

### هیأت تحریریه:

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

### گروه مشاوران:

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



سال دهم، شماره پنجم و چهارم

۱۳۹۷ تابستان

ISSN: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

«با درجه علمی ترویجی»

صاحب امتیاز: انجمن سرامیک ایران

مدیر مسئول: دکتر مسعود محبی

سردیبیر: دکتر علیرضا سوری

مدیر اجرایی: سعیده علیشاھی

گردآوری مطالب: محبوبه پیریانی

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 صفحه‌آرایی: تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر مترجمان و نویسندهان انجام

می‌شود. مسئولیت محتوای مقالات به عهده نویسندهان و مترجمان

است. مطالب ارسالی برگردانده نمی‌شود.

# فهرست مطالب:

## تازه‌ها

### خبر انجمن سرامیک ایران

گزارش بیست و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی و سرامیک

صاحبه با دکتر نعمتی (مدیر عامل شرکت لعایران)

صاحبه با دکتر یوسفی (مدیر عامل گروه کارخانجات لعاب مشهد)

اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی

به کارگیری ضایعات سرامیکی در صنایع ریخته‌گری و سرامیک

فعالیت کارخانه کاشی «سرام نگار» با ۱۰۰ کارگر از سر گرفته‌شد.

کارخانه تعطیل شده کاشی در اراک دوباره بازگشایی شد / با استفاده از روش ...

ایجاد پوشش شفاف سرامیکی ضدخشش با روش PVD روی فلزات گرانها

کاشی و سرامیک ایران کالای محبوب بازار پاکستان است.

## اخبار علمی

### تولید نانوداربست‌های استخوانی هیدروژلی با فناوری نانو

ساخت باتری با فلز مایع

تولید نخ‌های نانویی برای بهبود سوخت‌وساز بدن

ساخت داربست‌های استخوانی با یو نانوکامپوزیتی با استفاده از چاپگرهای سه بعدی

پوشش‌های سرامیکی سفرهای فراصوت را ممکن می‌سازند و زمان سفر را کاهش ...

## مقالات مروری

مروری بر تاثیر افزودنی‌های TiC و TiB<sub>2</sub> بر سینترپذیری و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های ...

افزایش مقاومت به خوردگی فلزات توسط پوشش‌های فوق آبگریز خودتمیزشونده

مروری بر انواع جاذب‌های رادار در کامپوزیت‌های پلیمری با تقویت کننده کربنی در ...

هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیوم: مروری بر ساختار، روش‌های ساخت و ...

## مقالات پژوهشی

### اثر نسبت CeO<sub>2</sub> بر رفتار خوردگی پوشش نانو ساختار CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>

## تازه‌های نشر

### معرفی پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی

### لیست اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران

### تقویم رویدادهای سرامیک

# أخبار انجمن سرامیک ایران

**گزارش بیست و پنجمین نمایشگاه بینالمللی کاشی و سرامیک**

**۱۳۹۷ الی ۲۲ تیر ماه ۱۹**



بیست و پنجمین نمایشگاه بینالمللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی در تاریخ ۱۹ الی ۲۲ تیر ماه از ساعت ۱۰ صبح تا ۱۸ با حضور مقامات وزارت صنعت، معدن و تجارت، تعدادی از نمایندگان مجلس، مقامات اتاق بازرگانی ایران و روسای انجمن‌های مرتبط در محل دائمی نمایشگاه‌های بینالمللی تهران توسط دکتر رحمانی قائم مقام وزیر صنعت، معدن و تجارت افتتاح شد و ده‌ها شرکت داخلی و خارجی از ایران و دیگر کشورهای جهان، توانمندی و تولیدات خود را به نمایش گذاشتند. در این نمایشگاه محصولات مختلف در گروه‌های کالایی کاشی و سرامیک ماشین آلات و تجهیزات چینی بهداشتی رنگ و لعاب مواد اولیه شیرآلات سرویس‌های بهداشتی به نمایش گذاشته شد و تجار، انبوه سازان، مهندسان و طراحان با طرح‌های جدید و آخرین دستاوردهای صنعت کاشی و

سرامیک کشور آشنا شده، بازارهای جدید صادراتی و ظرفیت‌های بالقوه این صنعت معرفی گشتند و زمینه برنامه‌ریزی برای حل مشکلات و ایجاد بسترها مناسب برای سرمایه‌گذاری و کارآفرینی در این صنعت فراهم آمد. نمایشگاه امسال با حضور بیش از ۲۰۰ شرکت داخلی و خارجی و با محوریت حمایت از کالای ایرانی برگزار شد.

رضا رحمانی، معاون طرح و برنامه وزیر صنعت، معدن و تجارت در حاشیه بیست و پنجمین نمایشگاه بینالمللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی در مصاحبه با خبرنگار خبرگزاری صدا و سیما گفت: صنعت کاشی و سرامیک در کشور از نظر ظرفیت تولید رتبه چهارم در جهان را دارد. وی افزود: این صنعت می‌تواند تمام نیاز داخل را تامین کند و سال گذشته ۱۵۰ میلیون متر مربع صادرات نیز صورت گرفته است. رحمانی با بیان اینکه امسال قصد داریم این میزان تولید و صادرات را افزایش دهیم گفت: برنامه دولت حمایت جدی از تولید و ایجاد بازار مصرف و صادرات به ویژه در کشورهای همسایه است.



افتتاح بیست و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی و سرامیک با حضور اقای دکتر رحمانی قائم مقام وزیر صنعت معدن و تجارت وی افروز؛ در این مسیر تشكل‌های بخش خصوصی محور کار هستند ضمن اینکه رایزنی‌ها و سفارت‌های کشور و سازمان توسعه تجارت نیز در این زمینه همکاری می‌کنند.

معاون وزیر صنعت گفت: دستور کار وزارت صنعت و دستور ویژه وزیر صنعت، معدن و تجارت حمایت از صادرات به ویژه در صنایعی مثل کاشی سرامیک و سیمان است که در آن‌ها مزیت داریم.

بنا بر این گزارش، محمد روشنفر رئیس انجمن کاشی و سرامیک نیز در مصاحبه با خبرنگار خبرگزاری صدا و سیما با بیان اینکه بیش از ۵۰۰ میلیون متر مربع ظرفیت نصب شده در این صنعت داریم بر ضرورت حمایت از تولید ملی در شرایط اقتصادی کشور تاکید کرد. وی افروز افزایش تعریف برخی مواد اولیه مورد نیاز صنعت کاشی و سرامیک با توجه به بسته ارزی اخیر دولت یکی از مشکلات عمدۀ این صنعت است که ورود و تهیه مواد اولیه را بسیار دشوار کرده است که امیدواریم بتوانیم این موضوع را حل کنیم.

بهنام عزیززاده رئیس ستاد اجرایی بیست و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک گفت: نمایشگاه امسال با محوریت حمایت از کالای ایرانی برگزار می‌شود و بر این اساس تلاش کردیم شرکت‌های داخلی نسبت به سال‌های گذشته حضور مؤثرتری در نمایشگاه داشته باشند. وی اضافه کرد: این نمایشگاه در فضایی به مساحت حدود ۳۰ هزار متر مربع، در ۷ گروه کالایی؛ کاشی و سرامیک، ماشین آلات و تجهیزات، چینی بهداشتی، رنگ و لعاب، مواد اولیه، پخت سوم و شیرآلات، سرویس‌های بهداشتی، شرکت‌های بازرگانی پخش کاشی و نشریات مرتبط و در ۱۲ سالن نمایشگاهی محل دائمی نمایشگاه بین‌المللی تهران برگزار شد.

رئیس ستاد اجرایی بیست و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک با بیان اینکه این نمایشگاه بزرگترین نمایشگاه کاشی و سرامیک کشور است، گفت: بیست و پنجمین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی تهران فرصت مغتنمی است تا تجار، انبوه سازان، طراحان، مهندسان، معماران و کاربران و همچنین دانشجویان رشته سرامیک بتوانند با طرح‌های جدید و آخرین دستاوردهای تولید کاشی و سرامیک و آشنا شوند.

شناسایی بازارهای جدید صادراتی، افزایش صادرات، معرفی ظرفیت‌های بالقوه و بالفعل این بخش صنعتی کشور، برنامه‌ریزی برای حل مشکلات، موانع و نقاط ضعف موجود این صنعت، ایجاد بسترها مناسب برای سرمایه‌گذاری‌های داخلی و خارجی، ایجاد زمینه اشتغال و کارآفرینی، آشنایی دست اندر کاران با محصولات، نوآوری‌ها و ظرفیت‌های موجود، ایجاد فضای رقابتی سالم میان تولیدکنندگان داخلی برای ارتقاء کیفیت تولید و ایجاد ارتباط مستقیم میان تولیدکنندگان و مصرف کنندگان مهمترین اهداف برگزاری این نمایشگاه بود.

انجمن سرامیک ایران نیز در این نمایشگاه با ارائه فعالیت‌ها و انتشارات و عضوگیری، حضوری فعال در این نمایشگاه داشت. همچنین پوستر دوازدهمین کنگره سرامیک ایران در غرفه انجمن رونمایی شد و اطلاعات جهت شرکت در کنگره در اختیار بازدیدکنندگان قرار گرفت. اعضای هیئت مدیره انجمن سرامیک ایران و اعضای حقیقی و حقوقی نیز ضمن بازدید از نمایشگاه، با حضور در غرفه انجمن، در مورد فعالیت‌های انجمن نظراتی را ارایه نمودند.



آقای دکتر رحمانی قائم مقام وزیر صنعت معدن و تجارت، مهندس روشنفکر رییس هیات مدیره انجمن سرامیک ایران و انجمن تولیدکنندگان کاشی و سرامیک و مهندس عزیززاده دبیر اجرایی انجمن صنفی در بیست و پنجمین نمایشگاه بین المللی کاشی و سرامیک



حضور مهندس روشنفکر رییس هیات مدیره انجمن سرامیک ایران و انجمن تولیدکنندگان کاشی و سرامیک و مهندس عزیززاده دبیر اجرایی انجمن صنفی در غرفه انجمن سرامیک ایران



حضور آقای دکتر سرپولکی در غرفه انجمن سرامیک ایران



حضور اعضای هیات مدیره انجمن در غرفه انجمن سرامیک مهندس سالاریه - مهندس طارمی - مهندس منظوری



حضور هیات مدیره شرکت ساکمی در غرفه انجمن سرامیک ایران



حضور آقایان دکتر محبی عضو هیات مدیره انجمن و مهندس اقبالی



حضور مهندس مهینی مدیر عامل شرکت رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام عضو حقوقی انجمن سرامیک ایران در غرفه انجمن

تعدادی از اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران از جمله شرکت آپاداناسرام، درامیک، شرکت رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام، شرکت شایراد تجارت پارس، شرکت صنایع خاک چینی ایران، صنایع کاشی و سرامیک الوند، کاشی مرجان، شرکت کائولین و خاک‌های نسوز خراسان، شرکت چینی بهداشتی گلسار فارس، گروه کارخانجات لعاب مشهد، شرکت لعابیران، شرکت صنعتی و معدنی سوراوجین عقیق و شرکت ایران آیمدی شرکت داشتند که مصاحبه‌ای با تعدادی از مدیران برخی از این شرکت‌ها انجام گرفت.



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام



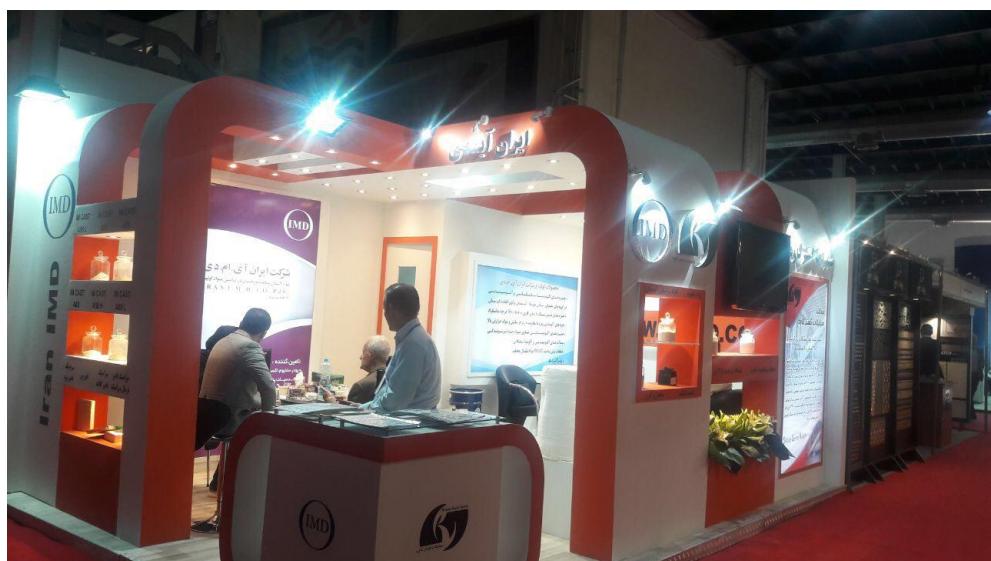
حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت آپادانسرام



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت کاشی مرجان



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت لعاب مشهد



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت ایران آیمدی



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت لعابیران



حضور عضو حقوقی انجمن سرامیک در نمایشگاه - شرکت شایراد تجارت پارس



## صاحبہ با دکتر نعمتی (مدیر عامل شرکت لعاپریان)

۰۰ جایگاه فعلی صنعت سرامیک در کشور چگونه است؟

ای کاش به جای مطرح کردن این سوال، به عنوان یک انجمن علمی متولی موارد مربوط به کلیات این صنعت در کشور، شاخص‌های مشخص تری را تعیین می‌کردی. جایگاه فعلی یعنی چه؟ از چه جهت؟ به عنوان یک فعال اقتصادی، این سوال مفهومی ندارد. حداقل می‌توان با اجماع نخبگان صنعت و همکاری بقیه انجمن‌ها و فیلدهای صنعتی، چند شاخص را تعیین کرده و با استفاده از آن‌ها یک مقایسه‌ی جامع انجام دهیم. به طور کلی مسلم است که به عنوان یک صنعت وابسته به صنعت ساختمان و به عنوان یک فیلد اقتصادی، در جنگ اقتصادی فعلی وضعیت کلی بسیار نامطلوب بوده و یک آینده گنگ برای آن وجود دارد. امیدوارم در این جنگ اقتصادی، صنایع قدرتمند و کیفیت طلب باقی بمانند تا جایگاه صنعت ما در کشور و دنیا بهبود یابد.

۰۱ نقش انجمن‌های علمی در ارتقاء این جایگاه چیست؟

با وجود اینکه بنده در این انجمن به مدت ۲ دوره عضو هیئت مدیره و ۱ دوره به عنوان بازرس فعالیت داشته و احترام و علاقه زیادی برای آن قائل هستم اما حداقل در دو دوره اخیر، انجمن را محو می‌بینم. آیا هنوز انجمن علمی سرامیک وجود دارد و فعالیت می‌کند؟ و اگر بله چرا هیچ شنیدهای از آن نیست. انتظار ما از انجمن علمی سرامیک بسیار بالاتر است. بنده به عنوان یک عضو حقیقی و مدیر عضو حقوقی انجمن اعلام می‌کنم که از نظر اینجانب انجمن در حال حاضر به سمت محو شدن میل می‌کند. امیدوارم این نظر بررسی شده و در صورتی که درست است اقدامات لازم جهت اصلاحات انجام گیرد.

۰۲ با توجه به اهمیت صنعت کاشی و سرامیک، نقش شرکت شما در این صنعت چگونه است؟

شرکت ما در بخش لعب که یک بخش خاص و محدودی از صنعت سرامیک کشور می‌باشد فعالیت دارد و در بخش لعب جز بازیگران اصلی است. شرکت ما در سه سال اخیر روند صعودی داشته و شاهد موفقیت‌های چشمگیری بودیم. لعاپریان به عنوان تنها شرکت لعب سازی بورسی بوده و اطلاعات آن در سایت اطلاع‌رسانی بورس کشور قابل مشاهده است. لعاپریان در بخش لعب نقش کلیدی دارد و رهبر صنعت لعب کشور تلقی می‌شود.

۰۳ شرکت لعاپریان در چه سالی و در کجا تاسیس شد؟

شرکت لعاپریان در سال ۱۳۶۰ در تهران تاسیس شد و دفتر مرکزی آن نیز در تهران است. کارخانه ما نیز در ۲۵ کیلومتری شهر شیراز واقع شده است.

۰۴ مزیت رقابتی محصول شما در مقایسه با سایر محصولات موجود در بازار چیست؟

شرکت لعاپریان با تولید انواع فریت و لعب‌های ترکیبی، انواع پیگمنت و انگوب و ... در بالاترین سطح کیفیت تولید قرار دارد و بهترین برندهای کاشی در زمرة ای مشتری‌های ما می‌باشند. ما در سال ۱۳۹۶ بحث صادرات را در دستور کار قرار دادیم و با هدف ۲۰۰۰ تن در سال ۹۶، با ۲۰۰٪ افزایش، ۴۰۰۰ تن به کشور ترکیه که جزء ۵ کشور برتر در این صنعت می‌باشد صادر کردیم. لعاپریان در کشور ترکیه ثبت برنده انجام داده و دارای دفتر می‌باشد. هدف بعدی برای سال ۹۷ ورود به بازارهای شرق اروپاست. هم اکنون نیز شرکت ما به کشورهای خلیج فارس رنگ و لعب صادر می‌کند که می‌تواند فرصت جدیدی برای پیشرفت فراهم آورد. کیفیت بالا، ثبات کیفیت، قابل اعتماد و پیشتاز بودن و استراتژی‌های تهاجمی و توسعه‌ای که در این شرکت به خوبی تعریف و اجرا شده است از مزیت‌های رقابتی این شرکت به شمار می‌آیند.

شرکت لایبران که در آینده‌ی نزدیک به یک شرکت بین‌المللی تبدیل می‌شود. این شرکت بیش از ۳۰۰٪ افزایش سود و ۶۰٪ افزایش سرمایه داشته است که مجمع آن در سال ۹۶ برگزار شد و تا ۱ ماه آینده ثبت می‌گردد. شرکت ما برای ۱ سال آینده نیز ۴۰٪ دیگر افزایش سرمایه را در دستور کار دارد.

شرکت ما تکنولوژی جدید کوره را وارد کشور کرد. اولین کوره در لایبران از بهمن ماه ۹۶ با ۴۰۰٪ افزایش ظرفیت و ۶۶٪ کاهش مصرف سوخت و مزایای دیگر راه اندازی شد. در طی ۲ سال آینده (۹۷ و ۹۸) نیز ۱۶ کوره دیگر شرکت لایبران نیز به تکنولوژی جدید مججهز خواهد شد. به این ترتیب هدف ما در مقطع زمانی ۳ ساله، افزایش ۴۰۰٪ کل ظرفیت تولیدی شرکت بوده و اولین شرکت ۱۰۰ هزار تنی کشور و منطقه خواهیم بود.

• وضعیت استقبال از نمایشگاه در مقایسه با سال‌های گذشته چگونه بوده است؟  
نمایشگاه فرصت خوبی برای انتقال اطلاعات و با خبر شدن از رویدادهای کشور و منطقه می‌باشد. نمایشگاه بین‌المللی تهران در سطح جهان مطرح نیست اما در مقایسه با سال قبل از رونق کمتری برخوردار بوده است.  
هم اکنون که در پایان روز سوم هستیم، جلسات و مذاکراتی که امسال در غرفه ما انجام گرفته است در مقایسه با سال گذشته بیشتر و رضایت بخش بود اما وضعیت کلی نمایشگاه با توجه به وضعیت محیط کسب و کار صنعت سرامیک به طور محسوس رونق کمتری داشت و خیلی دور از انتظار نبود.

در شرایط فعلی، حضور در نمایشگاه جزء دستور کار شرکت‌هایی است که استراتژی تهاجمی و توسعه‌ای دارند و لذا از تمام شرکت‌های فعال در این زمینه درخواست می‌شود برای ایجاد رونق، در همایش‌ها و نمایشگاه‌ها حضور فعال‌تری داشته باشند. اگر استراتژی شرکتی تدافعی و انقباضی باشد منطقی است که در این شرایط در نمایشگاه شرکت نکند.  
به هر حال امیدواریم از این جنگ اقتصادی سربلند بیرون بیاییم چرا که همیشه شرایط سخت است که تفاوت‌ها را مشخص می‌کند. انتقاد از وضعیت فعلی اقتصاد و جامعه منطقی است اما نجات بخش نبوده و برای موفقیت باید از خودمان شروع کنیم.

## مصاحبه با دکتر یوسفی (مدیر عامل گروه کارخانجات لعب مشهد)



### • جایگاه فعلی صنعت سرامیک در کشور چگونه است؟

در دوران پس از انقلاب در صنعت کاشی، شیشه، نسوز و بطور کلی سرامیک، تحول قابل توجهی چه در بخش تولیدات متنوع و چه در بخش ماشین آلات به وجود آمد. اگر بخش سرامیک های مدرن و پیشرفته کنار گذاشته شود ملاحظه می فرمایید که در بخش سرامیک های سنتی که نیاز بازار است (عمدتاً کاشی) در این سال ها رشد خوبی را شاهد بودیم.

در دوران جنگ و بسته شدن مرزها صنایع به ویژه صنعت کاشی و سرامیک پیشرفت خوبی داشت زیرا بالاجبار متکی بر داشته های موجود در کشور شد یک که خود یک عامل مهم در پیشرفت صنایع در آن زمان بود. پس از آن نیز با توجه به سیاست گذاری های درست دولت هایی که حضور داشتند رشد خوبی را در صنایع سرامیک و مخصوصاً کاشی و سرامیک داشتیم.

در حال حاضر ظرفیتی که برای تولید کاشی در کشور در نظر گرفته شده بیش از ۱ میلیارد متر مربع است. با توجه به رشد جمعیت در ابتدای گفتم نیاز مصرف کاشی یا سرانه کاشی در سال حدود ۱ یا ۲ متر مربع بایستی باشد ولی با توجه به تغییر در روند مصرف و سایر دیدگاه ها این عدد افزایش یافته و به مرز ۳ متر مربع نزدیک می شود.

بنابراین در شرایط ایده ال می توان پیش بینی ۲۰۰ میلیون متر مربع کاشی را برای مصرف در بازار داخلی نماییم. الباقی تولید که با توجه به شرایط اقتصادی و سایر مشکلات صنعتی بسیار متغیر است، می تواند برای صادرات در نظر گرفته شود.

در حال حاضر علی رغم اینکه وضعیت سرامیک گذاری در این صنعت قابل قبول بوده، عده مصرف مربوط به داخل بوده و حجم اصلی صادرات فقط مربوط به دو کشور همسایه عراق و افغانستان می باشد. با توجه به اینکه استراتژی مشخصی برای این امر تعریف نشده؛ سردرگمی در بین صادر کنندگان ما حاکم است و از آن جایی که خریداران به موقعیت و شرایط فرهنگی ما اشراف دارند می توانند بازارهای ما را از رونق بیندازند و رقابت نا سالمی را در بین تولید کنندگان و فروشندهای کاشی بوجود آورند که به طبع آن به کل صنعت لطمہ وارد می گردد. همچنین سیاست گذارهای فعلی و مسائل مربوط به تحریرهای باعث جلوگیری از صادرات به سایر کشورها شده است، در واقع با اینکه خطوط تولیدی صنایع کاشی و سرامیک ما مجهز به ماشین آلات پیشرفته بوده و با دانش و مسائل فنی این صنعت کاملاً آشنا هستیم، با این وجود قیمت صادراتی کاشی در ایران کمتر از ۳ دلار می باشد که جواب گوی حتی هزینه های تولید نبوده.

علت دیگر را می توان در سیاست های بازرگانی صادراتی غلط که در این زمینه باب شده است نیز دانست. در این میان لعب مشهد تلاش کرده تا حد امکان صادرات لعب را نیز در برنامه بازرگانی خود داشته باشد . لازم به ذکر است که صادرات لعب با کاشی

بسیار متفاوت بوده و پیچیدگی‌های زیادی به همراه دارد. زیرا باید به مشتری تعهد داده شود که لعب یکنواخت بوده و فرمولاسیون مناسبی دارد و هر مشکلی که در خط تولید بوجود بیاید به تولید کننده لعب مربوط می‌شود. با این حال ما در یک بازه زمانی به کشورهایی همچون انگلستان، فرانسه، ایتالیا، ترکیه، امارات صادرات داشتیم. این صادرات نه تنها برای لعب‌هایی که در کاشی و سرامیک مصرف می‌شود بلکه برای لعب‌های مورد استفاده در کشاورزی نیز انجام شده است. بنابراین بطور کلی ما در این عرصه از صنعت جایگاه خوبی داریم و تولیدات ما هم از نظر کمیت و هم کیفیت می‌تواند صادراتی باشد. اما متاسفانه متأثر از مسائل سیاسی و اعمال تحریم‌ها مشکلات متعددی بر سر مراودات بازارگانی خارجی ایجاد شده است.

#### • نقش انجمن‌های علمی در ارتقاء / این جایگاه چیست؟

انجمن‌ها بخصوص انجمن‌های علمی با اینکه بیشتر بعنوان یک نهاد علمی تلقی می‌شوند ولی بزرگترین مسئولیت را در قبال رشد تکنولوژیکی، فناوری، نوآوری و از همه مهمتر ارتباط صنعت و دانشگاه را دارند. در واقع کلیه سازمان‌ها و ارگان‌های علمی پژوهشی این مسئولیت خطیر را بر عهده داشته و بایستی در جهت توسعه آن نقش آفرینی نمایند. بعبارت دیگر توسعه علم و دانش با دیدگاه کاربردی؛ فرآیند پیشرفت در توسعه صنعتی را کامل نموده و فرهنگ کارآفرینی و نوآوری را که حاصل آن توسعه صنعت و صادرات است را بوجود می‌آورد. بنابراین انجمن‌های علمی می‌توانند نقش بسیار اساسی در این زمینه داشته باشند.

متاسفانه یکی از عوامل مهم در عدم شکوفایی و نوآوری در صنایع کشور ما عدم توجه به اجرای درست قوانین وجود سوء مدیریت در حفظ مالکیت فکری و منافع آن برای افراد خلاق است همین امر باعث گردیده تا ارائه ایده‌های نوبه چالش کشیده شده و یا از مرزها خارج گردند. در این جاست که نقش مسئولیت انجمن علمی نمایان و اهمیت یافته و علاوه بر آن نقش واقعی آنها در مراودات علمی، توسعه دانش و تکنولوژی و نوآوری دو چندان می‌شود.

خوشبختانه انجمن سرامیک ایران با تمام مشکلات و معضلاتی که در گذشته با آن روی رو بوده توانسته با مدیریت بسیار توانا و سخت کوش و همچنین حضور افراد علمی و صنعتی متعهد در هیئت مدیره وظایف خطیر خود را در تمام زمینه‌های مطرح شده بخوبی به انجام رسانده و امروزه ما شاهد رشد چشمگیری در اجرایی نمودن اغلب مسئولیت‌ها و وظایف تعریف شده باشیم با اینکه هنوز در ابتدای راه هستیم.

در کشورهای پیشرفت‌هه و مخصوصاً کشورهای اروپایی نگاه خوبی به انجمن‌های علمی می‌شود. در ایتالیا و بعدها در اسپانیا قبل از اینکه صنایع کاشی و سرامیک فعالیت‌های گسترده خود را شروع نمایند، توجه به علم و دانش سرامیک در دانشگاه‌ها و مراکز علمی پژوهشی در دستور کار آنها قراردادشته و استراتژی توسعه صنعتی آنها توسط انجمن‌های علمی و صنفی پایه‌ریزی گردیده. در واقع رشد چشمگیر این کشورها چه در زمینه کیفیت و کمیت و چه در طراحی و نوآوری مدبون تلاش‌هایی است که انجمن‌های علی و صنفی در آن درگیر بوده و همچنان وظایف خود را با توجه به نقشه راهی که برای آن تصویر نموده‌اند به فعالیت‌های خود ادامه می‌دهند. بنابراین جایگاه انجمن‌های علمی جایگاه خاصی است که وجود آن می‌تواند پیشرفت و توسعه علمی و صنعتی را با پشتونهای که از دولت و صنعت دریافت می‌نمایند تضمین نماید.

ابتدا لازم از کلیه فعالیت‌هایی که در انجمن سرامیک ایران تا کنون انجام پذیرفته است تشکر و قدردانی نماییم و امیدوار باشیم تا با تلاش بیشتر به اهداف ارزشمندی که می‌تواند در آینده ما را در ردهی کشورهای پیشرو در تمام زمینه‌ها شامل سرامیک‌های سنتی و سرامیک‌های مدرن قرار دهد تلاش نماییم.

برای اینکه بتوانیم رشد کنیم باید ارتباط بین صنعت و دانشگاه بوجود بیاید و محکم شود. هیات مدیره دانشگاه‌های ما افراد صنعتی نیستند و همه علمی بوده و این بزرگترین اشکال است. در سیستم آموزشی، افراد خبره در صنعت حضور ندارند. مسئله بعدی این است که امنیت و مالکیت فکری وجود ندارد که باید روی این مسائل تمرکز و دقت بیشتری اعمال شود رشد نکرده است. اگر تمام فارغ‌التحصیلان دانشگاه‌ها بخشی از درآمد خود را به انجمن‌ها بدهند تحول بزرگی به وجود خواهد آمد. در این صورت به اندازه کافی بودجه داریم که به دانشجو بگوییم نیاز صنعت چیست و بهتر است در چه زمینه ای کار کند.

• شرکت شما در چه سالی و در کجا تاسیس شد و با توجه به اهمیت صنعت کاشی و سرامیک، نقش شرکت شما در این صنعت چگونه است؟

موافق اصولی شرکت ما در سال ۱۳۶۱ در مشهد انجام گرفت. در سال ۱۳۶۲ اولین تولیدات را با ماشین‌های ساده داشتیم. در

شایعی که واردات تجهیزات خیلی سخت بود بخش عمده‌ای از سرمایه گذاری این واحد (حدود ۶۰٪) به واحد R&D (تحقیق و توسعه) اختصاص داده شد ولی این سرمایه گذاری نقش بسیار اساسی داشت زیرا این دیدگاه وجود داشت که این بخش باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. بیش از ۵ تا ۱۰٪ در آمد سالیانه کارخانه ما به سرمایه گذاری در بخش پژوهش اختصاص داده شد بطوری که اولین دستگاه SEM و TEM بعداز انقلاب توسط اینجانب به کشور وارد شد. بنابراین دیدگاه علمی و ارتباط با مراکز علمی وجود داشت. همچنین حضور در نمایشگاهها و کنفرانس‌های بین‌المللی مختلف به عنوان یکی از اهداف این واحد همیشه مد نظر بوده است. این عوامل باعث شد که تکنولوژی روز را انتقال و موفق به گسترش آن شدیم.

بعنوان مثال کاربرد لعب در صنایع مانند نفت، اتموبیل و کشاورزی نیز گسترش یافت. یکی از عوامل موثر در پیشرفت این شرکت؛ اهمیت به فکر، دانش، آموزش و پژوهش در این واحد بوده است و امروز در بین رقبای خارجی، شرکت لعب مشهد شناخته شده و مورد بازدید سایر رقبای داخلی و بعض اخراجی نیز قرار گرفته است.

علاوه بر واحد لعب مشهد که در ابتدا به وجود آمد، حدود ۱۵ سال پیش یک هولدینگ شکل گرفت از جمله شرکت‌های مختلف صنایع یافته‌ها سرامیکی (سرامیک پیشرفته)، سهند آساک (تولید انواع پودرهای میکرونیزه و نانو) و شرکت پرطاوس آساک و موسسه تحقیقاتی پرطاوس بعنوان واحد R&D است و سیاست کلی آن علاوه بر نوآوری در زمینه سرامیک، خدمات رسانی به سایر مراکز علمی و دانشگاهی نیز می‌باشد.

#### • مزیت رقابتی محصول شما در مقایسه با سایر محصولات موجود در بازار چیست؟

ما در ایران بیش از ۵۷ لعب ساز داریم اما اغلب لعب سازها دیدگاه علمی و تخصصی ندارند چون اکثر تولید کنندگان کاشی و سرامیک؛ تجار کاشی می‌باشند.

حضور افراد متخصص و تحصیل کرده در پیشرفت و تحولات شرکت ما تاثیر زیادی داشته بطوریکه توانسته جایگاه قابل قبولی را در کنار سایر رقبای بین‌المللی خود در این صنعت داشته و مزیت رقابتی محصولاتمان در مقایسه با سایر محصولات موجود در بازار حفظ گردیده است.

#### • وضعیت استقبال از نمایشگاه در مقایسه با سال‌های گذشته چگونه بوده است؟

امسال، استقبال از نمایشگاه خیلی خوب بود و فرقی که با سال‌های گذشته داشت این است که بیش از ۸۰٪ بازدیدکنندگان افرادی هستند که به نوعی در ارتباط با کاشی و سرامیک بوده و عمدتاً یا متخصصین رشته سرامیک هستند و یا در مسائل بازارگانی آن نقش دارند.

در نهایت می‌خواستم این نکته را یادآوری کنم که هم اکنون ما در صنعت کاشی به اندازه کافی پیشرفت کرده‌ایم و حال زمان آن است که به مسائل ریز و جزئیات توجه بیشتری داشته باشیم.

دولت باید توجه بیشتری به مسئله سرامیک‌های پیشرفته (که فناوری‌های جدید در آن مطرح است)، نانو سرامیک‌ها، نانو مواد و نانو ذرات داشته باشد چرا که در حال حاضر این موضوعات در سراسر دنیا از نظر علمی پیشرفت چشمگیری داشته و تولید ثروت از این طریق حرف اول را می‌زنند.

#### • نتیجه‌گیری

صنعت سرامیک همچون هر پدیده و تحولی دیگر نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت است. زیر ساخت‌ها و پتانسیل‌های لازم برای ایجاد و بهره‌مندی از یک صنعت کار آمد از همان ابتدا در کشور ما وجود داشته است. سرامیک و شیشه از قدیمی‌ترین مواد و تولیداتی هستند که قدمت آنها در این بخش از دنیا به هزاران سال می‌رسد. از این گذشته وجود معادن دست نخورده از مواد معدنی مورد نیاز نظری سیلیس، فلزسپار، آلومینا، کائولین، خاک رس و غیره در ابتدای انقلاب و همچنین متخصصینی که آن زمان از خارج از کشور با اتمام تحصیلات تکمیلی به ایران باز می‌گشتند همه و همه دست به دست یکدیگر دادند تا راه را برای تحولی عظیم در این بخش از تولید کشور هموار نمایند.

در واقع اگر امروز چیزی هم برای گفتن داریم، بخشی از موقعيت‌های این مرهون همین نعمت‌هایی است که در ایران وجود داشته و بدون دست خوردن به نسل ما منتقل شده بود. متأسفانه عدم مدیریت در زمینه برنامه‌ریزی باعث وارد آمدن ضربات عظیمی به

این صنعت گردیده و منجر به این امر گردیده که علی‌رغم همه پیشرفت‌های که داشتیم؛ صنعتی را بوجود آوریم که بسیار خدشه‌پذیر و حساس بوده و به وزش باد سبکی پایه‌های آن متزلزل گردد و حال دیدیم که واقعاً همین اتفاق حادث گردید، و در چند سال گذشته شاهد توقف و از هم پاشیدگی حداقل ۵۰٪ این صنایع بودیم).

عدم برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه در استفاده از منابع خاکی و آبی زیر زمینی و محدود کشور و دادن صدها مجوز؛ موافقت اصولی بدون توجه به کشش بازار و بدون توجه به ارزشمند بودن گوهرهای خفته در معادن بود که لطمات غیر قابل جبرانی به سرمایه‌های این مملکت وارد آورده و هزینه‌های گرافی را بر دوش ملت گذاشت. این مطلب تازه‌ای نیست در سایر بخش‌های تولید نیز نمونه‌های مشابه بسیار یافت می‌شود. ما نیازمند تحولی اساسی در بخش مدیریت و برنامه‌ریزی هستیم.

## اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی

### به کارگیری ضایعات سرامیکی در صنایع ریخته‌گری و سرامیک



محققان پژوهشگاه مواد و انرژی موفق شدند ضایعات رولرهای سرامیکی را به مولایت مصنوعی تبدیل کنند که در صنایع دیرگداز، ریخته‌گری و سرامیک به کار می‌روند. به گزارش خبرنگار مهر، دکتر سید محسن امامی مجری طرح «بازیابی رولرهای سرامیکی ضایعاتی جهت سنتر مولایت و مولایت-زیرکن مورد استفاده در صنایع دیرگداز، ریخته‌گری و سرامیک» گفت: هدف از اجرای این طرح بررسی امکان تبدیل ضایعات رولرهای سرامیکی به مولایت مصنوعی در صنایع دیرگداز، ریخته‌گری و سرامیک است.

وی افزود: این پروژه دیرگدازی است که هم می‌تواند در مواردی به عنوان محصول نهایی کاربرد داشته باشد؛ ماسه ریخته‌گری، محصولات دیرگداز مانند پودر در صنایع الکتروسرامیک از جمله کاربردهای این پروژه محسوب می‌شود.

امامی با اشاره به اینکه ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان کاشی و سرامیک در دنیاست، اظهار داشت: بیشتر تولیدات این صنعت در کوره‌های تونلی از نوع رولری انجام می‌شود و رولرهای کف کوره‌ها بر اثر تماس مستقیم با کاشی‌ها و لعاب گرفتگی یا بر اثر شوک‌های حرارتی بعد از مدتی کارکرد خود را از دست داده و به ضایعات تبدیل می‌شوند و به دلیل ناخالصی‌های آهنی و قلیابی، بایستی آهن‌زدایی و اسید شویی شوند. رولرهای مختلف ترکیبات مختلف کوراندویی دارند که اکثراً مولایت کوراندویی و بخشی نیز SiC هستند.

وی ادامه داد: رولرهای مصرفی در صنعت کاشی و سرامیک ایران عمدتاً رولرهای مولایت کوراندویی وارداتی از ایتالیا یا چین هستند.

امامی خاطر نشان کرد: رولرهای ضایعاتی دارای ترکیب آلومینوسیلیکاتی مشابه با مولایت هستند و درصد آلومینای آنها معمولاً بین ۶۹ الی ۷۸ درصد متغیر بوده و معمولاً مقدار اندکی هم  $ZrO_2$  بین نیم تا ۶ درصد) در ترکیب خود دارند.

وی ادامه داد: ترکیبات فوق برای کارکرد در کوره‌های رولری بایستی دارای خواص منحصر به فردی مانند مقاومت به شوک حرارتی و دیرگدازی تحت بار بالایی باشند. لذا این ترکیبات را طوری در کوره‌های اولیه پخت می‌دهند که حداقل فاز مذاب ممکن در آنها ایجاد گردد. طبیعی است در چینی شرایطی همه ترکیب فوق به مولایت تبدیل نشده و مقدار زیادی کوراندوی و مقدار اندکی هم سیلیس واکنش نکرده و بادلیت (مربوط به زیرکن) در ترکیب باقی بماند.

به گفته این محقق، در نهایت می‌توان با فرآوری، پودر کردن و مخلوط کردن این رولرها با مواد اولیه مختلف، دیرگدازهای متنوعی را تولید کرد که در این طرح دیرگدازهای مولایتی و مولایت - زیرکنی مدنظر ما در این پروژه بود.

به گزارش مهر، این طرح به عنوان اولین طرح پسا دکترای (Post Doc) پژوهشگاه مواد و انرژی توسط دکتر سید محسن امامی دانشجوی این پژوهشگاه و با مسئولیت دکتر محمدرضا رحیمی پور استاد پژوهشکده سرامیک پژوهشگاه انجام شد.

همچنین این پروژه با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام گرفت.

منبع: <https://www.mehrnews.com/news/4354656>

## فعالیت کارخانه کاشی «سرام نگار» با ۱۰۰ کارگر از سر گرفته شد.



فعالیت تولیدی کارخانه تولید کاشی «سرام نگار» ساوه پس از دو سال تعطیلی، با حدود ۱۰۰ کارگر از سر گرفته شد. به گزارش خبرنگار اینلا، زارع (مدیرعامل کارخانه سرام نگار) گفت: کارخانه «سرام نگار» ساوه پس از حدود دو سال (از سال ۹۵) تعطیلی و وقفه در فعالیت تولیدی، با سرمایه‌گذاری بخش خصوص دوباره با حدود ۱۰۰ کارگر فعال شده است. به گفته‌وی، پس از خرید سهام و سرمایه‌گذاری ۲۵ میلیارد تومانی تولید این واحد با افزایش ۵۰ درصدی تولید به نسبت قبل، تاکنون ۱۵ میلیون دلار محصول صادر کرده است. او با بیان اینکه پیش از این ۶۰ کارگر در این واحد

تولیدی مشغول کار بودند، در ادامه افزود: با بازگشت به کار کارگران اخراج شده و ۵۰ کارگر جدید ماهانه ۱۵۰ هزار متر مربع کاشی تولید که ۸۵ درصد آن به ارزش ۱۵ میلیون دلار به عراق، افغانستان، ارمنستان، ترکمنستان و گرجستان صادر شده است. مدیرعامل این واحد صنعتی گفت: خاک صنعتی در بیشتر از ۹۵ درصد کارخانه‌های کاشی و سرامیک به روش گرانول تر تولید می‌شود که با بهره‌گیری از روش خشک مصرف آب به صفر رسیده است.

منبع: <https://www.ilna.ir/>

## کارخانه تعطیل شده کاشی در اراک دوباره بازگشایی شد / با استفاده از روش بهره‌گیری خشک مصرف آب کارخانه به صفر رسید.



یک واحد صنعتی تولید کاشی در اراک که به دلیل مشکلات اقتصادی تعطیل شده بود با از سرگیری تولید ۱۵ میلیون دلار محصول صادر کرده است.

به گزارش اینلا از اراک یک کارخانه تولید کننده کاشی ساختمانی در اراک که به دلیل مشکلات اقتصادی تعطیل شده بود با احیا و از سرگیری تولید اکنون ۱۵ میلیون دلار صادرات دارد.

این کارخانه تولید کاشی در دو سال گذشته به دلیل مشکلات

اقتصادی تعطیل و ۶۰ کارگر آن اخراج شده بود با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در سال ۹۶ دوباره احیا و تولید آن از سر گرفته شد.

زارع مدیرعامل این واحد صنعتی گفت: پس از تعطیلی این کارخانه سهام آن خریداری شد و با سرمایه‌گذاری ۲۵ میلیارد تومانی تولید این واحد با افزایش ۵۰ درصدی نسبت به قبل از تعطیلی از آبان ماه سال ۹۶ آغاز شد.

زارع افزود: با بازگشت به کار کارگران اخراج شده و به کارگری ۵۰ کارگر جدید ماهانه ۱۵۰ هزار متر مربع کاشی در این شرکت تولید می‌شود که ۸۵ درصد آن به ارزش ۱۵ میلیون دلار به عراق، افغانستان، ارمنستان، ترکمنستان و گرجستان صادر شده است. وی اضافه کرد: در حالی که خاک صنعتی بیش از ۹۵ درصد کارخانه‌های کاشی و سرامیک کشور به روش گرانول تر تولید می‌شود در این کارخانه با بهره‌گیری از روش خشک مصرف آب به صفر رسیده است.

در کشور ۱۳۵ کارخانه تولید کاشی و سرامیک فعال است که هر سال ۳۷۳ متر مربع کاشی تولید می‌کنند.

در روش گرانول تر برای تولید هر متر مربع کاشی ۱۵ لیتر آب مصرف می‌شود که کارخانه‌های تولید کاشی کشور در مجموع هر سال ۵ میلیون و ۶۰۰ هزار متر مربع آب یعنی به اندازه دو برابر گنجایش مخزن سد کرج آب مصرف می‌کنند.

منبع: [www.ilna.ir](http://www.ilna.ir/)



## ایجاد پوشش شفاف سرامیکی ضدخش با روش PVD روی فلزات گرانبها

فراخوان طرح صنعتی با موضوع «ایجاد پوشش شفاف سرامیکی ضدخش با روش PVD روی فلزات گرانبها» توسط ICAN ارائه شده است. علاقه‌مندان می‌توانند تا ۲۰ شهریورماه سال جاری طرح‌های خود را به این مرکز ارائه کنند.

مرکز صنعتی سازی نانو فناوری کاربردی (ICAN) جهت توسعهٔ همکاری‌های فناورانه، توسعهٔ کاربردها و محصولات مبتنی بر نیاز صنعت، فراخوانی برای طرح‌های نوآورانه در زمینه «ایجاد پوشش شفاف سرامیکی ضدخش با روش PVD روی فلزات گرانبها» اعلام کرده است. هدف از این فراخوان معرفی پوشش شفاف ضدخش اعمال شده با یکی از روش‌های PVD روی زیرلایه‌هایی از جنس فلزات گرانبها نظیر طلا و نقره است. در طرح‌های ارائه شده محدودیتی در انتخاب نوع ماده و نوع

روش و ضخامت پوشش وجود ندارد، اما از منظر اقتصادی باید طرح‌ها تولید انبوه و تجاری را داشته باشند. کاربرد این پوشش شفاف برای مراقبت از سطوح تزئینی و فلزات گرانبها است.

در تشریح این فراخوان آمده است که پوشش‌های شفاف سرامیکی با هدف حفاظت فلزات در برابر شرایط سایش و خش مورد استفاده قرار می‌گیرند. پوشش‌های اکسیدی و نیتریدی فلزی امکان فراهم آوردن چنین شرایطی را ایجاد می‌کند. از این رو انتظار می‌رود پژوهشگر ضمن مطالعهٔ مواد سرامیکی قابل اعمال با استفاده از روش PVD (با یکی از روش‌های قوس کاتدی، کندوپاش) پوشش شفاف ضدخش روی فلزات گرانبها ایجاد نماید. برای کسب دانش فنی، لازم است طراحی آزمایش صورت گرفته و پوشش ضدخش ارائه شود.

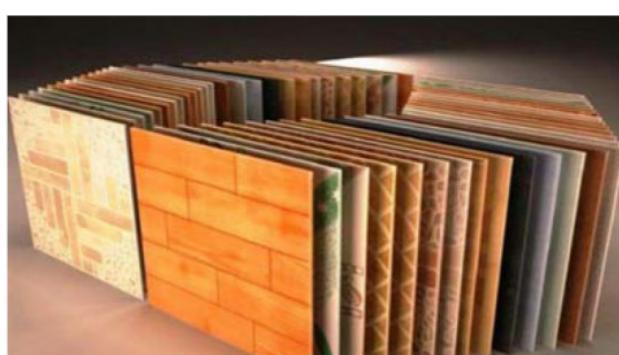
با توجه به نیاز فوری و فرست محدود برای تجاری‌سازی، اولویت پذیرش طرح با پژوهشگرانی است که قبلًاً نمونه‌ی اولیه از این نوع پوشش‌ها را تهییه کرده باشند.

بهره‌برداری از تجهیزات آزمایشگاهی و صنعتی پوشش‌دهی، دریافت مشاورهٔ فنی و کسب و کاری، تأمین کامل هزینه‌های مواد اولیه، تأمین هزینه‌های آزمایش، مشخصه‌یابی و اثبات کارایی، دریافت امکانات تحقیقاتی، آموزشی، همکاری با شرکت‌های فعال و موفق در حوزهٔ نانو و ارتباط و تعامل با متقدیان صنعتی، ارائهٔ درصد از فروش یا خدمات ارائه شده به صنعت از جمله حمایتها و امکاناتی است که توسط ICAN برای این طرح ارائه می‌شود.

منبع: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

## کاشی و سرامیک ایران کالای محبوب بازار پاکستان است.

اسلام آباد- ایرنا- رئیس انجمن بازرگانان کاشی و سرامیک پاکستان با بیان کیفیت ممتاز سرامیک و کاشی‌های تولید ایران گفت: کاشی ساخت ایران به دلیل بهره‌مندی از استانداردهای بین‌المللی همیشه در بازار پاکستان از محبوبیت خوبی برخوردار بوده است.

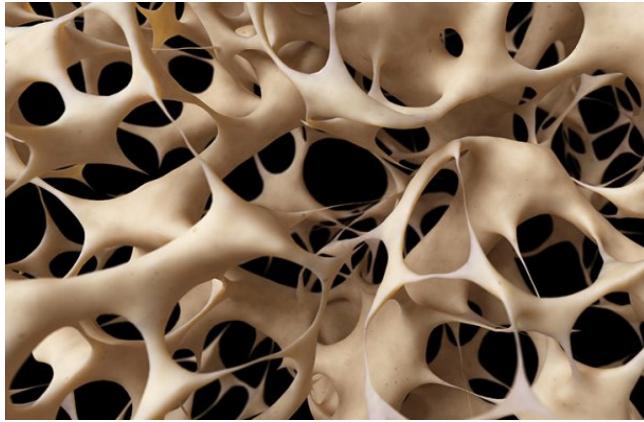


محمد امین لسانی فعال اقتصادی صنعت کاشی و سرامیک پاکستان که اخیراً برای شرکت در نمایشگاه بین‌المللی کاشی و سرامیک به تهران سفر کرده بود، پس از بازگشت به اسلام آباد در گفت و گو با خبرنگار ایرنا با اظهار خرسندي از سفر خود به جمهوری اسلامی ایران گفت: در سفر به تهران از نزدیک با تولیدات صنعت کاشی و سرامیک آشنا شده و با مسئولان شرکت‌های فعال ایرانی در این زمینه گفت و گو کردیم.

منبع: [t.me/IrCeC](https://t.me/IrCeC)

## اخبار علمی

### تولید نانو داربست‌های استخوانی هیدروژلی با فناوری نانو



پژوهشگران موفق به سنتز داربست‌های استخوانی هیدروژلی شدند. این داربست‌های ساختمانی، نانوکامپوزیتی دارند و از نانوذرات شیشه سرامیک زیست فعال در ساختار خود بهره می‌برند.

به گزارش خبرگزاری مهر به نقل از ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، شکستگی استخوان یکی از اتفاقات اجتناب‌ناپذیر در زندگی انسان است. بر اساس آمارها هر شخص در طول زندگی خود دو بار این اتفاق در دنیا را تجربه می‌کند. استخوان توانایی ترمیم خودش را در آسیب‌های کوچک دارد. اما در صورت بروز

آسیب‌دیدگی‌های بزرگ استفاده از موادی جهت جایگزینی استخوان ضروری است.

دکتر حامد سلیمی کناری یکی از محققان پژوهه «تولید نانو داربست‌های استخوانی هیدروژلی» با اشاره به داربست‌های استخوانی به عنوان ساختارهایی با قابلیت جایگزینی و تشویق ترمیم استخوان، پیروان اهداف دنبال شده در طرح حاضر یک داربست استخوانی نانوکامپوزیتی هیدروژلی سنتز شده و خواص مختلف آن مورد بررسی قرار گرفته است.

وی افروز: پایه این داربست استخوانی از جنس پلیمر طبیعی دکستران است که خواص مکانیکی آن به کمک نانوذرات سرامیک شیشه زیست فعال ارتقا داده شده است.

به گفته این محقق، حضور نانوذرات در ساختار داربست موجب شده تا داربست علاوه بر خاصیت زیست‌تخربی‌پذیری، بافت‌های آسیب‌دیده را جهت ترمیم تحریک کند.

این محقق خاطر نشان کرد: بافت استخوان خود یک نانوکامپوزیت است که از نانوبلورهای هیدروکسی آپاتیت در زمینه آلی غنی از کلازن تشکیل شده است. داربست سنتز شده در این تحقیق نیز به نحوی ساختار استخوان را از لحاظ تپوگرافی، شیمی و انرژی سطحی تقیید می‌کنند.

سلیمی کناری در خصوص مراحل تولید و ارزیابی داربست استخوانی گفت: در این طرح یک نانوکامپوزیت با شبکه سه‌بعدی متشکل از پلیمر دکستران به عنوان فاز زمینه و شیشه سرامیک زیست فعال به عنوان فاز تقویت‌کننده سنتز شد.

وی ادامه داد: درصد وزنی نانوذرات شیشه سرامیک زیست فعال در شبکه داربست از ۲ تا ۱۶ درصد متغیر در نظر گرفته شد تا بتوان تأثیر حضور این نانوذرات را بررسی کرد. پس از اتمام فرایند سنتز، جهت اطمینان از ایجاد ساختار مطلوب از آزمون‌هایی نظیر طیفسنجی مادون قرمز، پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی رویشی و گرماآزن سنجی استفاده شد. همچنین به منظور ارزیابی خواص مکانیکی، داربست تحت آزمون فشار قرار گرفت.

به گفته این محقق، نتایج حاکی از حضور تخلخل‌هایی با اندازه ۲۴۰ میکرون در ساختار داربست نهایی است. همچنین نتایج مربوط به آزمون طیفسنجی انرژی پرتوایکس نشان می‌دهد حضور ۲ درصد وزنی از نانوذرات شیشه سرامیک زیست فعال در ساختار داربست، ساختاری همگن را ایجاد می‌کند در حالی که مقادیر بالاتر نانوذرات موجب آگلومرۀ شدن آن‌ها می‌شود اما از سوی دیگر خواص زیست فعالی داربست را تقویت کرده و ترمیم بافت استخوان را تسريع می‌کند.

دکتر حامد سلیمی کناری و پریناز نیک پور- به ترتیب عضو هیأت علمی و دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه مازندران، سید محمود ریبی - عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی انشیروانی بابل، دکتر محمد ایمانی - عضو هیأت علمی پژوهشگاه پلیمر

و پژوهشی ایران و محققانی از دانشگاه مرکت آمریکا در انجام این تحقیقات همکاری داشته‌اند. نتایج این کار، در مجله Carbohydrate Polymers با ضریب تأثیر ۵,۱۵۸ (جلد ۱۹۰، سال ۲۰۱۸، صفحات ۲۸۱ تا ۲۹۴) به چاپ رسیده است.

منبع: <https://www.mehrnews.com/news/4396205>

## ساخت باتری با فلز مایع

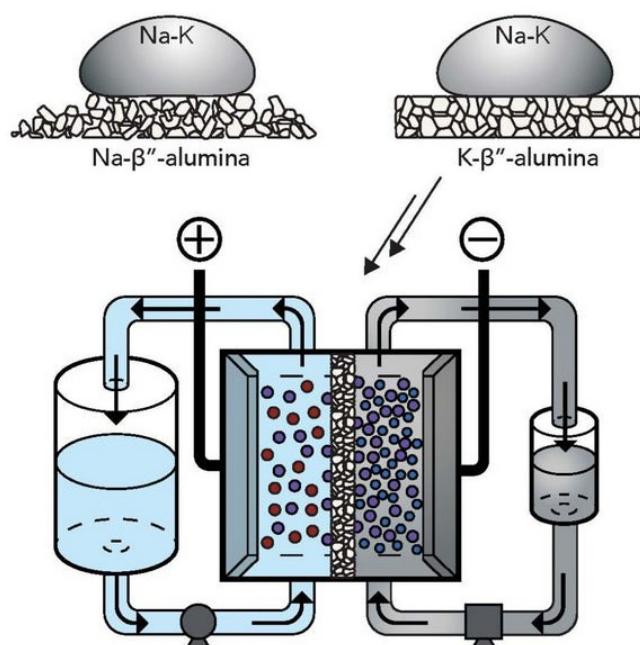
پژوهشگران "دانشگاه استنفورد"، برای ذخیره بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر، باتری‌هایی از جنس فلز مایع ابداع کردند.



به گزارش ایسنا و به نقل از گیزمگ، پژوهشگران "دانشگاه استنفورد (Stanford University)"، باتری جدیدی مرکب از فلزات مایع ابداع کرده‌اند که ظرفیت بالایی برای ذخیره انرژی منابع تجدیدپذیر مانند باد و خورشید دارد.

این باتری که نوعی "باتری آبی" محسوب می‌شود، با ترکیبی از فلزات گوناگون تولید شده که در دمای اتاق مایع می‌ماند. برای جداسازی قطب‌ها از یکدیگر، غشاء خاصی از جنس سرامیک مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد شیمیایی مورد استفاده در باتری‌ها معمولاً پرهزینه و سمی هستند. پژوهشگران دانشگاه استنفورد برای غلبه بر چنین مشکلاتی، این باتری را با استفاده از ترکیباتی منحصر به فرد ابداع کردند. از جمله مواد شیمیایی به کار رفته در این باتری، می‌توان به سدیم و پتاسیم اشاره کرد.



این باتری که قابلیت شارژ مجدد دارد، می‌تواند حجم زیادی از انرژی منابعی مانند توربین‌های بادی یا صفحات خورشیدی را ذخیره کند. این باتری‌ها را می‌توان در تامین برق سریع و ایمن برای استفاده خانگی و صنعتی به کار برد.

این باتری جدید، علاوه بر کم‌هزینه بودن، به سادگی تولید می‌شود و می‌توان از آن در ذخیره انرژی برای ساعت‌های طولانی استفاده کرد.

"آنтонیو باکلیگ (Antonio Baclig)"، از نویسنده‌گان این پژوهش گفت: فناوری به کار رفته در تولید باتری‌های جدید، پیامدهای مثبت گوناگونی در هزینه، کارآمد بودن، اندازه، طول عمر و امنیت این ابزار دارد. ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی در این باتری، حداقل ۱۰ برابر بیش از نمونه‌های مشابه است.

پژوهشگران قصد دارند برای بهبود طراحی باتری، در آینده بر ضخامت لایه‌ها و استفاده از مایع ضدآب در قطب مثبت آن تمرکز کنند.

این پژوهش، در مجله "Joule" به چاپ رسید.

منبع: <https://www.isna.ir/news/97043016261>

## تولید نخ‌های نانویی برای بیبود سوخت‌وساز بدن



شرکت تهران زرخ با استفاده از نانوذرات موفق به تولید نخ‌هایی شده که قابلیت نشر پرتو فروسرخ را دارند. این نخ‌ها بخشی از انرژی حرارتی خارج شده از بدن را که در فعالیت‌های روزمره در بدن به هدر می‌رود، به پرتو فروسرخ تبدیل می‌کنند و آن را به بدن بازمی‌گردانند. پرتوهای فروسرخ خواص درمانی دارد.

شرکت تهران زرخ موفق به تولید نخ نایلون با قابلیت نشر پرتو فروسرخ با نام تجاری HEALTEX شده است. این محصول موفق به اخذ گواهی نانومقیاس از سوی ستاد توسعه فناوری نانو نیز شده است.

قرن‌هاست که در طب سنتی شرقی از پرتو فروسرخ برای درمان استفاده می‌شود. گرمای حاصل از امواج فروسرخ می‌تواند دردهای موضعی را رفع کرده و به افزایش سطح سلامتی کمک شایانی کند.

از این رو شرکت تهران زرخ اقدام به تولید نخ‌های نایلون با قابلیت نشر پرتو فروسرخ کرده است. در منسوجات تهیه شده از این نخ‌ها، نانوذرات سرامیکی با قابلیت انتشار پرتو فروسرخ می‌تواند با استفاده از تولید این نوع امواج رگ‌ها را بازتر کرده و موجب افزایش سرعت، مقدار و گردش خون در محل گرما دهی می‌شوند. در نتیجه با افزایش گردش خون، اکسیژن بیشتری به بافت بدن وارد می‌شود و این امر به افزایش سوخت و ساز بدن منتج می‌شود.

چنانچه این فرایند در بخش بزرگی از بدن که به واسطه یک لباس پوشیده شده باشد اتفاق بیافت سبب افزایش گردش خون در سراسر بدن شده و اثرات مثبت یاد شده در کل بدن اتفاق می‌افتد. این امر سبب افزایش سطح اکسیژن موجود در خون، کاهش میزان اسید لاکتیک در زمان فعالیت‌های بدنی و کاهش تجمع چربی در بافت‌ها می‌شود.

پوشاش نهایی قادر خواهد بود بخشی از انرژی حرارتی خارج شده از بدن را که در فعالیت‌های روزمره در بدن به هدر می‌رود، به پرتو فروسرخ تبدیل کرده و آن را به بدن بازگرداند. در حال حاضر از الیاف با قابلیت نشر پرتو فروسرخ در تهیه منسوجات کمک درمانی، منسوجات ورزشی، لباس کار و برخی منسوجات خانگی همچون کالای خواب استفاده می‌شود.

شرکت تهران زرخ فیلامنتهای پلی‌نایلون و پلی‌استر و فیلامنتهای نانو‌کامپوزیتی نایلون تولید می‌کند. در حال حاضر نخ‌های نایلون نانو‌کامپوزیتی ضد میکروب و نخ‌های نایلون و پلی‌استر خنک کننده نیز در این شرکت تولید می‌شود.

منبع: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

## ساخت داربست‌های استخوانی با یو نانو‌کامپوزیتی با استفاده از چاپگرهای سه بعدی

پژوهشگران دانشگاه صنعتی امیرکبیر موفق شدند به کمک چاپگرهای سه بعدی، داربست‌های استخوانی طراحی کنند که افزون بر کاربرد در مهندسی بافت، همزمان می‌تواند به کمک روش گرمادرمانی به منظور درمان سرطان استخوان در مجاورت بافت پیوندی به کار گرفته شود. این داربست از جنس یو نانو‌کامپوزیت است و درون آن از نانوذرات مغناطیسی استفاده شده است. این تحقیقات در حال حاضر در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است.



یکی از روش‌های شناخته شده در درمان سرطان، روش هایپرترمیا مغناطیسی یا همان گرمادرمانی است که روشی مناسب در کنار سایر شیوه‌های درمانی از قبیل شیمی درمانی و رادیو تراپی بهشمار می‌رود. در این روش، با بالا بردن درجه حرارت بافت‌های بدن تا دمای ۴۲ الی ۴۵ درجه سانتی گراد، به طور موضعی و از طریق استفاده از انرژی الکترومغناطیسی، طی یک دوره‌ی زمانی تعريف شده، سلول‌های سرطانی از بین می‌روند. درجه حرارت بالا نه تنها می‌تواند باعث مرگ سلول‌های سرطانی شود، بلکه باعث حساسیت بیشتر به رادیوتراپی و شیمی درمانی و افزایش کارآیی آن‌ها نیز می‌شود.

سعید سهمانی، پژوهشگر پسادکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر، در توضیح کار انجام شده در این طرح تحقیقاتی عنوان کرد: «ما با کمک ابزار دقیق و سریع چاپگر سه‌بعدی، داربست استخوانی با یو-نانو کامپوزیتی دو کارهای (زیست سازگار و از بین برنده‌ی سلول‌های سرطانی) ساختیم. همچنین، با استفاده خواص مکانیکی استخراج شده توسط آزمایشات صورت گرفته، رفتار ارتعاشات یک ایمپلنت استخوانی ساخته شده از این داربست به صورت تحلیلی و تحت شرایط بارگذاری گوناگون مدل شده و مورد بررسی قرار گرفته است.»

به گفته‌ی سهمانی، ساخت این داربست با استفاده از چاپگرهای سه بعدی و از ترکیب و سنتر با یوسرامیک (بردیجیت) و نانوذرات مغناطیسی (مگنتیت) صورت گرفته است. در نتیجه، داربست تولید شده زیست سازگار بوده و خواص بیولوژیکی و مکانیکی مشابه با استخوان طبیعی دارد و از تخلخل لازم به منظور رشد سلول‌های استخوانی جهت ترمیم و بازسازی یک بخش صدمه‌دیده استخوان برخودار است.

این محقق معتقد است از این داربست می‌توان در بخش مهندسی پزشکی، جهت ترمیم و بازسازی بخش‌های صدمه‌دیده استخوانی بهره گرفت. از طرفی به دلیل دارا بودن نانوذرات مغناطیسی (مگنتیت) این قابلیت را دارد که با قرار گرفتن در یک میدان مغناطیسی AC، گرما تولید کرده و سبب افزایش درجه حرارت بافت اطراف خود شود. در نتیجه، تمامی سلول‌های سرطانی موجود در اطراف داربست جایگذاری شده در بافت، توسط هایپرترمیا (گرمادرمانی) از بین می‌روند.

سهمانی در پایان خاطرنشان کرد: «طراحی و ساخت داربست با یو-نانو کامپوزیتی با بهره گیری از چاپگر سه‌بعدی، روشی سریع و با قابلیت طراحی و ساخت نمونه‌هایی با ساختار پیچیده و تخلخل با ابعاد مشابه با استخوان طبیعی است که می‌توان آن را از ویژگی‌های منحصر به فرد این تحقیق نام برد.»

گفتنی است در این تحقیق، آنالیز پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترون روبشی و دستگاه اندازه گیری خواص مغناطیسی و طیف سنجی پراش انرژی پرتوا ایکس، برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیات بیولوژیکی داربست ساخته شده به کار برده شده‌اند.

این تحقیقات حاصل تلاش‌های سعید سهمانی-پژوهشگر پسادکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر- و همکارانش است. نتایج این کار در مجله‌ی Ceramics International با ضریب تأثیر ۰/۵۷/۳ (جلد ۴۴، سال ۲۰۱۸، صفحات ۱۱۲۸۲ تا ۱۱۲۹۱) به چاپ رسیده‌است.

منبع: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

### پوشش‌های سرامیکی سفرهای فراصوت را ممکن می‌سازند و زمان سفر را کاهش می‌دهند.

حرارت همیشه مانع پیشرفت هوایپماهای فراصوت شده است. سفر با سرعت ۵ ماخ درجه حرارت فوق العاده بالا حدود ۳۶۰۰ تا ۵۴۰۰ درجه فارنهایت تولید می‌کند. تا به حال، موادی که در معرض چنین گرمایی قرار دارند، به مرحله تجزیه رسیده‌اند. اما تحولات مواد در حال تغییر است. گروهی از دانشمندان چینی و بریتانیایی یک پوشش سرامیکی جدید بر پایه کاربید ایجاد کرده‌اند که راه ما را برای توسعه سفرهای فراصوت توسعه می‌دهد.

پوشش جدید ۱۲ برابر موثرتر از سرامیک‌های فعلی است. شایع‌ترین سرامیک محافظ حرارتی، کاربید زیرکونیوم درخشنan است که می‌تواند در معرض حرارت قرار گیرد اما هنوز تا حدی آسیب‌پذیر است.



پوشش سرامیکی از یک تکنیک تولید کاملاً جدید به نام "نفوذ مذاب واکنش‌پذیر" حاصل می‌شود که پوشش را ساختار می‌دهد که هم فوق العاده قوی و هم بسیار مقاوم به اکسیداسیون است.

در حالی که وسائل نقلیه فراصوت کارآمد هنوز رویای دور هستند، این پوشش

سرامیکی قطعاً باعث می‌شود که آن‌ها کمی قابل دستیابی باشند. هنگامی که هواپیمای هیومکس به فضا می‌آیند، می‌توان زمان‌های سفر جهانی را با احتمال سقوط کاهش داد. یک هواپیمای فراصوت می‌تواند در عرض چند ساعت از جهان عبور کند. به برنامه‌های کاربردی مجدداً ورود فضایپما اشاره نکنید. ورودی خطرناکی که فضایپما را می‌بیند با این درجه حرارت بسیار مواجه می‌شود با این پوشش سرامیکی بسیار امن است.

پوشش سرامیک دستیابی به موفقیت توسط محققان دانشگاه منچستر و موسسه Royce با همکاری دانشگاه مرکزی جنوب چین صورت گرفت. این کار با استفاده از راه حل مشترک برای گرمای بیش از حد، کاربید زیرکونیوم (ZrC) و ایجاد فرآیند جدیدی از تولید که کاربید زیرکونیوم را با یک کامپوزیت کربن-کربن تقویت کرد.

برنامه‌های لاکهید مارتین و دارپا برای تقویت دوباره پیشرفت وسیله نقلیه هیجان انگیز خود را اعلام کرده‌اند. در حالی که این جت‌ها برای مسافرین مسافرتی منظم در دسترس نیستند، پروازهای تجاری فراصوت یا هایپرسونیک نیز مورد توجه جدی قرار گرفته‌اند.

مدیر عامل شرکت بوئینگ گفته است که جت‌های مسافرتی چند منظوره در ده سال آینده می‌توان در هوا حضور داشته باشند. این هواپیماها زمان سفر را تا ۷۰۰ درصد کاهش داد. این به این معنی است که پرواز از شانگهای به نیویورک از ۱۵ ساعت تا دو ساعته کاهش خواهد یافت.

وی گفت: "من فکر می‌کنم در ده و یا بیست سال آینده این موضوع تبدیل به یک واقعیت شود. اگرچه برای اکثر مردم یک واقعیت نیست، این‌تن جت‌های فوق العاده سریع فقط برای کسانی که تمایل به پرداخت هزینه فوق العاده بالا دارند، در دسترس هستند.

مرکز تکنولوژی کلرادو، بوم (Boom)، در حال توسعه یک جت برای مسافران تجاری است. فکر می‌کنم که پنج شرکت هواپیمایی پس از نمایش هواپی پاریس، سفارشات خود را برای این شرکت برای جت‌های سریع تجاری ارائه داده‌اند. مدیر عامل و بنیانگذار بوم، در نمایشگاه پاریس صحبت کرد و گفت: "خطوط هواپی برای چیزی جدید و متفاوت برای ارائه مسافران خود هیجان زده شده‌اند و ما هیجان زده هستیم که هواپیماهای بزرگ جهان، چشم انداز مارا برای سریع‌تر و قابل دسترس‌تر سفر فوق العاده‌ای ما منتظر به اشتراک گذاشتن بیشتر این مشارکت‌ها هستیم".

این که آیا پروازهای فراصوتی هواپیما می‌توانند قابل اعتماد تجاری باشند، هنوز دیده نشده است. هزینه‌های عملیاتی فوق العاده بالا به این معنی است که بیشتر شرکت‌های هواپیمایی چشم انداز مالی را جذاب‌تر می‌کنند.

منبع: [t.me/IrCeC](https://t.me/IrCeC)



مهندس مهدی خدایی،  
نویسنده‌ی مسئول مقاله،  
دانشگاه صنعتی مالک اشتر

Mahdi.khodaei01@gmail.com

## مروری بر تاثیر افزودنی‌های $TiC$ و $TiB_2$ بر سینترپذیری و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه $SiC$

مهدی خدایی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا بهاروندی<sup>۲</sup>، ناصر احسانی<sup>۳</sup>، امید یعقوبی زاده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مواد مرکب، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران،

<sup>۲</sup> دانشیار، مجتمع مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران،

<sup>۳</sup> استاد، مجتمع مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران،

<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری مهندسی مواد، دانشگاه امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

**چکیده:** کاربید سیلیکون ( $SiC$ ) به دلیل خواص مکانیکی ایده‌آل همچون سختی بالا، چگالی پایین، دمای ذوب بالا، مدول بالا و غیره به یک ماده مهندسی مناسب برای کاربردهای دما بالا و مناسب برای ابزارهای برشی تبدیل شده است. گرچه محدودیت‌های نیز برای استفاده از این ماده وجود دارد، از جمله زینترپذیری ضعیف و چermگی شکست پایین آن. از این‌رو تقویت کننده‌هایی به منظور بهبود زینترپذیری و خواص مکانیکی به زمینه  $SiC$  افزودنی  $TiO_2$  به دلیل تبدیل شدن به صورت درجا به  $TiC$  و  $TiB_2$  منجر به بهبود زینترپذیری و خواص مکانیکی از جمله چermگی شکست، سختی، استحکام خمشی می‌شود. روش‌های زینتر و میزان و نوع تقویت کننده در این کامپوزیت از پارامترهای موثر در تولید و خواص نهایی محصول می‌باشد که میتواند خواص متفاوتی را برای قطعه نهایی حاصل کند، در این مقاله تلاش شده است که تاثیر تقویت کننده‌های  $TiC$  و  $TiB_2$  بر کامپوزیت‌های زمینه  $SiC$  مورد بررسی قرار گیرد.

