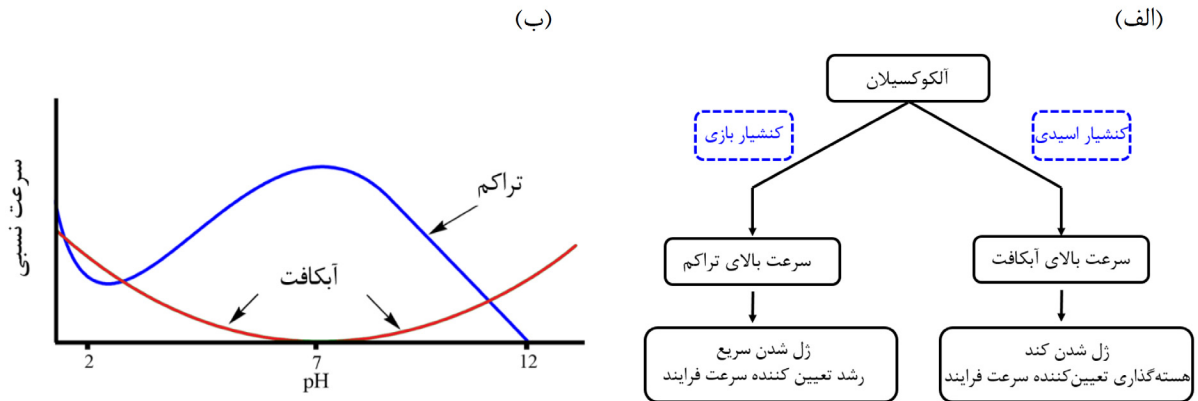
نسبت آب به الکوکسیدی عامل دیگری است که در سرعت واکنش آبکافت مؤثر است. به دست آوردن میزان آب لازم با توجه به میزان Si تشکیل شده تعیین می‌شود. هر چه این میزان کم‌تر باشد، سرعت واکنش کم‌تر می‌شود. طبق رابطه (۴) برای داشتن یک سل پایدار، نسبت بهینه آب و پیش‌ماده ۲ به ۱ است. این نسبت می‌تواند تا ۵ هم افزایش یابد و با این کار زمان واکنش کاهش می‌یابد.



برخی از عوامل مانند نوع و میزان حلال و نوع پیش‌ماده سیلیکا نیز می‌توانند بر روند واکنش آبکافت مؤثر باشند. حلال‌ها می‌توانند سرعت ژل شدن را کنترل کنند؛ به‌طوری که در نسبت ثابت پیش‌ماده‌ی سیلیکا و آب، با افزایش میزان اتانول زمان ژل شدن افزایش می‌یابد. استفاده از تترا اتیل اورتوسیلیکات نیز به دلیل کم‌تر بودن نرخ واکنش آبکافت و شناخته‌شده بودن واکنش‌های این



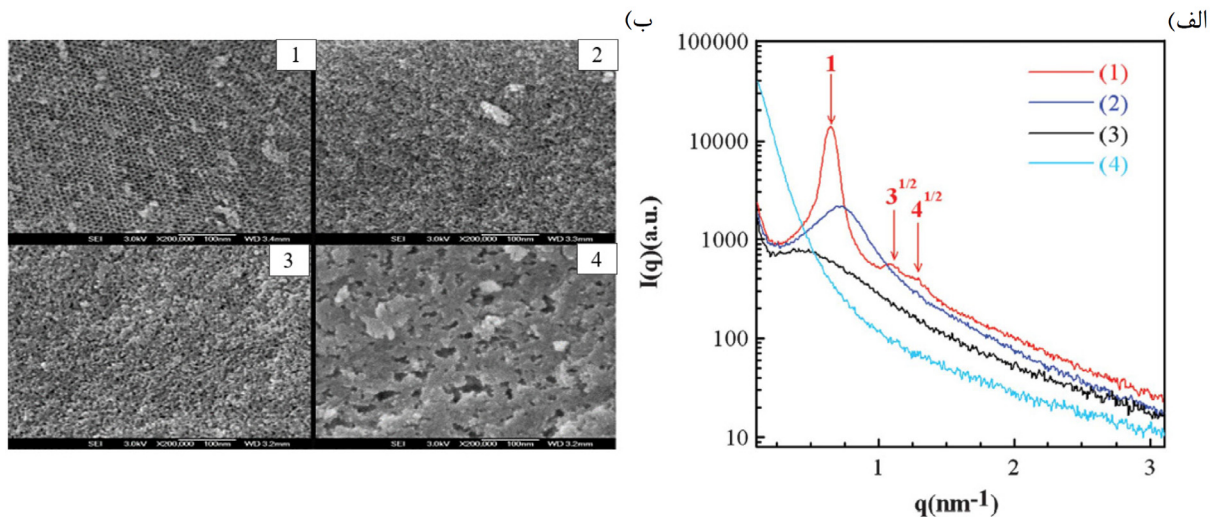
پیش‌ماده، به مواد دیگر ترجیح داده می‌شود [۴۷].



شکل ۴- تأثیر نوع کنشیار بر روند هیدرولیز و تراکم (الف) نمایش الگو وار و (ب) نمودار سرعت نسبی واکنش هیدرولیز و تراکم با تغییر pH محیط واکنش [۴۶].

### ۳-۳- حلال

همان‌طور که از اسم این روش برمی‌آید، شرایط تبخیر نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری ساختار دارد. رسیدن غلظت عامل فعال سطحی به غلظت بحرانی تابع تبخیر حلال است و سرعت تبخیر حلال زمان لازم برای تشکیل ساختار را مشخص می‌کند [۴۸]. برای انتخاب یک حلال مناسب، طول زنجیره آلکیل و نقطه‌جوش آن، قطبی بودن و میزان تر کنندگی زیرلایه از جمله عوامل مهمی هستند که باید به آن‌ها توجه شود. حلال باید بتواند همه اجزا را در خود حل کند و باعث ایجاد جدایش فازی نشود. حلال‌های الکلی با دارا بودن ویژگی‌های ذکر شده، انتخاب مناسبی برای استفاده در این روش هستند. در میان این حلال‌ها نیز باید به فشار بخار آن‌ها توجه شود. هر چه طول زنجیره هیدروکربنی بزرگ‌تر باشد، سرعت تبخیر حلال بیشتر است. وقتی سرعت تبخیر زیاد باشد، فرصت برای تشکیل ساختار کم بوده و نظم کم‌تری در ساختار مشاهده می‌شود [۴۹]. در شکل (۵) تأثیر نوع حلال بر میزان نظم و ریزساختار پوشش مشاهده می‌شود.



شکل ۵- تأثیر نوع حلال بر روی ویژگی‌های پوشش (الف) میزان نظم و (ب) ریزساختار پوشش (۱: متانول ۲: اتانول ۳: پروپانول ۴: بوتانول) [۴۹].

مهم‌ترین عوامل مؤثر مرور شدند؛ اما عوامل دیگری نیز می‌توانند بر روی این فرایند مؤثر باشند. دما نیز روی فرایند خودآرایی اثر می‌گذارد و این فرایند در دمای اتاق آسان‌تر انجام می‌شود. اثرات دما در این فرایند به سه صورت در نظر گرفته می‌شود [۵۰]:

- ۱- تأثیر بر تبخیر حلال
- ۲- تأثیر بر فرآیند خودآرایی
- ۳- تأثیر بر ژل شدن ترکیب

علاوه بر این خواص عوامل فعال سطحی نیز وابسته به دماست. به عنوان مثال در پلورونیک‌ها، وقتی دما زیاد می‌شود، پلیمر به آرامی آب‌گریزتر می‌شود و در نهایت به نقطه ابری شدن می‌رسد. نقطه ابری شدن دمایی است که در آن جدایش فازی رخ می‌دهد و پلورونیک خواص خودش را از دست می‌دهد [۵۱]. برای ساخت پوشش‌های مزوسیلیس از پیش ماده آلکوکسیدی استفاده می‌شود. دلایلی مختلفی برای استفاده گسترده از TEOS به عنوان پیش ماده می‌توان برشمرد که از جمله آن‌ها به شناخته شده بودن خواص و واکنش‌های این پیش ماده در دماها و pH های مختلف، کم‌تر بودن نرخ واکنش آبکافت، کم‌تر بودن سمیت آن نسبت به پیش‌ماده‌های دیگر مانند TMOS، موجود بودن این پیش ماده در خلوص بالا و قیمت پایین اشاره کرد. [۵۲]. در جدول (۲) اثر کلی عوامل مختلف به صورت خلاصه نشان داده شده است.

جدول ۲- تأثیر عوامل مختلف در فرآیند خودآرایی القاشده با تبخیر

پارامتر	سل-ژل	خودآرایی
میزان آب	پایداری سل	شکل تخلخل
pH	سرعت واکنش آبکافت و تراکم	به هم پیوستگی ساختار
حلال	پایداری سل	میزان نظم
دما	استحکام ساختار	ساختار ماده فعال سطحی
عامل فعال سطحی	-	شکل و اندازه تخلخل
رطوبت	-	شکل تخلخل
زمان پیرسازی	پایداری سل	شکل تخلخل

#### ۴- عوامل مؤثر بر نوع نظم ساختار

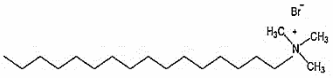
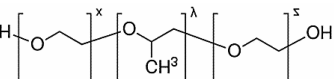
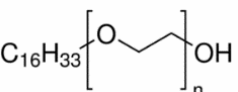
مهم‌ترین ویژگی روش خودآرایی القاشده با تبخیر ایجاد ساختارهای متنوع است. حال باید دید که چه عواملی بر روی نوع ساختار تأثیر می‌گذارند. در ادامه مهم‌ترین عوامل مؤثر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۱- نوع عامل فعال سطحی

عوامل فعال سطحی مولکول‌هایی با ساختار دوبخشی هستند که یک بخش مولکول آب‌دوست و بخش دیگر آب‌گریز است. به علت داشتن این ویژگی، این مولکول‌ها تمایل به جذب در سطح و فصل مشترک مواد دارند و در کاربردهای مختلفی استفاده می‌شوند. عوامل فعال سطحی در غلظت‌های بسیار کم در محلول به شکل تک‌پار هستند. هنگامی که مقدار عامل فعال سطحی در فصل مشترک به اشباع برسد، عامل فعال سطحی باقی‌مانده به شکل آرایش خاصی به نام میسل درمی‌آید. میسل تراکم مولکول‌های عوامل فعال سطحی پخش شده در یک مایع کلونیدی است. در یک حلال آبی سر آب‌دوست ماده فعال سطحی در تماس با حلال و دم آب‌گریز در مرکز میسل یک توده تشکیل می‌دهد. به غلظتی از عامل فعال سطحی که در آن غلظت میسل شکل می‌گیرد، غلظت بحرانی میسل (CMC) گفته می‌شود. از دیگر ویژگی‌های مهم عوامل فعال سطحی می‌توان به بار الکتریکی سر آب‌دوست و طول زنجیره هیدروکربنی اشاره کرد. عوامل فعال سطحی بر مبنای بار موجود در سر آب‌دوستشان به چهار گروه آنیونی، کاتیونی، غیر یونی و دوگانه تقسیم می‌شوند که عوامل فعال سطحی دوگانه عموماً در ساخت مواد مزومتخلخل استفاده نمی‌شوند [۵۳]. اساس ساخت مواد مزومتخلخل بر پایه خودآرایی میسل‌ها بوده و از این‌رو مهم‌ترین عامل مؤثر بر اندازه و شکل تخلخل‌ها، نوع و میزان عامل فعال سطحی است. نوع عامل فعال سطحی تعیین‌کننده اندازه تخلخل بوده و مقدار آن نیز شکل تخلخل را تعیین می‌کند. بدین ترتیب که با افزایش وزن مولکولی عامل فعال سطحی، اندازه تخلخل افزایش می‌یابد. از پرکاربردترین عوامل فعال سطحی

مورد استفاده در ساخت پوشش‌های مزوسیلیس، می‌توان به بسپارهای ناهمگن غیر یونی که تحت عنوان تجاری پلورونیک‌ها EO=ethylene oxide, PO=propylene oxide شناخته می‌شوند، اشاره کرد. انواع گوناگونی از پلورونیک‌ها با وزن‌های مولکولی متفاوت و نسبت‌های مختلف بخش آب‌دوست به بخش آب‌گریز وجود دارند که این نسبت‌های مختلف منجر به ایجاد ساختارهای با اندازه تخلخل و ساختارهای گوناگون می‌شود [۵۴]. به‌عنوان مثال هر چه نسبت بخش آب‌گریز به بخش آب‌دوست بیش‌تر باشد، اندازه تخلخل بزرگ‌تر می‌شود [۵۵]. در جدول (۳) مثالی از انواع عوامل فعال سطحی و اندازه تخلخل‌های ایجاد شده دیده می‌شود.

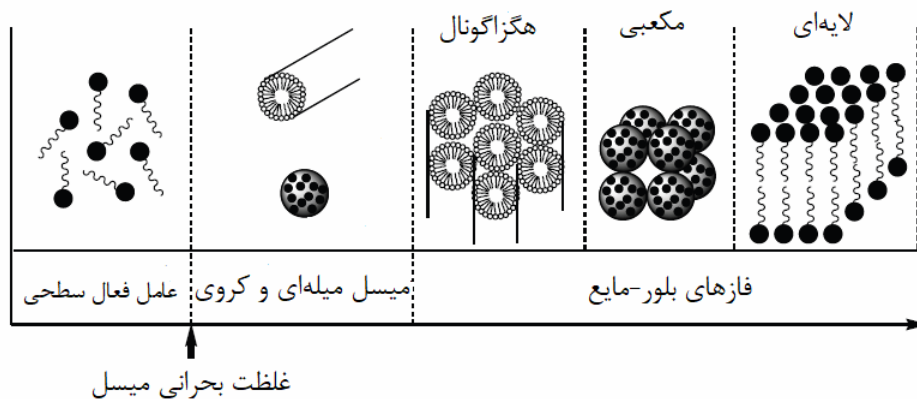
جدول ۳- تأثیر نوع عامل فعال سطحی بر اندازه و شکل تخلخل

اندازه تخلخل	ساختار مولکولی یک نمونه	نوع عامل فعال سطحی
۲-۴ نانومتر		عوامل فعال سطحی کاتیونی
۵-۱۰ نانومتر		عوامل فعال سطحی غیر یونی (مانند پلورونیک‌ها)
۳-۵ نانومتر		عوامل فعال سطحی غیر یونی (سایر گروه)

همان‌طور که گفته شد، با افزایش غلظت عامل فعال سطحی، میسل‌ها تشکیل می‌شوند. برای اینکه انرژی برهم‌کنش حلال-عامل فعال سطحی کاهش یابد، ابتدا میسل‌های کروی شکل گرفته و به‌صورت منفرد در محلول پخش می‌شوند. با افزایش بیش‌تر غلظت، این بار میسل‌های کروی در کنار هم تجمع کرده و میسل میله‌ای را ایجاد می‌کنند. همان‌طور که در شکل (۶) دیده می‌شود، با ادامه روند افزایش غلظت، میسل‌ها فازهای بلور-مایع با آرایش هگزاگونال را تشکیل می‌دهند. به همین ترتیب ساختارهای مکعبی و لایه‌ای نیز شکل می‌گیرند. نحوه‌ی جهت‌گیری میسل‌ها در ساختارهای بلور-مایع به کمک ضریب تراکم (g) که به ویژگی‌های ساختاری عامل فعال سطحی بستگی دارد، تعیین می‌شود. این ضریب به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$g = V/a_0 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $V$  برابر با حجم دم آب‌گریز،  $a_0$  سطح مؤثر سر آب‌دوست و  $a$  نشان‌دهنده طول دم آب‌گریز است. به‌طور کلی، هر چه ضریب تراکم یک عامل فعال سطحی بیش‌تر باشد، ساختار به سمت آرایشی با انحنا کم‌تر متمایل می‌شود. به‌عنوان مثال هنگامی که ضریب تراکم برابر با  $1/3$  باشد، یک ساختار مکعبی و با ضریب تراکم  $1/2$  ساختار هگزاگونال دوبعدی شکل می‌گیرد. بدین ترتیب با تغییر میزان عامل فعال سطحی در یک محلول، می‌توان ساختارهای مختلفی ایجاد کرد [۵۶].



شکل ۶- تغییر آرایش میسل‌ها با افزایش غلظت عامل فعال سطحی [۵۷].

#### ۴-۲- مدت زمان پیرسازی

پس از اینکه محلول مورد نظر به دقت آماده شد، باید زمان کافی برای پیرسازی نیز در نظر گرفته شود. این عامل تأثیر زیادی در ساختار نهایی خواهد داشت. پیرسازی منجر به کامل شدن واکنش‌های آبکافت و تراکم الیگومرهای سیلیکا شده و در طی این فرآیند بلوک‌های نانو سایز شکل می‌گیرند. این بلوک‌ها بسته به ترکیب و pH سل، به شکل‌های کروی یا رشته‌ای به وجود می‌آیند. اندازه این اجزا به صورت تابعی از زمان افزایش می‌یابد. چون اندازه این اجزا نقش مهمی در تشکیل مزوساختار دارد، برای هر ترکیب یک زمان پیرسازی بحرانی وجود دارد. زمان‌های پیرسازی طولانی منجر به افزایش اندازه الیگومرها شده که ممکن است این اندازه متناسب با اندازه لازم برای فرارگیری در فصل مشترک فاز بلور-مایع نباشد. از طرفی اگر این زمان خیلی کوتاه باشد، ساختار شکل نخواهد گرفت [۵۸].

زمان پیرسازی بر انحنا می‌سازد و می‌تواند تأثیر داشته باشد. با افزایش زمان پیرسازی، الیگومر سیلیکایی بیش‌تر رشد می‌کند و تعداد گروه‌های سیلانول کاهش می‌یابد. با این کار موقعیت لازم برای ایجاد پیوند هیدروژنی نیز کم می‌شود و نظم کم می‌شود. همچنین با کاهش بار سیلیکا، انحنا می‌سازد و تمایل به ساختارهای دوبعدی بیش‌تر می‌شود. ممکن است در زمان‌های پیرسازی طولانی، نوع نظم نیز تغییر کند. [۵۹] البته با توجه به تغییرات پیوسته شرایط محلول، تعیین زمان بهینه کار مشکلی است. وقتی پیرسازی خیلی طولانی شود، گرانیروی افزایش یافته و تشکیل مزوساختار مشکل می‌شود. از طرفی اگر سیلیکا به‌طور کامل آبکافت نشده باشد، سیلیکای باقی‌مانده می‌تواند باعث تخریب ساختار شود [۶۰].

#### ۴-۳- رطوبت محیط

یکی از عوامل مؤثر بر ضریب تراکم عامل فعال سطحی، نسبت آب موجود در هنگام تشکیل میسل است. برای کنترل واکنش آبکافت و تراکم آب میزان حداکثر آب در تهیه محلول استفاده می‌شود و مابقی آب لازم برای تغییر انحنا میسل‌ها، از طریق رطوبت اعمال شده در حین پوشش‌دهی تأمین می‌شود. در لحظات اولی که پوشش اعمال می‌شود، تبخیر حلال بسیار سریع است. در مرحله حالت پایدار، تعادلی بین نفوذ مولکول‌های آب و پوشش ایجاد می‌شود؛ بنابراین تغییر شرایط نفوذ مولکول‌های آب که در اثر اعمال رطوبت ایجاد می‌شود، باعث تغییر ضریب تراکم و به تبع آن شکل تخلخل خواهد شد [۶۱].

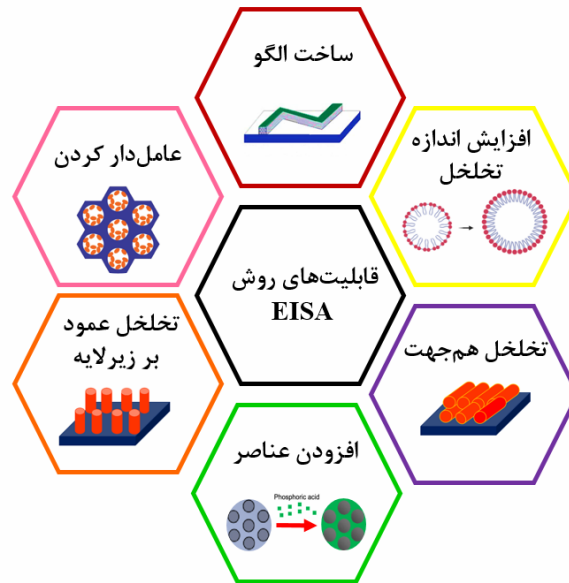
#### ۴-۴- pH

در رابطه با تأثیر غلظت اسید، سه دیدگاه متفاوت وجود دارد. وقتی غلظت اسید بیش‌تر می‌شود، برهم‌کنش‌های قوی‌تری بین میسل‌ها و سیلیکا ایجاد می‌شود و تمایل به تشکیل ساختار هگزاگونال دوبعدی افزایش پیدا می‌کند [۶۲]. محققان دیگر عقیده دارند در غلظت‌های خیلی کم اسید، ساختار هگزاگونال سه‌بعدی و مکعبی شکل می‌گیرد. احتمالاً تغییر غلظت اسید منجر به تغییر میزان پروتونه شدن اتانول می‌شود و این امر روی پروتونه شدن سیلیکا نیز تأثیر می‌گذارد. وقتی میزان اسید زیاد شود، اتانول بیش‌تر پروتونه می‌شود و تعادل بار سیلیکا نیز تغییر می‌کند [۶۳]. عده‌ای دیگر نیز بر این باور هستند که با افزایش غلظت یون  $H^+$ ، سرآب‌دوست عامل فعال سطحی به میزان بیش‌تری آب‌دوست می‌شود و با این کار ضریب تراکم عامل فعال سطحی کاهش می‌یابد؛ بنابراین تغییر این ضریب باعث تغییر شکل تخلخل‌ها می‌شود. وقتی میزان اسید خیلی زیاد باشد، سرعت ژل شدن زیاد شده و اجازه حرکت و تشکیل میسل به عامل فعال سطحی داده نمی‌شود [۶۴].