**لمات کلیدی:** کاربید سیلیسیم<sup>۱</sup>، زینتر بدون فشار<sup>۲</sup>، خواص مکانیکی،  $SiC-TiB_2$ ,  $SiC-TiC$

### ۱- مقدمه

نیاز به استفاده از مواد پیشرفت‌هه همواره وجود داشته و در حال حاضر با توجه به پیشرفت سریع تکنولوژی تقاضا برای این گروه از مواد در حال افزایش است. دلیل اصلی توجه به سرامیک‌های سازه‌ای (مهندسي) در سال‌های اخیر به ویژه بدنده‌های زینتر شده  $SiC$  به دلیل دارا بودن خواصی نظیر مدول الاستیک و سختی بالا، مقاومت در برابر خوردگی و سایش بالا، هدايت حرارتی و نیز چگالی و ضریب انبساط حرارتی کم است[۱،۲]. کاربردهای وسیع  $SiC$  شامل اجزای موتور دیزل، توربین‌های گاز، مبدل‌های حرارتی صنعتی، سیستم‌های مبدل انرژی دما بالا، فیلترهای گاز داغ، کاربردهای ضد سایشی در اتمسفرهای مختلف، ایمپلنت‌های پزشکی و آینه‌های نوری می‌باشد [۳].

از طرفی چermگی شکست پایین  $SiC$  ( $MPa.m^{1/2}$ ) موجب شده است که این ماده در برابر نقایص حساس باشد و همین موضوع کارایی و عملکرد  $SiC$  را در برخی از موارد محدود کرده است[۴]. بنابراین، تاکنون تحقیقات زیادی بر روی بهبود چermگی شکست بدنده‌های  $SiC$  انجام شده است[۵]. نتایج بررسی ها نشان میدهد که افزودن اکسیدها و کاربیدها به عنوان فاز ثانویه یا تقویت کننده، باعث بهبود چermگی شکست سرامیک‌های  $SiC$  می‌شود. همچنین به منظور بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی سرامیک‌های  $SiC$ ، تقویت کننده‌هایی مانند  $B_4C$ ,  $TiC$  و  $TiB_2$  به کار برده می‌شود[۶،۷]. علاوه بر این به دلیل وجود پیوند کوالانسی و ضریب نفوذ در خود پایین سرامیک  $SiC$ ، برای زینتر این مواد و رسیدن به چگالی بالا، استفاده از کمک زینتر ضرری

<sup>1</sup>  $SiC$

<sup>2</sup> Pressureless Sinter

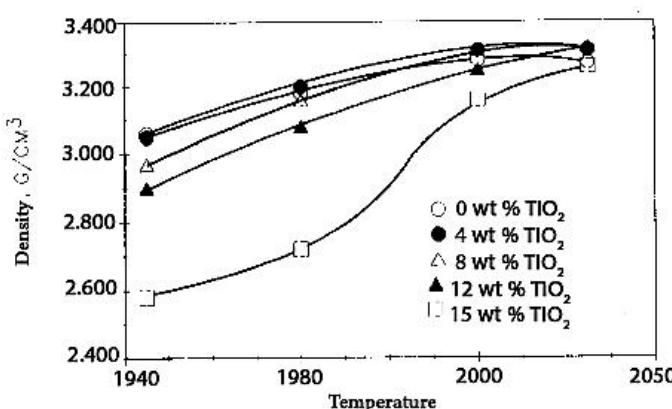
می باشد<sup>[۸]</sup>. تاکنون تلاش های زیادی برای یافتن افزومنی مناسب برای زینتر در فاز مایع<sup>۱</sup> و جامد بدندهای SiC صورت گرفته است<sup>[۹، ۱۰]</sup>.

پروچازاکا<sup>۲</sup> و همکارانش<sup>[۱۱]</sup> موفق به تولید بدندهای SiC با چگالی بالا ۹۶/۴ از طریق زینتر در فاز جامد با افزودن B و C شده اند. اما محدودیت اصلی این فرایند نیاز به دمای بالا ۲۱۰۰ درجه سانتی می باشد. پژوهش دیگر نشان می دهد که افزومنی هایی همچون B و C منجر به بهبود چگالی، ترویج استحالة  $\beta$  به  $\alpha$  و افزایش مقدار  $\alpha$ -SiC صفحه ای شکل در زمینه  $\beta$ -SiC می شود<sup>[۱۲]</sup>.

یکی از محدودیت های استفاده از فاز ثانویه (تقویت کننده) در زمینه قطعات سرامیکی، توزیع یکنواخت آنها در زمینه می باشد. بنابراین وارد کردن تقویت کننده به صورت درجا<sup>۳</sup> در داخل زمینه SiC منجر به توزیع همگن و بهبود خواص نهایی می شود<sup>[۱۳]</sup>. تحقیق و پژوهش های صورت گرفته در زمینه بهبود زینتر پذیری و خواص مکانیکی سرامیک های SiC نشان می دهد که سنتز به صورت درجای TiC و TiB<sub>2</sub> در زمینه SiC می تواند از رشد دانه های SiC جلوگیری کرده و منجر به بهبود چقرمگی شکست بدندهای SiC و همچنین موجب کاهش دمای زینتر و بهبود خواص مکانیکی و اصلاح ریز ساختاری نهایی کامپوزیت شود<sup>[۱۴]</sup>. در این مقاله تلاش شده است تا تاثیر افزومنی TiO<sub>2</sub> بر زینتر پذیری و بهبود خواص مکانیکی سرامیک های SiC مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- زینتر بدون فشار کامپوزیت های زمینه SiC تقویت شده با TiO<sub>2</sub>

ولادجیک<sup>۴</sup> و همکارانش<sup>[۱۵]</sup> تاثیر افزومنی های اکسیدی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Liang<sup>۵</sup> و لیانگ<sup>۶</sup> و همکارانش<sup>[۱۶]</sup> تاثیر افزومنی های Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> را بر زینتر بدون فشار SiC بررسی کردند. بوکواک<sup>۷</sup> و همکارانش<sup>[۱۷]</sup> علاوه بر افزودن Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiB<sub>2</sub> به منظور ایجاد فاز مایع در زمینه SiC از پودرهای TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C و C برای سنتز درجای TiB<sub>2</sub> استفاده نموده اند. تانی<sup>۸</sup> و همکارانش<sup>[۲۰]</sup> از افزودن TiO<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C و کربن برای سنتز درجای TiB<sub>2</sub> و وانگ<sup>۹</sup> و همکارانش<sup>[۲۲]</sup> و بلانس<sup>۱۰</sup> و همکارانش<sup>[۲۳]</sup> از افزودن TiO<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C و رزین فنولیک برای سنتز درجای TiB<sub>2</sub> استفاده نموده اند. آهموی<sup>۱۱</sup> و همکارش<sup>[۲۴]</sup> علاوه بر پودرهای Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> برای ایجاد فاز مایع از افزودن TiO<sub>2</sub> و C برای رسیدن به فاز TiC استفاده نموده اند. در ادامه تلاش شده است تا گزارش های این محققین مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- تغییرات چگالی با دمای زینتر برای مقادیر مختلف TiO<sub>2</sub><sup>[۱۵]</sup>

<sup>1</sup> Liquid Phase

<sup>2</sup> Prochzaka

<sup>3</sup> in - Situ

<sup>4</sup> Velajic

<sup>5</sup> Liang

<sup>6</sup> Bucevac

<sup>7</sup> Tani

<sup>8</sup> Wang

<sup>9</sup> Blance

<sup>10</sup> Ahmoye



جدول ۱- خواص مکانیکی بدست آمده از کامپوزیت‌های SiC – TiC و SiC – TiO<sub>2</sub> [۱۶]

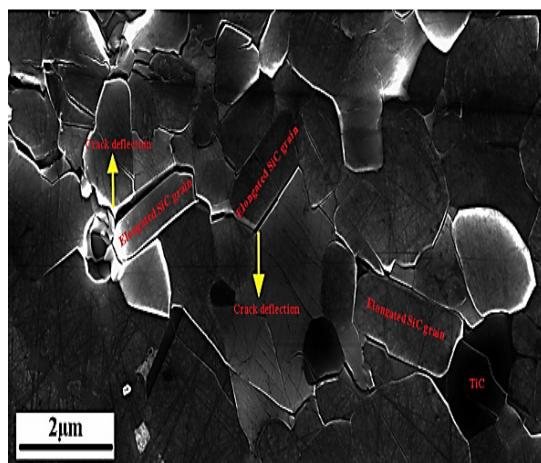
ماده	چگالی نسبی (%)	استحکام خمشی (GPa)	سختی ویکرز (MPa)	چقرمگی شکست MPa.m <sup>1/2</sup>
SiC-TiC	۴,۳	۲۵,۱	۴۵۰	۹۸,۳
SiC-TiO <sub>2</sub>	۴,۶	۲۷,۴	۵۱۶	۹۹,۲

TiC تشکیل شده به صورت درجا، به دو شکل باعث افزایش چقرمگی شکست سرامیک‌های SiC می‌شود:

۱) تغییر دانه‌های هم محور<sup>۱</sup> به دانه‌های کشیده<sup>۲</sup> در طی فرآیند (شکل ۳).

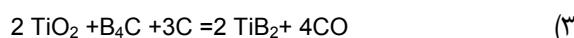
۲) میدان تنش حرارتی پسماند<sup>۳</sup> ناشی از عدم انطباق انبساط حرارتی<sup>۴</sup> بین SiC و TiC، پلزنی ترک<sup>۵</sup> و انحراف ترک<sup>۶</sup> را توسعه داده که این مکانیزم‌ها منجر به بهبود چقرمگی شکست بدانه‌های SiC می‌شود.

بوکواک و همکارانش (۲۰۱۰)، چقرمگی شکست کامپوزیت‌های زمینه SiC تقویت شده با ذرات TiB<sub>2</sub> تشکیل شده به صورت درجا را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۱۷].



شکل ۳- مسیر ترک در امتداد دانه‌های کشیده شده‌ی SiC [۱۶].

در این پژوهش، از پودر  $\beta$ -SiC با میانگین اندازه ذره  $7\text{ }\mu\text{m}$  میکرون به عنوان پودر اصلی و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Y}_2\text{O}_3$  به منظور ایجاد فاز مایع در زمینه SiC و همچنین از  $\text{TiO}_2$  و C با میانگین اندازه ذره کمتر از  $1\text{ }\mu\text{m}$  میکرون استفاده شده است. میزان  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{B}_4\text{C}$  و C برای رسیدن به  $6$  تا  $50$  درصد حجمی TiB<sub>2</sub> به صورت درجا بر اساس واکنش (۳) در زمینه SiC انتخاب شده است و میزان  $\text{Y}_2\text{O}_3$  نیز به ترتیب  $4/3$  و  $5/7$  درصد وزنی انتخاب شده است.



سپس نمونه‌های بدست آمده در محدوده دمایی  $1820^\circ\text{C}$  تا  $1970^\circ\text{C}$  به مدت  $1$  ساعت به روش زینتر بدون فشار پخت شدند. در ادامه تأثیر کسر حجمی TiB<sub>2</sub> و دمای زینتر بر چگالی و چقرمگی شکست نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده، چقرمگی شکست به شدت تحت تاثیر کسر حجمی TiB<sub>2</sub> بوده و حضور ذرات TiB<sub>2</sub> مانع از رشد دانه SiC شده و باعث تسهیل عملیاتی شدن مکانیزم‌های چقرمگی می‌شود، که این امر به نوبه خود افزایش چقرمگی شکست کامپوزیت را به همراه خواهد داشت. بالاترین مقدار چقرمگی شکست در نمونه‌های با  $30\%$  حجمی TiB<sub>2</sub> زینتر شده در دمای  $1940^\circ\text{C}$  برابر با  $7\text{ MPa.m}^{1/2}$  گزارش شد. همانطور که در شکل ۴ گزارش شده است، با افزایش کسر حجمی TiB<sub>2</sub> چگالی نمونه‌ها افزایش یافته

<sup>1</sup> Equiaxed

<sup>2</sup> Elongated

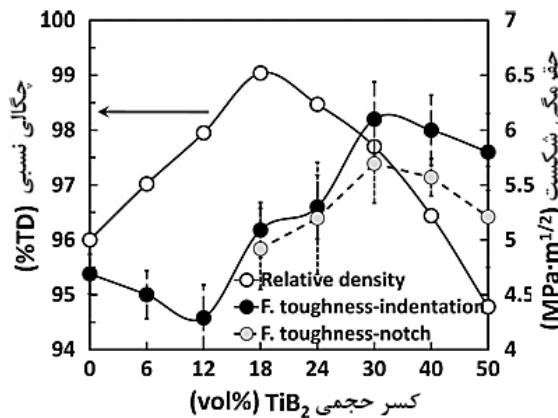
<sup>3</sup> Residual Thermal Stress Field

<sup>4</sup> Thermal Expansion Mismatch

<sup>5</sup> Crack Bridging

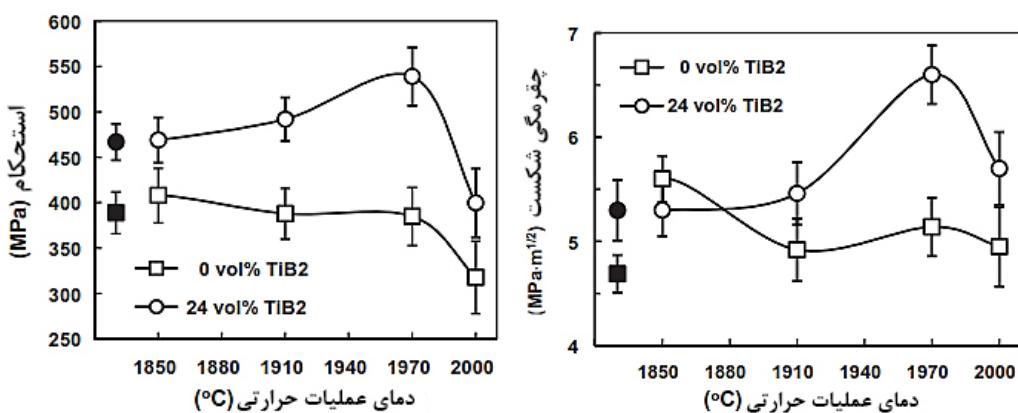
<sup>6</sup> Crack Deflection

است و حداکثر چگالی در نمونه حاوی ۱۸ درصد حجمی  $TiB_2$  حاصل شده است. دلیل اصلی کاهش چگالی نمونه‌ها بعد از ۱۸ درصد حجمی  $TiB_2$ ، ایجاد تخلخل بعد از تشکیل درجای  $TiB_2$  می‌باشد.



شکل ۴- چermگی شکست و چگالی نمونه‌ها در دمای  $1940^\circ C$  به عنوان تابعی از کسر حجمی  $TiB_2$  [۱۷]

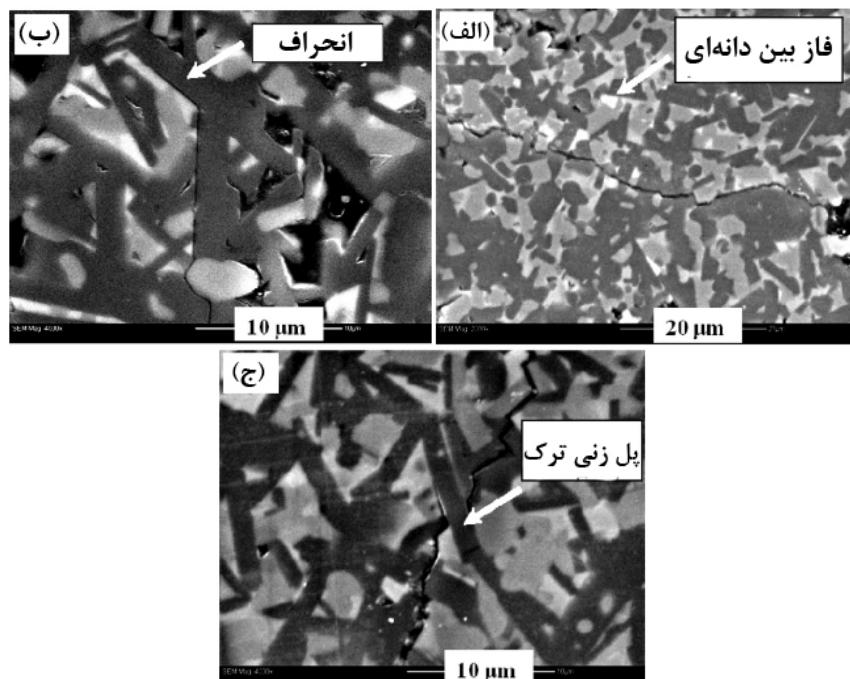
با این وجود علی‌رغم ایجاد تخلخل اضافی، برای نمونه‌های با ۳۰ درصد حجمی  $TiB_2$  چگالی ۹۷ درصد گزارش شده است و همچنین مشخص شد که ذرات  $TiB_2$  تشکیل شده به صورت درجا با اندازه ذره بسیار ریز موجب بهبود زینتر پذیری می‌شود. در پژوهش دیگری توسط این گروه (۲۰۱۱)، تاثیر عملیات حرارتی آنیل بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های در پژوهش قرار گرفت [۱۸]. در این پژوهش نیز از همان مواد مورد استفاده در پژوهش قبلی استفاده شد و مقادیر  $SiC-TiB_2$  مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش  $SiC$  در زمینه  $TiB_2$  در ۲۴ درصد حجمی ایجاد گردد (بر اساس واکنش ۳). مقادیر  $Al_2O_3$  و  $Al$  و  $B_4C$  و  $C$  به گونه‌ای انتخاب شد تا  $24^\circ C$  درصد حجمی  $TiB_2$  در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها در دمای  $1940^\circ C$  به مدت ۱ ساعت به روش بدون فشار زینتر شدند و در ادامه در محدوده دمایی  $1850^\circ C$ - $2000^\circ C$  به مدت ۱ ساعت آنیل شدند. در این پژوهش، تاثیر عملیات حرارتی آنیل بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت  $SiC-TiB_2$  تشریح شد. طبق نتایج بدست آمده، عملیات حرارتی در دمای  $1970^\circ C$  باعث بهبود استحکام و چermگی شکست نمونه‌های زینتر شده با حفظ چگالی می‌شود (شکل ۵).



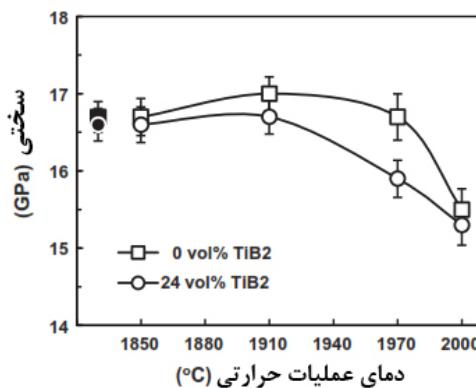
شکل ۵- تاثیر عملیات حرارتی آنیل بر چermگی شکست و استحکام نمونه‌های زینتر شده در دمای  $1940^\circ C$  حاوی صفر و ۲۴ درصد حجمی  $TiB_2$  [۱۸]

همچنین، کشیده شدن دانه‌های  $\alpha-SiC$  در حین عملیات حرارتی آنیل منجر به بهبود چermگی شکست نمونه‌ها شده است. حضور فاز مایع عامل کشیده شدن دانه‌های  $SiC$  می‌باشد، که در نهایت باعث فعال شدن مکانیزم‌های پل زنی و انحراف ترک شده است (شکل ۶). نتایج این پژوهش نشان داد که حداکثر استحکام  $540 MPa$  و بهبود قابل توجهی در چermگی شکست نمونه‌ها حاصل شده است. در عین حال هیچ تغییر قابل ملاحظه‌ای در سختی کامپوزیت‌ها پس از عملیات حرارتی تا دمای  $1970^\circ C$  مشاهده نشد (شکل ۷). در ضمن، عملیات حرارتی در دمای بیشتر از  $1970^\circ C$  کاهش خواص مکانیکی را به همراه داشته است.

در پژوهش دیگری (۲۰۱۱)، که توسط همین محققین صورت گرفته است، تاثیر اندازه دانه SiC بر استحکام شکست نمونه‌های SiC مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. در این پژوهش نیز از افروندنی‌های  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{B}_4\text{C}$  و C به منظور تولید  $\text{TiB}_2$  به صورت درجا و از افروندنی‌های  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Y}_2\text{O}_3$  برای ایجاد فاز مایع استفاده شده است. عملیات حرارتی نمونه‌ها در دمای  $1940^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت به روش زینتر بدون فشار انجام شده است. طبق نتایج گزارش شده از این پژوهش مشخص شد که حضور ذرات بسیار ریز  $\text{TiB}_2$  که به صورت درجا تولید شده‌اند، دو تاثیر مهم به همراه دارد. اول اینکه چگالی کامپوزیت به دلیل سطح ویژه بالای ذرات  $\text{TiB}_2$  تشکیل شده به صورت درجا و جلوگیری از واکنش بین  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و SiC افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۶- تصاویر SEM از سطح نمونه‌ها، (الف) نمونه‌های زینتر شده (ب) و (ج) نمونه‌های آنیل شده در دمای  $1970^{\circ}\text{C}$  (فاز سیاه نشان دهنده  $\text{SiC}$ ، فاز خاکستری نشان دهنده  $\text{TiB}_2$  و فاز روشن نشان دهنده فاز بین دانه‌ای می‌باشد) [۱۸].



شکل ۷- تاثیر دمای آنیل بر سختی نمونه‌های زینتر شده در دمای  $1940^{\circ}\text{C}$  [۱۸]

دوم اینکه، از رشد دانه‌های SiC می‌شود. بیشترین استحکام معادل  $485 \text{ MPa}$  برای نمونه حاوی  $12 \text{ vol\%}$   $\text{TiB}_2$  حاصل شده است. استحکام نمونه‌هایی که بیش از  $12 \text{ vol\%}$   $\text{TiB}_2$  داشتند مجدد کاهش یافت که دلیل اصلی آن به افزایش تخلخل‌ها نسبت داده شده است.

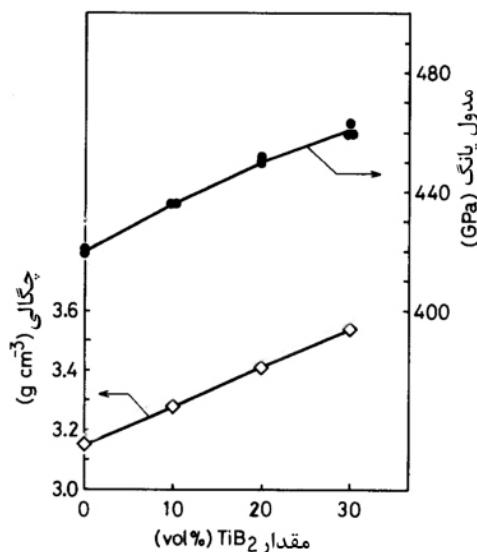
تاریخی و همکارانش (۱۹۹۱)، نیز کامپوزیت‌های  $\text{SiC}-\text{TiB}_2$  را از طریق مواد  $\text{SiC}-\text{TiO}-\text{B}_4\text{C}-\text{C}$  به روش زینتر بدون فشار تولید کردند [۲۰]. مواد و ترکیبات مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. بعد از آماده سازی مخلوطها، نمونه‌ها در

دماهای ۲۱۵۰°C به مدت ۴ ساعت در اتمسفر آرگون زینتر شده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیرات ترکیب شیمیایی پودرهای اولیه بر چگالی و خواص مکانیکی کامپوزیت می‌باشد.

جدول ۲- ترکیب‌های استفاده شده از پودرهای آغازین<sup>[۲۰]</sup>

C	B <sub>4</sub> C	TiO <sub>2</sub>	SiC	ترکیب
۱/۹	۰/۵	۰	۱۰۰	۰
۵/۶	۷/۷	۱۸	۱۰۰	۱
۱۰/۶	۱۵/۵	۴۰/۵	۱۰۰	۲
۱۷/۱	۲۵/۴	۶۹/۴	۱۰۰	۳

در شکل ۸ مدول یانگ<sup>۱</sup> و چگالی نمونه‌های زینتر شده بوسیله فرایнд بدون فشار ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، چگالی نمونه‌ها به ۹۹ درصد چگالی تئوری رسیده است و مدول یانگ نمونه‌های زینتر شده نیز به صورت خطی با افزایش مقدار TiB<sub>2</sub> افزایش پیدا کرده است.



شکل ۸- چگالی و مدول یانگ کامپوزیت‌های SiC-TiB<sub>2</sub> زینتر شده بوسیله فرایند بدون فشار به عنوان تابعی از مقادیر TiB<sub>2</sub> [۲۰].

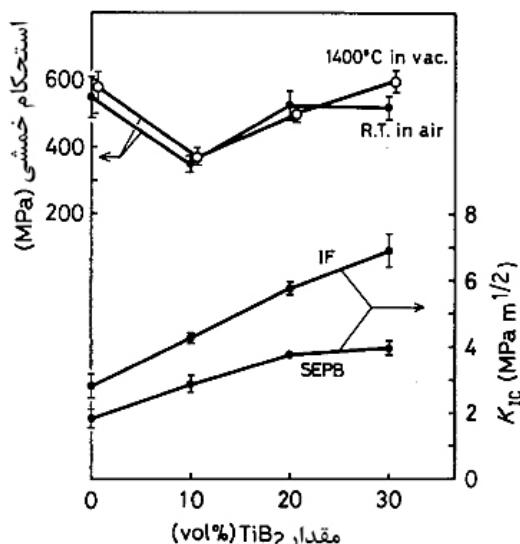
استحکام خمسی چهار نقطه‌ای و چقرومگی شکست نمونه‌های زینتر شده نیز در شکل ۹ آورده شده است. استحکام کامپوزیت‌های حاوی مقادیر بیشتر از ۲۰ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> در دماهای ۲۰°C و ۵۰۰ MPa معادل ۱۴۰۰°C و در دماهای ۶۰۰ MPa گزارش شده است. چقرومگی شکست نمونه‌ها نیز با افزایش مقادیر TiB<sub>2</sub> افزایش پیدا کرده است.

در پژوهش دیگر تانی (۱۹۹۹)، خواص مکانیکی و ریزاساختار کامپوزیت‌های زمینه SiC تقویت شده با TiB<sub>2</sub> سنتز شده به صورت درجا مورد بررسی قرار گرفت<sup>[۲۱]</sup>. در این پژوهش تاثیر مواد اولیه و شرایط زینتر بر ریزاساختار و چقرومگی شکست کامپوزیت‌های زمینه SiC حاوی ۲۰ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> زینتر شده به وسیله فرایند بدون فشار و همچنین اعمال فرایند HIP بعد از فرایند بدون فشار مورد ارزیابی قرار گرفت. مواد اولیه پژوهش شامل: پودرهای α-SiC با اندازه ذره ۰/۴۸ میکرون، β-SiC با اندازه ذره ۰/۴ میکرون به عنوان پودرهای اصلی و B<sub>4</sub>C با اندازه ذره ۰/۵ میکرون و کربن به عنوان مواد افزودنی زینتر می‌باشد. مقادیر افزودنی هم بر اساس رسیدن به کامپوزیت زمینه SiC حاوی ۲۰ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> طراحی شده‌اند. کربن و B<sub>4</sub>C اضافی (۱/۵ درصد وزنی) نیز به منظور واکنش کربوترمال برای سنتز به صورت درجای TiB<sub>2</sub> استفاده شد. و بعد از مخلوط کردن پودرها با یکدیگر، نمونه‌های بدست آمده در دماهای ۲۰۰۰°C، ۲۱۰۰°C و ۲۲۰۰°C به مدت زمان ۱ ساعت در

<sup>۱</sup> Yang Modulus

اتمسفر آرگون بوسیله فرایند بدون فشار زینتر شده‌اند و عملیات HIP نیز بعد از فرایند زینتر بدون فشار در دمای  $1900^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت در اتمسفر آرگون و با اعمال فشار ۲۰۰ مگاپاسکال، انجام شد.

طبق نتایج بدست آمده از آنالیزهای XRD مشخص شده که فاز  $TiB_2$  در تمام نمونه‌های زینتر شده در دمای  $2100^\circ C$  تشکیل شده است. در جدول ۳ چگالی و استحکام خمی چهار نقطه‌ای نمونه‌های SiC حاوی  $20\%$  درصد حجمی  $TiB_2$  زینتر شده به روش بدون فشار و HIP شده با مواد اولیه مختلف ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ترکیباتی که از کربن به عنوان منبع کربنی استفاده شده است حداقل استحکام خمی هم در دمای اتاق و هم در دما  $1400^\circ C$  تقریباً  $700$  MPa بدست آمده است در حالی که در نمونه‌هایی که از رزین فنولیک به عنوان منبع کربن استفاده شده است استحکام خمی نمونه‌ها تا  $820$  MPa افزایش یافته است.



**شکل ۹**- استحکام خمی چهار نقطه‌ای و چقرمگی شکست کامپوزیت‌های  $\text{SiC}-\text{TiB}_2$  زینتر شده بوسیله فرایند بدون فشار به عنوان تابعی از مقادیر  $\text{TiB}_2$ .

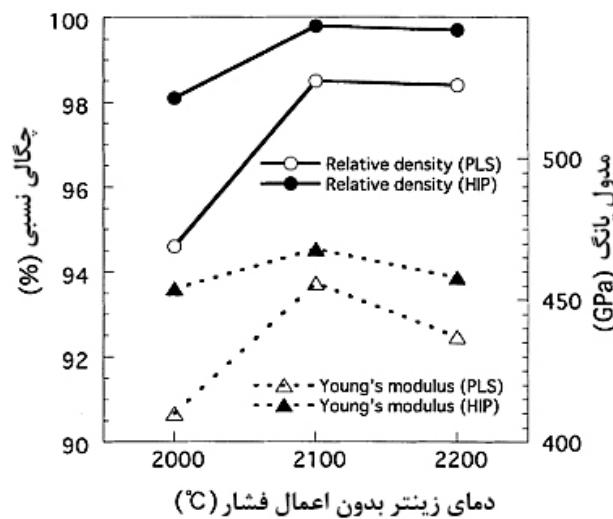
جدول ۳- چگالی نسبی و میانگین استحکام خمشی نمونه‌های زینتر شده در دمای  $2100^{\circ}\text{C}$  و HIP شده [۲۱]

ماده	نوع SiC منبع کربن مورد استفاده	چگالی نسبی بعد از HIP (%)	استحکام خمشی در دمای (MPa) ۱۴۰۰°C	استحکام خمشی در دمای اتاق (MPa)
۵۵۰	کربن سیاه	۹۹,۲	۶۲۵	۵۵۰
۷۲۶	کربن سیاه	۹۹,۲	۶۹۰	۷۲۶
۷۲۳	سوسپانسیون محلول کربن	۹۹,۶	۷۳۰	۷۲۳
۷۸۵	رزین فنولیک	۹۹,۸	۸۲۶	۷۸۵
۷۱۴	کربن سیاه	۹۸,۷	۷۰۰	۷۱۴

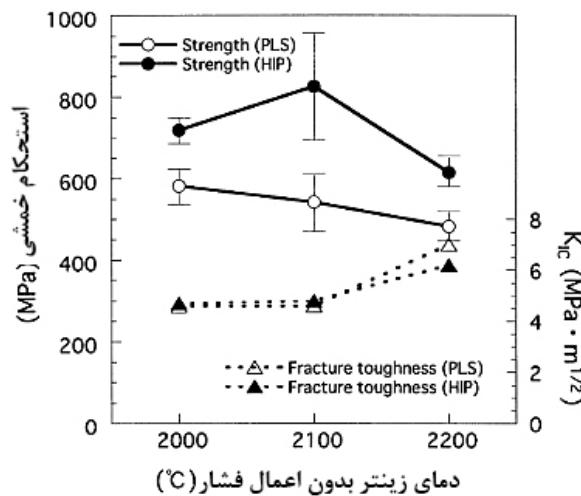
در شکل های ۱۰ و ۱۱ چگالی نسبی، مدول یانگ، استحکام خمی<sup>۱</sup> و چقرومگی شکست نمونه های زینتر شده و HIP شده به عنوان تابعی از دمای زیترینگ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش دمای زینتر تا  $2200^{\circ}\text{C}$  و انجام فرایند HIP، چگالی و مدها، یانگ نمونه ها افزایش یافته است.

این در حالی می‌باشد که دمای بهینه زینتر بوسیله فرایند بدون فشار، دمای  $2100^{\circ}\text{C}$  می‌باشد (شکل ۱۰). در شکل ۱۱ نیز استحکام خمشی چهار نقطه‌ای و چقرمگی شکست کامپوزیت  $\text{SiC-TiB}_2$  زینتر شده به وسیله فرایند بدون فشار به علاوه اعمال فرایند HIP به عنوان تابع، از شرایط زینتر ارائه شده است.

## <sup>1</sup> Flexural Strength

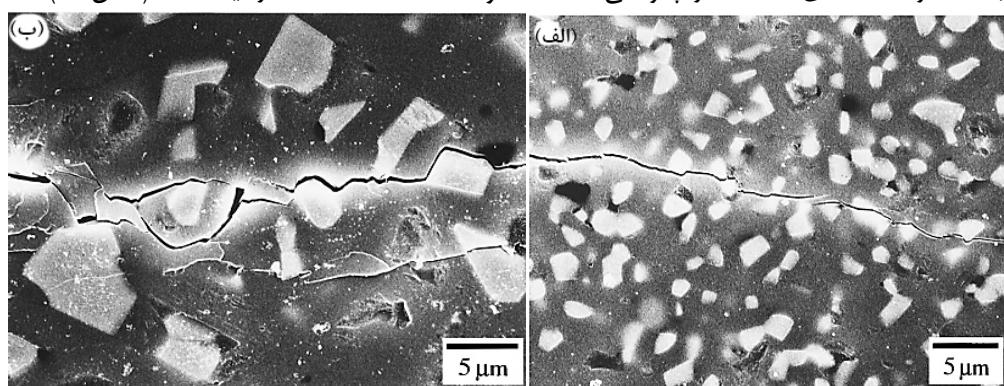


شکل ۱۰-چگالی و مدول یانگ نمونه‌های زینتر شده به وسیله فرایند بدون فشار و HIP شده به عنوان تابعی از دمای زینتر [۲۱].



شکل ۱۱-چermگی شکست و استحکام خمشی نمونه‌های زینتر شده به وسیله فرایند بدون فشار و HIP شده به عنوان تابعی از دمای زینترینگ [۲۱].

همانطور که مشاهده می‌شود استحکام خمشی نمونه‌ها با افزایش دمای زینتر کاهش می‌یابد. در حالی که بیشترین استحکام خمشی در نمونه‌های زینتر شده در دمای  $2100^{\circ}\text{C}$  که تحت عملیات HIP قرار گرفته اند گزارش شده است. از این رو، با افزایش دمای زینتر به علت رشد دانه‌های SiC، مقدار چermگی شکست نمونه‌ها تا  $6/\sqrt{2} \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  رسیده است (شکل ۱۲).