#### ۵- قابلیت‌های روش خودآرایی القاشده با تبخیر

با پیشرفت کاربردهای پوشش مزوسیلیس، نیاز به ویژگی‌های خاص در آن‌ها بیش‌تر می‌شود. قابلیت کنترل ویژگی‌های تخلخل در پوشش‌های مزوسیلیس محدود به کنترل شکل و اندازه تخلخل نبوده و راه‌های متنوعی برای تغییر برخی از ویژگی‌ها و خواص پوشش وجود دارد. شکل (۷) مهم‌ترین قابلیت‌های روش خودآرایی القاشده با تبخیر را نشان می‌دهد.





شکل ۷- انواع قابلیت‌های روش خودآرایی القاشده با تبخیر

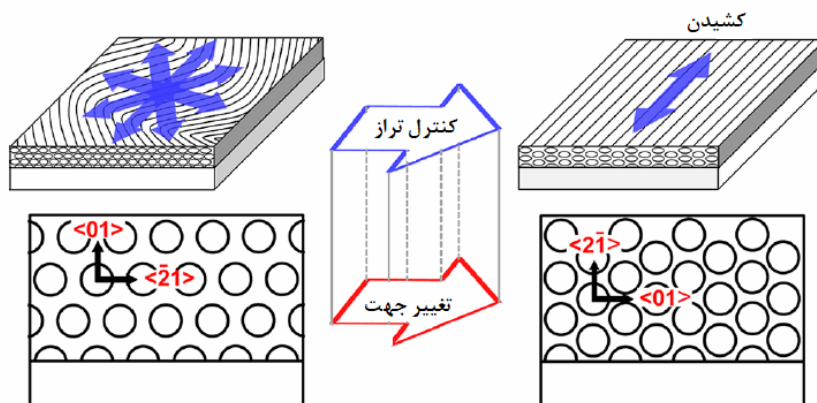
### ۵-۱- ساخت تخلخل‌های عمود بر زیرلایه

در برخی از کاربردهای پوشش مزوسیلیس مانند غشاءها، وجود تخلخل‌های عمود بر زیرلایه به شدت احساس می‌شود. روش خودآرایی القاشده با تبخیر در حالت معمول، به دلیل نیاز به انرژی بالا برای این کار مناسب نبوده و پژوهشگران روش‌های دیگری مانند اعمال میدان الکتریکی، اعمال میدان مغناطیسی، اصلاح سطح زیرلایه، استفاده از میسل‌های پیش‌ساخته و موارد دیگر را برای رسیدن به این هدف ارائه نمودند [۶۵-۶۶]. با انجام پژوهش‌های بیشتر مشخص شد که در صورت اعمال برخی اصلاحات، در روش خودآرایی القاشده با تبخیر نیز می‌توان به تخلخل‌های عمود بر زیرلایه دست یافت. برخی از عوامل فعال سطحی مانند عوامل فعال سطحی کاتیونی و عوامل فعال سطحی Gemini، ویژگی‌های بهتری از خود نشان می‌دهند [۶۷]. در این روش عامل فعال سطحی توسط برخی بعضی از نقاط فعال شده سطح جذب می‌شود و سپس خودآرایی انجام شده و جهت‌یابی در جهت عمود پی گرفته می‌شود [۶۸]. از ساختار آلومینای آندایز شده نیز برای رشد کانال‌های عمودی استفاده می‌شود. روش دیگر برای ایجاد تخلخل‌های عمود بر زیرلایه، استفاده از مواد آلی در حین سنتز است. در روش‌های معمول، جهت‌گیری ترجیحی میسل در جهت کاهش انرژی آزاد سیستم و به موازات زیرلایه است. در این روش از یک ترکیب هیدروکربنی مانند دکان یا مواد دیگر استفاده می‌شود. [۶۹]

### ۵-۲- ساخت تخلخل‌های هم‌راستا

یکی از مواردی که ممکن است در پوشش‌های مزوسیلیس به‌عنوان عیب تلقی شود، هم‌جهت نبودن تخلخل‌ها است. پوشش‌های معمولی که به روش‌های پوشش‌دهی چرخشی و فروری ساخته می‌شوند، به دلیل اینکه جهت‌گیری تصادفی دارند، در برخی از کاربردها مانند میزبان مولکول‌ها مناسب نیستند [۷۰]. در برخی از زیرلایه‌ها مانند سیلیکون تک‌بلور، میکا و گرافیت کانال‌ها تا حدودی هم‌جهت می‌شوند ولی در زیرلایه‌های دیگر نیاز است از روش‌های خاصی استفاده شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از پلیمرهای دارای ساختار خطی مانند پلی‌آمید است.

بدین منظور ابتدا پلی‌آمید به ضخامت حدود ۱۰ نانومتر روی زیرلایه پوشش داده می‌شود و تحت کشش قرار می‌گیرند. سپس پوشش‌دهی بر روی لایه پلیمری انجام می‌شود [۷۱]. این ماده دارای گروه‌های عاملی هگزامتیل در سطح خود بوده و باعث برهمکنش بیشتر ماده فعال سطحی و سطح و به دنبال آن هم‌جهت شدن کانال‌ها می‌شود. علاوه بر زیرلایه‌های سرامیکی، این روش قابلیت استفاده در انواع زیرلایه‌های پلیمری و فلزی را نیز داراست [۷۲]. شکل (۸) نحوه هم‌جهت شدن ساختار را نشان می‌دهد.



شکل ۸- نحوه هم‌جهت شدن تخلخل‌ها در روش استفاده از پلیمر [۷۲].

روش دیگر هم‌جهت کردن تخلخل‌ها، وارد کردن محلول در کانال‌های از پیش تعبیه شده است. پس از ریختن محلول در قالب مورد نظر، یک شیشه نازک در یک زاویه مشخص به صورت مورب و در فاصله چند صد میکرومتری از زیرلایه حرکت می‌کند تا سل کاملاً پخش شود. هر چه این فاصله نزدیک‌تر باشد، تبخیر با سرعت بیش‌تر انجام می‌شود و ساختار منظم‌تر خواهد بود [۷۳].

### ۵-۳- ایجاد ساختارهای الگو دار

پوشش‌های مزوسیلیس به دلیل کاربردهای زیادی که در حسگرها، عایق‌های الکترونیکی و کاربردهای نوری دارند، ساخت الگو در این‌ها اهمیت زیادی پیدا کرده است. پوشش‌هایی که به روش معمول ساخته می‌شوند، به علت اتصال ضعیف میسل‌ها و سیلیس، در فرآیند ساخت الگو دوام نمی‌آورند و از بین می‌روند. یک راه‌حل این مشکل، به کارگیری روش فاز بخار است. در این روش همه مواد موردنیاز برای ساخت پوشش به جز پیش ماده سیلیس با هم مخلوط شده و بر زیرلایه مورد نظر پوشش‌دهی می‌شوند. سپس در محفظه‌ی حاوی بخار TEOS قرار داده می‌شود. بدین ترتیب با نفوذ مولکول‌های سیلیکا ساختار متراکم می‌شود [۷۴]. یکی دیگر از روش‌های ساخت، روش قالب‌گیری ریز در حفرات است. در این روش ابتدا یک آرایه منظم حفرات با شکل مورد نظر ساخته شده و سپس محلول در آن وارد می‌شود و تراکم به کمک تابش پرتو فرابنفش انجام می‌شود. چالش اصلی در این روش‌ها، خروج ماده فعال سطحی بدون هیچ‌گونه آسیب به زیرلایه است. دمای بالا به مواد پلیمری، مس و طلا موجود در مدارها آسیب وارد کرده و حتی ممکن است باعث از بین رفتن نظم شود [۷۵].

### ۵-۴- ساخت پوشش‌های عامل‌دار

وارد کردن گروه‌های عاملی می‌تواند خواص سطحی مثل آب‌دوستی و آب‌گریزی، پیوند با مولکول‌های دیگر و برخی از خواص بالک مانند خواص مکانیکی و نوری را تغییر دهد. در کاربردهایی مانند عایق‌های الکترونیکی، حسگرها و جاذب‌ها نیاز به عامل‌دار کردن سطح بیش‌تر از کاربردهای دیگر احساس می‌شود [۷۶]. به‌طور کلی دو روش برای عامل‌دار کردن پوشش‌های مزوسیلیس وجود دارد: ۱- عملیات سطحی پس از ساخت پوشش که در این روش مولکول هدف در سطح بیرونی تخلخل قرار می‌گیرد. ۲- روش عامل‌دار کردن درجا که مولکول در سطح درونی تخلخل قرار می‌گیرد.

در روش اول میزان مولکول قرارگرفته محدود بوده و یک توزیع نسبتاً ناهمگن از گروه‌های عاملی در سطح به وجود می‌آید. همچنین این روش باعث کاهش اندازه تخلخل نیز می‌شود. برای این کار، ابتدا پوشش به روش‌های معمول ساخته شده و پس از یک مرحله عملیات حرارتی، در معرض حالت مایع یا بخار ماده حاوی گروه‌های عاملی مورد نظر قرار می‌گیرد. البته در این روش پایداری کافی وجود نداشته و نیاز است طی یک مرحله عملیات حرارتی در دمای بالاتر، تراکم ساختار افزایش یابد. مشکل این روش امکان از بین رفتن گروه‌های عاملی ایجاد شده در دمای بالاست. در روش درجا که رایج‌ترین روش ساخت پوشش‌های عامل‌دار شده است، به‌جای پیش‌ماده آلکوکسیدی، از پیش‌ماده‌های حاوی گروه‌های عاملی مورد نظر استفاده می‌شود. تنوع پیش‌ماده‌های حاوی گروه‌های عاملی زیاد بوده و امکان ایجاد انواع گروه‌های عاملی به‌صورت همگن وجود دارد [۷۷].

## ۵-۵- وارد کردن عناصر مختلف در ساختار

یکی از چالش‌های موجود در پوشش مزوسیلیس، افزودن یون‌هایی مانند کلسیم، فسفات و برهمکنش آن‌ها با ساختار است. به‌عنوان مثال عنصر فسفر به دلیل نقش مهم در پوشش‌های زیست فعال مورد استفاده در بدن انسان و هادی‌های پروتونی، می‌تواند وارد ساختار شود. برای وارد کردن این یون، از فسفریک اسید استفاده می‌شود که این ماده به دو روش پوشش دهی بر روی پوشش اولیه و یا با جایگزینی این اسید با هیدروکلریک اسید وارد ساختار خواهد شد [۷۸].