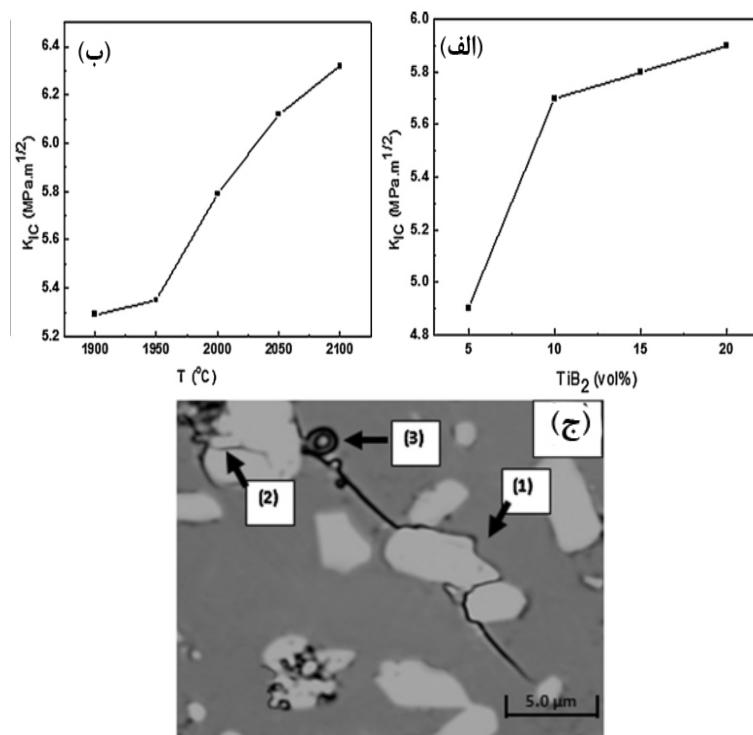
شکل ۱۲- تصاویر SEM از مسیر اشعه ترک در کامپوزیت‌های زمینه SiC حاوی ۲۰ درصد حجمی  $\text{TiB}_2$ . (الف) نمونه‌های زینتر شده در دمای  $2100^{\circ}\text{C}$  به وسیله بدون فشار و HIP، (ب) نمونه‌های زینتر شده در دمای  $2200^{\circ}\text{C}$  به وسیله بدون فشار و HIP [۲۱].

وانگ و همکارانش (۲۰۱۲)، شرایط فرآیند و چقزمگی شکست کامپوزیت‌های زمینه SiC تقویت شده با ذرات  $TiB_2$  سنتز شده به صورت درجا را بوسیله روش زینتر بدون فشار مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۲۲].

در این پژوهش از پودرهای  $\alpha$ -SiC ( $40\text{ }\mu\text{m}$ ،  $TiO_2$  ( $74\text{ }\mu\text{m}$ ، نانوذرات  $TiO_2$  ( $20\text{ }\text{nm}$ ،  $B_4C$  ( $3/5\text{ }\mu\text{m}$ ) رزین فنولیک و اتانول مورد استفاده شده است. در ادامه فرآیند آماده سازی نمونه‌ها، کامپوزیت زمینه SiC با  $15\text{ }\mu\text{m}$  درصد حجمی  $TiB_2$  حاوی  $80\text{ g}$   $SiC$ ,  $23\text{ g}$   $TiO_2$ ,  $9\text{ g}$   $B_4C$  و  $29/2\text{ g}$  رزین فنولیک با یکدیگر مخلوط و آسیاب شدند. سپس نمونه‌های بدست آمده تحت فرآیند بدون فشار در محدوده دمای  $1900^{\circ}\text{C}$  تا  $2100^{\circ}\text{C}$  در زمان‌های مختلف زینتر شدند.

شرایط فرآیند از جمله دمای پیش زینتر، مقدار کربن، پودرهای  $TiO_2$  با مقادیر مختلف، مقادیر حجمی  $TiB_2$ , زمان و دمای نهایی زینتر به صورت دقیق مورد بررسی قرار گرفت. این محققان دریافتند که این شرایط، تأثیر بسیار مهمی بر کامپوزیت‌های زمینه SiC چقزمگه شده با  $TiB_2$  دارد. طبق نتایج بدست آمده، عملیات پیش زینتر در دمای  $1400^{\circ}\text{C}$  موجب تبدیل کامل  $TiO_2$  به  $TiB_2$  می‌شود و مقدار بهینه کربن جدای از مصرف در واکنش،  $40\text{ }\mu\text{m}$  درصد وزنی است. همچنین مشخص شد که نمونه‌های تولید شده با پودرهای  $TiO_2$  میکرونی در مقایسه با پودرهای نانو  $TiO_2$  دارای چگالی بالایی می‌باشد و اینکه شرایط زینتر بهینه دمای  $2000^{\circ}\text{C}$  به مدت  $5/0\text{ s}$  ساعت می‌باشد. توزیع همگن  $TiB_2$  سنتز شده به صورت درجا به عنوان فاز دوم، افزایش KIC زمینه SiC را به همراه داشته است و بیشترین میزان چقزمگی شکست معادل  $6/4\text{ MPa.m}^{1/2}$  برای نمونه‌های حاوی  $15\text{ }\mu\text{m}$  درصد حجمی  $TiB_2$  که در دمای  $2100^{\circ}\text{C}$  عملیات حرارتی شده‌اند بدست آمد. این مقدار از بالاترین مقادیری است که تا کنون برای کامپوزیت‌های زمینه SiC تقویت شده با  $TiB_2$  به وسیله‌ی روش زینتر بدون فشار با استفاده از  $TiO_2$  به عنوان منبع Ti گزارش شده است.

با توجه به شکل ۱۳ (الف) با افزایش کسر حجمی ذرات  $TiB_2$ , تعامل بین نوک ترک با ذرات  $TiB_2$  افزایش پیدا کرده و موجب بهبود چقزمگی می‌شود. شکل ۱۳(ب) به وضوح نشان دهنده افزایش KIC با افزایش دما از  $1900^{\circ}\text{C}$  تا  $2100^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. در شکل ۱۳ (ج) نیز انواع مختلف ترک، از جمله اطراف، متقطع<sup>۱</sup> و انحراف دوگانه<sup>۲</sup> پیرامون ذرات  $TiB_2$  نشان داده شده است.



شکل ۱۳- تاثیر کسر حجمی  $TiB_2$  (الف) و دمای زینتر بر چقزمگی شکست کامپوزیت زمینه SiC حاوی  $15\text{ }\mu\text{m}$  درصد حجمی  $TiB_2$  (ب) و (ج) تصاویری از مسیر ترک (۱) انحراف ترک در اطراف ذرات  $TiB_2$  (۲) قطع شدن ذرات  $TiB_2$  بوسیله یک ترک (۳) انحراف دوگانه ترک در اطراف ذرات  $TiB_2$  [۲۲].

<sup>1</sup> Cross Over

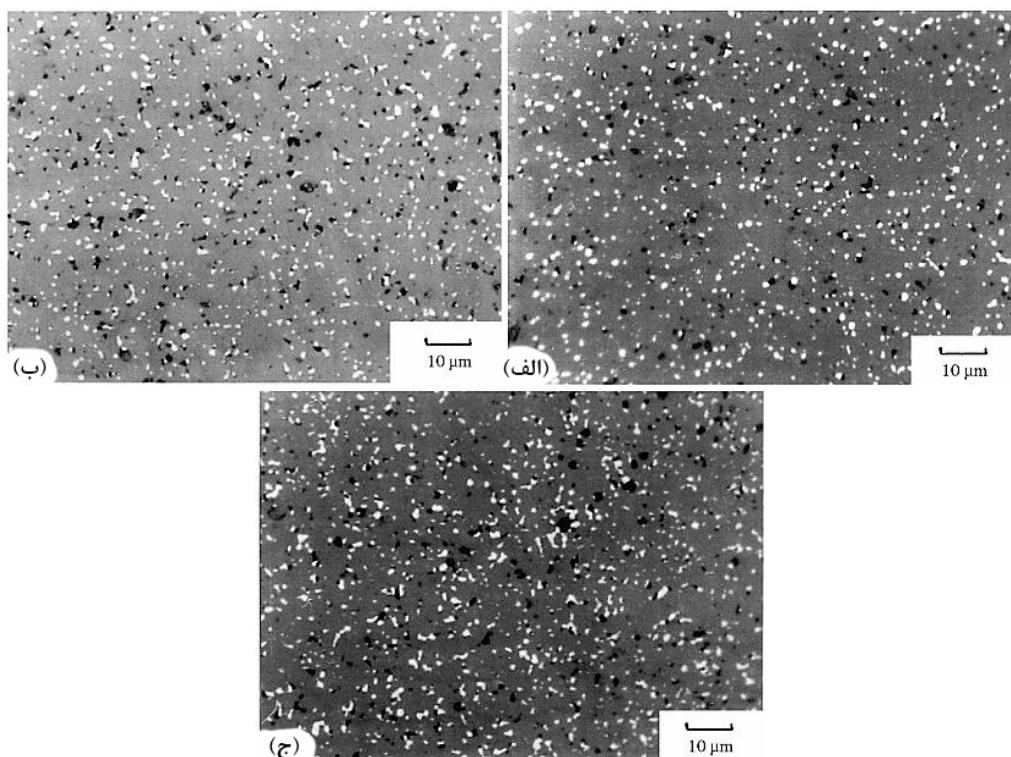
<sup>2</sup> Double Deflection

بالанс و همکارانش (۱۹۹۹)، خواص مکانیکی و ریزاساختار کامپوزیت زمینه SiC تقویت شده با ذرات کمتر از میکرون TiB<sub>2</sub> را مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۳]. در این پژوهش از  $\alpha$ -SiC با اندازه ذره ۷۵/۰ میکرون به عنوان پودر اصلی، از B<sub>4</sub>C با اندازه ذره ۱/۵ میکرون، TiO<sub>2</sub> با اندازه ذره ۲۰۰–۳۰۰ نانو متر و از رزین فنولیک به عنوان منبع کربن به عنوان افزودنی استفاده شده است نمونه‌های بدست آمده نیز تحت فرایند زینتر بدون فشار در دمای ۲۱۹۰°C پخت شده‌اند.

در این تحقیق سنتز TiB<sub>2</sub> به صورت درجا در زمینه SiC در دمای ۱۴۰۰°C از طریق واکنش (۴) صورت گرفت:



در شکل ۱۴ توزیع یکنواخت ذرات سفید TiB<sub>2</sub> در زمینه SiC نشان داده شده است. طبق تصاویر ارائه شده، در همه نمونه‌ها توزیع ذرات TiB<sub>2</sub> به صورت همگن می‌باشد، علاوه بر این، همانطور که مشخص است فاصله بین ذرات با افزایش مقدار TiB<sub>2</sub> کاهش می‌یابد. تصویر نشان دهنده این است که عمدۀ ذرات در مقیاس کمتر از میکرون هستند. در جدول ۴ خواص بدست آمده از این پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱۴- تصاویر از توزیع ذرات در زمینه TiB<sub>2</sub>، SiC، (الف) نمونه ۵ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> (ب) نمونه SiC حاوی ۱۰ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> و (ج) نمونه SiC حاوی ۱۵ درصد حجمی TiB<sub>2</sub> (زمینه SiC به رنگ خاکستری و TiB<sub>2</sub> به رنگ سفید مشخص شده است) [۲۳].

جدول ۴- خواص مکانیکی کامپوزیت SiC – TiB<sub>2</sub>

ماده	دماز زینتر	چگالی (%)	سختی (%)	چقرمگی (GPa)	(MPa.m <sup>1/2</sup> )
SiC صنعتی	-	۹۷	۲۲	۳.۱	
SiC-5vol% TiB <sub>2</sub>	۲۱۹۰°C ۱h	۹۸	۳۰	۳.۵	
SiC-10vol% TiB <sub>2</sub>	۲۱۹۰°C ۱h	۹۷	۲۷	۳.۶	
SiC-15vol% TiB <sub>2</sub>	۲۱۹۰°C ۱h	۹۵	۲۳	۳.۹	

نتایج گزارش شده توسط توسط این گروه، نشان می‌دهد که با افزایش میزان  $TiB_2$  چقرمگی شکست افزایش، سختی کاهش و میانگین اندازه ذره  $TiB_2$  افزایش یافته است. تنفس کششی کامپوزیت نیز با بالارفتن میزان  $TiB_2$  از ۵ تا ۱۵ درصد حجمی کاهش یافته است. آهموی و همکارش (۲۰۱۵) کامپوزیت‌های زمینه SiC تقویت شده با ذرات  $TiO_2$  را به منظور تبدیل به  $TiC$  به  $TiO_2$  موردن بررسی قرار داده‌اند [۲۴]. در این پژوهش از پودر  $\alpha$ -SiC با میانگین اندازه ذره  $75\text{ }\mu\text{m}$  میکرون به عنوان پودر اصلی و همچنین از پودرهای  $Al_2O_3$  و  $Y_2O_3$  با اندازه ذره کمتر از یک میکرون به عنوان کمک زینتر و از  $TiO_2$  و C به منظور رسیدن به  $TiC$  استفاده شد. در این تحقیق ترکیب‌های مختلف با مقادیر متغیر  $TiO_2$  و C برای رسیدن به فاز  $TiC$  با توجه به واکنش استوکیومتری (۵) انتخاب شده است.

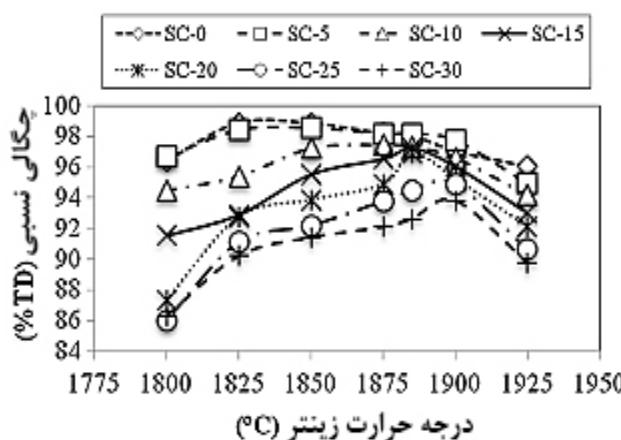


کمک زینتر ( $Al_2O_3$  و  $Y_2O_3$ ) برای همه ترکیبات معادل ۱۰ درصد وزنی و با نسبت ۵۷:۴۳ ثابت نگه داشته شده است. در جدول ۵ ترکیبات بکار رفته در این تحقیق ارائه شده است. در نهایت نمونه‌های خام در محدوده دمایی  $1825^{\circ}\text{C}-1900^{\circ}\text{C}$  در اتمسفر آرگون به مدت ۱ ساعت تحت فشار زینتر شده‌اند.

جدول ۵- ترکیبات بکار گرفته شده به منظور سنتر درجا [۲۴]  $TiC$

ترکیبات							مواد اولیه
SC30	SC25	SC20	SC15	SC10	SC5	SC0	
۳۵,۵۶	۴۱,۶۳	۴۸,۵۷	۵۶,۵۶	۶۵,۸۷	۷۶,۸۵	۹۰	(wt%) SiC
۳۷,۵۲	۳۳,۳۳	۲۸,۵۵	۲۳,۰۴	۱۶,۶۲	۹,۰۶	-	(wt%) $TiO_2$
۱۶,۹۳	۱۵,۰۴	۱۲,۸۸	۱۰,۴۰	۷,۵۰	۴,۰۹	-	(wt%) C
۴,۷۰	۴,۷۰	۴,۷۰	۴,۷۰	۴,۷۰	۴,۷۰	۴,۷۰	(wt%) $Al_2O_3$
۵,۳۰	۵,۳۰	۵,۳۰	۵,۳۰	۵,۳۰	۵,۳۰	۵,۳۰	(wt %) $Y_2O_3$
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	بایندر (wt%)
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	مقدار $TiC$ سنتر شده (vol%)

در این تحقیق عوامل موثر در رسیدن به حداکثر چگالی و بهبود خواص کامپوزیت‌های زمینه SiC مورد بررسی قرار گرفته است و تاثیر دمای زینتر و کسر حجمی  $TiC$  بر خواص بدندهای SiC شرح داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت نمونه‌های زینتر شده با افزایش دما افزایش مدامی در چگالی نسبی نشان داده‌اند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- تغییر چگالی نسبی با دمای زینتر برای مقادیر مختلف  $TiC$  سنتر شده به صورت درجا [۲۴]

همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، نمونه SiC بدون افزودنی (SC-0) و نمونه‌های حاوی ۵ درصد حجمی TiC به حداکثر چگالی در محدوده دمای ۱۸۲۵°C و ۱۸۵۰°C رسیده‌اند. در این محدوده از دمای زینتر، نمونه‌های حاوی کمتر از ۵ درصد حجمی TiC به چگالی بالای رسیده‌اند. برای سایر نمونه‌ها نیز با افزایش مقادیر  $TiO_2$ ، حداکثر چگالی کاهش یافته است. این محققین، اندازه و مورفولوژی دانه SiC را به صورت تابعی از کسر حجمی TiC مورد آنالیز قرار دادند و گزارش کرده اند که حضور ذرات در زمینه SiC مانع از رشد دانه‌های SiC می‌شود و مکانیزم‌های انتقال جرم اضافی را فعال می‌کند. این محققان، نشان دادند که دانه‌های SiC تقریباً هم‌محور هستند و ذرات ریز TiC باعث جلوگیری از افزایش طول بیش از حد دانه‌ها می‌شود.

### ۳- نتیجه‌گیری

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته در جهت بهبود زینترپذیری و خواص کامپوزیت‌های زمینه SiC، عوامل متعددی مانند مواد اولیه (خام)، روش و دمای زینتر، استفاده و یا عدم استفاده از کمک زینترها، سایز تقویت کننده، میزان و روش سنتز آنها در ساختار موثر می‌باشد.

سرامیک‌های SiC، با خواص عالی، یک ماده مناسب برای بعضی از کاربردهای دمای بالا و ابزارهای برش می‌باشند. تقویت کننده‌های متعددی در جهت بهبود خواص مکانیکی سرامیک SiC استفاده می‌شود، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که  $TiO_2$  یکی از افزودنی‌های موثر در جهت افزایش خواص SiC می‌باشد. حضور این ماده در کنار SiC از چند طریق مورد بررسی قرار گرفته است که شامل افزودن  $TiO_2$  به همراه  $Al_2O_3$  و  $Y_2O_3$  به منظور ایجاد فاز مایع، افزودن  $TiO_2$  و C به منظور رسیدن به TiC و اضافه نمودن  $TiO_2$ ،  $TiB_2$  و C برای سنتز درجای  $TiB_2$  بوده است.

یکی از مهمترین چالش‌ها در اضافه کردن فاز ثانویه به زمینه سرامیکی، توزیع یکنواخت آنها در فاز زمینه می‌باشد که مطابق بررسی انجام شده مشخص شد ایجاد تقویت کننده به صورت درجا در زمینه SiC منجر به توزیع همگن و بهبود خواص نهایی نمونه می‌شود.

همچنین مشخص شده است که افزودن  $TiO_2$  و سنتز درجای  $TiB_2$  و  $TiC$  در زمینه SiC از رشد دانه‌های SiC جلوگیری کرده و منجر به بهبود چقرومگی شکست بدنده‌های SiC می‌شود و همچنین استفاده از این روش موجب کاهش دمای زینتر و بهبود خواص مکانیکی و اصلاح ریزساختار نهایی کامپوزیت می‌شود.

یکی از ارزان‌ترین و به صرفه‌ترین راههای تولید این کامپوزیت فرآیند زینتر بدون فشار می‌باشد، نتایج بررسی‌ها نشان داد که عملیات حرارتی آنلیل که بلاافاصله بعد از زینتر انجام می‌شود بهبود چقرومگی شکست و خواص مکانیکی نمونه‌ها را به همراه دارد. بر اساس گزارشات بدست آمده، تغییر فاز  $\beta$  به  $\alpha$  در زمینه SiC در حین فرایند زینتر یا آنلیل کردن بعد از زینتر، موجب افزایش چقرومگی شکست کامپوزیت‌های زمینه SiC می‌شود. همچنین آنلیل کردن بعد از فرایند زینتر بدون فشار، موجب افزایش چگالی و خواص مکانیکی نمونه‌ها می‌شود.

### مراجع

- [1] J. Zhang, D. Jiang, Q. Lin, Z. Chen, Z. Huang , "Properties of silicon carbide ceramics from gelcasting and pressureless sintering", Materials & Design, vol. 65, pp. 12 - 16, 2015.
- [2] G. Magnani, A. Brentari, E. Burresi, G. Raiteri, "Pressureless sintered silicon carbide with enhanced mechanical properties obtained by the two-step sintering method", Ceramics International,vol. 40, pp. 1759 - 1763, 2014.
- [3] S. Ribeiro, L. Gênova, G. Ribeiro, M. Oliveira, A. Bressiani, "Effect of heating rate on the shrinkage and microstructure of liquid phase sintered SiC ceramics", Ceramics International, vol. 42, pp. 17398 - 17404. 2016.
- [4] Wang W, Lian J, Ru H. Pressureless sintered SiC matrix toughened by in situ synthesized TiB<sub>2</sub> : Process conditions and fracture toughness. Ceram in 2012;38:2079–85.
- [5] Cabrero J, Audubert F, Pailler R. Fabrication and characterization of sintered TiC-SiC composites. J Eur Ceram Soc 2011; 30; 313-20.
- [6] Zhu S, Mizuno M, Kagawa Y, Mutoh Y. Monotonic tension, fatigue and creep behavior of SiC-fiber-reinforced SiC-matrix composites: A review. Comp Sci Tech 1999;59:833–51.
- [7] Zhang L, Yang H, Guo X, Shen J, Zhu X. Preparation and properties of silicon carbide ceramics enhanced by TiN nanoparticles and SiC whiskers. Scripta Materialia 2011;65:186–89.

- [8] Lodhe M, Chawake N, Yadav D, Balasubramanian M. On correlation between  $\beta \rightarrow \alpha$  transformation and densification mechanisms in SiC during spark plasma sintering. *Scripta Materialia*. 2016;115:137-40.
- [9] Hecht NL, McCullum DE, Graves GA. Investigation of selected silicon nitride and silicon carbide ceramics. 12th Annual Conference on Composites and Advanced Ceramic Materials, Part 2 of 2: Ceramic Engineering and Science Proceedings, Volume 9, Issue 9/10: Wiley Online Library; 2008. p. 1313-32.
- [10] Padture NP. In Situ-Toughened Silicon Carbide. *Journal of the American Ceramic Society*. 1994;77:519-23.
- [11] Prochazka S, Johnson CA, Giddings RA. Proc. of Int. Symp. Of Factors in Densification and Sintering of Oxide and Non-oxide Ceramics, Gakujutsu Bunken Fukyu-Kai, Tokyo, Japan, 1979: 366.
- [12] Vlajic M, Kstic V. Densification and Mechanical properties of pressureless sintering Beta-SiC with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> Additions. *Solid state phenomena* 1992;25-26: 421-28.
- [13] Liang H, Yao X, Zhang H, Liu X, Huang Z. In situ toughening of pressureless liquid phase sintered  $\alpha$ -SiC by using TiO. *Ceram int* 2014;40:10699-704.
- [14] McMurry C, Boecker W, Seshadri S, Zanghi J, Garnier J. Microstructure and materials properties of SiC-TiB particulate composites. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 66 (1987) 325-329.
- [15] M. Vlajic, V. Kstic, "Densification and Mechanical properties of pressureless sintering Beta-SiC with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> Additions", *Solid state phenomena*, vol.26, pp. 421 - 428, 1992.
- [16] H. Liang, X. Yao, J. Zhang, X. Liu, Z. Huang, "The effect of rare earth oxides on the pressureless liquid phase sintering of  $\alpha$ -SiC" *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 34, pp. 2865 - 2874, 2014.
- [17] D. Bucevac, S. Boskovic, B. Matovic, V. Krstic, "Toughening of SiC matrix with in-situ created TiB<sub>2</sub> particles", *Ceram int*, vol. 36, pp. 2181 - 2188, 2010.
- [18] D. Bucevac, B. Matovic, B. Babic, V. Krstic, "Effect of post sintering heat on mechanical properties and microstructure of SiC - TiB<sub>2</sub> composites", *Mate Sci and Eng A*, vol. 528, pp. 2034 - 2041, 2011.
- [19] D. Bucevac, B. Matovic, S. Boskovic, V. Krstic, "Pressureless sintering of internally synthesized SiC-TiB<sub>2</sub> composites with improved fracture strength", *Journal of Alloys and compounds*, vol. 509, pp. 990 - 996, 2011.
- [20] T. Tani, S. WADA, "Pressureless – Sintered and HIPed SiC-TiB<sub>2</sub> Composites from SiC-TiO<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C-C powder compact", *J mater Sci Eng A*, vol. 26, pp. 3491 - 3496, 1991.
- [21] T. Tani, "Processing, microstructure and properties of in-situ reinforced SiC matrix composites", *Composites part A: Applied science and manufacturing*, vol. 30, pp. 419 - 423, 1999.
- [22] W. Wang, M. Lian, H. Ru, "Pressureless sintered SiC matrix toughened by in situ synthesized TiB<sub>2</sub> : Process conditions and fracture toughness", *Ceramic international*, vol. 38, pp. 2079 - 2085, 2012.
- [23] C. Blanc, F. Thevenot, D. Goeuriot, "Microstructural and Mechanical Characterization of SiC-submicron TiB<sub>2</sub> Composites", *J Eur Ceram Soc*, vol. 19, pp. 561 - 569, 1999.
- [24] D. Ahmoye, V. Krstic, "Reaction sintering of SiC composites with in situ converted TiO<sub>2</sub> To TiC", *J Mater Sci*, vol. 50, pp. 2806 - 2812, 2015.



دکتر اکبر اشحاقی، نویسنده‌ی  
مسئول مقاله، دانشگاه صنعتی  
مالک اشتر، دانشکده مهندسی  
مواد

# افزایش مقاومت به خوردگی فلزات توسط پوشش‌های فوق آبگریز خودتمیزشونده

حسام خالقی، اکبر اشحاقی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

**چکیده:** سازه‌ها و تجهیزات فلزی با قرار گیری در شرایط نامساعد محیطی و رطوبت دائم در معرض خوردگی قرار دارند. خوردگی باعث افت عملکرد و نهایتاً انهاشد تجهیزات و سازه‌های فلزی می‌شود. روش‌های متعددی جهت حفاظت و کنترل خوردگی سازه‌ها و تجهیزات استفاده می‌شود. اخیراً ظهور پوشش‌های فوق آبگریز پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای را در جهت کنترل خوردگی ایجاد کرده است. این پوشش‌ها به علت خاصیت آبگریزی، از چسبندگی آب به سطح جلوگیری کرده و یا اصطلاحاً بوسیله آب تر نمی‌شوند و در نتیجه لایه مقاوم در برابر خوردگی ایجاد می‌کنند. استفاده از سطوح فوق آبگریز به منظور افزایش دوام، کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان مورد نیاز برای حفاظت تجهیزات در صنایع مختلف مانند صنعت اتموپیل‌سازی، ساختمان و دریابی و ... نیز مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین پوشش‌ها و رنگ‌های خود تمیزشونده فوق آبگریز به دلیل غلظیدن قطرات آب روی سطح، آلودگی‌های سطحی را می‌زایند که این عمل موجب می‌شود املاک و رسمیات تجمع کرده بر سطح تجهیزات براحتی شسته شده و از بروز خوردگی‌های موضعی جلوگیری شود.

**کلمات کلیدی:** پوشش، فوق آبگریز، مقاومت به خوردگی.

## ۱ - مقدمه

به طور کلی امروزه، جذب آلودگی، آب و سایر مایعات بر روی سطوح، برای بسیاری از کاربردها یک مشکل اساسی به شمار می‌رود. به عنوان مثال در نیمه‌هادی‌ها، بر اثر جذب آلودگی (ذرات جامد و یا مایعات)، میزان عبور نور کاهش می‌یابد که این امر به شدت بر نحوه عملکرد و راندمان تجهیزاتی نظری سلول‌های خورشیدی و وسایل اپتوکترونیک تأثیر می‌گذارد. همچنین در صنایع دریابی، وسایلی از قبیل کشتی‌ها و سکوها، به دلیل چسبندگی بالای مواد خورنده به سطح آن‌ها، در معرض خوردگی شدید و انهدام می‌باشند. عامل اصلی جذب آلودگی‌ها بر روی سطوح، تفاوت انرژی سطحی آن‌ها می‌باشد به طوری که هرچه اختلاف انرژی سطحی دو عامل (آلودگی و زیرلایه) بیشتر باشد، مقدار آلودگی جذب شده بیشتر خواهد بود. بنابراین به منظور کاهش جذب آلودگی‌ها باید تا حد امکان انرژی سطحی سطوح را کاهش داد. برای کمک به کاهش چسبندگی از طریق کاهش انرژی سطحی، راه دیگر کاهش سطح تماس آلودگی‌ها و مایعات با سطوح در معرض است. یکی از روش‌های فوق آبگریز است [۱]. در این پوشش‌ها به منظور کاهش جذب آلودگی و چسبندگی، دو پارامتر زیری و شیمی سطح باید به طور همزمان کنترل شوند به طوری که قطرات آب قرار گرفته روی سطح، کمترین فصل مشترک را با سطح جامد داشته باشند. به عبارتی فصل مشترک هوا-مایع افزایش و فصل مشترک جامد-مایع کاهش یابد. قطرات آب بر روی سطوح فوق آبگریز، به آسانی روی سطح می‌غلتند و آلودگی‌ها را همراه با خود از روی سطح بر می‌دارند. با این وجود، برخی از عوامل، کاربرد این پوشش‌ها را محدود می‌کنند. از جمله این عوامل می‌توان به استحکام پایین، دوام و پایداری کم این پوشش‌ها اشاره کرد. از طرف دیگر کاربرد این پوشش‌ها در مواردی که عبور اپتیکی بالا موردنظر است، مشکل و نیازمند ایجاد زیری بهینه و استفاده از موادی با کمترین انرژی سطحی است. طبق بررسی‌های انجام‌شده مشخص شده است که نانوساختارهای

مصنوعی تهیه شده بر اساس ساختار برگ نیلوفر آبی یک راه حل مناسب برای ایجاد سطوح فوق آبگریز است [۲]. ویلیام بارتلات<sup>۱</sup> کاشف و توسعه دهنده اثر نیلوفر آبی، برای اولین بار پی برداشت که ساختار برگ نیلوفر آبی شامل نانو و میکروساختارهای حاوی یک سری آرایه های تناوبی از برآمدگی ها سلسله مراتبی است. محققان این برجستگی های نانو و میکروساختارهای را عامل اصلی ایجاد خاصیت فوق آبگریزی و خود تمیز شوندگی معرفی کردند. به عبارت دیگر، نانوساختارهای موجود روی سطح برگ گیاهانی مانند نیلوفر آبی باعث ایجاد فصل مشترک های هوای مایع بر روی سطح می شوند. این سطوح با زاویه تماس آب ۱۵۰ درجه یا بالاتر و پسمند زاویه تماس کمتر از ۱۰ درجه، برای کاربردهای بی شماری شامل پوشش های خود تمیز شونده، مقاوم به خوردگی، ضد خزه گرفتگی، ضدیخ، و بیوتکنولوژی موردن توجه هستند. قابل ذکر است در ساختارهای فوق آبگریز طراحی شده، علاوه بر کنترل انرژی سطحی پوشش که به نوع ماده مورد استفاده مربوط می شود، دستیابی به خواص فوق برآمدگی ها (ارتفاع مؤثر قسمت ساختاریافته) و فاصله تناوبی بین برآمدگی ها (قله تا قله) را مهم ترین عوامل تعیین کننده میزان خود تمیز شوندگی این ساختارها در نظر گرفت به طوری که با تعیین حد بهینه هر کدام از این پارامترها، امکان دستیابی به خواص فوق آبگریزی بهتر وجود دارد. در این مقاله ابتدا به بیان مبانی و نظریه های حاکم بر ترشوندگی پوشش ها پرداخته شده است. در ادامه به معرفی پوشش های فوق آبگریز مقاوم به خوردگی و خزه گرفتگی، روش های ساخت و کاربرد این پوشش ها پرداخته شده است [۳].

## ۲- مبانی و نظریه های حاکم بر ترشوندگی

توانایی یک مایع برای در تماس ماندن با سطح جامد را ترشوندگی می نامند که نتیجه برهم کنش نیروهای بین مولکولی در زمانی که مایع و جامد در کنار هم قرار می گیرند، می باشد. ترشوندگی (درجه ترشدن) از تعادل میان نیروهای چسبندگی و پیوستگی تعیین می شود. نیروهای چسبندگی بین یک مایع و یک جامد باعث می شوند که یک قطره مایع بر روی سطح پهنه شود. از طرفی نیروهای پیوستگی در بین مولکول های مایع، مانع از تماس قطره آب با سطح می شوند. صرف نظر از میزان ترشوندگی، شکل هندسی یک قطره آب که بر یک سطح جامد قرار می گیرد حالت کروی دارد. به طور کلی ترشوندگی بر اساس زاویه تماس بین سطح و یک قطره مایع تعیین می شود. هرچه زاویه تماس کمتر باشد ترشوندگی بیشتر و هرچه زاویه تماس بیشتر باشد ترشوندگی کمتر خواهد بود [۴]. زاویه تماس به زاویه ای گفته می شود که به وسیله مایع در مرز سه فاز مایع - جامد - گاز شکل می گیرد. زاویه تماس صفر یعنی اینکه تمام سطح توسط مایع کاملا تر می شود و قطره آب روی سطح پخش می شود در حالی که زاویه تماس ۱۸۰ درجه یعنی سطح توسط مایع اصلا تر نمی شود و قطره آب به صورت کره ای شکل در روی سطح باقی می ماند. سطوحی با زاویه تماس بالاتر از ۹۰ درجه را آبگریز و سطوحی با زاویه تماس کمتر از ۹۰ درجه را آبدوست می نامند. به همین ترتیب سطوحی با زاویه تماس بالاتر از ۱۵۰ درجه را فوق آبگریز و سطوحی با زاویه تماس کمتر از ۵ درجه سطوح فوق آبدوست تعریف می شوند. زاویه تماس طبق نظریه های یانگ، ونzel و کیسی - باکستر، برای سطوح مختلف با انرژی های سطحی مختلف قابل اندازه گیری می باشد [۵].

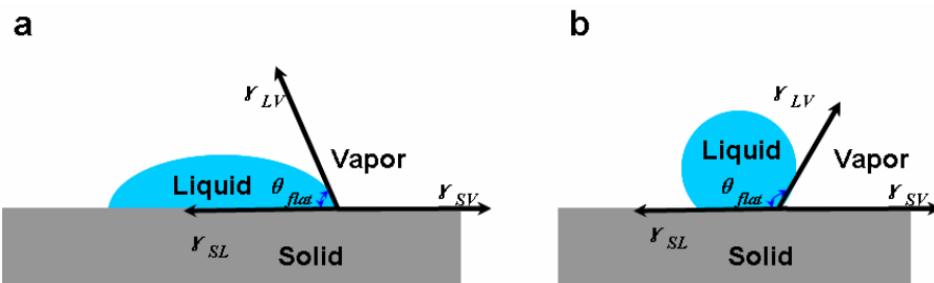
## ۲-۱- ترشوندگی روی سطوح صاف

وقتی یک قطره آب روی سطح جامد مستطیح (یا صاف) از لحظه فیزیکی و همگن از لحظه شیمیایی قرار بگیرد (شکل ۱)، ترشوندگی سطح به طور عمده به وسیله ترکیب شیمیایی سطح تعیین می شود. زاویه از طریق یک قطره در مکان تداخل سه فاز (جامد، مایع و بخار) اندازه گیری می شود، که به عنوان زاویه تماس آب (WCA) شناخته می شود. زاویه تماس با استفاده از معادله یانگ مدل سازی می شود:

$$\cos \theta_c = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LV} \quad (1)$$

<sup>۱</sup> W. Barthlott

که  $\gamma$  انرژی سطحی و  $S, L, V$  فازهای بخار و مایع و جامد را به ترتیب نشان می‌دهند.



شکل ۱- زاویه تماس مایع روی سطح با صافی ایده‌آل (مدل یانگ). برای آب، اگر  $\Theta_{flat}$  کمتر از  $90^\circ$  درجه، آن سطح ذاتاً آبدوست است (a)؛ اگر  $\Theta_{flat}$  بزرگ‌تر از  $90^\circ$  درجه، آن سطح ذاتاً آگریز است (b) [۴].

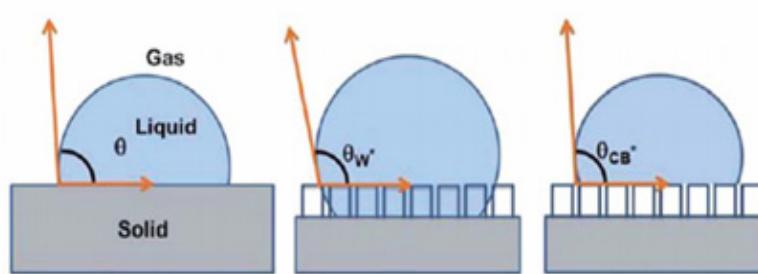
## ۲-۲- تر شوندگی روی سطوح زبر

اثر زبری سطح روی ترشوندگی ابتدا توسط ونzel<sup>۱</sup> در سال ۱۹۳۶ و سپس توسط کیسی و باکستر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۴۴ مورد بحث قرار گرفت. ونzel بیان کرد که ناحیه سطح مؤثر، وقتی سطح زبر می‌شود افزایش می‌یابد، و بنابراین آب به پخش شدن روی یک زیرلايه آبدوست برای توسعه تماس بیشتر جامد-مایع تمایل دارد، در حالی که کمتر روی یک زیرلايه آگریز زبر برای کاهش ناحیه تماس جامد پخش می‌شود. یک فرض کلیدی این نتیجه‌گیری این است که قطره آبی که در تماس کامل با سطح جامد است حالت ونzel نامیده می‌شود (شکل ۲). رابطه بین زاویه تماس ظاهری بر روی یک سطح زبر ( $\Theta$ ) و زاویه تماس ذاتی آن ( $\Theta_{Flat}$ ) (مریوط به یک سطح صاف) به وسیله معادله ونzel شرح داده می‌شود.

$$\cos \theta_{rough} = r \cos \theta_{flat} \quad (2)$$

که، فاکتور زبری است، که به عنوان نسبت ناحیه سطح واقعی به سطح کاملاً صاف تعریف می‌شود. چون که ۰ همیشه برای سطح زبر بزرگ‌تر از ۱ است، این معادله پیش‌بینی می‌کند که اگر  $\Theta_{Flat} > \Theta_{rough}$  و اگر  $\Theta_{Flat} < \Theta_{rough}$  کوچکتر از  $90^\circ$  درجه، است. بنابراین، در حالت ونzel، زبری سطح باعث می‌شود که سطح آگریز ذاتی بیشتر آگریز و سطوح آبدوست نیز بیشتر آبدوستی نشان دهند [۴].

مدل کیسی-باکستر حالت ترشدن غیرهمگن در جایی که آب در حفره‌های سطحی هوا را به دام می‌اندازد، توضیح داده می‌شود، و به عنوان یک نتیجه، ناحیه سطح جامد و مایع کاهش می‌یابد و به طور مشابه ناحیه بین آب و هوا ماکریم می‌شود. این باعث شکل‌گیری قطرات کروی با پسماند کمتر می‌شود، در واقع پسماند می‌تواند به وسیله افزایش بیشتر زبری کاهش یابد (شکل ۲).



کیسی-باکستر ونzel

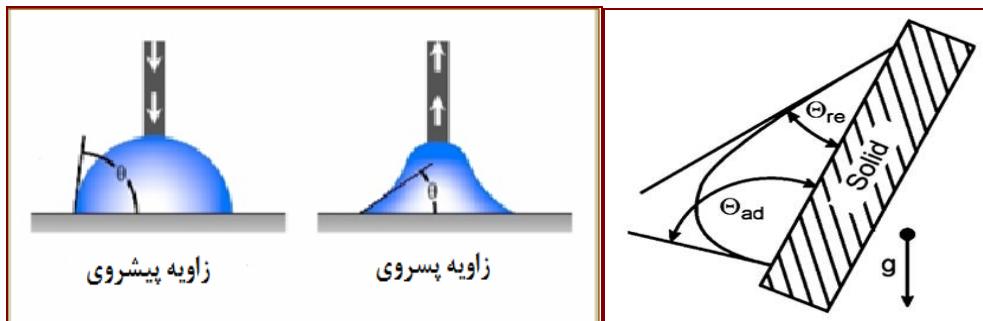
شکل ۲- دیاگرام شماتیک قطرات آب بر روی یک سطح جامد صاف. مدل ونzel (وسطی) و مدل کیسی-باکستر (راست) [۴].

<sup>1</sup> Wenzal

<sup>2</sup> Cassie and Baxter

### ۳-۲- پسماند زاویه تماس

علاوه بر زاویه تماس اندازه‌گیری شده، پسماند زاویه تماس هم برای تشریح ترشوندگی سطح اهمیت دارد. پسماند زاویه تماس، اختلاف بین زاویه تولیدشده ناشی از افزایش حجم قطره (زاویه پیشروی) و کاهش حجم قطره (زاویه پسروی) در طول انبساط و انقباض ناشی از قراردادن یک سوزن در قطرات آب و بازپس‌گیری آن است. پسماند زاویه تماس، اندازه چسبندگی سطح را بیان می‌کند. وقتی این اختلاف بزرگ‌تر از  $10^{\circ}$  درجه است (پسماند بزرگ‌تر) بیشتر قطرات آب به سطح می‌چسبند. وقتی از سطوح فوق‌آبگریز حرف میزnim به این معنی که پسماند زاویه تماس خیلی کم است (کمتر از  $10^{\circ}$  درجه) و قطرات آب خیلی آسان می‌غلتنند. شکل (۳) زوایای تعادلی تئوری بین زوایای پیشروی و پسروی را که گاهی اوقات بهوسیله حرکت دادن قطره تعیین می‌شود نشان می‌دهد. [۵].



شکل ۳- شماتیک اندازه‌گیری پسماند زاویه تماس [۴,۵].

### ۳- پوشش‌های فوق‌آبگریز مقاوم به خوردگی

پوشش‌های فوق‌آبگریز از خوردگی بهوسیله دفع کردن مواد خورنده از سطح و در نتیجه از نفوذ آن‌ها به زیرلایه ممانعت می‌کنند. در واقع این مواد خورنده به آسانی بهوسیله یک نیروی خارجی از روی سطح می‌غلتنند. ساخت مستقیم پوشش‌های فوق‌آبگریز روی سطوح فلزی یک راه حل برای مشکل خوردگی بهخصوص در آب دریا است. در شکل (۴) اثر فوق‌آبگریزی بر روی سطح آلومینیوم نمایش داده شده است[۶].



شکل ۴- سطوح آلومینیوم پوشش‌داده شده و بدون پوشش بهوسیله پوشش‌های فوق‌آبگریز [۶].

### ۳-۱- پوشش‌های فوق‌آبگریز مبتنی بر فناوری نانو

پوشش‌های فوق‌آبگریز، قابل استفاده روی سطوح مختلف مانند شیشه، چوب، سنگ و... هستند و با روش‌های متفاوتی روی این سطوح پوشش داده می‌شوند. نانوذرات سیلیکا مرسوم‌ترین ماده مورد استفاده در پوشش‌های فوق‌آبگریز است که کاربرد بیشتری نسبت به سایر اکسیدهای فلزی دارد. با قرار گرفتن این نانو ذرات در بستر پلیمری مناسب و عامل‌دار کردن سطح این ذرات، خاصیت فوق‌آبگریزی مناسبی ایجاد می‌شود. پژوهشگران با استفاده از این نانوذرات موفق به تولید نانوپوششی شدند که دارای خواص فوق‌آبگریزی بالایی است. این نانوپوشش می‌تواند برای متراکم کردن بخارات آب در نیروگاه‌های حرارتی مورد استفاده

قرار گیرد. استفاده از این نانوپوشش برای کاربرد در محیط‌های پر بخار بسیار اهمیت دارد. با افزایش قدرت حرکتی ذرات مایع روی سطح می‌توان متراکم شدن بخار آب را با کارآیی بالا انجام داد. این قابلیت در نیروگاه‌های حرارتی که در آن گرما موجب بخار شدن آب می‌شود برای جمع‌آوری بهتر ذرات آب، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این فناوری مانع از هدررفت آب شده و همچنین مانع از بخ زدن سطح بال هواپیماها می‌شود. در همین زمینه می‌توان به نانوپوشش‌های شفاف هم اشاره کرد. پژوهشگران کانادایی با استفاده از نانودانه‌های پلیمری موفق به ساخت نانوپوششی شفاف شدند که فوق آبگریز و روغن‌گریز است. روش‌هایی که پیش از این ارائه شد به شکلی بوده که محصول نهایی قابل استفاده در همه حوزه‌ها نیست که دلیل این امر شفاف نبودن پوشش است. فلوئور دارای خواص مناسب برای استفاده در پوشش نهایی در تمامی حوزه‌های است اما به دلیل قیمت بالا و خطرات زیست‌محیطی استفاده از آن با محدودیت‌هایی روبرو است. به تازگی پژوهشگران موفق به ارائه پوشش پلی‌اورتان قادر فلوئور شده‌اند. این ماده ارزان‌قیمت بوده و به راحتی به سطوح مختلف می‌چسبد. [۷]

### ۲-۳- رنگ‌های فوق آبگریز مبتنی بر نانو

استفاده از فناوری نانو در رنگ باعث ایجاد خواص جدید در رنگ، افزایش کیفیت رنگ و کاهش مصرف آن می‌شود. کاربرد فناوری نانو در صنایع رنگ و پوشش در بخش مواد اولیه بیشتر شامل رنگدانه‌های، اندازه ذرات اهمیت بسزایی دارد. در این فناوری خواص متفاوت و جدیدی مانند ضد سایش، آنتی باکتریال، خود تمیز شونده، ضد خش، و خواص حفاظت الکترومغناطیس در رنگ ایجاد می‌شود. رنگ‌های نانو قادرند در مقابل محرک‌های محیطی عکس‌عمل‌های هوشمندانه محافظتی از خود نشان دهند. رنگ‌های ضد آب نانو نیز دسته‌ای دیگر از رنگ‌های محافظتی هستند که به منظور افزایش دوام قطعات و کاهش هزینه‌ها کاربردهای وسیعی در صنایع مختلف دارند. استفاده از فناوری نانو در تولید رنگ‌های آبگریز بسیار راهگشاست.

با استفاده از این فناوری می‌توان به رنگ فوق آبگریز با خواص مطلوب دست یافت. استفاده از افروندی‌های نانومتری به منظور افزایش زبری سطح و درنتیجه افزایش زاویه تماس، دلیل استفاده از نانوذرات با خاصیت آبگریز (مانند نانوذرات سیلیکا) در رنگ است. اغلب در رنگ‌های فوق آبگریز نانو از نانو کامپوزیت‌های آلی - معدنی استفاده می‌شود. گروهی از پژوهشگران بین‌المللی، نوعی رنگ فوق العاده آبگریز تولید کرده‌اند که در برابر آب و روغن غیرقابل نفوذ و دارای خاصیت خودتمیزشوندگی است. این رنگ جدید را می‌توان روی لباس، کاغذ، شیشه و فولاد استفاده کرد که در ترکیب با مواد چسبنده، خواص خودتمیزشوندگی را حتی پس از پاک شدن، خراشیده شدن با چاقو یا ساییده شدن با سمباده حفظ می‌کند. رنگ جدید که از نانوذرات پوشش باقته دی‌اکسید تیتانیوم ساخته شده، می‌تواند سطح مقاومتی را تولید کند که در برابر ساییدگی و خراش‌های روزمره مقاوم هستند و از این روش می‌توان از آنها برای طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند پوشک و خودرو بهره برد.[۸].

- مزایای رنگ‌های فوق آبگریز مبتنی بر فناوری نانو

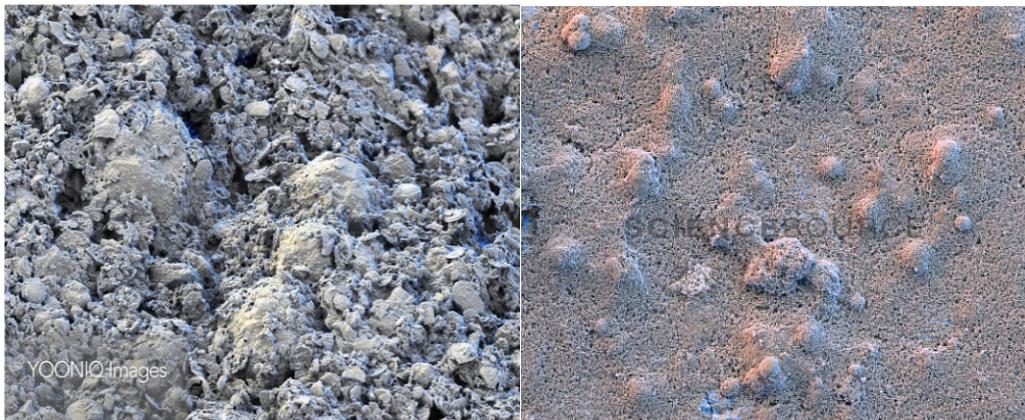
- افزایش نفوذ رنگ روی سطح به دلیل استفاده از ذرات نانومتری

- افزایش چسبندگی رنگ‌های نانو روی سطح نسبت به رنگ‌های معمولی

- ضخامت بسیار کمتر رنگ نانو پوشیده شده روی یک سطح نسبت به رنگ‌های معمولی و درنتیجه صرفه‌جویی در مصرف رنگ

- سازگار بودن رنگ‌های نانو با محیط‌زیست

از نمونه‌های کاربرد پوشش‌ها و رنگ‌های ضد آب در بخش‌های عمومی و صنعتی می‌توان به این موارد اشاره کرد: استخر، سونا و جکوزی، آثار گلی، کاشی و سفال‌ها، سنگ‌های طبیعی و مصنوعی، آجرهای بدون حفاظ، سطوح چوبی، ستون‌های دریایی، باراندازها و کارخانه‌های کشتی‌سازی، برج‌های خنک‌کننده، تصفیه‌خانه فاضلاب، تراورس‌های خط آهن و تونل‌ها در شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از زیرلایه آلومینیوم پوشش داده شده توسط رنگ‌های فوق آبگریز نمایش داده شده است.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی رویی از سطح زیرلایه آلومینیوم پوشش داده شده با رنگ فوق‌آبگریز خودتمیزشونده [۸].

#### ۴- پوشش‌های مقاوم به خزه‌گرفتگی

خرزه‌گرفتگی در آب، چسبندگی نامطلوب میکرواورگانیسم‌ها، گیاهان، جلبک، و حیوانات روی سطوح در آب غوطه‌ور مثلاً کشتی‌ها و قایق‌ها را نشان می‌دهد. خزه‌گرفتگی روی بدن کشتی‌ها و دیگر سازه‌های دریایی یک چالش مهم است. پوشش‌های مقاوم به خزه‌گرفتگی از طریق یک ترکیب شبیه سطح و تنظیم ساختار نانو و میکرومتریک حاصل می‌شوند. پوشش‌های مقاوم به خزه در هفته اول غوطه‌وری معمولاً خزه‌گرفتگی از خود نشان نمی‌دهند، با این حال بعد از یک مدتی قرارگیری در محیط دریایی واقعی، خواص مقاوم به خزه‌گرفتگی پوشش‌های فوق‌آبگریز به تدریج تحلیل می‌رود [۹-۱۰]. رنگ‌های خودتمیزشونده، خزه‌گرفتگی بدن کشتی‌ها و قایق‌ها، وقتی در بندر ساکن است یا با سرعت کم حرکت می‌کند را کاهش می‌دهد. پوشش‌های فوق‌آبگریز خودتمیزشونده، بازده سوخت را در صنایع دریایی به وسیله کاهش اصطکاک بدن کشتی افزایش می‌دهند و منجر به افزایش سرعت کشتی نیز می‌شوند.

#### ۵- ساخت سطوح فوق‌آبگریز

تعداد تکنیک‌ها برای تولید سطوح فوق‌آبگریز در حال رشد است، با الهام از سطوح فوق‌آبگریز در طبیعت، مانند برگ نیلوفر آبی، محققان تلاش بسیاری برای توسعه سطوح فوق‌آبگریز که هم در مقیاس میکرو و هم در مقیاس نانو هستند اختصاص داده‌اند. با استفاده از معادلات و نزل و کیسی - باکستر و مدل‌های پیچیده‌تر، محققان مجموعه‌ای از مسیرهای ساخت برای ایجاد سطوح فوق‌آبگریز در مقیاس دوگانه در طیف گسترده‌ای از زیرلایه‌ها شامل پلیمرها، فلزات، چوب، شیشه و منسوجات گسترش داده‌اند. روش‌هایی شامل سل ژل، موتناز لایه به لایه توسط فرآیندهای پاشش حرارتی، پلاسمایا و یا اج شیمیایی، آبکاری الکتریکی و... استفاده می‌شوند. روش انتخاب شده در هر مورد به مواد مورد استفاده و دیگر خواص موردنظر، مانند استحکام مکانیکی، شفافیت، خواص الکتریکی و غیره بستگی دارد. روش بالا به پایین به طور کلی کنترل بسیار خوب بر جزئیات ساختار سطح دارد، اما اغلب گران هستند، و این روش‌ها عمدها برای پژوهش‌های کاربردی استفاده می‌شوند. روش‌های پایین به بالا ارزان‌تر هستند و پتانسیل بیشتری با وجود کنترل ضعیف جزئیات ساختار سطح در کاربردهای صنعتی دارند [۲].

به طور کلی تکنیک‌های تولید سطوح فوق‌آبگریز به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- ایجاد سطح زیر از مواد با انرژی سطحی پایین

۲- ایجاد زیری در سطح و لایه نشانی مواد با انرژی سطحی پایین

مرور جامع روش‌های ساخت فراتر از محدوده این گزارش است، اما تعدادی از مسیرهای ساخت به طور مختصر در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد.

<sup>1</sup> Erbil  
<sup>2</sup> Zhoa  
<sup>3</sup> Narita  
<sup>4</sup> Xiuyong Chen  
<sup>5</sup> High Velocity Arc Spray  
<sup>6</sup> Poly Urtan

## ۵-۱- سل ژل

ربیل<sup>۱</sup> از پلیپروپیلن برای آماده‌سازی سطح فوق‌آبگریز استفاده کرد. آن‌ها زبری سطح را به‌وسیله انتخاب مناسب حلال‌ها و دما کنترل کردند. یک سری از نمونه‌ها در غلظت حل شونده، دمای خشک کردن و حلال‌های مختلف تست شدند. این روش برای تشکیل پوشش‌های فوق‌آبگریز ساده و ارزان است، زیرا پلیپروپیلن یک پلیمر ارزان است. به‌وسیله استفاده از این تکنیک، یک زاویه تماس ایستایی ۱۷۰ درجه برای آب حاصل می‌شود. اغلب جدایش فاز مخلوط‌های پلیمری باعث ایجاد فیلم‌های متخلخل و زبر می‌شود. با این حال این روش برای زیرلايه اورگانیک هم قابل استفاده است [۱۱].

## ۵-۲- اچ شیمیایی

ژوا<sup>۲</sup> با یک روش ساده، تک مرحله‌ای وسازگار محیط زیست، یک سطح فوق‌آبگریز بر روی آلیاژ منیزیم به‌وسیله یک فرایند غوطه‌وری ساده با یک محلول شامل کلریدفریک، آب یون‌زدایی شده، اسید تترادکانوئید و اتانول ساختند. بر اساس نتایج آنالیز طیف‌سنجی فوتوالکترونی پرتوایکس (XPS) و عبور (FTIR)، ساختار زبر میکرونوی فوق‌آبگریز یک زاویه تماس بالا ( $162 \pm 2$  درجه) از خود نشان داد و شامل میریستات فریک بود. فیلم فوق‌آبگریز وقتی در یک محلول آبدار نمکی غوطه‌ور شد، یک عملکرد عالی مقاومت به خوردگی نشان داد. به علاوه، آزمایش‌های ضدخze بیان کرد که سطح فوق‌آبگریز دارای توانایی خوب مقاومت به چسبندگی خزه است [۱۲].

## ۳-۵- اچ کردن و اکسیداسیون آندی

ناریتا<sup>۳</sup> و همکارانش سطوح فوق‌آبگریز را با استفاده از اچ الکترولیتی به شکل حفره‌هایی در اندازه میکرومتری در یک زیرلايه آلومینیومی و پس از آن با استفاده از اکسیداسیون آندی برای تولید حفرات در اندازه نانو بر روی میکروساختار ساختند، و در نهایت سطح را با یک فلورورآلکیل‌سیلان عامل‌دار کردند. این روش همچنین می‌تواند در فلزات دیگر مانند روی، مس، و فلزات چندبلوری استفاده شود [۱۳].

## ۴-۵- اچ کردن و پوشش‌دهی دورانی

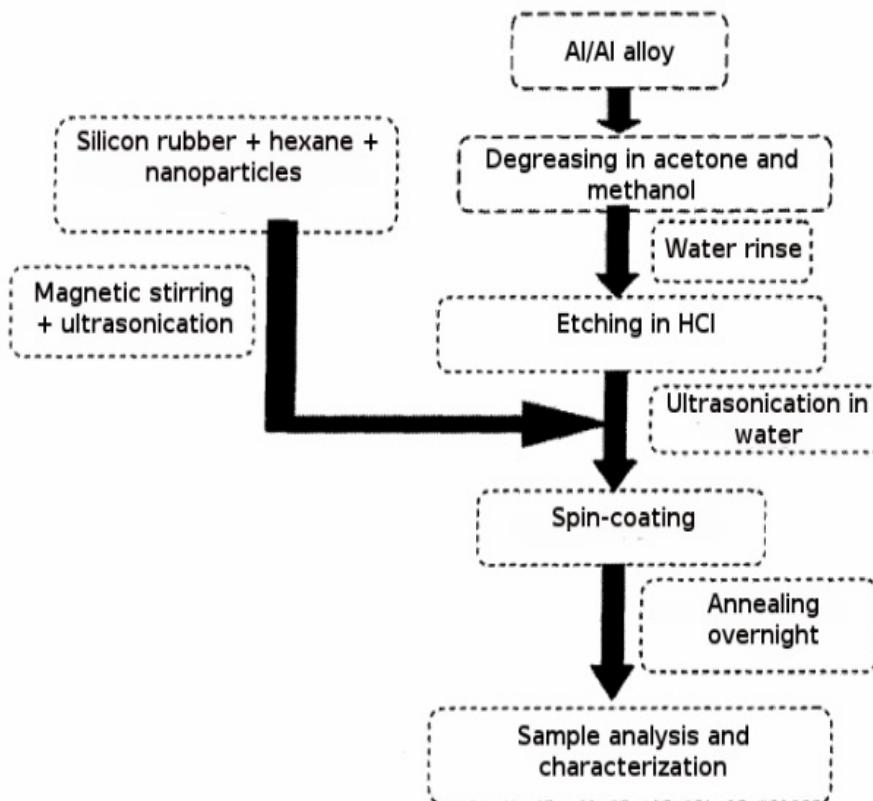
این روش معمولاً در پنل‌های ساخته شده از آلومینیم یا آلیاژ‌های آلومینیم استفاده می‌شود. زبری میکرو یا نانو را می‌توان بر روی چنین زیرلايه‌هایی برای مثال از طریق غوطه‌وری در یک محلول اسیدهیدروکلریک ایجاد کرد. پس از تمیزکردن و خشک کردن سطح زبر، یک ماده شیمیایی آبگریز را می‌توان برای مثال از طریق پوشش‌دهی دورانی اعمال کرد. پودرهای نانومتری ساخته شده از اکسیدهایی مانند تیتانیا یا اکسیدسریم که به‌طور معمول به محلول برای ایجاد زبری نانو اضافه می‌شوند، هم زاویه تماس آب را افزایش می‌دهند و هم پسماند زاویه تماس را کاهش می‌دهند. محلول باید قبل از رسوب بر روی سطح هم زده شود. پس از پوشش‌دهی، حلال باقی‌مانده باید از طریق یک حرارت‌دهی حذف شود. نمایش شماتیک از فرایند ساخت در شکل ۶ نشان داده شده است [۱۴].

## ۵-۵- پاشش حرارتی

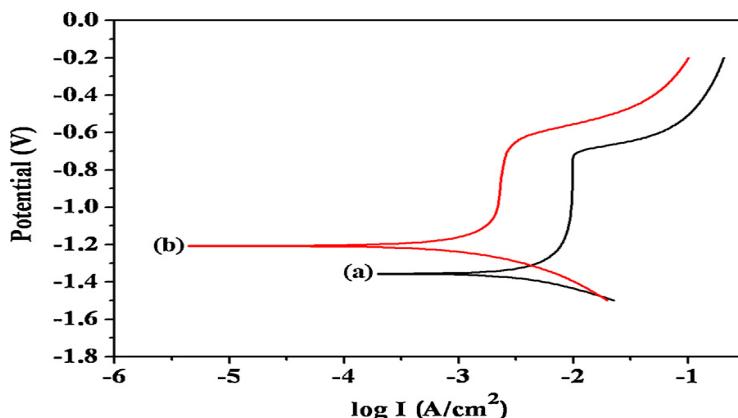
چن<sup>۴</sup> و همکارانش توسط یک فرآیند دو مرحله‌ای موفق به ساخت یک پوشش فوق‌آبگریز و مقاوم به خوردگی بر روی زیرلايه فولاد زنگ نزن L316 شدند. در ابتدا پوشش آلومینیوم با استفاده از فرآیند پاشش با ولتاژ بالا<sup>۵</sup> (HVAS) بر روی زیرلايه ایجاد شد. در ادامه سوسپانسیون حاوی ذرات آلومینیما با اندازه ۱۰۰ نانومتر و پلیمر پلی اورتان<sup>۶</sup> (PU) با غلظت‌های مختلف پلی اورتان توسط فرآیند پاشش حرارتی شعله‌ای بر روی لایه آلومینیوم ایجاد شده، رسوب داده می‌شود. با ارزیابی خواص پوشش ایجاد شده با آزمون اندازه گیری زاویه تماس قطرات آب و همچنین تصاویر TEM, FE-SEM گرفته شده از پوشش، مشخص گردید که سطح

<sup>1</sup> Erbil  
<sup>2</sup> Zhoa  
<sup>3</sup> Narita  
<sup>4</sup> Xiuyong Chen  
<sup>5</sup> High Velocity Arc Spray  
<sup>6</sup> Poly Urtan

فوق دارای ساختار میکرو-نانو است و در غلظت ۲ درصد وزنی پلی اورتان، آبگریزی با زاویه تماس ۱۵۱ و زاویه لغزش ۶/۵ درجه برای قطرات آب ایجاد گردیده است با انجام آزمایش خوردگی الکتروشیمیایی در محلول ۳/۵ درصد NaCl مشخص گردید مقاومت به خوردگی ساختار متراکم پوشش فوق آبگریز نانو  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -PU نسبت به زیرلايه آلومینیومی افزایش یافته است [۱۵].



شکل ۶- شماتیک آمادهسازی نانوپودر ترکیب شده با سیلیسیم پوشش داده شده بر روی زیرلايه آلومینیوم زبر [۱۴].



شکل ۷- منحنی پلاریزاسیون برای a: زیرلايه آلومینیومی b: پوشش  $\text{Nano AL}_2\text{O}_3$ -PU [۱۵]

در تحقیقی دیگر چن، سه نوع پوشش کامپوزیتی فلزی تشکیل شده از Al-PTFE و Cu-PTFE و NiCrBSi-PTFE را با روش پاشش حرارتی بر روی زیرلايه های سرامیکی، شیشه، فولاد ۳۱۶ و منیزیم لایه نشانی کردند. آلومینیوم با استفاده از فرآیند HVAS<sup>۱</sup> بر روی زیرلايه های سرامیک، شیشه، آلیاژ منیزیم AZ91D، فولاد ۳۱۶ و آلیاژ تیتانیوم TC4، مس بر روی زیرلايه فولاد ۳۱۶ طی فرآیند پاشش شعله ای و NiCrBSi نیز بر روی زیرلايه فولاد ۳۱۶ و با فرآیند پلاسما اسپری پوشش دهی شدند. با انجام این لایه نشانی ها یک سطح زبر با ماهیت آبدوستی با زبری حدود ۱۳/۸ میکرومتر و متخلخل ایجاد شد. جهت دستیابی به فوق

<sup>۱</sup> High Velocity Arc Spray

آبگریزی یک لایه PTFE با ضخامت کم که انرژی سطحی کمی دارد بر روی ساختار متخلخل لایه نشانی شد به گونه‌ای که نمونه‌های پوشش داده شده در محلول ۵٪ PTFE، در مدت اتفاق و به مدت یک ساعت غوطه‌ور گردیده و سپس طی مدت دو ساعت در دماهای ۲۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد مورد پخت قرار گرفت. این نکته را باید مدنظر داشت که در اثر افزایش ضخامت خاصیت آبگریزی سطح کم می‌شود. در اثر نفوذ ذرات پلیمری درون تخلخل‌ها و سنتز شدن یک لایه یکنواخت با پیوند قوی با ذرات فلزی و چسبندگی عالی و دوام مکانیکی خوب ایجاد می‌گردد. با انجام تست اندازه‌گیری زاویه تماس، دمای بهینه برای پخت ۲۵۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد و پوشش آلومینیوم بر روی زیرلایه فولاد ۳۱۶ با بیشترین زاویه تماس قطرات آب ۱۵۲ درجه و کمترین زاویه لغزش  $3/5$  درجه حاصل شد. با توجه به کاربرد وسیع فولاد در صنایع و تجهیزات و همچنین ساده بودن فرآیند پوشش دهی، می‌توان با استفاده از پوشش فوق آبگریز AL-PTFE مقاومت به خوردگی را در صنایع و تجهیزات افزایش داد [۱۶].

جدول ۱- زوایای تماس و لغزش برای پوشش‌های مختلف [۱۶]

Sliding angle /°	Contact angle /°	samples
-	0	Al coating
3.5	152.5	Al coating - PTFE
-	62	Cu coating
7.0	151	Cu coating -PTFE
-	26	NiCrBSi coating
8.5	150	NiCrBSi coating -PTFE

ایشیاکی اکسید سریم ( $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) را با فرآیند سل ژل بر روی زیرلایه آلیاژ منیزیم AZ<sub>31</sub> لایه نشانی کرد. با استفاده از آزمون پلاریزاسیون خوردگی و امپدانس الکتروشیمیایی خوردگی در محلول خوردنده NaCl ۵٪ پوشش فوق آبگریز ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت که پوشش مقاومت به خوردگی بالای از خود نمایش داد. زاویه تماس قطره آب پوشش قبل از آزمون خوردگی درجه بوده و بعد از اتمام آزمون به حدود ۱۴۶ درجه کاهش یافته است. تست چسبندگی پوشش طبق استاندارد ASTM D3359-02 انجام شد و نتایج خوبی به دست آمد [۱۷].

## ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه پوشش‌های فوق آبگریز و بررسی عوامل تاثیرگذار بر نحوه عملکرد و کاربرد این پوشش‌ها پرداخته شد. نتایج حاصل از این مطالعات به طور مختصر در زیر آورده شده‌اند.

- مهم‌ترین چالش در سطوح فوق آبگریز، استحکام مکانیکی و دوام محیطی آنها می‌باشد.
- با استفاده از پوشش‌های فوق آبگریز مقاوم به خوردگی و ضد خزه علاوه بر صرفه جویی اقتصادی، بسیاری از مشکلات زیست محیطی ناشی از پوشش‌های رایج فعلی نیز برطرف خواهد گردید.
- با استفاده از فوق آبگریزی می‌توان پوشش چند منظوره‌ای تهییه کرد که بسیاری از معضلات رایج در صنایع فلزی واقع در محیط‌های خورنده دریایی از جمله خوردگی، خze گرفتگی را همزمان برطرف نمود.

## مراجع

- [1] P. Roach, N. Shirtcliffe and M. Newton, Progress in superhydrophobic surface development, The Royal Society of Chemistry Soft Matter, 4, 2008, 224–240.
- [2] L.Cao and W.Federspiel, Superhydrophobic surface:design ,fabrication and applications, University of Pittsburgh, 2010.
- [3] B. Bhushan and Y. C. Jung, Wetting, Adhesion and Friction of Superhydrophobic and Hydrophilic leaves and Fabricated micro/nanopatterned surfaces, Journal of Physics: Condensed Matter 20 ,2008 1-24.
- [4] D. Bonn, J. Eggers, J. Indekeu, J. Meunier and E. Rolley, Wetting and spreading, Reviews of Modern Physics 81 ,2009, 739-805.
- [5] G. Kumar and K. N. Prabh, Review of non-reactive and reactive wetting of liquids on surfaces, Advances in

- Colloid and Interface Science 133,2007, 61–89.
- [6] M.A. Mohamed, A. M. Abdullah and N. A. Younan, Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces: areview, Arabian journal of chemistry, 8, 2015, 749-765.
- [7] B. Bhushan, Y. C. Jung and K. Koch, Micro-, nano- and hierarchical structures for super hydrophobicity,selfcleaning and low adhesion, Philosophical Transactions 367,2009, 1631-1672.
- [8] F. I. Il'darkhanova, G. A. Mironova, Development of Paint Coatings with Superhydrophobic Properties, Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 48, 2012, 796–802.
- [9] H. Zhang, R. Lamb, J. Lewis, Engineering nanoscale roughness on hydrophobic surface—preliminary assessment of fouling behaviour, Science and Technology of Advanced Materials 6 ,2005,236-239.
- [10] J.A. Callow, M.E. Callow, Trends in the development of environmentally friendly fouling-resistant marine coatings, Nature communications 2,2011, 244.
- [11] H.Y. Erbil, A.L. Demirel, Y. Avci, O. Mert, Transformation of a simple plastic into a superhydrophobic surface, Science 299,2003, 1377-1380.
- [12] L. Zhao, Q. Liu, R. Gao, J. Wang, W. Yang, L. Liu, One-step method for the fabrication of superhydrophobic surface on magnesium alloy and its corrosion protection, antifouling performance, Corrosion Science 80 ,2014, 177-183.
- [13] P. Roach ,N.J. Shirtcliffe, M.I. Newton, Progess in superhydrophobic surface development, Soft Matter 4,2008, 224-240.
- [14] F. Arianpour, Water and ice-repellent properties of nanocomposite coatings based on silicone rubber, Masters Theses, UNIVERSITE DU QUEBEC, 2010.
- [15] X.Chen, Y.Huang and K.Ren, Large-scale fabrication of superhydrophobic polyurethane/nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings by suspension flame spraying foranti-corrosion applications, Applied Surface Science, 311, 2014, 864-869.
- [16] X.Chen, X.Suo and J.Huang, Construction of mechanically durable superhydrophobic surfaces by thermal spray deposition and further surface modification, Applied Surface Science, 356, 2015, 639-644.



مهندس محمد ملااحمدی،  
نویسنده‌ی مسئول مقاله،  
دانشگاه علوم و تحقیقات  
تهران، دانشکده مهندسی و علم  
مواد

m.molaahmadi@chmail.ir

# مروری بر انواع جاذب‌های رادار در کامپوزیت‌های پلیمری با تقویت کننده کربنی در بازه‌ی ۱۲ الی ۱۸ گیگاهرتز (Ku)

محمد ملااحمدی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی و علم مواد، گروه سرامیک

**چکیده:** یکی از مواد تعیین کننده برای بسیاری از شاخه‌های مدرن تکنولوژی، کربن می‌باشد. خواص چندگانه منحصر به فرد کربن سبب گسترش بیش از پیش استفاده از این ماده در بسیاری از کاربردها نظیر الکترونیک شده است. یکی از کاربردهای ویژه کربن در عرصه‌های نظامی، استفاده از این ماده در ساخت مواد جاذب رادار (RAM)<sup>۱</sup>، چهت بهبود خاصیت جذب امواج مایکروویو می‌باشد. از جمله پارامترهای موثر در به کارگیری مواد جاذب رادار، پارامتر وزن کم و پهنای زیاد جذب می‌باشد؛ به طوری که با پکارگیری کربن در این مواد جاذب می‌توان به خواص نهایی مطلوبی دست یافت. کامپوزیت‌هایی که در آنها از تقویت کننده‌های کربن آن‌هم به صورت ذره در یک زمینه پلیمری استفاده شده است، به مراتب یک انعطاف‌پذیری و کنترول خواص مناسبی را از خود نشان داده و همچنین با تغییر اشکال تقویت کننده کربنی (مثل کربن سیاه، الیاف و نانو الیاف و همچنین گرافن) می‌توان خواص کامپوزیت را بهینه کرد. این مقاله یک مقایسه‌ای از عملکرد انواع مختلف زمینه‌های پلیمری و اشکال مختلف تقویت کننده کربنی که به عنوان مواد جاذب رادار مورد استفاده قرار گرفته‌اند را ارائه می‌دهد. خواص جنبی این نوع مواد جاذب رادار با تغییر برخی پارامترهای موثر نظری نوی زمینه پلیمری و یا با تغییر در هندسه، ترکیب، مورفولوژی و کسر حجمی تقویت کننده، قابل تغییر می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** جاذب رادار، کامپوزیت زمینه پلیمری، کربن.