## ۵-۶- افزایش اندازه تخلخل

در برخی از کاربردها مانند دارورسانی، حسگرها و ساختارهای میزبان گاهی نیاز است اندازه تخلخل افزایش یابد. این کار با استفاده از مواد فعال سطحی معمول میسر نبوده و از روش‌های خاصی برای افزایش اندازه تخلخل استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

۱- عملیات پس از تهیه پوشش

۲- استفاده از ماده فعال سطحی با زنجیره هیدروکربنی طویل

۳- استفاده از پلیمرهایی با ساختار دو بلوکی

۴- استفاده از عوامل متورم‌کننده میسل که شامل انواع هیدروکربن‌های حلقوی و خطی، پلی پروپیلن اکسید و مواد دیگر هستند [۷۹].

۵- ترکیب دو عامل فعال سطحی

در این میان روش چهارم، پرکاربردترین روش است. نقش عوامل متورم‌کننده میسل، افزایش بخش آب‌گریز ماده فعال سطحی و در نتیجه افزایش دهنده اندازه تخلخل است. در هنگام استفاده از این مواد باید به خاطر داشت که استفاده از این مواد ممکن است باعث کاهش نظم ساختار و در مواردی باعث تغییر شکل تخلخل‌ها شود. نکته مهم دیگر، انتخاب عامل متورم‌کننده میسل مناسب برای هر ماده فعال سطحی است. چون برخی از عوامل فعال سطحی تمایل بیش‌تری برای وارد کردن این مواد به ساختار خود دارند و برخی نیز ممکن است هیچ برهمکنشی با این مواد نداشته باشند [۸۰].

## ۶- نتیجه‌گیری

روش خودآرایی القاشده با تبخیر به‌عنوان یک روش ساده و با قابلیت ایجاد ساختارهای متنوع شناخته شده است. در این روش عوامل قابل کنترل زیادی وجود دارند که می‌توانند پوشش‌هایی با ویژگی‌های جدید ایجاد کنند و کاربردهای فراوانی را برای آن‌ها به ارمغان آورند. به‌رغم اینکه تلاش‌های بسیاری برای ایجاد خواص جدید انجام شده است، به نظر می‌رسد اصلاح مراحل مختلف فرآیند کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. به‌طوری که گزارشی از صنعتی شدن این روش دیده نشده است. یکی از مشکلات این روش، لزوم استفاده از پیش‌ماده‌های آکوکسیدی است. استفاده از پیش‌ماده‌های ارزان‌قیمت مانند سبوس برنج یا سیلیکات سدیم که در ساخت نانو ذرات استفاده می‌شوند، در این روش کاربرد پیدا نکرده و این روش را به یک روش نسبتاً پرهزینه تبدیل کرده‌اند. این مواد تمایل به تشکیل ترکیبات پیچیده دارند که ممکن است برهم‌کنش ماده فعال سطحی با پیش‌ماده و به دنبال آن ایجاد ساختار منظم را مختل کنند. به نظر می‌رسد در آینده این موضوع بیش‌تر مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد و توسعه یابد. استفاده از الکل در مقیاس صنعتی نیز اندکی مشکل‌ساز بوده و به علت خطر آتش‌سوزی، بهتر است کم‌تر استفاده شود. امروزه پژوهش‌هایی در رابطه با حذف الکل یا کاهش آن در حال انجام بوده و احتمالاً در آینده روش‌های ایمن و در عین حال سریع برای ساخت پوشش‌های مزوسیلیس با ویژگی‌های مورد انتظار توسعه داده خواهند شد. این موضوع از مسائل قابل توجه پژوهشگران بوده و با توجه به وسعت کاربردهای قابل تصور، به‌نظر می‌رسد در سال‌های آینده توجه بیشتری را به خود جلب خواهد نمود.

## ۷- مراجع

- [1] Alberius PCA, Frindell KL, Hayward RC, Kramer EJ, Stucky GD, Chmelka BF. General predictive syntheses of cubic, hexagonal, and lamellar silica and Titania mesostructured thin films. Chem Mater. 2002; 14(8):3284-3294.

- [2] Fritz-Popovski G, Morak R, Sharifi P, Amenitsch H, Paris O. Pore shape and sorption behavior in mesoporous ordered silica films. *J Appl Crystallogr.* 2016; 49(5):1713–1720.
- [3] Bellino MG, Regazzoni AE, Soler-Illia GJAA. Amylase-Functionalized mesoporous silica thin films as robust biocatalyst platforms. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2010; 2(2):360–365.
- [4] Maruo T, Tanaka S, Hillhouse HW, Nishiyama N, Egashira Y, Ueyama K. Disordered mesoporous silica low-k thin films prepared by vapor deposition into a triblock copolymer template film. *Thin Solid Films.* 2008; 516(15):4771–4776.
- [5] Farrell RA, Cherkaoui K, Petkov N, Amenitsch H, Holmes JD, Hurley PK, et al. Physical and electrical properties of low dielectric constant self-assembled mesoporous silica thin films. *Microelectron Reliab.* 2007; 47(4-5 SPEC. ISS.): 759–763.
- [6] Yamada T, Zhou HS, Uchida H, Tomita M, Ueno Y, Honma I, et al. Application of a cubic-like mesoporous silica film to a surface photo voltage gas sensing system. *Microporous Mesoporous Mater.* 2002; 54(3):269–276.
- [7] Ehler N, Badar M, Christel A, Lohmeier SJ, Luessenhop T, Stieve M, et al. Mesoporous silica coatings for controlled release of the antibiotic ciprofloxacin from implants. *J Mater Chem.* 2011; 21(3):752–760.
- [8] Edler KJ, Roser SJ. Growth and characterization of mesoporous silica films. *Int Rev Phys Chem.* 2001; 20(3):387–466.
- [9] Kimura T. Evaporation-induced Self-assembly Process Controlled for Obtaining Highly Ordered Mesoporous Materials with Demanded Morphologies. *Chem Rec.* 2016; 16(1):445–457.
- [10] Teng Z, Zheng G, Dou Y, Li W, Mou CY, Zhang X, et al. Highly ordered mesoporous silica films with perpendicular mesochannels by a simple stöber-solution growth approach. *Angew Chemie - Int Ed.* 2012; 51(9):2173–2177.
- [11] Innocenzi P, Malfatti L. Mesoporous thin films: Properties and applications. *Chem Soc Rev.* 2013; 42(9):4198–4216.
- [12] Chen JY, Pan FM, Chang L, Cho AT, Chao KJ. Thermal stability of trimethylsilylated mesoporous silica thin films as the ultralow-k dielectric for copper interconnects. *J Vac Sci Technol B Microelectron Nanom Struct.* 2005; 23(5):2034.
- [13] Brinker CJ, Lu Y, Sellinger A, Fan H. Evaporation-induced self-assembly: Nanostructures made easy. *Adv Mater.* 1999; 11(7):579–585.
- [14] Feng D, Wei J, Wang M, Yue Q, Deng Y, Asiri AM, et al. Advances in Mesoporous Thin Films via Self-Assembly Process. *Adv Porous Mater.* 2013; 1(2):164–186.
- [15] Innocenzi P, Malfatti L, Soler-Illia GJAA. Hierarchical mesoporous films: From self-assembly to porosity with different length scales. Vol. 23, *Chemistry of Materials.* 2011. p. 2501–2509.
- [16] Grosso D, Babonneau F, Soler-Illia GJ d. AA, Albouy PA, Amenitsch H. Phase transformation during cubic mesostructured silica film formation. *Chem Commun.* 2002; 2(7):748–749.
- [17] Pal N, Bhaumik A. Soft templating strategies for the synthesis of mesoporous materials: Inorganic, organic-inorganic hybrid and purely organic solids. Vols. 189–190, *Advances in Colloid and Interface Science.* 2013. p. 21–41.
- [18] Hayward C, R., Alberius, P.C.A, Kramer E.J, Chmelka B. F. Thin films of bicontinuous cubic mesostructured silica templated by a nonionic surfactant, *Langmuir*, 2004 ;20 (2): 5998-6004.
- [19] Grosso D, Boissière C, Nicole L, Sanchez C. Preparation, treatment and characterization of nanocrystalline mesoporous ordered layers. In: *Journal of Sol-Gel Science and Technology.* 2006. 141–54.
- [20] Maranhão SLA, Cides da Silva LC, Michels AF, Horowitz F, Matos JR, Fantini MCA. Structure and Morphology of SBA-15 Thin Films on Different Substrates. *Brazilian J Phys.* 2014; 44(4):346–355.
- [21] Innocenzi P. Infrared spectroscopy of sol-gel derived silica-based films: A spectra-microstructure overview. *J Non Cryst Solids.* 2003; 316(2–3):309–319.
- [22] Soler-Illia GJAA, Innocenzi P. Mesoporous hybrid thin films: The physics and chemistry beneath. *Chem - A Eur J.* 2006; 12(17):4478–4494.
- [23] Ogawa M. Mesoporous Silica Layer: Preparation and Opportunity. Vol. 17, *Chemical Record.* 2017. p. 217–32.