## ۱- معرفی

### ۱-۱- مواد کربنی

یکی از فراوان ترین عنصرهای موجود در جهان هستی (البته بعد از هیدروژن، هلیوم و اکسیژن) کربن می‌باشد. در طبیعت کربن خالص در اشکال مختلفی از جمله الماس، گرافیت (همچنین کربن سیاه (CB))<sup>۲</sup>، گرافن نانولوله‌ها بوده است (شکل ۱). مشخصه‌های ذاتی انتقال بار و فاکتورهایی که تحرک حمل کننده‌های بار را محدود می‌سازند، به طور ویژه در بین نانوساختارهای مختلف کربن متفاوت می‌باشند. پیوندهای مابین کربن و دیگر عناصر می‌تواند به راحتی به وسیله واکنش‌های شیمیایی و برهمکنش‌های فیزیکی تغییر کند<sup>[۱]</sup>.

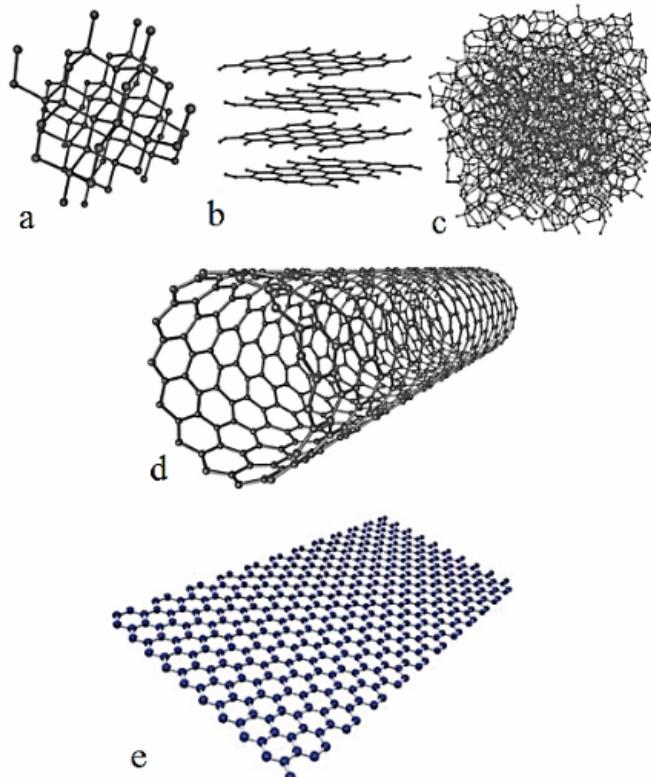
در نظر بسیاری از محققین، نانو الیاف کربنی (CNT)<sup>۳</sup> به زنجیره‌های پلیمری که به عنوان زمینه کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرد، شباهت دارد؛ به طوری که هر دو دارای ساختارهایی با پیوندهای کوالانسی، ابعادی مشابه و همچنین دارای انعطاف‌پذیری مکانیکی می‌باشند. با توجه به این امر که تمایل به افزودن مقادیر کمتری از نانو الیاف کربنی به زمینه‌های پلیمری (به دلیل افزایش احتمال آکلومره شدن)، نکته بسیار مهم قابلیت توزیع یکنواخت آنها در بین زمینه می‌باشد. طی دهه اخیر، از میان پیشرفت‌های صورت گرفته در حوزه نانوپلاستیک‌ها، بسیاری از نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پلیمرهایی که از مواد کربنی به عنوان تقویت کننده در آنها استفاده

<sup>1</sup> Radar-Absorbing Materials

<sup>2</sup> Carbon Black

<sup>3</sup> Carbon NanoTube

می‌شود، دارای یکسری خواص ویژه نظیر بهبود استحکام و پایداری، هدایت الکتریکی، مقاومت در برابر شعله، جذب اشعه ماوراء بنفش و همچنین کاهش نفوذپذیری می‌باشد. علاوه بر خواص مذکور، پیشرفت سریع در حوزه تولید CNTs و گرافن‌های پولکی شکل با مساحت زیاد (در حدود ۱ سانتی‌متر مکعب) سبب شده‌اند تا این ساختارهای کربنی برای کاربردهای جذب امواج مایکروویو مانند پوشش‌های محافظت جهت حفاظت از دستگاه‌های الکترونیکی، کاهش پرتوودهی الکترومغناطیس و پنهان‌سازی مواد از دید رادارها، مناسب شوند [۱].



شکل ۱- برخی از آلوتروپی‌های کربن؛ (a) الماس، (b) گرافیت، (c) کربن آمورف، (d) نانولوله کربنی و (e) گرافن [۱].

## ۲-۱- زمینه پلیمری

مطالعه خواص الکترومغناطیسی مجموعه‌ای از ذرات پرکننده تعیین شده و نهفته در یک ماتریس پلیمری، مستلزم تعیین خواص ذاتی الکترومغناطیسی ذرات و نیز نوع و قدرت برهم‌کنش‌های بین‌ذرهای، نظیر برهم‌کنش‌های دوقطبی-دوقطبی بُرد بلند، خوشبندی<sup>۱</sup>، و برهم‌کنش‌های ماتریس-ذره مانند جذب سطحی زنجیره چندتماسه<sup>۲</sup> به سطح پرکننده می‌باشد. به خوبی ثابت شده است که ناهمگنی‌هایی نظیر خوش‌های ذرات پرکننده، پدیده‌های قطبیدگی<sup>۳</sup> و وابستگی بسامد گزندگی موثر<sup>۴</sup> را بوجود می‌آورند [۲]. با این حال، شناخت نحوه توزیع الکترون‌ها در این کلوخه‌های پرکننده، یک مساله حل نشده معوقه در مزوسکوپی‌های مواد بی‌نظم باقی مانده است، و اطلاع از مناسب‌ترین چارچوب نظری برای شناخت این ترکیبات را دشوار می‌نماید، به عنوان مثال تعیین محل توسط بی‌نظمی، یک علت رایج از رفتار عایق‌بندی در سیستم‌های ماده چگالیده<sup>۵</sup> می‌باشد. در میان انواع گسترده‌پلیمرهای مناسب برای جاسازی ذرات کربنی برای کاربردهای MA<sup>۶</sup>، رزین‌های اپوکسی، کاندیداهای خوبی بواسطه هزینه‌پایین خود، سهولت اختلاط با انواع مختلف پرکننده‌ها، مقاومت در برابر تخریب نوری اکسیداتیو<sup>۷</sup>، و پایداری در

<sup>۱</sup> Clustering

<sup>۲</sup> Multicontact chain adsorption

<sup>۳</sup> Polarization

<sup>۴</sup> Effective permittivity

<sup>۵</sup> Condensed matter systems

<sup>۶</sup> Microwave absorption

<sup>۷</sup> Oxidative photodegradation

برابر نور خورشید می‌باشد. یک زنجیره پلیمری اپوکسی از پیوندهای متاوب تک کربنی و دوکربنی تشکیل شده است، که شکل‌گیری یک سیستم الکترونی غیرمستقر<sup>۱</sup> مکانی را میسر می‌نمایند. این توزیع الکترونی قویاً متأثر از جذب سطحی زنجیره انتخابی بر کلوخه‌های کربن سیاه (CB) در ارائه جایگاه‌های تله‌گذاری بار می‌باشد<sup>[۲] و [۳]</sup>. این پدیده پیش از این به صورت آزمایشگاهی در زمینه پلیمرهای پرکننده کربن سیاه بررسی و مطالعه شده است<sup>[۴]</sup>. ضریب هدایت این سیستم‌ها به دو نوع حامل مشخص درون کلوخها و آگلومرهای کربن سیاه وابسته است. این جدایش حامل‌ها اخیراً توسط *Brosseau* و همکارانش بر مبنای آزمایشات تشدید اسپینی الکترون<sup>۵</sup> پیش‌بینی شده است. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که اکثربت حامل‌ها محدود به سطوح کلوخها و آگلومرهای کلوخه‌ای شدن ذرات پرکننده در ایجاد ریزساختارهایی با ساختارهای چندمقیاسه و سلسه مراتبی می‌باشد. اطلاع از نحوه تاثیرات کلوخه‌ای شدن ذرات پرکننده در این ساختارهایی با چندمقیاسه و سلسه مراتبی تشکیل شده هنگام آغازته شدن ذرات پرکننده در محیط سیال مختلط توسط زنجیره‌های پلیمری، مطلوب خواهد بود. محوریت این مسئله در مقاومت جاذبه‌اندروالس در بین ذرات قرار دارد. با تماس آنها با یکدیگر، خوش‌های نامنظمی تشکیل می‌شوند که مورفولوژی (ریخت شناسی) آنها توسط سیستمیک کلوخه‌ای شدن تعیین شده است<sup>[۱]</sup>. نکته مهم دیگر نحوه تاثیرگذاری کلوخهای شدن و آگلومرهای شدن ذرات پرکننده بر روی ضریب هدایت‌پذیری و سازوکارهای قطبیدگی می‌باشد. مشخصه‌سازی و توصیف تجربی قطبیدگی و هدایت خوش‌های ذرات پرکننده، یک کار غیربدیهی است. تعیین تحریبی ساختار تفصیلی سه بعدی این فاز پرکننده می‌تواند از آن جهت پیچیده باشد که مستلزم یک آنالیز توموگرافی دشوار است و اغلب در تفکیک‌پذیری یا وضوح فضایی<sup>۶</sup> محدود شده است. اکثر داده‌های موجود یا بسیار محدود هستند یا اینکه در سیستم‌های معمولی، فاکتورهای محدودیت فضایی را در نظر نمی‌گیرند. در این رابطه، اطلاعات مهم ارتباط الکتریکی در بین کلوخهای پرکننده می‌تواند با استفاده از پروب‌های محلی مانند میکروسکوپ نیروی الکتریکی، میکروسکوپ پروب ظرفیت خازنی، یا میکروسکوپ نیروی اتمی بدست آید<sup>[۱]</sup>.

### ۱-۳- مقدمه‌ای بر جاذبهای مایکروویو

تاحد زیادی، تلاش‌های نظری و تجربی طراحی شده برای ارائه جاذبهای مایکروویو با دو مشخصات مهم از خواص الکترومغناطیسی آنها همراه است. اولی مبتنی بر افزایش اتلاف مغناطیسی<sup>۷</sup>، مثلاً، بواسطه پدیده‌های تشدید (رزونانس) در ناحیه بسامد بالاتر (بالای ۳۰۰ مگاهرتز) می‌باشد. به علاوه، استدلال شده است که مشخصه دوم به افزایش اتلاف دی‌الکتریک ارتباط داده شده است. اتلاف مغناطیسی فریت‌های مخلوط یا فریت‌های اسپینلی<sup>۸</sup> در مطابقت با محدوده اسنوك<sup>۹</sup> کوچک شده و لذا این مواد در محدوده بسامد گیگاهرتز کافی نمی‌باشند. با این وجود، پژوهش قابل ملاحظه‌ای به توسعه محیط‌های کامپوزیتی مصنوعی با استفاده از طیف گسترده پلیمرهای پرشده با هگزافریت‌های<sup>۱۰</sup> نوع M دارای میدان ناهمسانگرد تنظیم‌پذیر<sup>۱۱</sup> بزرگ اختصاص داده شده است<sup>[۵] و [۶]</sup>. پیشرفت‌هایی در تکنولوژی فریت، برای آزمایش کاران، کترول بی ساقه بر روی مشخصات تشدید ژیرومغناطیسی<sup>۱۰</sup> برای بسامدهای انتخابی یا بر روی یک محدوده بسامد باریک ارائه داده‌اند و ساخت جاذبهای رادار<sup>۱۱</sup> را هموار نموده‌اند<sup>[۷]</sup>. بسیاری از آزمایشات و شبیه‌سازی‌های اخیر رفتار نانوذرات فرومغناطیسی<sup>۱۲</sup> را در ترکیب با یک ماده ماتریس دی‌الکتریک برای MA بررسی نموده‌اند<sup>[۸] و [۹]</sup>. همچنین MA در زمینه پولک‌های آلومینیومی (Al) و پلیمرهای پرشده CB مورد بحث و بررسی قرار گرفته است<sup>[۱۰]</sup>. تغییرات محتوای اجزای سازنده آلومینیوم و کربن سیاه (CB)، سبب می‌شود که بخش‌های حقیقی و موهومی گزده‌ی مؤثر کامپوزیت بطور مستقل با بعضی از الزامات جذب در یک بسامد مشخص، منطبق شوند. یکی از

<sup>۱</sup> Delocalized electron

<sup>۲</sup> Electron spin resonance

<sup>۳</sup> Spatial resolution

<sup>۴</sup> Diluted systems

<sup>۵</sup> Magnetic losses

<sup>۶</sup> Spinel ferrites

<sup>۷</sup> Snoek's limit

<sup>۸</sup> Hexaferrites

<sup>۹</sup> Tunable anisotropy field

<sup>۱۰</sup> Gyromagnetic resonance

<sup>۱۱</sup> Radar absorbers

<sup>۱۲</sup> Ferromagnetic nanoparticles

مزیت‌های قابل ملاحظه این کامپوزیت‌های پلیمری (وزن سبک) آن است که بسته به افودن ذرات پرکننده- فرآیند اختلاط و توسط تنظیم ماهیت و هندسه ذرات پرکننده، آنها درجات آزادی متعددی برای تنظیم حالت کلوخه‌ای شدن ذرات و گذردهی موثر کلی را ارائه می‌دهند. یک تاریخچه طولانی برای پژوهش در مورد جاذب‌های مبتنی بر کربن وجود داشته است [۱۱]. اولین کاربرد ذرات کربن درون جاذب به سال ۱۹۳۶ بر می‌گردد که در آن زمان یک جاذب براساس کربن سیاه و اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) در هلند ثبت (اختراع) شده بود [۱۲]. در طول جنگ جهانی دوم، ایالات متحده یک ماده جاذب موسوم به رنگ ضد تابش هالپرن (HARP)<sup>۱</sup> را براساس لاستیک پرشده با کربن سیاه و پولک‌های الومینیومی طراحی نمودند. سپس این ماده بطور موفقیت‌آمیز در وسایل هوایرد و دریابرد برای جذب رادر با یک جذب ۲۰-۱۵ دسی بل در باند X پیاده‌سازی شده است [۱۳ و ۱۴]. جاذب‌های پهن‌باند توجه گسترده‌ای در دوره پس از جنگ جهانی دوم دریافت نموده است. پلاستر و گرافیت بارگذاری شده کربنی، در میان بیشترین مواد جذب کننده بررسی شده قرار داشتند. در دهه ۱۹۵۰، جاذب‌های کربنی برای کاربرد تجاری مورد توجه قرار گرفتند. بعنوان مثال، Spongex ساخته شده از مو حیوانی پوشش داده شده کربنی، توسعه داده شده توسط شرکت محصولات اسفنج، قادر به ارائه میرایی (تضعیف) ۲۰ دسی بل در محدوده بسامد ۲/۴ الی ۱۰ گیگاهرتز با ضخامت ۵۰,۸ میلی‌متری و فرود نرمال می‌باشد. با توسعه جاذب‌هایی با ساختارهای ویژه در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، کربن ذره‌ای یا الیافی، در میان سایر مواد، برای پرکردن یا پوشش بر روی ساختارهای شبکه‌ای مانند، ساختارهای بافتی<sup>۲</sup>، یا ساختارهای لانه زنبوری به کاربرده شدند [۱۵]. کربن سیاه و گرافیک، کاندیداهای جذب‌کننگی مناسبی تا کشف نانولوله‌های کربنی (CNTs) در دهه ۱۹۹۰ باقی ماندند که برای طیف گسترده‌ای از کاربردهای صنعتی بالقوه از جمله انیدریک مالئیک MA مورد بهره‌برداری قرار گرفتند [۱۶ و ۱۷]. با شروع این هزاره، دیگر اشکال جاذب‌های کربنی با مشخصات جذب خوب، بواسطه پیشرفت‌ها در تکنیک‌های سنتز و رویکردهای طراحی بهینه‌سازی شده، نمایان گشته‌اند [۱۸ و ۱۹]. اخیراً، گرافن به خانواده کربن برای کاربردهای MA پیوسته است [۲۰].

مشخصه‌سازی جاذب‌ها می‌تواند از طریق روش‌های اندازه‌گیری استاندارد، یعنی اندازه‌گیری مستقیم بازتاب یا انعکاس در فضای آزاد با عبور حذف شده توسط یک سوبسترای فلزی متصل به جاذب‌ها، یا اندازه‌گیری غیرمستقیم پارامترهای الکترومغناطیسی آنها انجام شود. الزامات اصلی برای جاذب‌ها به شرح زیر می‌باشد: (۱) آنها بایستی بازتاب سطح بر جسته (پیشانی)<sup>۳</sup> و تطبیق امپدانس در هوا برای فصل مشترک جاذب را به حداقل برسانند، (۲) آنها بایستی جذب امواج الکترومغناطیسی را از طریق مقادیر بالای دی الکتریک و اتلاف مغناطیسی را افزایش دهند، (۳) انتظار می‌رود که در یک طیف بسامد گسترده به کاربرده شوند و (۴) نیازی به استفاده از یک میدان مغناطیسی خارجی ندارند [۲۱]. مواد جاذب مایکروویو، از جمله صفحه سالیسبوری، جاذب‌های جامان، لایه‌های پلیمری حامل ذرات و رنگ‌ها بطور کلی سیستم‌های غیرفعال (پسیو) هستند، اگرچه کارهایی برای سطوح فعال نظیر سطوح امپدانس متغیر انجام شده‌اند. در دهه اخیر، از طریق پیشرفت‌های تکنولوژیکی جدید در نانوپلاستیک‌ها- ادغام پلاستیک‌های سنتی و زمینه در حال توسعه نانوفناوری- بسیاری از نتایج مهیج نشان داده‌اند که پلیمرهای پرشه با مواد کربنی، دارای خواص منحصر به فردی نظیر بهبود مقاومت (استحکام) و دوام پذیری، هدایت پذیری الکتریکی، مقاومت به شعله، جذب UV و کاهش نفوذ پذیری هستند. مواد جاذب عالی علاوه بر اینکه دارای یک MA قوی و پهنای باند جذب گسترده هستند، سبک وزن بوده و دارای ضخامت ریز و مقرون به صرفه می‌باشند [۲۲]. به این دلایل، مواد پلیمری کربنی برای محققین مواد در هدایت تلاش‌های مداوم آنها برای طراحی مواد MA سودمند هستند. از اوایل دهه ۲۰۰۰، شماری از پژوهشگران در دانشگاه و صنعت، به بررسی احتمال در کفناوری‌های وسایل الکترونیکی انعطاف‌پذیر، نظیر مواد نرم با ساختاربندی مصنوعی با خواص الکتریکی و الکترومغناطیسی قابل تنظیم پرداخته‌اند [۲۳]. تکنولوژی مدار انعطاف‌پذیر، توجه بسیاری را در صنعت الکترونیک برای کاربردهای قابل حمل<sup>۴</sup> جلب نموده است زیرا سوبسترای انعطاف‌پذیر قابلیت نورده کاری، خمش و تاخوردگی برای انطباق با یک فضای محدود در هنگام نیاز را دارد. برای دستیابی به کنترل مورد نیاز برای تکنولوژی، به یک درک کامل‌تری نیاز خواهد بود. یکی از موارد جالب توجه، مشاهده تأثیرات فیزیکی غیرمنتظره است که با رسیدن اندازه پرکننده‌های کربنی در ابعاد چند نانومتری نمایان

<sup>1</sup> Halpern anti radiation paint<sup>2</sup> Knitted structures<sup>3</sup> Front face reflection<sup>4</sup> Portable

می شود. همچنین ماهیت اساسی این مساله، از توجه بالایی برای متخصصان آزمایشگاهی برخوردار است چرا که آنها در تلاش برای جستجوی کاربرد پذیری‌های متعدد در نانوساختارها می‌باشند

١-٤-اهداف

در دنباله پیشرفت‌های تکنولوژیکی در مقیاس نانو، MA کامپوزیت‌های پلیمری با آلتوروب‌های مختلف کربنی، عالیق پژوهشی قابل ملاحظه‌ای در زمینه بنیادی و هم به عنوان نگرانی جدی در مواد و وسایل نانوالکترونیک را جلب نموده است. با کنترل ناهمگنی‌های ریزساختاری در این کامپوزیت‌ها، پاسخ‌های جذب منحصربه فردی در مقیاس ماکرو می‌تواند بدست آید. این مساله ضرورت توسعهٔ روش‌های ساختار نظام‌مند جهت بهینه‌سازی MA را ایجاد می‌کند. در ادامه، به بررسی خواص MA کامپوزیت‌هایی پلیمری با ذرات کربنی، از جمله الیاف کربنی (CFS)، کربن سیاه (CB)، گرافن و سایر مواد پایه کربنی می‌پردازیم. تا آنجا که مطلع هستیم، هیچ مقاله مروری در این موضوع موجود نمی‌باشد. ما تلاش نموده‌ایم که نتایج متنوعی را برای درک خواندنگان از دانش فعلی خود، در شرایط تاثیر جزء کربنی در کامپوزیت‌ها بر روی MA ارائه دهیم. با این حال، علی‌رغم منابع تجربی ارزشمند در زمینه MA، سازوکاری که به موجب آن ذرات کربنی مختلف، سبب بازدارندگی یا تعالی MA می‌شوند، تا حد زیادی بدون جواب باقی مانده است [۱].

## ۱-۵- پوشش‌های جاذب رادار

رادار که به عنوان یک سیستم الکترومغناطیسی برای تشخیص و تعیین موقعیت هدف مورد استفاده قرار گرفته می‌شود، اولین بار در سال ۱۸۸۶ توسط هرتز آلمانی شناسایی شد و بعد از آن از سال ۱۹۳۰ به بعد مورد بهره‌برداری قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در دسته‌بندی انواع رادار، مؤلفه فرکانس می‌باشد. فرکانس‌های مختلف مورد استفاده در انواع رادارها، مطابق با استاندارد IEEE ۱ نشان داده می‌شوند [۲۴].

**جدول ۱- محدوده های فرکانسی امواج رادار براساس استاندارد بین المللی IEEE [۲۴]**

Band Designation	Nominal Frequency Range	Specific Frequency Ranges for Radar based on ITU Assignments in Region 2
HF	3–30 MHz	
VHF	30–300 MHz	138–144 MHz 216–225 MHz
UHF	300–1000 MHz	420–450 MHz 850–942 MHz
<i>L</i>	1–2 GHz	1215–1400 MHz
<i>S</i>	2–4 GHz	2300–2500 MHz 2700–3700 MHz
<i>C</i>	4–8 GHz	5250–5925 MHz
<i>X</i>	8–12 GHz	8500–10,680 MHz
<i>K<sub>u</sub></i>	12–18 GHz	13.4–14.0 GHz 15.7–17.7 GHz
<i>K</i>	18–27 GHz	24.05–24.25 GHz
<i>K<sub>a</sub></i>	27–40 GHz	33.4–36 GHz
<i>V</i>	40–75 GHz	59–64 GHz
<i>W</i>	75–110 GHz	76–81 GHz 92–100 GHz
mm	110–300 GHz	126–142 GHz 144–149 GHz 231–235 GHz 238–248 GHz

\*From "IEEE Standard Letter Designations for Radar-frequency Bands," IEEE Std 521-1984.

محدوده کارایی اغلب سیستم‌های راداری بین ۵ MHz تا ۹۵ GHz می‌باشد و هر نوع فرکانس، رفتار و ویژگی‌های متفاوتی به رادار می‌بخشد.

## ۱-۶- RCS (سطح مقطع راداری)

سطح موثر اهداف را به صورت سطح مقطع راداری تعریف می‌کنند. RCS سطح یک کره فلزی است که سیگنال‌های اکو مشابه جسم هدف از خود ساطع می‌کند که با کاهش سطح مقطع راداری می‌توان احتمال شناسایی آن توسط رادار را کاهش داد. عمدترين روش‌ها برای کاهش سطح مقطع راداری عبارتند از:

- تغییر شکل
- استفاده از جاذب امواج راداری
- خنثی کردن غیرفعال امواج
- خنثی کردن فعال امواج

یکی از راه‌های ناممکنی کردن تجهیزات نظامی، استفاده از پوشش‌ها و مواد جاذب هوشمند می‌باشد. این مواد با جذب انرژی رادار توسط مکانیزم‌های مختلف که بستگی به خواص ساختاری آن‌ها دارد، موجب کاهش سطح مقطع می‌شوند. پوشش‌های RCS در محدوده فرکانسی X و KU (۴۰ GHz تا ۸ GHz) کاربرد دارند. اتلاف انرژی عمدتاً از طریق تبدیل انرژی فرکانس رادیویی به گرما محقق می‌شود. مواد جاذب رادار نیز خود به دو دسته (RAS) یا ساختارهای جاذب و (RAM) مواد جاذب تقسیم می‌شوند. از انواع مواد جاذب راداری که امروزه بسیار مورد توجه می‌باشند، مواد کامپوزیتی که شامل فاز ماتریس و تقویت کننده می‌باشند را می‌توان نام برد [۲۵].

در این گزارش به شناسایی پوشش‌های جاذب رادار کامپوزیتی پرداخته می‌شود. مزیت این پوشش‌ها، سبک بودن آن‌ها است که می‌توان به عنوان رنگ نیز برای بدنه جسم مورد نظر به کار گرفته شوند. مهم‌ترین خصوصیاتی که یک پوشش جاذب رادار باید داشته باشد این است که با کمترین ضخامت (۱ تا ۲ میلی متر) در محدوده فرکانسی مد نظر حداکثر تلفات انعکاس را داشته باشد.

یک پوشش جاذب رادار در محدوده فرکانسی X و KU باید توانایی جذب امواج در کمترین ضخامت را داشته باشد، یا به عبارتی ماده‌ای با کمترین ضریب انعکاس در محدوده وسیع فرکانسی که توانایی تضعیف امواج ماکرویو را داشته باشد. هم‌چنین باید با کمترین ضخامت و دانسیتی پایین، جذب قوی در محدوده جذبی پهن داشته باشد. این نوع از مواد باید توانایی گذردهی الکتریکی (permittivity) و نفوذ پذیری الکتریکی (permeability) که بر حسب مکانیزم جذب با عنوان اتلاف دی الکتریک و اتلاف مغناطیسی شناخته می‌شوند را داشته باشد. میزان جذب در مواد جاذب مغناطیسی بستگی به اتلاف مغناطیسی دارد [۲۵].

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon_0(\epsilon'_r - j\epsilon''_r) \quad \mu = \mu' - j\mu'' = \mu_0(\mu'_r - \mu''_r)$$

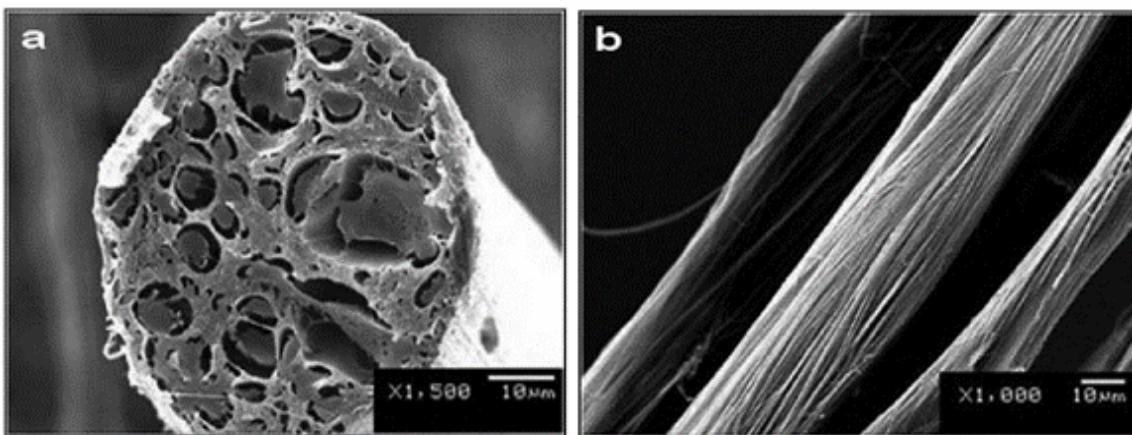
$$\tan \delta_\mu = \mu'' / \mu' \quad \tan \delta_\epsilon = \epsilon'' / \epsilon'$$

پوشش‌های جاذب امواج الکتریکی از طریق انعکاس‌های چندگانه باعث کاهش امواج الکترومغناطیس می‌شوند. مواد مغناطیسی اغلب گذردهی الکتریکی بالاتری نسبت به نفوذ پذیری مغناطیسی دارند. این مواد باید خواص دی الکتریکی و مغناطیسی هم‌مانی داشته باشند.

در این گزارش کامپوزیت‌های جاذب رادار را در دو زمینه مختلف بر حسب نوع ماتریس تقسیم بندی کرده و هم‌چنین بر اساس نوع تقویت کننده نیز بررسی می‌شوند.

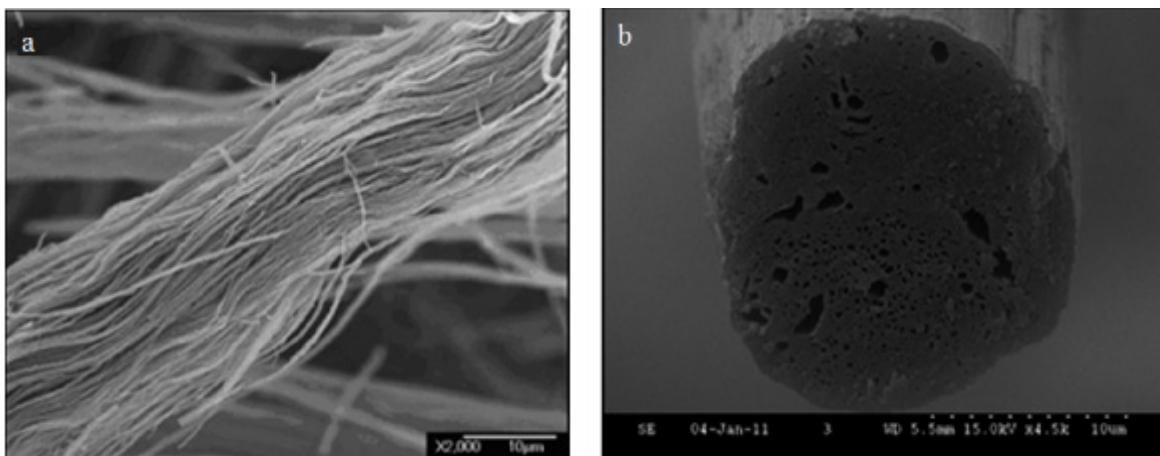
اولین نوع کامپوزیتی که مورد بررسی قرار گرفته می‌شود، کامپوزیتی با ماتریس رزین اپوکسی می‌باشد [۲۶]. تقویت کننده‌ای که معمولاً برای این رزین مورد استفاده قرار می‌گیرد، نانولوله‌های کربنی (CNT) می‌باشند که علاوه بر ایجاد خاصیت رسانایی الکتریکی در این ماتریس، خواص مکانیکی رزین را نیز افزایش می‌دهد. در سال‌های اخیر بسیاری از محققین این حوزه نشان دادند که نانولوله‌های کربنی خواص منحصر بفردی از جمله خواص مکانیکی، الکتریکی، مغناطیسی و حرارتی را دارا می‌باشند [۲۷]. به وضوح نشان داده شده است که مواد مغناطیسی که در آنها از نانولوله‌های کربنی به عنوان تقویت کننده در آنها استفاده شده است، دارای خاصیت جذب امواج مایکروویو خوبی هستند. علاوه به دلیل بالا بودن سطح موثر این تقویت کننده، قابلیت افزایش میزان اتلاف بازتابش با انجام یکسری عملیات تکمیلی مانند پوشش دهی و یا پر کردن با ذرات مغناطیسی

را دارا می‌باشد. از این‌رو، در سال‌های اخیر، ساختار و خواص مواد مغناطیسی که از نانو لوله‌های کربنی به عنوان تقویت کننده در آنها استفاده گردیده است، به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۷]. یکی از مهمترین تقویت کننده‌هایی که برای تقویت رزین اپوکسی به کار می‌رود، الیاف کربن می‌باشد که نسبت به دیگر تقویت کننده‌ها، دارای هزینه کمتری می‌باشد. در سال ۲۰۱۲ محققین دانشگاه شانگهای از الیاف کربن متخلخل که از نوع PAN/PMMA بودند، جهت تقویت خواص الکتریکی و مغناطیسی اپوکسی استفاده کردند (شکل ۲) [۲۶].



شکل ۲- تصویر عرضی از الیاف PAN/PMMA با نسبت ۷۰/۳۰ (a) تصویر سطحی و (b) بعد از واکنش با استون [۲۶].

شکل ۳ نشان دهنده تصاویر SEM از الیاف متخلخل و نانو الیاف کربنی می‌باشد.



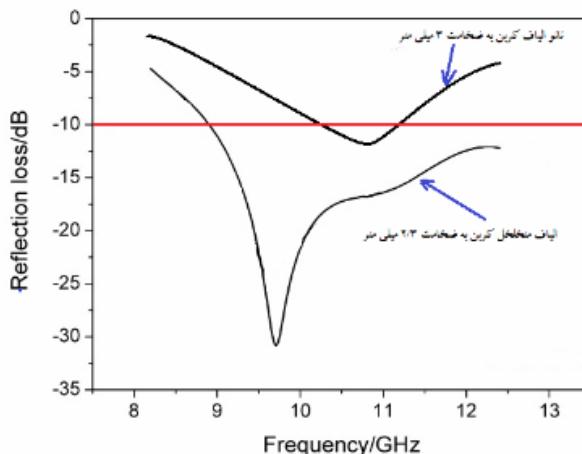
شکل ۳- تصاویر SEM از: (a) دسته‌ای از نانو الیاف کربن و (b) سطح مقطع یک الیاف کربن [۲۶].

در طی بررسی‌های مختلف، این امر مشخص شد که خواص جذب مایکروویو با افزایش تعداد جذب کننده‌ها در زمینه کامپوزیتی، به صورت گسترده افزایش می‌یابد؛ همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، الیاف متخلخل کربن یک کارآیی نسبتاً عالی در جذب امواج ماکروویو نسبت به نانو الیاف کربنی از خود نشان می‌دهند [۲۶].