- [24] Nishiyama N, Tanaka S, Egashira Y, Oku Y, Ueyama K. Enhancement of structural stability of mesoporous silica thin films prepared by spin-coating. *Chem Mater*. 2002; 14(10):4229–4234.
- [25] Hoffmann F, Cornelius M, Morell J, Fröba M. Silica-based mesoporous organic-inorganic hybrid materials. Vol. 45, *Angewandte Chemie - International Edition*. 2006. p. 3216–3251.
- [26] Jung SB, Ha TJ, Park HH. Control of wall thickness in the formation of ordered mesoporous silica films. *Thin Solid Films*. 2007; 515(16 SPEC. ISS.): 6521–6525.
- [27] Pan JH, Lee WI. Selective control of cubic and hexagonal mesophases for Titania and silica thin films with spin-coating. *New J Chem*. 2005; 29(6):841–846.
- [28] Jung SB, Ha TJ, Park HH. Roughness and pore structure control of ordered mesoporous silica films for the enhancement of electrical properties. *J Appl Phys*. 2007; 101.(۲)
- [29] Feng P, Bu X, Pine DJ. Control of pore sizes in mesoporous silica templated by liquid crystals in block copolymer-co-surfactant-water systems. *Langmuir*. 2000; 16(12):5304–5310.
- [30] Schulz-Ekloff G, Rathouský J, Zukal A. Controlling of morphology and characterization of pore structure of ordered mesoporous silicas. *Microporous Mesoporous Mater*. 1999; 27(2–3):273–285.
- [31] Chua Y, Lin CXC, Kleitz F, Smart S. Mesoporous organosilica membranes: Effects of pore geometry and calcination conditions on the membrane distillation performance for desalination. *Desalination*. 2015; 370:53–62.
- [32] Hu Y, Peng Y, Brousseau L, Bouamrani A, Liu X, Ferrari M. Nanotexture optimization by oxygen plasma of mesoporous silica thin film for enrichment of low molecular weight peptides captured from human serum. *Sci China Chem*. 2010; 53(11):2257–2264.
- [33] Hua Z Le, Shi JL, Wang L, Zhang WH. Preparation of mesoporous silica films on a glass slide: Surfactant template removal by solvent extraction. *J Non Cryst Solids*. 2001; 292(1–3):177–183.
- [34] Sibeaud M, Croutxé-Barghorn C, Rigolet S, Michelin L, Lebeau B, Vidal L, et al. Scaling-up of mesoporous silica films via an eco-efficient UV processing method. Part 2: Photo induced calcination. *Microporous Mesoporous Mater*. 2018; 267:235–241.
- [35] Recloux I, Mouanga M, Druart ME, Paint Y, Olivier MG. Silica mesoporous thin films as containers for benzotriazole for corrosion protection of 2024 aluminium alloys. *Appl Surf Sci*. 2015; 346:124–133.
- [36] Chemin N, Klotz M, Rouessac V, Ayrat A, Barthel E. Mechanical properties of mesoporous silica thin films: Effect of the surfactant removal processes. In: *Thin Solid Films*. 2006. p. 210–213.
- [37] Johansson EM, Galarnau A, Cambon H, Di Renzo F, Ryoo R, Choi M, et al. Controlling the Pore Size and Morphology of Mesoporous Silica. *New J Chem [Internet]*. 2015; 12(1):73–79.
- [38] Glazneva TS, Rebrov E V., Schouten JC, Paukshtis EA, Ismagilov ZR. Synthesis and characterization of mesoporous silica thin films as a catalyst support on a titanium substrate. *Thin Solid Films*. 2007; 515(16 SPEC. ISS.): 6391–6394.
- [39] Muraza O, Rebrov E V., Khimyak T, Johnson BFG, Kooyman PJ, Lafont U, et al. Preparation and characterization of bimetallic catalysts supported on mesoporous silica films. In: *Studies in Surface Science and Catalysis*. 2006. p. 167–174.
- [40] Lee UH, Yang JH, Lee HJ, Park JY, Lee KR, Kwon YU. Facile and adaptable synthesis method of mesostructured silica thin films. *J Mater Chem*. 2008; 18(16):1881–188.
- [41] Jeffrey Brinker, C. and George W. Scherer. *Sol-Gel science the physics and chemistry of sol-gel processing*, New York: Academic press.1990.
- [42] Boffa V, Elshof JE te. Blank DHA. Preparation of templated mesoporous silica membranes on macroporous  $\alpha$ -alumina supports via direct coating of thixotropic polymeric sols. *Microporous Mesoporous Mater*. 2007; 100(1–3):173–82.
- [43] Johansson EM, Galarnau A, Cambon H, Di Renzo F, Ryoo R, Choi M, et al. Controlling the Pore Size and Morphology of Mesoporous Silica. *New J Chem*. 2015; 12(1):73–9.
- [44] Hussen GNA, Shirakawa H, Nix WD, Clemens BM. Single layer mesoporous silica thin films as templates for metallic nanoscale arrays. *J Appl Phys*. 2006; 100.(۱۱)
- [45] Ku, A.Y, Taylor T.S and Loureiro M.S .Mesoporous silica composites containing multiple regions with distinct pore size and complex pore organization. *Journal of the American Chemical Society*.2005; 127(8): 6934-6935.

- [46] ALOthman ZA. A Review] : Fundamental Aspects of Silicate. Materials (Basel). 2012; 5:2874–902.
- [47] Klotz M, Ayrat A, Guizard C, Cot L. Synthesis conditions for hexagonal mesoporous silica layers. *J Mater Chem*. 2000; 10(3):663–9.
- [48] Lu Y, Ganguli R, Drewien CA, Anderson MT, Jeffrey Brinker C, Gong W, et al. Continuous formation of supported cubic and hexagonal mesoporous films by sol-gel dip-coating. *Nature*. 1997; 389(6649):364–8.
- [49] Lee, Y.F, Chang K.H, Chu C.Y, Chena H.L, Hu. C.H. Microstructure tuning of mesoporous silica prepared by evaporation-induced self-assembly processes: interactions among solvent evaporation, micelle formation/packing and sol condensation”, *RSC Advance*.2011; 1, 401–407.
- [50] Nagamine S, Endo A, Nakaiwa M, Nakane T, Kurumada Kichi, Tanigaki M. Synthesis of submillimeter-thick films of surfactant templated mesoporous silica. *Microporous Mesoporous Mater*. 2001; 43(2):181–9.
- [51] Farrell RA, Cherkaoui K, Petkov N, Amenitsch H, Holmes JD, Hurley PK, et al. Physical and electrical properties of low dielectric constant self-assembled mesoporous silica thin films. *Microelectron Reliab*. 2007; 47(4-5 SPEC. ISS.): 759–63.
- [52] Davis, M. Ordered porous materials for emerging applications. *Nature*. 2002; 417, 813–821.
- [53] Holmberg, K., Jonsson B, Kronberg B, Bjorn Lindman .*Surfactants and Polymers in Aqueous Solution* (2 th edn), New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.
- [54] Flodström K, Alfredsson V. Influence of the block length of triblock copolymers on the formation of mesoporous silica. *Microporous Mesoporous Mater*. 2003; 59 (2–3):167–76.
- [55] Zhou B, Qi N, Wang B, Chen ZQ. Effect of swelling agent on the pore structure of SBA-15 studied by positron annihilation. *Appl Surf Sci*. 2019.
- [56] Israelachvili JN, Mitchell DJ, Ninham BW. Theory of self-assembly of hydrocarbon amphiphilic into micelles and bilayers. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 2: Molecular and Chemical Physics*. 1976.
- [57] Broekhoff JCP. Mesopore determination from nitrogen sorption isotherms: Fundamentals, scope, limitations. *Stud Surf Sci Catal*. 1979.
- [58] Campbell R, Bakker MG, Havrilla G, Montoya V, Kenik EA, Shamsuzzoh M. Preparation of mesoporous silica templated metal nanowire films on foamed nickel substrates. *Microporous Mesoporous Mater*. 2006; 97 (1–3):114–21.
- [59] Zhang X, Wu W, Wang J, Liu C. Effects of sol aging on mesoporous silica thin films organization. *Thin Solid Films*. 2007; 515 (23):8376–80.
- [60] Dong Z, Shi Y, Fu Z, Yang W. Synthesis of mesoporous silica from poly(ethylene oxide)/polystyrene copolymers: Influence of block architecture and each copolymer block on porous size. *J Nanosci Nanotechnol*. 2013; 13(10):6967–77.
- [61] Boissiere C, Grosso D, Lepoutre S, Nicole L, Bruneau AB, Sanchez C. Porosity and mechanical properties of mesoporous thin films assessed by environmental ellipsometric porosimetry. *Langmuir*. 2005; 21(26):12362–71.
- [62] Brunet-Bruneau A, Bourgeois A, Cagnol F, Grosso D, Sanchez C, Rivory J. An in situ study of mesostructured CTAB-silica film formation using infrared ellipsometry: Evolution of water content. In: *Thin Solid Films*. 2004.
- [63] Zhao D, Yang P, Margolese DI, Chmelka BF, Stucky GD. Synthesis of continuous mesoporous silica thin films with three-dimensional accessible pore structures. *Chem Commun*. 1998; (22):2499–500.
- [64] Alonso B, Balkenende AR, Albouy PA, Durand D, Babonneau F. Directing role of pH and ethanol vapor on the formation of 2D or 3D mesostructured silica and hybrid organo-silica thin films. *New J Chem*. 2002; 26(10):1270–2.
- [65] Yamauchi Y, Sawada M, Komatsu M, Sugiyama A, Osaka T, Hirota N, et al. Magnetically induced orientation of mesochannels in mesoporous silica films at 30 Tesla. *Chem - An Asian J*. 2007; 2(12):1505–12.
- [66] Naik SP, Ogura M, Sasakura H, Yamaguchi Y, Sasaki Y, Okubo T. Phase and orientation control of mesoporous silica thin film via phase transformation. In: *Thin Solid Films*. 2006. p. 11–7.
- [67] Platschek B, Petkov N, Himsl D, Zimdars S, Li Z, Köhn R, et al. Vertical columnar block-copolymer-templated mesoporous silica via confined phase transformation. *J Am Chem Soc*. 2008; 130(51):17362–71.

- [68] Cheyssac P, Klotz M, Søndergård E, Sterligov VA. Scattering properties of ordered mesoporous silica films. *Opt Commun*. 2005; 252(4–6):344–54.
- [69] Kao KC, Lin CH, Chen TY, Liu YH, Mou CY. A General Method for Growing Large Area Mesoporous Silica Thin Films on Flat Substrates with Perpendicular Nano channels. *J Am Chem Soc*. 2015; 137(11):3779–82.
- [70] Fukuoka A, Miyata H, Kuroda K. Alignment control of a cyanine dye using a mesoporous silica film with uniaxially aligned mesochannels. *Chem Commun*. 2003; (2):284–5.
- [71] Miyata H, Kawashima Y, Itoh M, Watanabe M. Preparation of a mesoporous silica film with a strictly aligned porous structure through a sol-gel process. *Chem Mater*. 2005; 17(21):5323–7.
- [72] Miyata H, Kuroda K. Formation of a continuous mesoporous silica film with fully aligned mesochannels on a glass substrate. *Chem Mater*. 2000; 12(1):49–54.
- [73] Cho W, Kim T, Char K, Soles CL. A facile method for the preferential alignment of mesochannels in silica films by solution flow. *Microporous Mesoporous Mater*. 2010; 131(1–3):136–40.
- [74] Klichko Y, Khashab NM, Yang YW, Angelos S, Stoddart JF, Zink JI. Improving pore exposure in mesoporous silica films for mechanized control of the pores. *Microporous Mesoporous Mater*. 2010; 132(3):435–41.
- [75] Hozumi A, Kimura T. Rapid micro patterning of mesoporous silica film by site-selective low-energy electron beam irradiation. *Langmuir*. 2008; 24(19):11141–6.
- [76] Robertson C, Lodge AW, Basa P, Carravetta M, Hector AL, Kashtiban RJ, et al. Surface modification and porosimetry of vertically aligned hexagonal mesoporous silica films. *RSC Adv*. 2016; 6(114):113432–41.
- [77] Ha TJ, Park HH, Jung SB, Ryu H, Yu BG. Investigation of the effect of calcination temperature on HMDS-treated ordered mesoporous silica film. *J Colloid Interface Sci*. 2008; 326(1):186–90.
- [78] Tagaya M, Kobayashi K, Nishikawa M. Additive effect of phosphoric acid on phosphorus-containing mesoporous silica film formation. *Mater Lett*. 2016; 164:651–4.
- [79] Hwang YK, Patil KR, Jung SH, Chang JS, Ko YJ, Park SE. Control of pore size and condensation rate of cubic mesoporous silica thin films using a swelling agent. *Microporous Mesoporous Mater*. 2005; 78(2–3):245–53.
- [80] Kruk, Michal. Access to ultra large-pore ordered mesoporous materials through selection of surfactant/swelling-agent micellar templates. *Accounts of Chemical Research*. 2011; 45(5): 1678-1687

# معرفی پایان نامه‌های دانشجویی

## پایان نامه دکتری

### بررسی خشونت سطحی و استحکام خمشی دیسک‌های پرسنی فلدسپاتیک پس از آماده سازی سطحی با غلظت‌های مختلف فسفریک اسید

دانشجو: محبوبه غیاث آبادی فراهانی

استاد راهنما: پگاه رادان

استاد مشاور: وحیده نظری

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اراک

**چکیده:** امروزه پرسلان‌های سرامیکی به طور گسترده‌ای در رستوریشن‌های قدامی دهان استفاده می‌شوند. به منظور تقویت باند بین این پرسلان‌ها و دندان، سطح دندان و پرسلان در معرض اسید قرار می‌گیرد (فرایند اسید اچ). رایج‌ترین ماده اچ کننده برای آماده سازی سطح پرسلان، هیدروفلوریک اسید است. به دلیل اثرات مضر هیدروفلوریک اسید بر سلامتی، فسفریک اسید به عنوان جایگزینی برای آن پیشنهاد شده است. از آنجا که مطالعات در مورد کارایی فسفریک اسید کافی نمی‌باشد، هدف از این مطالعه بررسی خشونت سطحی و استحکام خمشی دیسک‌های پرسلانی فلدسپاتیک پس از آماده سازی سطحی با غلظت‌های مختلف فسفریک اسید می‌باشد.