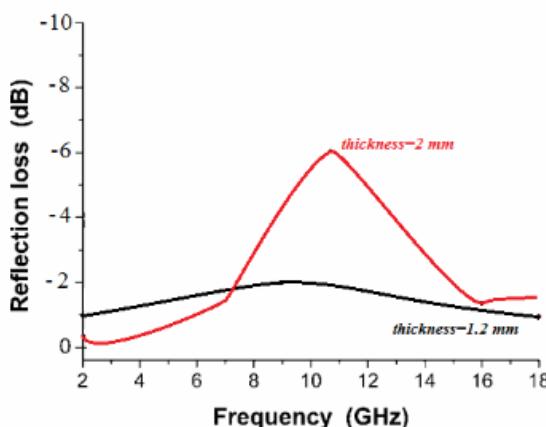
با افزودن ۶ درصد وزنی از الیاف متخلخل کربنی، مقدار تلفات گزارش شده برای این کامپوزیت با ضخامت حدوداً  $\frac{2}{3}$  میلی متر  $\text{GHz}^{-\frac{9}{7}}$  بوده که در مقابل به کاربردن ۶ درصد وزنی از نانو الیاف کربنی در حدود ۵۰ درصد کاهش در میزان انعکاس و کاهش ۷۰ درصدی در پهنه‌ای باند انعکاس (با حداقل -۱۰- دسی بل) را نشان داده به طوری که  $\text{GHz}^{-\frac{12}{7}}$  در  $\text{GHz}^{-\frac{10}{7}}$  را گزارش شده است. نظر بر این است که این افزایش در میزان جذب امواج از نانوله الیاف به الیاف متخلخل به دلیل ترکیب جذب نوع دی‌الکتریک و تداخل انعکاس چندگانه امواج می‌باشد. از معایب استفاده از این روش می‌توان به ضخامت پوشش اشاره کرد که از ۲ میلی متر بیشتر می‌باشد. همچنین محدوده فرکانسی کم ( $\frac{10}{3}$  الی  $\frac{11}{3}$ ) را پوشش می‌دهد که برای

کاربردهای نظامی قابل استفاده نمی باشد. از مزایای استفاده از نانولوله های کربنی، عدم پراکندگی یکنواخت آنها در رزین و نداشتن خاصیت مغناطیسی مناسب می باشد؛ بنابراین باید به صورت ترکیبی با دیگر تقویت کننده ها که دارای خاصیت مغناطیسی می باشند، مورد استفاده واقع شوند [۲۶].

شکل ۵ نشان دهنده اثر ضخامت بر اتلاف بازتابش در کامپوزیت های حاوی رزین اپوکسی و MWCNT (در حدود ۱/۱ درصد وزنی) می باشد [۲۸ و ۲۹]. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش ضخامت تا یک مقدار بهینه میزان اتلاف بازتابش افزایش می باید.



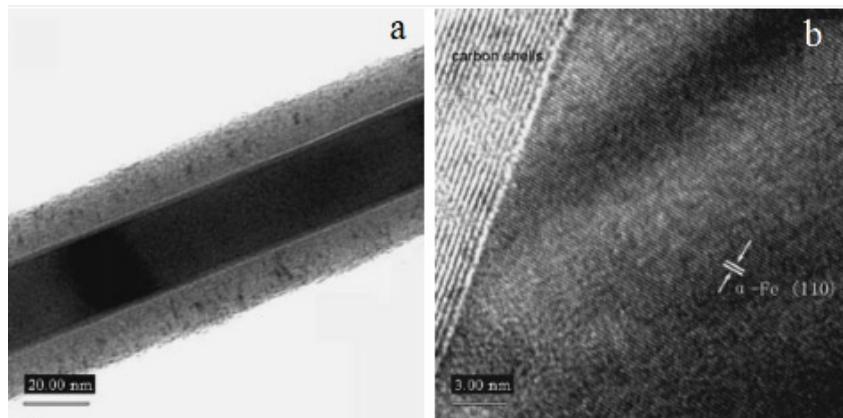
شکل ۴- مقایسه عملکرد نانو الیاف و الیاف متخلخل کربنی (در ۶ درصد وزنی) [۲۶].



شکل ۵- مقایسه اثر ضخامت بر اتلاف بازتابش کامپوزیتی با رزین اپوکسی و تقویت کننده MWCNT [۲۸ و ۲۹].

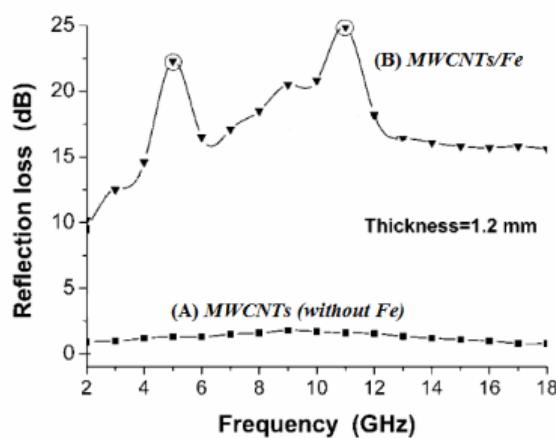
در بحث انواع تقویت کننده هایی که در رزین اپوکسی مورد استفاده قرار می گیرند، سعی بر این بود که اثر پر کردن نانولوله های کربنی را با ذرات مغناطیسی مورد ارزیابی قرار بگیرد. بطور معمول، مواد کامپوزیتی شامل ذرات فلزی مغناطیسی مانند فریت، نیکل، روی و غیره به عنوان اتلاف مغناطیسی امواج الکترومغناطیس در اتصال با رزین های پلیمری عمل می کنند [۲۶]. از میان این تحقیقات می توان به ترکیب ذرات Fe با نانولوله های کربنی اشاره کرد. یکی از روش هایی که می توان خواص الکتریکی و مغناطیسی CNT را افزایش داد، استفاده از Fe به عنوان پرکننده نانولوله های می باشد. برای ساخت این نوع از نانوذرات از روش رسوب دهی فاز بخار (CVD)<sup>۱</sup> استفاده شد. Renchao che و همکارانش در دپارتمان الکترونیک پکن، در سال ۲۰۰۴ بر روی این زمینه تحقیقاتی به عمل آورده و توانستند نانو کامپوزیت CNT/Fe (با نسبت ۵ به ۱ درصد وزنی) را تهیه نمایند که جهت اندازه گیری خواص مغناطیسی آن، این نانوذرات را در رزین اپوکسی توزیع کرده و به نتایج مناسبی که در شکل ۶ نشان داده شده است، دست یافتند [۲۹].

<sup>۱</sup> Chemical Vapor Deposition



شکل ۶- تصاویر TEM نانوکامپوزیت CNT/Fe در محدوده فرکانسی ۲ الی ۱۸ گیگاهرتز به طوری که در (a) به صورت نانوسیم و در (b) به صورت نانو ذره مورد استفاده قرار گرفته و حداقل مقدار تلفات انعکاس آن ۱۰- گزارش شده است [۲۹].

شکل ۷ نشان دهنده اتلاف بازتابش مربوط به اثر پر کردن نانو الیاف کربن و رزین اپوکسی و اثر پر کردن نانو الیاف با ذرات آهن می باشد [۲۹]. با توجه به اینکه روش تهیه CNT پرشده با Fe، روش گرانقیمت می باشد، توجیه اقتصادی در زمینه صنعتی نخواهد داشت و صرفاً جهت انجام تحقیقات آزمایشگاهی استفاده می شود.

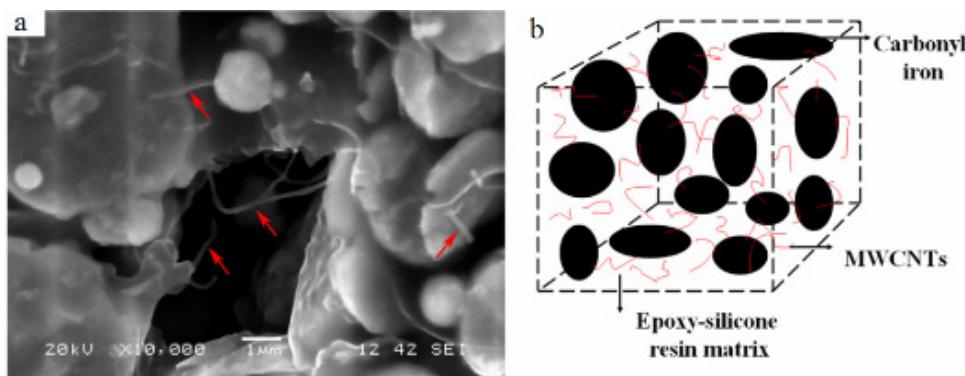


شکل ۷- مشخصه های جذب مربوط به: (A) نانو الیاف کربن و رزین اپوکسی، (B) پر کردن نانو الیاف با ذرات آهن [۲۹].

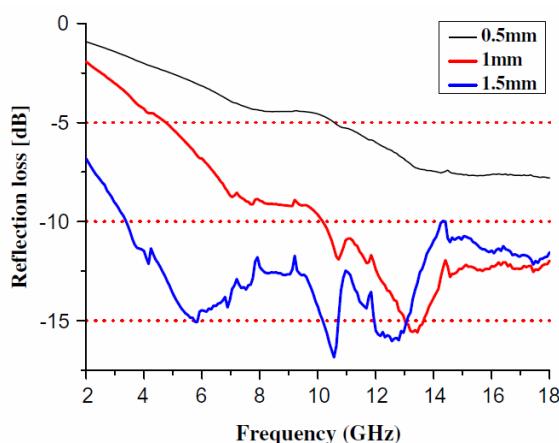
یکی از روش هایی که باعث تقویت خواص مغناطیسی و الکتریکی رزین اپوکسی می شود، استفاده از رزین اپوکسی-سیلیکون، به همراه تقویت کننده نانوالیاف چند دیواره (MWCNT)<sup>۱</sup> با ذرات آهن کربونیل می باشد (شکل ۸) [۲۷]. این پوشش با ضخامت ۱/۵ میلی متر دارای محدوده فرکانسی ۳/۲ الی ۱۸ گیگاهرتز با حداقل و حداقل مقدار تلفات منفی ۱۰ و ۱۸ دسی بل می باشد که به عنوان پوشش بسیار مناسب می باشد.

حضور نانوالیاف چند دیواره به همراه ذرات آهن کربونیل در زمینه رزین سیلیکونی، سبب ایجاد رفتار دوگانه تشید و پیچگی نفوذپذیری مغناطیسی شده که در نتیجه آن یک حرکت دیواره دایره ای در فرکانس های پایین و چرخش اسپینی در فرکانس های بالا گردیده است. به منظور فهم عملکرد جذب امواج مایکروویو در این کامپوزیت، می توان بیان نمود که دلیل بالا بودن خواص جذبی این کامپوزیت، تلفیق و پیچگی اتلاف دی الکتریک و اتلاف مغناطیسی می باشد. همانطور که قبلاً هم اشاره شد، در شکل ۹ نشان داده شده است، با افزایش ضخامت تا یک میزان بهینه می توان میزان جذب امواج را افزایش داد. از معایب این روش می توان به تهیه رزین اپوکسی- سیلیکونی اشاره کرد. همچنین پراکندگی یکنواخت چند تقویت کننده در سایز نانو، در درصد های بالا بسیار مشکل بوده و به تجهیزات خاص نیاز دارد [۲۷].

<sup>۱</sup> Multi-walled carbon nanotube

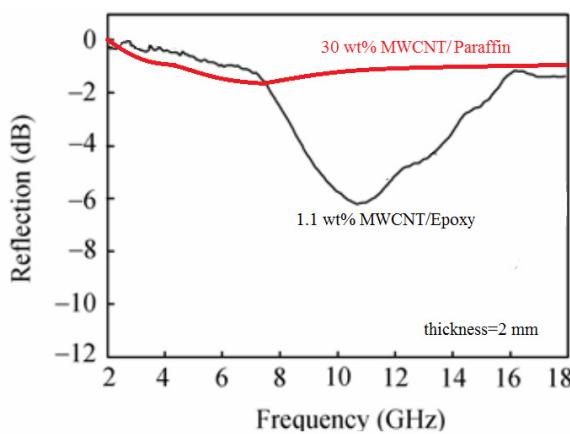


شکل ۸- (a) تصویر SEM از کامپوزیتی با تقویت کننده MWCNT و آهن کربونیل (نانوالیاف چند دیواره با نشانگرها نمایش داده شده است)، (b) تصویر شماتیک از این کامپوزیت [۲۷].



شکل ۹- اثر افزایش ضخامت بر میزان انعکاس امواج مایکروویو در کامپوزیتی با تقویت کننده MWCNT و آهن کربونیل [۲۷].

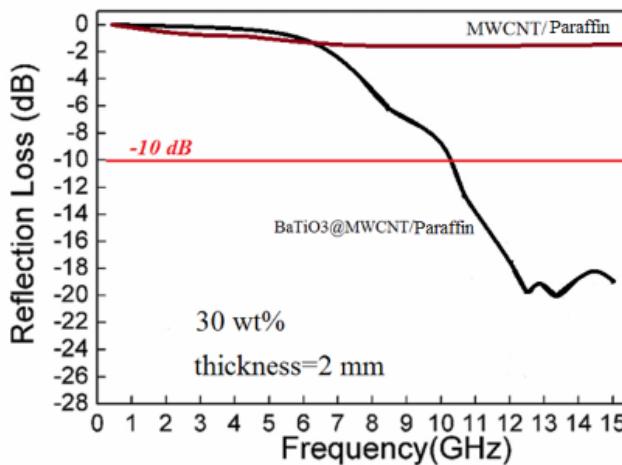
دومین زمینه‌ای که به عنوان فاز ماتریس مطرح شده است، پارافین یا واکس می‌باشد. برای تقویت خاصیت رسانایی این رزین عموماً از ترکیبات کربنی استفاده می‌شود. عمدترين مزیت استفاده از اين نوع رزین، وزن بسيار سبک آن می‌باشد. تقویت کننده‌هایی که جهت افزایش خواص الکتریکی در کنار دیگر خواص به کار می‌روند، عموماً برپایه نانو الیاف کربن می‌باشند. همانطور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد، انتخاب نوع رزین اثر بسیار زیادی بر میزان جذب امواج مایکروویو دارد. به دلیل واکنش دادن هاردنر اپوکسی با ذرات تقویت کننده، خواص مکانیکی، حرارتی و عملکرد جذب امواج این نوع رزین در مقایسه با پارافین بسیار مطلوب تر می‌باشد.



شکل ۱۰- مقایسه عملکرد دو نوع رزین اپوکسی و پارافین بر اتلاف بازتابش در کامپوزیتی با تقویت کننده MWCNT [۲۸].

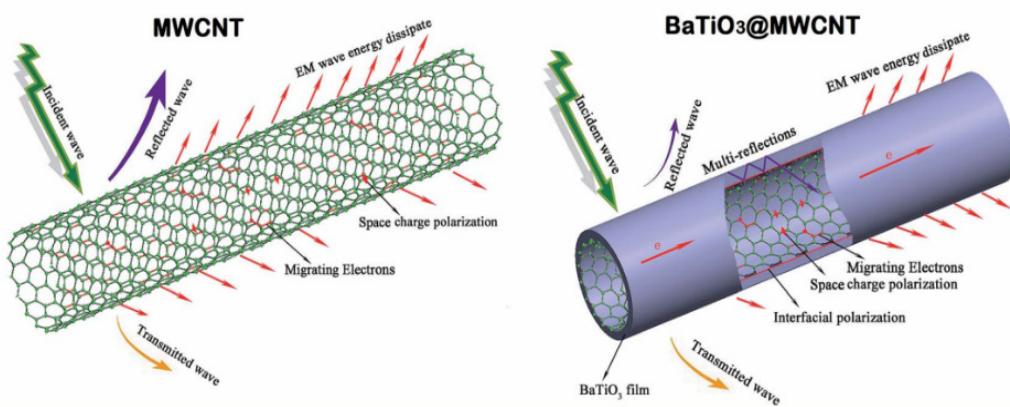
شکل ۱۱ نیز نشان دهنده اثر فاز دوم در تقویت کننده بر عملکرد کامپوزیت با رزین پارافین و تقویت کننده MWCNT را نشان

می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، استفاده از پوشش  $\text{BaTiO}_3$  بر روی نانو الیاف کربن سبب بهبود چشمگیری در عملکرد کامپوزیت شده است [۳۰].



شکل ۱۱- مقایسه اثر افزودن ذرات  $\text{BaTiO}_3$  به نانو الیاف کربن در کامپوزیتی با رزین پارافین [۲۸ و ۳۰].

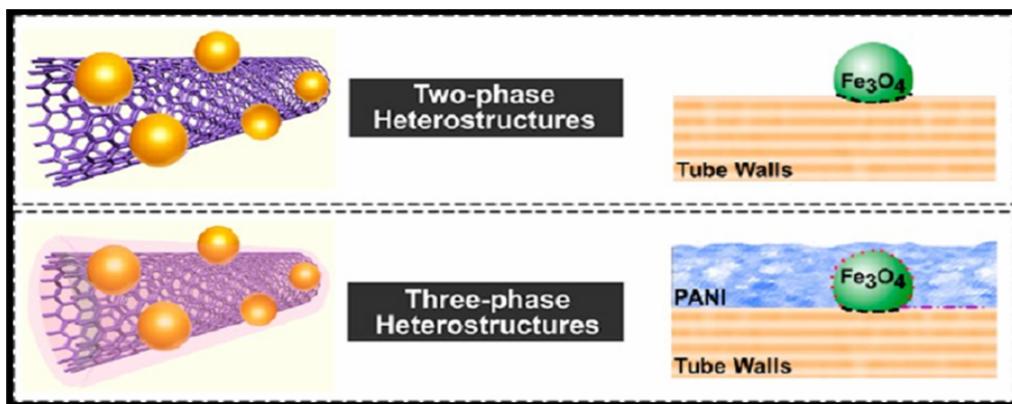
برای فهم بهتر مکانیزم جذب در کامپوزیت  $\text{BaTiO}_3@MWCNT/\text{Paraffin}$ ، شکل شماره ۱۲ ارائه شده است. مطابق شکل، اولاً به دلیل عدم انتطباق مشخصه امپدانس در سطح نانو الیاف کربن، اکتریت امواج الکترومغناطیس تابشی بر روی سطح نانو الیاف، بازتابیده می‌شوند در نتیجه هدایت الکتریکی بالای نانو الیاف کربن نمی‌تواند سبب جذب قابل توجهی شود. نانو الیاف پوشیده شده با پوشش  $\text{BaTiO}_3$  به طور موثر سبب کاهش هدایت الکتریکی و در نتیجه با ایجاد یک انتطباق مناسب مشخصه امپدانس و همچنین کاهش شدت امواج بازتابیده شده در واقع سبب بهبود قابلیت جذب در کامپوزیت می‌گردد. علاوه کامپوزیت وسیله فصل مشترک‌های دی الکتریک اضافی و قطبیت بیشتر بارها بین  $\text{BaTiO}_3$  و MWCNT، سبب ایجاد پیچیدگی بیشتر می‌شوند. در ضمن، ساختارهای ناهمگن در کامپوزیت‌ها به دلیل قطبیت در فصل مشترک، نقش مهمی را در جذب امواج ماکروویو ایفا می‌کنند. این امر به آنها این امکان را می‌دهد تا به عنوان دوقطبی عمل کرده و با برخورد امواج ماکروویو به آنها، دوقطبی‌ها چرخیده و سبب ایجاد خواص جذبی بالا می‌شود [۳۰].



شکل ۱۲- تصویر شماتیکی از عملکرد پوشش  $\text{BaTiO}_3$  بر شدت بازتابش امواج ماکروویو [۳۰].

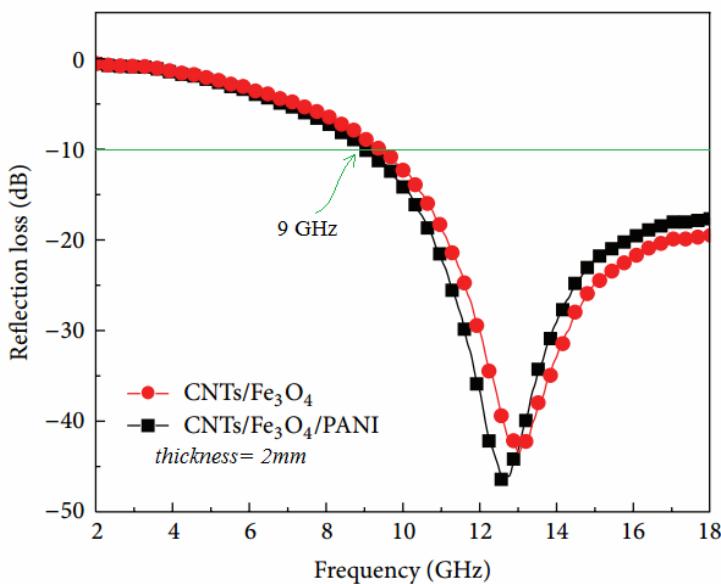
در سال ۲۰۱۳ Deqing Zhang و همکارانش اثر فاز دوم و سوم تقویت کننده را در کامپوزیت MWCNT/Paraffin مورد بررسی قرار دادند [۸]. برای ساخت تقویت کننده دوفازی ناهمگن، از MWCNT و ذرات اکسید فروفیک و از پلی آنیلین<sup>۱</sup> (PANI) نیز به عنوان فاز سوم استفاده شد (شکل ۱۳ و ۳۲).

<sup>۱</sup> Polyaniline



شکل ۱۳- تصویر شماتیک از تقویت کننده‌های دوفازی ( $\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{MWCNT}$ ) و سه فازی ( $\text{PANI}+\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{MWCNT}$ ). [۳۲]

یکی از دلایل استفاده از نانو الیاف کربن در مقایسه با الیاف متخلخل کربن، مساحت سطح بسیار زیاد و قابلیت پوشش دهی سطوح بیشتر به جهت تقویت قابلیت جذب بالا آنها می‌باشد. در چهار دهه اخیر پلیمرهای رسانا (CPs)<sup>۱</sup> به دلیل کاربردهای با ارزشی که در مبحث هدایت الکتریکی، آنهم به دلیل دارا بودن برانگیختگی‌های پولارون و بی‌پولارون در ساختارشان که سبب اثرات قطبی شدن قوی و ریلکسیشن<sup>۲</sup> می‌باشد، یک جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. پلی آنیلین نیز نسبت به سایر پلیمرهای رسانا دارای خواص ویژه‌ای از جمله قابلیت دوب شدن غیر اکسایشی-احیا<sup>۳</sup>، پایداری محیلی مناسب و امکانات اقتصادی می‌باشند [۳۳]. با مقایسه این دونوع تقویت کننده مشاهده می‌شود که با ایجاد پوشش پلیمری روی تقویت کننده دوفازی، خواص الکتریکی و مغناطیسی افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش خواص را می‌توان به ذات رسانای پلی آنیلین نسبت داد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- اثر افزودن فاز سوم به تقویت کننده بر میزان انعکاس امواج مایکروویو در کامپوزیت [۳۱].

## ۲- نتیجه‌گیری

امروزه پوشش‌های کامپوزیتی به دلیل داشتن خاصیت وزن کم، استحکام بالا و هم چنین خاصیت فرآیند پذیر بودن آن‌ها، جایگزین مناسبی برای پوشش‌های فلزی با خاصیت رادار گریزی می‌باشند. یکی از کاربردهای ویژه کربن در عرصه‌های نظامی، استفاده از این ماده در ساخت مواد جاذب رادار (RAM) جهت بهبود خاصیت جذب امواج مایکروویو می‌باشد به طوری که با

<sup>1</sup> Conductive Polymers

<sup>2</sup> Relaxation effects

<sup>3</sup> non-Redox doping

بکارگیری کربن در این مواد جاذب می‌توان به خواص نهایی مطلوبی دست یافت. کامپوزیت‌هایی که در آنها از تقویت‌کننده‌های کربن آن‌هم به صورت ذره در یک زمینه پلیمری استفاده شده است به مراتب یک انعطاف پذیری و کنترل خواص مناسبی را از خود نشان داده و همچنین با تعییر اشکال تقویت کننده کربنی (مثل کربن سیاه، الیاف و نانو الیاف و همچنین گرافن) می‌توان خواص کامپوزیت را بهینه کرد. خواص جذبی این نوع مواد جاذب را در با تعییر برخی پارامترهای موثر نظیر نوع زمینه پلیمری و یا با تعییر در هندسه، ترکیب، مورفولوژی و کسر حجمی تقویت کننده، قابل تعییر می‌باشد.

## مراجع

- [1] F. Qin and C. Brosseau; "A review and analysis of microwave absorption in polymer composites filled with carbonaceous particles", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 111, 061301 (2012).
- [2] C. Brosseau, in Prospects in Filled Polymers Engineering: Mesostructure, Elasticity Network, and Macroscopic Properties, edited by C. Brosseau (Research Signpost, Trivandrum, India, 2008), pp. 177–227.
- [3] R. H. Norman, Conductive Rubber and Plastics (Elsevier, New York, 1970).
- [4] C. Brosseau, P. Molinie, F. Boulic, and F. Carmona, J. Appl. Phys. 89, 8297 (2001).
- [5] J. Smit and H. P. J. Wijn, Ferrites: Physical Properties of Ferromagnetic Oxides in Relation to their Technical Applications (Philips Technical Library, Eindhoven, The Netherlands, 1959).
- [6] B. Lax and K. J. Button, Microwave ferrites and ferrimagnetics (McGraw-Hill, New York, 1962).
- [7] C. P. Neo and V. K. Varadan, IEEE Trans. Electromagn. Compat. 46, 102 (2004).
- [8] V. B. Bregar, IEEE Trans. Magn. 40, 1679 (2004).
- [9] S. P. Ruan, B. K. Xu, H. Suo, F. Q. Wu, S. Q. Xiang, and M. Y. Zhao, J. Magn. Magn. Mater. 212, 175 (2000).
- [10] S. Wolff and M. J. Wang, Carbon Black, Science and Technology, 2<sup>nd</sup>ed. (Dekker, New York, 1993).
- [11] P. G. Lederer, An Introduction to Radar Absorbent Materials (RAM) (Royal Signals and Radar Establishment, Malvern, England, 1986).
- [12] N. V. Machinerieen, FR Pat. No. 802728 (1936)
- [13] R. Stonier, SAMPE J. 27, 9 (1991).
- [14] O. Halpern, U.S. Pat. No. 2,923,934 entitled "Method and Means For Minimizing Reflection of High Frequency Radio Waves" (1960).
- [15] H. V. G. Stubbs, B. V. A. Wickenden, W. G. Howell, and E. D. Perry, UK Patent No. 2058469A (1981).
- [16] J. N. Dahiya, R. Athinarayanan, J. A. Roberts, J. N. Tour, and D. W. Price, in Microwave and Optical Technology 2003, Vol. 5445,
- [17] K. Q. He, L. M. Yu, L. M. Sheng, K. An, Y. Ando, and X. L. Zhao, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 125101 (2011).
- [18] A. Y. Ge, B. S. Xu, X. M. Wang, T. B. Li, P. D. Han, and X. G. Liu, Acta Phys. Chim. Sin. 22, 203 (2006).
- [19] H. Bi, K. C. Kou, K. Ostrikov, L. K. Yan, and Z. C. Wang, J. Alloy. Compd. 478, 796 (2009).
- [20] X. Bai, Y. H. Zhai, and Y. Zhang, J. Phys. Chem. C 115, 11673 (2011).
- [21] K. C. Pitman, M. W. Lindley, D. Simkin, and J. F. Cooper, IEE Proc. F, Radar Signal Process. 138, 223 (1991).
- [22] X.G. Chen, Y. Ye, and J.P. Cheng, J. Inorg. Mater. 26, 449 (2011).
- [23] C. Brosseau, Surf. Coating Tech. 206, 753 (2011).
- [24] Merrill I. Skolnik, "Introduction to radar systems", Third Edition, McGraw-Hill, 2001.
- [25] Hamish Meikle, "Modern Radar Systems", Second Edition, 2008.
- [26] Guang Li, Tianshi Xie, Shenglin Yang, Junhong Jin, and Jianming Jiang; "Microwave Absorption Enhancement of Porous Carbon Fibers Compared with Carbon Nanofibers", Phys. Chem. C 2012, 116, 9196–9201.
- [27] Yuchang Qing, Wancheng Zhou, Fa Luo, Dongmei Zhu; "Epoxy-silicone filled with multi-walled carbon nanotubes and carbonyl iron particles as a microwave absorber", CARBON48 (2010) 4074 – 4080.
- [28] GUI XuChun, WANG KunLin, WEI JinQuan, LÜ RuiTao, SHU QinKe, JIA Yi, WANG Chen, ZHU HongWei & WU DeHai; "Microwave absorbing properties and magnetic properties of different carbon nanotubes", Sci China Ser E-Tech Sci, Jan. 2009, vol. 52, no. 1, 227-231.
- [29] By Renchao Che, Lian-Mao Peng, Xiaofeng Duan, Qing Chen, Xuelei Liang; "Microwave Absorption Enhancement and Complex Permittivity and Permeability of Fe Encapsulated within Carbon Nanotubes", Adv. Mater, 2004, 16, No. 5, March 5.
- [30] Yao-Feng Zhu, Qing-Qing Nia, Ya-Qin Fu, "One-dimensional barium titanate coated multiwalled carbon nanotube heterostructures: synthesis and electromagnetic absorption properties", RSC Adv. 2015, 5, 3748–3756.
- [31] Deqing Zhang, Xiuying Yang, Junye Cheng, Mingming Lu, Bin Zhao, Maosheng Cao, "Facile Preparation, Characterization, and Highly Effective Microwave Absorption Performance of CNTs/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PANI Nanocomposites" Journal of Nanomaterials Volume 2013, Article ID 591893, 7 pages 20-9.
- [32] Mao-Sheng Cao, Jian Yang, Wei-Li Song, De-Qing Zhang, Bo Wen, Hai-Bo Jin, Zhi-Ling Hou, Jie Yuan, "Ferroferric Oxide/Multiwalled Carbon Nanotube vs Polyaniline/ Ferroferric Oxide/ Multiwalled Carbon Nanotube Multiheterostructures for Highly Effective Microwave Absorption", ACS Appl. Mater. Interfaces 2012, 4, 6949–6956.
- [33] Parveen Saini, Veena Choudhary, B.P. Singh, R.B. Mathur, S.K. Dhawan, "Polyaniline MWCNT nanocomposites for microwave absorption and EMI shielding", Materials Chemistry and Physics 113 (2009) 919–926

# هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیوم: مرواری بر ساختار، روش‌های ساخت و کاربردهای آن در پزشکی

فاطمه عسجدى<sup>۱\*</sup>، مليحه یعقوبى<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه زنجان، دانشکده فنی، گروه مهندسی مواد و متالورژی

<sup>۲</sup> دانشگاه زنجان، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی



دکتر فاطمه عسجدى،  
نویسندهٔ مسئول مقاله، عضو  
هیات علمی دانشگاه زنجان

**چکیده:** در سال‌های اخیر، هیدروکسی آپاتیت مهم‌ترین مادهٔ معدنی تشکیل دهنده استخوان، توجه ویژه‌ای را در کاربردهای زیستی به خود جلب کرده است. خواص مکانیکی و زیستی این ترکیب می‌تواند با تولید مواد کامپوزیتی و نیز ایجاد تغییرات سازنده در ساختار آن بهبود یابد. از طرفی استرانسیم به عنوان عنصری با قابلیت بالا در کاربردهای زیست پزشکی مطرح است. استرانسیم با داشتن خواص منحصر به فرد، مانند افزایش تکثیر سلول‌های استنبولاست و تشکیل استخوان، کاهش فعالیت استئوکلاست و خواص بازجذبی استخوان در درمان پوکی استخوان کاربرد دارد. با در نظر داشتن این دو عامل، هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم می‌تواند ماده‌ای با خواص ایده‌آل در کاربردهای زیستی باشد. زیست سازگاری، زیست فعالی، سرعت تجزیه بالا و سایر خواص این ترکیب آن را تبدیل به ماده‌ای با قابلیت بالا برای کاربردهای وسیع زیستی کرده است. تحقیقات روزافزون درباره این ترکیب و کاربردهای آن در حال انجام است و تعداد روزافزون مقالات چاپ شده در مورد این ترکیب همیشه این مطلب است. این ماده می‌تواند در داریست‌های استخوانی، سیمان استخوانی و پوشش برای ایمپلنت‌های تیتانیم، حامل دارو و جزء تشکیل دهنده خمیره‌دنان، کاربرد داشته باشد. داشتن اطلاعات در مورد این ماده هم در حوزه نظری و هم از دیدگاه کاربردی برای توسعه بیش از پیش این ترکیب و بهره‌مندی از خواص ویژه آن ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله روش‌های ساخت، ساختار و کاربردهای هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم به طور گسترش بدرسی شده است.

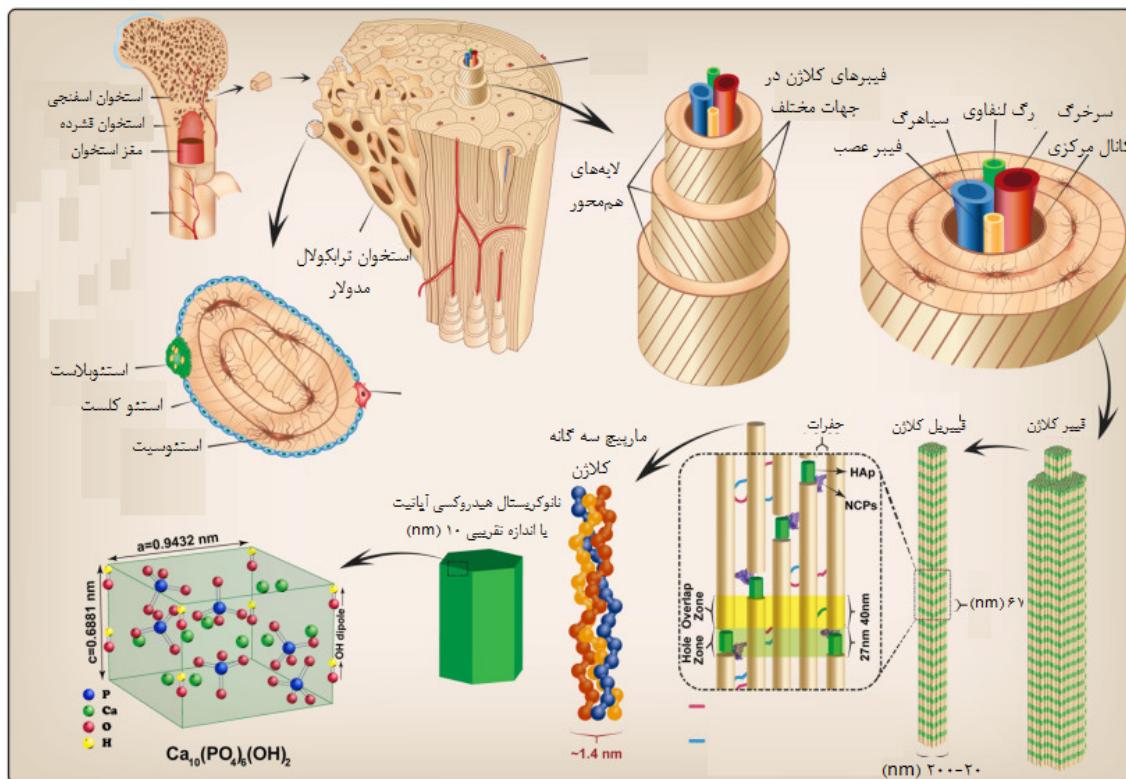
**کلمات کلیدی:** هیدروکسی آپاتیت، استرانسیم هیدروکسی آپاتیت، داریست استخوانی، مهندسی بافت.

## ۱- بررسی ساختار هیدروکسی آپاتیت

هیدروکسی آپاتیت (HAp) با فرمول شیمیایی  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  یکی از انواع کلسیم فسفات‌ها است که بافت سخت بدن انسان و سایر پستانداران از آن تشکیل شده است و به بیان دقیق‌تر ۶۰-۷۰٪ وزنی استخوان از هیدروکسی آپاتیت، ۱۰-۲۰٪ وزنی از آب و سایر بخش‌های استخوان شامل کلارزن و سایر ترکیب‌های آلی است[۱]. ساختار استخوان در شکل ۱ نشان داده شده است. هیدروکسی آپاتیت موجود در بخش معدنی استخوان شامل یون‌های مانند فلوراید، سدیم و منیزیم است.