۶۰ دیسک پرسنی فلدسپاتیک به روش پودر و مایع تهیه شده و بر اساس روش آماده سازی نمونه‌ها به ۵ گروه ۱۲ تایی تقسیم شدند. در گروه اول (گروه کنترل) هیچ آماده سازی سطحی صورت نگرفت و سایر گروه‌ها تحت آماده سازی سطحی با روش‌های مختلف (اچ با هیدروفلوریک اسید ۵٪ برای ۶۰ ثانیه، اچ با هیدروفلوریک اسید ۵٪ برای ۱۲۰ ثانیه، اچ با فسفریک اسید ۳۷٪ برای ۵ دقیقه و اچ با فسفریک اسید ۶۰٪ برای ۵ دقیقه) قرار گرفتند. یک نمونه از هر گروه به منظور بررسی خشونت سطحی تحت اسکن میکروسکوپ الکترونی (آنالیز SEM) قرار گرفت و استحکام خمشی نمونه‌ها به وسیله Universal testing machine اندازه گیری شده و با یکدیگر مقایسه شد.

هیدروفلوریک اسید نسبت به فسفریک اسید به طور معناداری باعث کاهش بیشتر استحکام خمشی نمونه‌ها می‌شود. با افزایش غلظت فسفریک اسید تغییر چشمگیری در استحکام خمشی رخ نمی‌دهد. خشونت سطحی کلیه گروه‌های آماده سازی شده از گروه کنترل بیشتر است و هیدروفلوریک اسید سطحی خشن تر و با تخلخل بیشتر نسبت به فسفریک اسید ایجاد کرده است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، کاربرد فسفریک اسید ۶۰٪ در مقایسه با هیدروفلوریک اسید ۵٪ تاثیر منفی کمتری بر استحکام خمشی نمونه‌ها دارد و در عین حال خشونت سطحی قابل توجهی را نیز در سطح نمونه‌ها ایجاد نمی‌کند. بنابراین در صورت دستیابی به استحکام باند کافی توسط فسفریک اسید در غلظت و زمان بالا طی مطالعات آینده، ممکن است بتوان در آماده سازی‌های سطحی پرسلان، این اسید را جایگزین هیدروفلوریک اسید کرد که اسیدی مضر برای سلامتی می‌باشد.



## بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی زیرکونیوم نسبتا پایدار (PSZ) توسط افزودنی‌های نانو اکسیدی

دانشجو: حافظ الفراجی

استاد راهنما: محمد الماسی کاشی

استاد مشاور: شهاب احمد زیدان

دانشگاه کاشان

**چکیده:** اسپینل  $MgO-Al_2O_3$  (MAS) با ترکیب  $28/33 wt\%$  نانو اکسید منیزیم با  $71/7 wt\%$  نانوذرات اکسید آلومینیوم آماده شده است. در تضاد با آن میکرو ذرات  $Y_2O_3$  برای آماده سازی Y-PZT به زیرکونیوم اضافه شده است. ترکیب MAS با درصدهای وزنی متفاوت ( $5, 10, 15, 20, 25 wt\%$ ) به Y-PSZ اضافه شده است و پس از ترکیب کردن همگن، نمونه‌ها با فشار دادن محوری و پیچ خوردن در  $1550^\circ C$  و خیساندن به مدت چهار ساعت، تشکیل شدند. آنالیزهای شکست اشعه ایکس نشان می‌دهد که سه فاز (C و m,t) زیرکونیوم به عنوان نتیجه اضافه کردن MgO با شکل گیری MAS استخراج می‌شود. اضافه کردن درصدهای اضافی به MAS به افزایش اندازه بلور از  $34$  به  $38$  نانومتر و درعین حال کاهش کرنش شبکه از  $0.4\%$  به  $0.3\%$  منجر می‌شود، علاوه بر این اندازه دانه‌ها برای سطوح نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است و معلوم شده است که اندازه دانه‌ها از اندازه میکرو ( $> 0.6 \mu m$ ) به اندازه نانو ( $10.8 nm$ ) همراه با کاهش واضح در زبری سطح از  $6/5 nm$  به  $1 nm$  به دلیل اضافه کردن نانو MAS، کاهش یافته است. تمام خصوصیتی که در زیر اشاره شده است بر اساس اثر اندازه دانه بعنوان یک فاکتور مهم بحث شده است. اضافه نمودن MAS به کاهش در انقباض خطی از  $16/7\%$  به  $9/4\%$  منجر می‌شود و تخلخل پایین بود و بطور کلی با افزایش واضح در چگالی بالک از  $4/7 g/cm^3$  به  $5/9 g/cm^3$ ، از  $4\%$  به  $2/5\%$  کاهش می‌یابد. قدرت قطری به علت افزودن MAS از  $79/3$  به  $97/1 MPa$  افزایش یافته است رابطه بین قدرت و (اندازه دانه)  $1/2$  به معادله هال-پیتچ بستگی دارد. کاهش مدول‌های یانگ از  $231$  به  $188 GPa$  نیز نشان دهنده از دست دادن شکنندگی به دلیل اضافه نمودن MAS می‌باشد. اضافه نمودن MAS دارای اثر معکوس بر روی شکنندگی سختی است هنگامی که از  $12/4$  به  $9/1 MPa.m^{1/2}$  کاهش می‌یابد. خواص گرمایی بصورت روشن بوسیله خصوصیات ساختاری MAS تاثیر گذارند. رسانش گرمایی و انتشار گرمایی به میزان اندک به ترتیب از  $5/7$  به  $5/5 W/m.K$  و از  $2/5$  به  $1/5 mm^2/s$  کاهش یافته است. ظرفیت گرمایی از  $483$  به  $615 J/kg.K$  افزایش یافته است و ضریب انبساط گرمایی از  $10$  به  $7/5$  و از  $10$  به  $1-C$  به دلیل سازگاری با ضریب انبساط گرمایی اکسیدهای (Y-PSZ)-MAS، افزایش یافته است.

## پایان نامه کارشناسی ارشد

### ایجاد و ارزیابی ریز ساختار و خواص مکانیکی پوشش‌های سرامیکی فسفاتی بر فولاد

دانشجو: عرفان احمد پورشریفی

استاد راهنما: فرهاد شهریاری نوگورانی

دانشگاه صنعتی شیراز

**چکیده:** پوشش آلومینیوم-سرامیک نوعی از پوشش‌های کامپوزیتی فلز-سرامیکی است که ترکیبی مناسب از خواص تریبولوژیک، حفاظت گالوانیک و صافی سطح دارد. در این تحقیق برای آماده سازی پوشش آلومینیوم سرامیک، ابتدا محلول پیونددهنده آماده شد سپس ذرات آلومینیوم و ذرات آلومینا به عنوان تقویت کننده خواص مکانیکی پوشش به محلول اضافه شدند. پس از آماده شدن محلول دوغابی، اعمال پوشش به روش پاشش بر زیرلایه‌های فولاد زنگ نزن مارتنزیتی انجام گرفت. عملیات پخت پوشش‌ها پس از پیش گرم مناسب در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  انجام شد. همچنین به منظور مقایسه پوشش آلومینایدی، به همراه پوشش رویی سرامیکی از جنس محلول پیونددهنده بر زیر لایه فولاد زنگ نزن اعمال شد. ارزیابی ریزساختاری به کمک میکروسکوپ نوری و الکترونی و نیز آنالیز شیمیایی به روش طیف-سنجی پراکندگی انرژی و آنالیز فازی به روش پراش پرتو ایکس نشان داد پوشش آلومینیوم-سرامیک دارای ذرات آلومینیوم در زمینه فاز سرامیکی پایه فسفاتی است که پس از کوبش این ذرات به هم متصل شده و رسانایی پوشش تأمین می‌شود. آزمون زبری سنجی نشان داد در صورت تنظیم صحیح مقدار پودر تقویت کننده و اعمال پوشش رویی می‌توان زبری سطح را تا حدود  $0.7\mu\text{m}$  کاهش داد. آزمون خمش، جدایی پوشش‌ها از زیرلایه را نشان نداد. آزمون چسبندگی به روش استحکام کششی پوشش نشان داد هر سه پوشش استحکام بالاتر از  $50\text{MPa}$  دارند. ارزیابی مقاومت حرارتی پوشش‌ها به مدت یک هفته در  $530^{\circ}\text{C}$  تغییر جرم محسوسی را نشان نداد. آزمون تخریب‌پذیری در اسید و بازهای صنعتی در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  نشان داد پوشش‌ها قادرند مقاومت بالایی از خود در برابر مواد خوردنده نشان دهند. ترشوندگی سطح پوشش‌ها با آب تصویربرداری شد که نشان داد نمونه‌های پوشش‌آب‌گریز نیست. در آزمون شوک حرارتی از  $530^{\circ}\text{C}$  به درون آب تا  $20^{\circ}\text{C}$  چرخه در نمونه‌ها تخریبی مشاهده نشد. سنجش ریزسختی نشان داد با تغییر در فاز تقویت‌کننده پوشش آلومینیوم-سرامیک با افزودن آلومینا می‌توان سختی پوشش را افزایش داد. آزمون‌های خوردگی الکتروشیمیایی به روش پلاریزاسیون تافل نشان داد هر دو پوشش قابلیت حفاظت گالوانیک از زیرلایه فولادی را دارند.

# اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران

## اعضای حقوقی ویژه انجمن سرامیک ایران

### شرکت یویا همراه سرام (بازرگانی



#### و مهندسين مشاور)

مدیرعامل: مهندس محسنی طارمسری  
آدرس دفتر مرکزی: تهران،  
تهرانپارس، خیابان رشید، نبش خیابان ۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر،  
طبقه ۲، واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸  
نشانی سایت: [www.phceram.com](http://www.phceram.com)

### روکا سرام یزد



مدیرعامل: مهندس خیاط  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان شهید  
بهشتی، خیابان سرافراز، کوچه دوازدهم، پلاک ۱۶  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۱۰۵۱۰۰۰  
نشانی سایت:

[www.rokaceram.com](http://www.rokaceram.com)

### شرکت لیمون چینی آراد

مدیرعامل: مهندس مسعود ایمانی  
آدرس کارخانه: مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز یک، بلوار صنعت،  
نبش صنعت ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۵۴۱۲۴۲۴  
نشانی سایت: [www.lemonporcelainarad.ir](http://www.lemonporcelainarad.ir)

### شرکت سهامی شیشه قزوین (عام)



مدیرعامل: مهندس محمدرضا  
علاقبندیان  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان  
استاد مطهری، خیابان شهید سرافراز،  
پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۳۱۵۱۵  
نشانی سایت: [www.ghazvinglass.com](http://www.ghazvinglass.com)

### لعابیران



مدیرعامل: دکتر نعمتی  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک،  
خیابان گاندی شمالی، کوی شهید صانعی،  
شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۵۱۴۱-۲  
نشانی سایت: [www.loabiran.com](http://www.loabiran.com)

### گروه پاترون (پات روشن



#### نیکتا)

مدیرعامل: مهندس عباس  
کلانتر  
آدرس: تهران، خیابان ملاصدرا، پلاک ۱۶۲، طبقه چهارم  
تلفن: ۰۲۱-۸۸۲۱۰۸۹۰

نشانی سایت: [www.patron.group](http://www.patron.group)

### Glassworks Hounsell Ltd

مدیرعامل:  
Mr. William Brinkman  
آدرس دفتر مرکزی: Glassworks Hounsell, Park Lane,  
Halesowen, West Midlands, United Kingdom  
تلفن دفتر مرکزی:

۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۰۶



فاکس: ۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۱۳۶

نشانی سایت:

[www.glassworkshounsell.co.uk](http://www.glassworkshounsell.co.uk)

## اعضای حقوقی ممتاز انجمن سرمایه‌گذاران ایران

دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مدیریت: دکتر متین

آدرس: دزفول، کوی آزادگان، دانشگاه آزاد اسلامی

تلفن دفتر مرکزی:

۰۶۴-۱۶۲۲۰۹۰

نشانی سایت:

www.iaud.ac.ir

چینی بهداشتی آرمنیاز

مدیرعامل: مهندس محمدحسین وکیلی مقدم

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، پاساژ تک،

طبقه دوم، آپارتمان شماره ۷

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۷۹۰۲۲۷

نشانی سایت: www.armitagesw.com

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات خوزستان

مدیریت: دکتر لک

آدرس: اهواز، سهراب فرودگاه، دانشگاه آزاد

واحد علوم و تحقیقات

تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱-۳۴۴۵۷۱۷۴

نشانی سایت: www.khouzestan.srbiau.ac.ir

شایراد تجارت پارس

مدیرعامل: مهندس اتحادی

آدرس: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان فرزاد غربی، پلاک ۸۰ واحد

۱۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۴۸۳۱۰

نشانی سایت: www.shyrad.com

کاشی فیروزه مشهد

مدیرعامل: مهندس مسعود فولادکار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار سجاده، خیابان بیستون ۲، مجتمع

تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶

صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۷۶۷۰۰۰۱

نشانی سایت: www.firoozehtile.com

شرکت دانش بنیان شیمیایی درفش کاویان راد

مدیرعامل: دکتر مهدی احمدی

آدرس دفتر مرکزی: کیلومتر ۴۰

جاده مشهد، فریمان، شهرک

صنعتی کاویان، فاز یکم، خیابان

صنعت ۱۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۴۶۹۳۵۸۴

کاشی گرانبیت و کاشی لعاب زهره

مدیرعامل: مهندس طلوعی

آدرس دفتر مرکزی: خراسان رضوی، کاشمر، کیلومتر ۱۲ محور

کاشمر به مشهد، جنب

شهرک صنعتی، شرکت کاشی

زهره کاشمر

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۵۵۳۸۳۵۹۱

نشانی سایت: www.zohrehtile.com

کاشی کسری

مدیرعامل: مهندس روشنفکر

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان ناهید شرقی، پلاک ۱۲، طبقه ۳ و ۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۰۱۴۰

نشانی سایت:

www.kasratileco.com

فرآورده‌های نسوز آذر

مدیرعامل: مهندس سلیمانی فرد

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی،

کوچه ساعی ۲، روبروی مدرسه پسرانه هاتف، پلاک ۳۱، واحد منفی ۱

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۸۸۲۰۹۵

نشانی سایت:

www.azarref.ir

فرآورده‌های نسوز ایران

مدیرعامل: مهندس لقمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان بهار شیراز، خیابان سلیمان

خاطر، بعد از ملایری پور، پلاک ۵۱، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۴۳۴۰۸

نشانی سایت: www.irefco.ir





## اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران

## آپادانا سرام

مدیر عامل: مهندس نجفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ملاصدرا، روبروی بیمارستان بقیه‌الله،

کوچه گلدهشت، گلدهشت یکم، پلاک ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۴۳۱۰۰۰۰

نشانی سایت: www.apadanaceram.com



## آریا تهران سرام

مدیر عامل: محمد علی سلیمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیرازی

جنوبی، خیابان اتحاد، پلاک ۴، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۹۶۱۰

## اشکان پارت آفرین

مدیر عامل: دکتر غفاری

آدرس دفتر مرکزی: کرج، گلشهر ویلا رودکی

غربی، پلاک ۲۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۶-۳۶۶۷۰۸۳۶



## ایران ایمدی

مدیر عامل: مهندس مطلب لو

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان شیراز شمالی، نیش کوچه

شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱

نشانی سایت: www.imdco.net



## پارس کائولن

مدیر عامل: مهندس صمدی

آدرس: طیس، نرسیده به جو خواه،

معدن کائولن پارس

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۵۵۷۳

نشانی سایت: www.parskaolin.com



## پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

مدیریت: دکتر رنجبر

آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه

صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان

وفامش، نیش کوچه شمس، پلاک ۵۹

تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴

نشانی سایت: www.icrc.ac.ir



## پژوهشگاه مواد و انرژی

مدیریت: دکتر صالحی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین،

انتهای خیابان الوند، کوچه جوبین، پلاک ۱۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷

نشانی سایت: www.merc.ac.ir

پژوهشگاه  
مواد و انرژی

## پیشرو ذوب اتور

مدیر عامل: مهندس ملایی داریانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان احمد

قصیر، کوچه یکم، پلاک ۶، واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۴۹۸۸۴

نشانی سایت: www.pishrozob.com



## پیشگامان سرامیک برسام

مدیر عامل: مهندس سرجهانی

آدرس دفتر مرکزی: شیراز، بلوار امیرکبیر برج صنعت

ورودی ۳، طبقه ۴، واحد ۴۱۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۳۸۳۸۵۴۴۴

نشانی سایت: www.barsamceram.com

برسام  
شرکت پیشگامان سرامیک

## تولیدی و صنعتی سامان کاشی

مدیر عامل: مهندس سیدمحسنی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد،

بین نفت و مدرس، شماره ۲۳۷، طبقه ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۵۸۸۲۱

نشانی سایت: www.samantile.com

سامان کاشی  
SAMAN TILE

**تولیدی و مهندسی نسوزین**

تولیدی و مهندسی نسوزین

مدیر عامل: مهندس زرعیان  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان  
آرژانتین، خیابان بیهقی، خیابان دوازدهم  
شرقی، پلاک ۲، طبقه ۳، شماره ۶  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۰۴۵۹۱  
نشانی سایت: [www.nasoozin.com](http://www.nasoozin.com)

**تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده**

مدیر عامل: مهندس زارعی  
آدرس دفتر مرکزی: آباده، چهارراه جوادیه  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۴۴۳۳۷۹۹۷

**تهیه و تولید مواد اولیه آریاکانی اسپادانا**

مدیر عامل: دکتر پویامهر  
آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان ملاصدرا، خیابان پانزدهم،  
پلاک ۳۴، واحد ۳  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۱۷۵۳۷-۸

**تهیه و تولید مواد نسوز کشور**

مدیر عامل: مهندس باقری  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، یوسف آباد،  
خیابان ابن سینا، نبش خیابان ۳۱،  
شماره ۸۲  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۱۲۵۶۲  
نشانی سایت: [www.irrep.com](http://www.irrep.com)

**چینی اصفهان**

مدیر عامل: مهندس جهانبانی  
آدرس: اصفهان، جاده دولت آباد، خیابان بهارستان، اولین فرعی سمت  
چپ، خیابان خوشانی  
تلفن دفتر مرکزی:  
۰۳۱-۴۵۸۳۶۲۰۰

**چینی بهداشتی ارس**

مدیر عامل: مهندس حسین پور  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی، میدان  
شیخ بهایی، برج صدف، طبقه ۴، واحد ۶۴  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۰۶۵۰۸  
نشانی سایت: [www.arasind.com](http://www.arasind.com)

**چینی زرین ایران**

چینی زرین ایران

مدیر عامل: مهندس قصاعی  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک،  
خیابان ونک، ساختمان شماره ۲۵  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۰۰۴۴  
نشانی سایت: [www.zariniran.com](http://www.zariniran.com)

**خاک چینی ایران**شرکت صنایع  
خاک چینی ایران

مدیر عامل: مهندس نوروزی  
آدرس دفتر مرکزی: خیابان ولیعصر، نرسیده به  
پل پارک وی، کوچه خاکزاد، پلاک ۲۱، طبقه اول  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۸۱۰۷

**دانشگاه ملایر**

مدیریت: دکتر علیرضا سوری  
آدرس: دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی،  
گروه مهندسی مواد  
تلفن: ۰۸۱-۳۲۳۵۵۴۶۵  
نشانی سایت: [www.malayeru.ac.ir](http://www.malayeru.ac.ir)

**درسا سرام ایساتیس**

مدیر عامل: مهندس ندافیان  
آدرس دفتر مرکزی: سعادت آباد، بلوار فرهنگ، نبش خیابان ۲۰  
شرقی، پلاک ۲، طبقه ۴ شمالی  
تلفن: ۰۲۱-۲۲۳۸۳۱۶۰  
نشانی سایت: [www.Doramic.com](http://www.Doramic.com)

**رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام**

مدیر عامل: مهندس مهبنی  
آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضرآباد، بلوار اقاچیا،  
خیابان زیتون  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵-۳۷۲۷۲۴۴۸

**سارا کاشی سپاهان**

مدیر عامل: مهندس باطنی  
آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان  
سجاد، ابتدای خیابان ارباب، جنب بانک  
صادرات، مجتمع کسری، واحد ۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱-۳۶۶۲۷۱۱۷  
نشانی سایت: [www.saratile.com](http://www.saratile.com)



### ساگار و قطعات نسوز

مدیرعامل: مهندس معرفتی

آدرس: مرند، کیلومتر ۵ جاده قدیم جلفا،  
شهرک صنعتی سرامیکی  
تلفن: ۰۴۱-۴۲۲۲۳۸۲

نشانی سایت: [www.saggarmfg.com](http://www.saggarmfg.com)



### سارا لعاب میبد

مدیرعامل: مهندس جعفری پور میبدی  
آدرس دفتر مرکزی: میبد، شهرک  
صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن شمالی  
صنعت ۵

کد پستی: ۸۹۶۵۱۳۶۴۹۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵-۲۷۷۷۲۲۲۸

نشانی سایت: [www.saralaab.com](http://www.saralaab.com)



### شرکت ذوب و نسوز ایرانیان

مدیرعامل: میثم محامی

آدرس: تهران، خیابان شهید رجایی، نرسیده به ایستگاه مسجد مادر،  
نیش کوچه ۷۳، پلاک ۷۷  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۵۵۰۱۹۵۳۹  
نشانی سایت: [www.zobiranco.com](http://www.zobiranco.com)

### سرامیک‌های صنعتی اردکان

مدیرعامل: مهندس برهانی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان،  
میدان آزادی، ابتدای خیابان  
سعادت آباد، پلاک ۱، طبقه ۴، واحد ۸  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱-۳۶۶۸۷۷۷۲  
نشانی سایت: [www.aic.ir](http://www.aic.ir)



### شرکت فیبرونا

مدیرعامل: مهندس شاهپوری



آدرس دفتر مرکزی: تهران،  
خیابان میرزای شیرازی، نیش استاد  
مطهری، شماره ۲۱۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۲۳۳۵۵  
نشانی سایت: [www.fiberona.com](http://www.fiberona.com)

### شرکت صنایع سرام آرا

مدیرعامل: مهندس آهنی‌ها



آدرس دفتر مرکزی: تهران،  
خیابان شهید قرنی، بالاتر از چهارراه طالقانی، خیابان شاداب غربی،  
پلاک ۳۳، طبقه ۶  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۹۱۰۴۵  
نشانی سایت: [www.ceramara.ir](http://www.ceramara.ir)



### صنایع کاشی زرین خراسان

مدیرعامل: مهندس عمید متشع

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان  
ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، پلاک ۹۹،  
طبقه اول  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۶۷۶۸۱  
نشانی سایت: [www.zarrintile.com](http://www.zarrintile.com)

### شرکت مهندسی بازرگانی

درداران سریر



مدیرعامل: مهندس طهماسبی  
آدرس دفتر مرکزی: تهران،  
خیابان ولیعصر، خیابان فتحی شقاقی، میدان سلماس، پلاک ۳، طبقه  
۳  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۷۳۶۶-۸  
نشانی سایت: [www.sarirco.com](http://www.sarirco.com)

### صنایع کاشی و سرامیک

الوند



مدیرعامل: مهندس هوشیاری  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقا، بالاتر از چهارراه  
اسفندیار، کوچه شهید سعیدی، پلاک ۲۳  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۵۷۸۱۱  
نشانی سایت: [www.alvancer.com](http://www.alvancer.com)



### صنایع کاشی نیلوفر

مدیرعامل: مهندس نوربخش

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار  
فردوسی، مجتمع تجاری اسکان، طبقه ۱،  
واحد ۲  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۷۶۲۳۳۳۶  
نشانی سایت: [www.nilooftile.com](http://www.nilooftile.com)

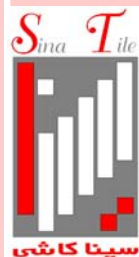


### صنعت سرام

مدیرعامل: مهندس غفاری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۶۲ واحد ۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹



### صنایع کاشی و سرامیک سینا

مدیرعامل: مهندس عزیزیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بعد از میدان مادر، پلاک ۲۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۷۲۳۰۱

نشانی سایت: [www.sinatile.ir](http://www.sinatile.ir)

### فرآورده‌های نسوز پاریس

مدیرعامل: مهندس حیدرپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، برج آیین ونک، طبقه ۷، واحد ۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۶۹۲

نشانی سایت: [www.pars-ref.ir](http://www.pars-ref.ir)

### فرآورده‌های نسوز آذر شهاب تبریز

مدیرعامل: مهندس صدیقی

آدرس دفتر مرکزی: تبریز، خیابان راه آهن، ایستگاه سرچشمه، مجتمع تجاری میلاد، طبقه ۳، آذر شهاب تبریز واحد ۳۰۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۴۱-۳۵۵۱۸۴۴۱

نشانی سایت: [www.azarshahab.com](http://www.azarshahab.com)



### کاشی تیما

مدیرعامل: دکتر ناصری

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز ۲، اندیشه ۲، انتهای دانش ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۵۴۱۳۹۹۰

نشانی سایت: [www.tima-tile.com](http://www.tima-tile.com)



### کائولین و خاک‌های نسوز خراسان

مدیرعامل: مهندس زیارت نیا

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۴، پلاک ۲۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۷۶۷۳۰۳۴-۵

نشانی سایت: [www.kaolin-co.com](http://www.kaolin-co.com)



### کاشی طوس

مدیرعامل: مهندس توکلی فرد

آدرس دفتر مرکزی: مشهد،

خیابان سناباد، جنب داروخانه سناباد، ساختمان ۴۶۵، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۳۸۴۱۶۴۱۸

نشانی سایت: [www.toostileco.com](http://www.toostileco.com)



### کاشی ستاره مید

مدیرعامل: مهندس خالقیه

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیراز جنوبی، گرمسار غربی، کوچه بهار، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۴۷۴۴

نشانی سایت: [www.setarehtile.com](http://www.setarehtile.com)



### کاشی مرجان

مدیرعامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه کاویان، پلاک ۴۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱-۳۶۲۴۸۰۱۹

نشانی سایت: [www.marjantileco.com](http://www.marjantileco.com)



### کاشی کورد

مدیرعامل: مهندس چنگیزی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سهروردی شمالی، هویزه شرقی، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۳۵۲۳۳۳۳

نشانی سایت: [www.cordgroup.com](http://www.cordgroup.com)



### کاشی نوآوران

مدیرعامل: مهندس طباطبایی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، مید، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم

تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۱۹۳

نشانی سایت: [www.noavarancermics.ir](http://www.noavarancermics.ir)



### کاشی مسعود ایران

مدیرعامل: مهندس فرشادپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقای شمالی، ساختمان مرکز تجارت ایران، طبقه ۹، واحد ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۶۲۱۲۶۳۵-۳۷

نشانی سایت: [www.masoudtile.com](http://www.masoudtile.com)





شرکت گلسار فارس

**گلسار فارس**

مدیر عامل: دکتر ترابیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان کریم‌خان  
زند، خیابان سپهبد قرنی، خیابان برادران شاداب،  
پلاک ۳۳، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۰۸۰۴۴

نشانی سایت: [www.golsarfars.com](http://www.golsarfars.com)**کسری لعاب میبد**

مدیر عامل: مهندس میرحسینی

آدرس: یزد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم، فرعی سمت راست  
تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۹۳۱

**لعاب مشهد**

مدیر عامل: دکتر یوسفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان  
ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، کوچه اتحاد، پلاک ۱۴، طبقه ۲  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۳۶۹۶

نشانی سایت: <http://www.mashhadglaze.com>**لعاب مارال میبد**

مدیر عامل: دکتر داود قهرمانی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، میبد،  
شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار  
نسترن شمالی، خیابان صنعت ۹

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵-۳۲۳۷۴۰۹۶-۷

نشانی سایت: [www.marallob.ir](http://www.marallob.ir)**مجتمع تولید چینی بهداشتی نوین سرام**

مدیر عامل: مهندس حقی



آدرس دفتر مرکزی: مشهد، چهارراه  
ابوطالب، مجتمع برجیس، طبقه دوم، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۱۷۲۷۶۰۳۳

نشانی سایت: [www.novinceram.com](http://www.novinceram.com)**لعاب یاس فارس**

مدیر عامل: مهندس کریمی علویچه

آدرس: شیراز، کیلومتر ۳ جاده شیراز بوشهر، بعد از پل شهید علیپور،  
جاده ایستگاه شماره ۱ گاز

تلفکس: ۰۷۱۳-۸۳۰۱۹۹۰

**مجتمع صنعتی اردکان (چینی رز)**

مدیر عامل: مهندس ضرابیه



آدرس دفتر مرکزی: یزد، چهارراه یزد  
باف، ساختمان یزدباف، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۵۲۲۹۷۶۰

نشانی سایت: [www.chinirose.com](http://www.chinirose.com)**مجتمع تولیدی چینی مقصود**

مدیر عامل: مهندس ایمانی



آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان  
ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی، نبش

کوچه ۳۴، پلاک ۱۱۵۹، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۸۶۹۸۵

نشانی سایت: [www.maghsoudporcelain.com](http://www.maghsoudporcelain.com)**معدنی و صنعتی سوراوچین**

عقیق

مدیر عامل: دکتر گنجی



شرکت معدنی و صنعتی سوراوچین عقیق

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سعادت  
آباد، خیابان علامه شمالی، انتهای کوچه  
اقبال ملی، پلاک ۱، واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳

نشانی سایت: [www.iranclay.com](http://www.iranclay.com)**مجتمع کارخانجات تولیدی**

توس چینی

مدیر عامل: مهدی کامران نجار



آدرس دفتر مرکزی: مشهد،  
ضلع غربی میدان احمدآباد، پلاک ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۸۸۰

نشانی سایت: [www.toosporcelain.com](http://www.toosporcelain.com)

مفید شیشه

مدیر عامل: مهندس موسوی کریمی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ولیعصر، پایین تر از میدان ونک، شماره

۲۵۴۰، طبقه ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۶۴۸۱۱

نشانی سایت: [www.mofidglass.com](http://www.mofidglass.com)مقره سازی ایران

مدیر عامل: دکتر کورنگی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان بهار جنوبی، کوچه

نیلوفر، شماره ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۵۲۸۶۴۲

نشانی سایت: [www.iraninsulator.com](http://www.iraninsulator.com)شرکت مقره سازی ایران  
«مانه»  
Iran Insulator Co.مهفام جام (سهامی خاص)

مدیر عامل: مهندس دهقان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان احمد قصیر،

چهاردهم غربی، پلاک ۲۶، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۱۵۰۱۵

## تقویم رویدادهای سرامیک

اولین کنفرانس بین‌المللی و چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن

دانشگاه شهید چمران - اهواز

۶ اسفند ۱۳۹۹

[www.3mconf.ir](http://www.3mconf.ir)

هفتمین کنفرانس بین‌المللی مواد کامپوزیتی: ساخت، خواص و کاربرد

دانشگاه صنعتی سهند

۳-۴ دی ۱۳۹۹

[ccfa7\[at\]sut.ac.ir](mailto:ccfa7@sut.ac.ir)

**PIEZO2021: Piezoelectrics for End Users XI**

Italy

February, 21-21 2021

<https://www.piezo2021.org>

**International Conference on Sintering 2021**

Japan

March, 27-31 2021

<https://www.Sintering 2021.org>

**REFRA PRAGUE 2021**

Prague, Czech Republic

April, 7-9 2021

<http://www.silikaty.cz/www-30-refra-prague-2021>

**XVII ECerS Conference**

Germany

August 29, September 2 2021

[www.ecers2021.org](http://www.ecers2021.org)

**8th International Congress on Ceramics (ICC8)**

Busan, Korea

April, 25-30 2021

<http://www.icc8.org>