استفاده از کلسیم فسفات‌ها در پزشکی و دندان‌پزشکی بسیار رایج است و در بین این ترکیبات هیدروکسی آپاتیت مهم‌ترین سرامیک در کاربردهای زیستی به شمار می‌رود. هیدروکسی آپاتیت مونوکلینیک در مطالعات خود امکان وجود هیدروکسی آپاتیت مونوکلینیک را تأیید کردن. در واقع ساختار هیدروکسی آپاتیت خالص و بدون نقص تابع دماست. در دمای اتفاق، هیدروکسی آپاتیت به شکل مونوکلینیک پایدار است با افزایش دما و رسیدن آن به (K) ۴۷۳، هیدروکسی آپاتیت هگزاگونال دیده می‌شود و در دمای (K) ۴۸۳ ساختار هگزاگونال ساختار اصلی آپاتیت می‌شود. این دگرگونی برگشت‌پذیر بوده و با کاهش دما در جهت عکس انجام می‌شود. هیدروکسی آپاتیت رسوب داده شده از محلول‌های آبی اغلب به صورت مجموعه‌های غیراستوکیومتری دیده می‌شود. یکی از دلایل این پدیده، جایگزینی یون‌های بیگانه در ساختار این ماده است. دلیل دیگر، ابعاد بسیار ریز بلورها و غالب شدن اثر سطوح بر ویژگی‌های این ماده است و در نهایت دلیل دیگر بزرگ بودن سلول واحد هیدروکسی آپاتیت و مشکل بودن حفظ یکپارچگی

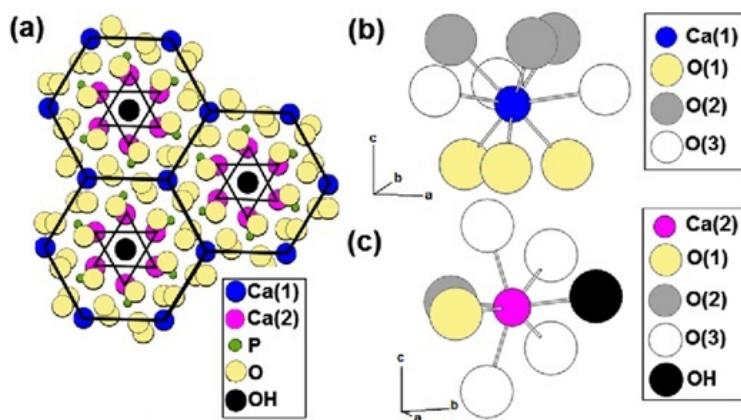
این ترکیب است. همچنین امکان باقی ماندن فازهای میانی و تبدیل نشدن آن‌ها به هیدروکسی آپاتیت در طول مراحل سنتز نیز وجود دارد. بنا به این دلایل از آنجا که همه آپاتیتهای سنتز شده دارای نقص‌های شبکه هستند، ساختار هگزاگونال در دمای اتاق پایدار است<sup>[۴]</sup> و ثوابت شبکه آن برابر با  $a=0.9418\text{ nm}$  و  $c=0.6884\text{ nm}$  هستند. البته مقدار این ثوابت، به روش تهیه، جایگزینی‌های صورت گرفته و دمای کلسینه کردن نیز بستگی دارد<sup>[۵]</sup>.



شکل ۱- ساختار استخوان برگرفته از مرجع [۲]

آپاتیت می‌تواند به عنوان یک تتراهردراال در نظر گرفته شود که در اطراف دو مکان کاتیونی که از نظر تقارنی قابل تشخیص هستند قرار گرفته است یا به عبارت دیگر، هیدروکسی آپاتیت دارای دو نوع محل نابرابر برای کاتیونهاست. چهار محل در ردیف‌های عمودی که با ۹ اتم اکسیژن (هر اتم متعلق به تتراهردراال گوناگون از فسفات) محاصره شده است و در مقاله‌ها آنها را  $\text{Ca}(\text{I})$  می‌نامند و شش محل  $\text{Ca}(\text{II})$  در راس مثلث‌های متقابله که با هفت اتم اکسیژن احاطه شده‌اند (شکل ۲). یون‌های هیدروکسیل در طول محور  $c$  قرار دارند که این محورها را می‌توان تونل‌هایی در مقیاس اتمی فرض کرد که یون‌ها از طریق آنها به آسانی جای‌جا می‌شوند<sup>[۷]</sup>. ساختار آپاتیت‌ها هم انعطاف‌پذیر و هم پایدار است و به دلیل این ساختار ویژه آپاتیت‌ها، این کانی‌ها قادر به پذیرفتن یون‌های دیگر به صورت جانشین و نیز جای خالی هستند<sup>[۷]</sup>. محل یون فسفات نمی‌تواند به صورت جای خالی قرار بگیرد ولی کلسیم می‌تواند با ایجاد جای خالی از ساختار جدا شود. ساختار هیدروکسی آپاتیت قادر است دو جای خالی کلسیم به ازای ده محل کلسیم را بدون به هم ریختن ساختار تحمل کند<sup>[۸]</sup>. این جانشینی‌ها می‌توانند به صورت نامطلوب در طی فراوری هیدروکسی آپاتیت، به ساختار آن تحمیل شوند و یا به صورت خودخواسته به شبکه اتمی وارد شوند. در مورد اخیر این جایگزینی‌ها باعث تغییر در برخی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی شده و قابلیت هیدروکسی آپاتیت را برای کاربردهای جایگزین افزایش می‌دهد. کلسیم می‌تواند به مقادیر گوناگون توسط کاتیون‌های دیگر با ظرفیت‌ها و شعاع‌های گوناگون جایگزین شود. در بین انواع کاتیون‌ها، یون باریم، منیزیم و استرانسیم جایگزینی بیشتری دارند. جایگزینی یون‌های سه ظرفیتی آلومینیم و آهن و یون ۴ ظرفیتی تیتانیم<sup>[۹, ۱۰]</sup> نیز در مطالعات بررسی شده است. جایگزینی کالت با دو روش تعویض یونی و افزودن در هنگام سنتز تایید شده است<sup>[۱۱]</sup>. جایگزینی در محدوده‌های گوناگون برای یون‌های گوناگون امکان‌پذیر است. برخی یون‌ها مانند سرب<sup>[۱۲]</sup> و استرانسیم<sup>[۷]</sup> می‌توانند به طور کامل جایگزین کلسیم شوند بدون اینکه ساختار بلوری آپاتیت از بین برود و برخی

یون‌ها مانند روی تا ۱ درصد مولی جایگزین می‌شوند<sup>[۱۳]</sup>. در مورد برخی عناصر مانند عناصر نادر خاکی<sup>[۱۴]</sup> و عناصر با ظرفیت بالا مانند اورانیم<sup>[۱۵]</sup> این جایگزینی به چند ppm می‌رسد.



شکل ۲- ساختار اتمی هیدروکسی آپاتیت و محلهای نوع اول و دوم کلسیم<sup>[۶]</sup>

با بررسی و تأیید ویژگی‌های زیست سازگاری و زیست‌فعالی هیدروکسی آپاتیت، کاربرد آن در زمینه پزشکی و زیستی با تحول بزرگی رو به رو شده است. امروزه کاربرد این ماده در ارتودنسی برای ترمیم استخوان‌های آسیب دیده و به عنوان سیمان استخوان، پوشش‌دهی زیست مواد‌هایی مانند پروتزها و ایمپلنت‌ها، کاربرد در دندان‌پزشکی به عنوان مواد ترمیم کننده و نیز استفاده در خمیر دندان‌های ضد حساسیت و سیستم‌های رهایش دارو رو به گسترش است و مطالعات در این زمینه ادامه دارد<sup>[۱۶]</sup>.

دلایل توجه به هیدروکسی آپاتیت به عنوان کاتالیست، قدرت جذب بالا، خنثی بودن سطحی و قدرت تعویض یونی آن عنوان شده است<sup>[۱۷]</sup>. هیدروکسی آپاتیت در چند سال اخیر یکی از پر بازده‌ترین مواد برای جذب فلزات سنگین شناخته شده است. همانطور که پیش‌تر اشاره شد این امکان از آنجا ناشی می‌شود که ساختار آپاتیت دارای این قابلیت است که یون‌های دیگری مانند Zn, Pb, Ba, Sr, Cd و F<sup>-</sup> را در محل یون کلسیم و یون‌هایی مانند Cl<sup>-</sup> و F<sup>-</sup> در جایگاه یون هیدروکسیل در شبکه خود بپذیرد (چه آئیون و چه کاتیون هر دو قابل پذیرش هستند).

## ۲- هیدروکسی آپاتیت جایگزین شده با استرانسیم

استرانسیم از جمله ترکیبات موجود در استخوان است. در واقع بیشترین مقدار استرانسیم بدن در بافت استخوان یافت می‌شود. وجود این ماده در ساختار هیدروکسی آپاتیت زیست فعال بودن آن به ویژه سرعت تشکیل استخوان را افزایش می‌دهد. علاوه بر این محققان به این نتیجه رسیده‌اند که استرانسیم خواص زیستی هیدروکسی آپاتیت را بهبود می‌بخشد<sup>[۱۸]</sup>. از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی استرانسیم شباهت زیادی به کلسیم دارد. در جدول تناوبی این عنصر در دوره دوم هم دوره با کلسیم و در پایین کلسیم قرار دارد. شعاع یونی دو عنصر استرانسیم و کلسیم به ترتیب برابر با (۱۰ nm) و (۱۱ nm) می‌باشد. این اختلاف کم اندازه اتم‌ها (اختلاف شعاعی نزدیک ۱۰ درصد) و نزدیک بودن خواص شیمیایی و ظرفیت این دو عنصر نشان از امکان جایگزینی کامل استرانسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت است. گزارش‌های مختلف توانایی جایگزینی صد درصدی استرانسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت را تایید کرده‌اند.

در مورد محل اشغال یون استرانسیم در هیدروکسی آپاتیت نظرات مختلفی وجود دارد. برخی از محققین به این نتیجه رسیده‌اند که در هیدروکسی آپاتیت نانوکریستال استرانسیم در غلظت‌های کمتر از ۳٪ محلهای کلسیم نوع اول و در غلظت‌های بالای ۶٪ محلهای کلسیم نوع دوم را برای جایگزینی ترجیح می‌دهد<sup>[۷]</sup> و برخی مطالعات تفاوتی بین محلهای کلسیم نوع اول و دوم برای جایگزینی استرانسیم تا غلظت ۲۰٪ مشاهده نکردند<sup>[۱۹]</sup> ولی بیشتر پژوهش‌ها محلهای کلسیم نوع دوم را به عنوان محل مناسب جایگزینی استرانسیم معرفی کرده‌اند<sup>[۲۰]</sup>. الیس<sup>۱</sup> و همکارانش در مطالعات خود نسبت استرانسیم‌های جایگزین شده

<sup>۱</sup> Ellis

در محل نوع ۱ و ۲ را محاسبه کردند اعداد به دست آمده نشان داد که استرانسیوم محل کلسیم نوع دوم را ترجیح می‌دهد ولی نسبت‌های به دست آمده با محاسبات افراد دیگر متفاوت بود بنابراین نتیجه گرفتند محل اشغال به ناخالصی‌های موجود در ساختار و روش تهیه حساس است [۲۰]. مطالعات نشان داده است که معمولاً یون‌های بزرگتر از کلسیم محل‌های نوع دوم را برای جانشینی ترجیح می‌دهند. چرا که در محل‌های نوع دوم مثلث‌های متساوی الساقین اجازه بهینه کردن چیدمان را به یون‌های بزرگتر می‌دهند. در مقابل محل‌های کلسیم نوع یک در طول ستون چیده شده و نیروی دافعه نسبت به یون‌های بزرگتر نشان می‌دهند. موقعیت این دو نوع محل در شکل ۲ نشان داده شده است. در تعیین نوع محل جایگزین علاوه بر اندازه ذرات، الکترونگاتیویتی نیز تأثیرگذار است. معمولاً در اندازه برابر، یون با الکترونگاتیویتی بیشتر محل‌های نوع دوم کلسیم را ترجیح می‌دهد. الکترونگاتیویتی استرانسیوم و کلسیم تقریباً با هم برابر است و بنابراین این پارامتر در تعیین محل استرانسیم تأثیرگذار نیست [۲۱].

وارد شدن یون استرانسیوم با اندازه بزرگتر به داخل ساختار هیدروکسی آپاتیت باعث ایجاد کرنش‌هایی در ساختار می‌شود. این میکروکرنش‌های ایجاد شده با آنالیزهای مختلفی مانند رامان، FTIR و XRD قابل شناسایی است. آنالیز FTIR انجام شده در مقالات نشان داده است که با افزودن استرانسیوم به ساختار آپاتیت به دلیل اعوجاج ایجاد شده در صد  $\text{CO}_3^{2-}$  و  $\text{HPO}_4^{2-}$  بیشتر و مقدار گروههای هیدروکسیل کمتر شده است [۲۰، ۲۲]. در واقع ورود استرانسیوم به ساختار باعث خارج شدن گروههای هیدروکسیل و ایجاد کرنش در راستای محور c می‌گردد. این کرنش باعث احلال‌پذیری بیشتر هیدروکسی آپاتیت شامل استرانسیوم می‌گردد [۲۳].

ثبت شبکه ترکیب استرانسیوم هیدروکسی آپاتیت بستگی به درصد استرانسیم، روش ساخت و وجود ناخالصی‌ها و مهم‌تر از همه دقت محاسبات دارد ولی نکته مشترک در تمامی مقالات این است که مستقل از روش مورد استفاده اضافه شدن استرانسیم باعث جابجا شدن پیک‌های طیف پراش پرتو ایکس به سمت زوایای کمتر یعنی افزایش پارامتر شبکه هیدروکسی آپاتیت می‌گردد که این مسئله به دلیل شاعر یونی بزرگتر این عنصر نسبت به کلسیم است. نکته قابل توجهی که در بسیاری از مقالات به آن اشاره نشده است چالش در تعیین مقدار استرانسیم جایگزین شده است. استرانسیم و بقیه عناصر در روش‌های مختلف به خصوص روش‌های دما پایین می‌توانند به صورت آمورف جذب سطح شوند. این ترکیبات آمورف با آنالیزهای متعارف قابل شناسایی نیستند و ممکن است تمامی استرانسیم افزوده شده در محل‌های کلسیم نباشد و برخی محل‌های کلسیم به صورت جای خالی وجود داشته باشند و برخی انحرافات از واقعیات در محاسبات مشاهده شود.

## ۲- روش‌های سنتز استرانسیم هیدروکسی آپاتیت

### ۲-۱-۱- روش رسوب شیمیایی

این روش که رایج‌ترین روش در ساخت هیدروکسی آپاتیت خالص نیز است [۲۴] هم‌رسوی<sup>۱</sup> نیز نامیده می‌شود. مراحل کار به این صورت است که ابتدا ماده اولیه که عمدتاً شامل دی‌آمونیوم هیدروژن فسفات و نیترات کلسیم و نیترات استرانسیم (به مقدار مول‌های استرانسیم از مول‌های کلسیم کاسته می‌شود طوری که نسبت استوکیومتری (Ca+Sr)/P برابر با ۱/۶۷ باشد) است در آب حل شده و در pH بالای ۹/۵ این دو محلول به صورت قطره قطره روی هم افزوده می‌شوند، بعد از تشکیل سوسپانسیون شیری رنگ به مدت چندین ساعت پیر شده و سپس جداسازی و شستشو و خشک شده است. در این روش به دلیل تشکیل ماده در دمای پایین و پایین بودن میزان بلورینگی، مرحله کلسینه کردن پودر مرحله لازم و ضروری است. دمای کلسیناسیون از حدود ۹۰۰°C تا ۱۲۰۰°C [۲۵] تا ۱۲۰۰°C [۲۶] متغیر بوده و زمان آن در مقالات مختلف متفاوت انتخاب شده است. البته با توجه به پایداری حرارتی پایین‌تر این ترکیب نسبت به هیدروکسی آپاتیت خالص در نمونه کلسینه شده در دمای ۱۲۰۰°C با افزایش مقدار استرانسیم ناخالصی تری کلسیم‌فسفات که از تجزیه هیدروکسی آپاتیت به دست آمده افزایش می‌یابد [۲۶] که حاکی از مناسب بودن این دما برای کلسیناسیون و حصول آپاتیت خالص است.

مورفولوژی ذرات به دست آمده با این روش نانومیله است که بسته به شرایط آزمایش نسبت طول به قطرهای مختلف دارد، البته

<sup>۱</sup> Coprecipitation

در پژوهشی بعد از فیلتر کردن ذرات تحت خشک کردن پاششی قرار گرفتند که در این مورد شکل ذرات کروی بوده و ضمناً کلوخه شدن شدید نیز مشاهده شده است [۲۶]. در برخی پژوهش‌ها کاهش اندازه ذرات هیدروکسی آپاتیت با افزایش استرانسیم گزارش شده است [۲۵]. البته در پژوهش استپنیس<sup>۱</sup> و همکارانش افزایش اندازه نانوسوزن‌های هیدروکسی آپاتیت با افزایش استرانسیم توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی رویشی مشاهده شده است، از طرف دیگر آنالیز BET با افزایش مقدار مشخص استرانسیم کاهش اندازه ذرات هیدروکسی آپاتیت و سپس افزایش مجدد اندازه ذرات را گزارش کرده‌اند [۲۷] این دو مستند می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش استرانسیم ابتدا قطر نانومیله‌ها کاهش یافته و سپس با افزایش بیشتر قطر آن‌ها کاهش می‌یابد. در این روش استفاده از مواد اصلاح کننده سطح و سورفتکتان‌ها مانند گلیسین [۲۸] نیز امکان‌پذیر است. این ترکیبات افزودنی معمولاً با سازوکار جذب روی رسوب تشکیل شده، مانع اگلومره شدن رسوب و کاهش اندازه رسوب مشاهده شده در تصاویر میکروسکوپی می‌گردد.

نوع مواد اولیه مورد استفاده نیز می‌تواند بر خواصی نظیر مورفولوژی و بلورینگی هیدروکسی آپاتیت تأثیر بگذارد. برای مثال مطالعات نشان داده است استفاده از کلرید استرانسیم به جای نیترات آن باعث افزایش مقدار استرانسیم جایگزین شده در هیدروکسی آپاتیت می‌گردد [۲۹].

در این بخش لازم است راجع به برخی مقالات که در آن‌ها روش تهیه این ترکیب سل-ژل نامیده شده است، توضیحاتی داده شود. به طور کلی روش سل-ژل در ساخت هیدروکسی آپاتیت خالص نیز به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل آن وجود ناخالصی و عدم تولید محصول خالص و نیز قیمت بالای مواد اولیه آلکوکسیدی است. در مورد استرانسیم هیدروکسی آپاتیت این محدودیت بیشتر شده و مطالعه برخی مقالات نشان می‌دهد آنچه به نام روش سل-ژل در این مقالات آمده همان روش رسوب شیمیایی است و واکنش هیدرولیز و بسپارش که از ویژگی‌های بارز روش سل-ژل است در این مقالات مشاهده نمی‌شود. شاید دلیل این نام‌گذاری تشکیل ژل هیدروکسی آپاتیت در فرایند هم‌رسوبی است [۳۰]. در ادامه به دو مورد از این مقالات اشاره شده است. فریرا<sup>۲</sup> و همکارانش از روش مذکور برای ساخت استرانسیم هیدروکسی آپاتیت استفاده کردند. آن‌ها در این روش سل ویسکوزی شامل فسفر تهیه کرده و محلول استرانسیم را به آن اضافه کرده و سل به دست آمده را خشک و کلسینه کردند. نتایج آنالیزها نشان داد محصول به دست آمده شامل ناخالصی  $\text{Sr-HPO}_4$  است. در ادامه از روش اصلاح شده سل-ژل برای ساخت ماده استفاده کردند. در این روش محلول حاوی استرانسیم و فسفر مخلوط شده و سپس از الیگنت سدیم به عنوان تثبیت کننده استفاده شده و پودر به دست آمده خشک و کلسینه شد [۳۱]. در مطالعه‌ای که در دانشگاه صنعتی اصفهان در ایران انجام شده است برای تهیه هیدروکسی آپاتیت حاوی فلور و استرانسیم از ترکیبی حاوی نمک‌های نیترات کلسیم و استرانسیم و اسید هگزافلوروفسفوریک به همراه اتانول و اتیلن گلیکول به عنوان مواد اولیه استفاده شد. مخلوط این ترکیبات به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق هم زده شد و ژل به دست آمده بعد از ۲۴ ساعت شسته شده، فیلتر و خشک شد [۳۲].

## ۲-۱-۲ - روش هیدروترمال

در پژوهش‌هایی که از این روش استفاده کرده‌اند ابتدا ماده اولیه حاوی فسفات و مخلوط کلسیم و استرانسیم در آب حل شده و در pH بالا این دو محلول به صورت قطره قطره روی هم افزوده شدند بعد از تشکیل سوسپانسیون شیری رنگ این مخلوط به داخل یک اتوکلاو منتقل شده و در دماها و زمان‌های مختلف نگه داشته شده است [۳۳، ۱۸]. گاهی تغییراتی در این روش دیده می‌شود. برای مثال در پژوهشی از اتوکلاو با دو محفظه استفاده شده و مواد اولیه در این دو محفظه جداگانه ریخته شده‌اند و سپس در شرایط هیدروترمال مخلوط شدن انجام شده است [۲۱]. در این روش به دلیل فشار بالا و دمای نسبتاً بالا مرحله کلسینه کردن حذف شده و آپاتیت سنتز شده دارای بلورینگی کافی می‌باشد. در بیشتر مقالات تغییری در مورفولوژی ذرات با افزودن استرانسیم گزارش نشده [۲۲] هر چند برخی استشناها در این مورد دیده می‌شود برای مثال در پژوهشی با افزایش مقدار استرانسیم تغییر مورفولوژی از حالت نانومیله به بی‌شک و نامنظم گزارش شده است طوری که با افزودن ۵۰٪ استرانسیم تمامی ذرات شکل نامنظم به خود گرفته‌اند با افزایش بیشتر مقدار استرانسیم مجددًا ذرات منظم شده و در مقدار ۱۰۰ درصد استرانسیم

<sup>1</sup> Stipniece  
<sup>2</sup> Ferreira

<sup>1</sup> Shen  
<sup>2</sup> acetamide  
<sup>3</sup> In vivo  
<sup>4</sup> In vitro

مورفولوژی میله‌ای با طول بیشتر به خود گرفته است<sup>[۳۴, ۳۳]</sup>. پایداری حرارتی استرانسیم هیدروکسی آپاتیت در مقایسه با هیدروکسی آپاتیت خالص کمتر است و آنالیز TG نشان داده است که تجزیه این ترکیب با از دست دادن گروه‌های هیدروکسیل در دمای  $850^{\circ}\text{C}$ - $820^{\circ}\text{C}$  انجام می‌شود<sup>[۳۴]</sup>.

در روش هیدروترمال نیز برخی پژوهشگران از ماده افزودنی برای بهبود بخشیدن خواص ذرات استفاده کرده‌اند. شن<sup>1</sup> و همکارانش از استامید<sup>2</sup> به عنوان ماده همگن کننده رسوبات در روش هیدروترمال استفاده کرده‌اند. نکته جالب توجه در این تحقیق تنظیم pH توسط اسید در حدود ۲/۷۵ می‌باشد که با در نظر گرفتن ساختار آپاتیت کمی غیرمنتظره به نظر می‌رسد. هرچند آنالیزهای مختلف تشکیل هیدروکسی آپاتیت جایگزین شده با استرانسیم در این مقاله را ثابت کرده‌اند. دلیل این پدیده به هیدرولیز استامید توسط اسید نیتریک ارتباط دارد. مشاهده شده است که ذرات هیدروکسی آپاتیت جایگزین شده با استرانسیم تشکیل شده دارای قطر بزرگتر و طول کوچک‌تر نسبت به هیدروکسی آپاتیت خالص هستند<sup>[۳۵]</sup> تغییرات نسبت شدت پیک‌های صفحات (۰۰۳) و (۲۱۱) نشان از رشد ترجیحی آپاتیت در جهت خاص با افزودن استرانسیم دارد<sup>[۳۵]</sup>.

در هر دو روش ذکر شده در بالا مورفولوژی ذرات به شکل نانومیله و نانوسوزن است. استخوان طبیعی از هیدروکسی آپاتیت نانو به شکل سوزن و پلیمر تشکیل شده است، بنابراین مورفولوژی به دست آمده در این روش‌های سنتز با استخوان طبیعی مشابهت دارد<sup>[۲۲]</sup>.

## ۲-۲- کاربردها

### ۲-۲-۱- حامل دارو

هیدروکسی آپاتیت به دلیل داشتن خواص زیست سازگاری، زیست فعالی و غیرسمی بودن در زمینه مواد زیستی به صورت وسیعی به کار می‌رود. علاوه بر این هیدروکسی آپاتیت به دلیل خواص و گروه‌های سطحی ویژه خاصیت جذب بالایی دارد. این ویژگی در زمینه حمل دارو بسیار مورد توجه است. گزارش‌های فراوانی ارائه شده است که ورود استرانسیم به ساختار هیدروکسی آپاتیت باعث بهبود خواص مورد نیاز برای حمل دارو می‌گردد. بین هیدروکسی آپاتیت و پروتئین‌ها دو نوع پیوند فیزیکی ضعیف و پیوند الکترواستاتیکی ضعیف وجود دارد. دو محل در هیدروکسی آپاتیت برای جذب نوع دوم ذکر شده وجود دارد محل‌های C حاوی یون کلسیم که به دلیل داشتن بار مثبت جاذب گروه‌های اسیدی (به ویژه  $\text{COO}^-$ ) و محل‌های P (شامل  $\text{PO}_4^{3-}$  و  $\text{OH}^-$ ) که به دلیل داشتن بار منفی جاذب گروه‌های اسیدی به خصوص  $(\text{NH}_3^+)$  هستند. وجود استرانسیم به دلایل زیر می‌تواند باعث بهبود جذب پروتئین‌ها بر روی هیدروکسی آپاتیت شود. فاصله بین صفحات و پارامتر شبکه با حضور استرانسیم افزایش یافته که این امر موجب افزایش نیروی الکترواستاتیکی بین پروتئین و هیدروکسی آپاتیت می‌گردد. علاوه بر این بررسی‌های نشان داده است که صفحه (۳۰۰) در آپاتیت به دلیل غنی بودن از کلسیم دارای بار مثبت است و این عامل باعث دفع شدن پروتئین‌های با بار مثبت می‌گردد با افزودن استرانسیم شدت پیک مربوط به این صفحه در طیف پراش پرتو ایکس کاهش می‌یابد و در نتیجه جذب پروتئین‌های با گروه اسیدی افزایش می‌یابد<sup>[۱۸]</sup>.

البته باید توجه داشت ورود استرانسیم در مقادیر بالا باعث اعوجاج و ناپایداری شبکه شده و تأثیر عکس بر خواص جذبی آن دارد<sup>[۱۸]</sup> و برای مقدار استرانسیم جایگزین شده محدودیت وجود دارد.

### ۲-۲-۲- کاربرد در مهندسی بافت استخوان

استرانسیم به عنوان عامل رشد استخوان پتانسیل بالایی در استفاده در مهندسی بافت دارد. میزان تجزیه درون بدن<sup>3</sup> هیدروکسی آپاتیت نسبت به نرخ تشکیل استخوان‌های جدید بسیار پایین است و این موضوع یکی از مشکلات استفاده از هیدروکسی آپاتیت در کاربردهای بافت استخوان به شمار می‌رود یکی از راه حل‌های افزایش میزان تجزیه این ترکیب استفاده از سایر یون‌ها مانند استرانسیم در ساختار آپاتیت است. ثابت شده است که استرانسیم به واسطه اثرات شکل‌دهی استخوان و خد بازجذبی، یک عنصر ضد پوکی استخوان است. آزمایشات خارج بدنی<sup>4</sup> نشان داد که استرانسیم نه تنها تکثیر سلول‌های استئوبلاستی و سنتز شبکه

استخوانی را ارتقاء می دهد بلکه فعالیت استئوکلاستی را کاهش می دهد<sup>[۳۳, ۳۶]</sup>. این نتایج در آزمایشات درون بدن نیز ثابت شده است. علاوه بر این استرانسیم می تواند در کاربردهای شکستگی استخوان باعث تحریک سلول های استخوانی به تکثیر شود. وجود این عنصر خواص مکانیکی استخوان را بهبود می دهد. استرانسیم سرعت بلوری شدن هیدروکسی آپاتیت را افزایش می دهد<sup>[۲۲]</sup>.

البته برای استفاده از استرانسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت در این کاربرد محدودیت هایی وجود دارد. استرانسیم رانلات دارویی است که برای جلوگیری از شکستگی های ناشی از پوکی استخوان در زنان یائسه تجویز می شود. تحقیقات نشان داده است که پس از دریافت این دارو مقدار بیون استرانسیم در استخوان فرد به شدت افزایش یافته و موجب تغییر مورفو لوژی، سرعت رشد و بلورینگی استخوان می گردد. بنابراین باید مقدار بهینه کاربرد استرانسیم در استخوان تعیین گردد<sup>[۳۳]</sup>. در مقالات درصد نسبی استرانسیم به کلسیم بهینه ۵٪ اعلام شده است<sup>[۳۵]</sup>. خواص ضد سمی هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم در مقالات تأیید شده است<sup>[۳۴]</sup>.

هیدروکسی آپاتیت حاوی استرانسیم به سه صورت در مهندسی بافت به کار برده می شود:

**(الف) سیمان استخوانی<sup>۱</sup>:** حدود پنجاه سال است که در مقاصد عملی برای محکم کردن پروتزها از سیمان از جنس PMMA<sup>۲</sup> استفاده می شود. استفاده از این سیمان ها در کنار فواید آن دارای معایبی نیز هستند. مهم ترین مشکل عدم چسبندگی کافی این سیمان به استخوان و فیبری شدن محل اتصال با گذشت زمان است که عمدترين عامل لق شدن اجزای پروتز است. یک روش پیشنهادی برای حل این مشکل استفاده از سیمان های زیست فعال است که اصلی ترین عامل در این سیمان ها هیدروکسی آپاتیت است. یکی از روش های بهبود خواص سیمان های کلسیم فسفاتی استفاده از استرانسیم در آن هاست. در پژوهشی که از موش های اورکتومایزد<sup>۳</sup> به عنوان مدل برای پوکی استخوان استفاده شده بود مشاهده شد که وجود استرانسیم در ساختار سیمان استخوانی (به صورت کربنات استرانسیم) باعث افزایش تشکیل استخوان داخل و روی ایمپلنت می شود. آزمایش های خارج از بدن نشان داد که بیون دو ظرفیتی استرانسیم با تشکیل پیوند با کلسیم پذیرنده باعث افزایش تکثیر سلول های پیش استنبولاستیک و تشکیل شبکه استخوان و تحریک تشکیل موضعی استخوان می شود. تجزیه ایمپلنت باعث ایجاد ناپیوستگی در آن شده و سپس تشکیل استخوان جدید این ناپیوستگی ها را پر می کند. مقدار این ناپیوستگی ها در ایمپلنت های حاوی استرانسیم بیشتر است دلیل این امر انحلال پذیری بالاتر این ترکیب است. مطالعات نشان داد که بعد از گذشت شش ماه در ایمپلنت فسفات کلسیمی بدون استرانسیم، تنها ۰/۴٪ ناپیوستگی ها توسط استخوان پر شده است در حالیکه این عدد در ایمپلنت حاوی استرانسیم ۰/۹٪ است<sup>[۲۳]</sup>.

روش جایگزین برای استفاده مستقیم از ترکیبات استرانسیم در سیمان های استخوانی وارد کردن استرانسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت است. به این ترتیب ضمن استفاده از مزایای این عنصر پایداری آن نیز افزایش یافته و ورود آن به داخل گردش خون قابل کنترل می گردد. ضمن اینکه خواص مکانیکی هیدروکسی آپاتیت نیز با ورود این عنصر بهبود می یابد.

سیمان های هیدروکسی آپاتیت حاوی استرانسیم مستقیماً با استخوان اتصال برقرار می کنند. تحقیقات نشان داده است که استفاده از این نوع سیمان باعث کاهش تغییر شکل و ساختار<sup>۴</sup> استخوان ران شده و این از نکات مثبت این مطالعات به شمار می رود<sup>[۳۷]</sup>. دمای مورد نیاز برای گیرایی این سیمان ها کمتر از دمای مورد نیاز برای پلیمریزاسیون PMMA است و آسیب به پوست کمتری به دنبال دارد. خاصیت بازجنیبی یکی دیگر از خواص نامناسب PMMA است که در آپاتیت های جایگزین شده با استرانسیم دیده نمی شود<sup>[۳۷]</sup>. با استفاده از سیمان های استرانسیم آپاتیتی تفاوت چگالی استخوان و سختی آن قبل و بعد از کاشت نسبت به زمانی که از PMMA استفاده می شود کاهش می باید و این نکته بسیار قابل توجهی است.

سینتیک رشد و انحلال هیدروکسی آپاتیت نیز با ورود استرانسیم تغییر می کند. در روشنی که هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم به صورت درجا در مخلوط سیمان و در مرحله هیدراسيون تشکیل می شود با افزایش درصد استرانسیم افزایش زمان

<sup>۱</sup> Bone cement

<sup>۲</sup> Poly(methyl methacrylate)

<sup>۳</sup> ovariectomized

<sup>۴</sup> remodeling

گیرایی سیمان گزارش شده است. دلیل این اتفاق ممانتع یون های حل شده استرانسیم از رسوب هیدروکسی آپاتیت در مراحل اولیه هیدراسیون است. هیچ سمیتی در این سیمان ها گزارش نشده است و بالاترین استحکام فشاری در نمونه حاوی ۵٪ استرانسیم مشاهده شده است [۳۸].

البته مطالعه رابطه بین وجود هیدروکسی آپاتیت جایگزین شده با استرانسیوم در سیمان های کلسیم فسفاتی و میکروساختار و تغییرات فازی و خواص مکانیکی هنوز در مراحل آزمایشگاهی قرار دارد و به همین دلیل این کاربرد هنوز عملی نشده است.

**(ب) داربست استخوانی:** در عمل هیدروکسی آپاتیت معمولاً به صورت کامپوزیت با یک ترکیب الی به عنوان داربست استخوانی کاربرد دارد [۳۹، ۴۰] و استفاده از این داربستها روز به روز بیشتر مورد توجه دانشمندان قرار می گیرد. این داربستها کیفیت پایدار، تنوع فراوان و استئوکانداکتیویتی<sup>۱</sup> بالایی دارند ولی دارای استئوکانداکتیویتی<sup>۲</sup> پایین هستند. جانشین شدن کلسیم توسط استرانسیم می تواند این خاصیت را بهبود ببخشد. وجود استرانسیم می تواند باعث آثربوژن و تکثیر سلول های بنیادی مزانشیمی شود. تحقیقات سیتوسازگاری بالا و چسبندگی و تکثیر بالای سلول ها در داربست های حاوی استرانسیم هیدروکسی آپاتیت را تایید کرده اند. وجود استرانسیوم در ساختار کامپوزیت باعث افزایش فعالیت آلکالین فسفات ها و معدنی شدن شبکه خارج سلولی می شود، علاوه بر این در مقایسه با هیدروکسی آپاتیت خالص این ترکیب استئوکانداکتیویتی بالاتری دارد و می تواند ماده ای با پتانسیل بالا در جراحی های ارتوبدیک باشد [۲۵]. پلیمرهای متنوعی برای ساخت کامپوزیت های پلیمر استرانسیم هیدروکسی آپاتیت مورد مطالعه قرار گرفته اند. در پژوهشی که در دانشگاه بردکس<sup>۳</sup> فرانسه انجام شده است از پلیمر پلی ساکارید استفاده شده است. در این پژوهش کامپوزیت استرانسیم هیدروکسی آپاتیت ساخته شده با روش هم رسوبی با پلی ساکارید تهیه شده و سلول های بنیادی مزانشیمی انسانی روی داربست های کامپوزیتی کشت داده شدند. در مرحله بعد برای انجام تست های درون بدنی داربستها به صورت زیرجلدی در بدن موش ها به کار گذاشته شدند. در ارزیابی سمیت تفاوتی بین هیدروکسی آپاتیت خالص و اصلاح شده با استرانسیم وجود نداشت و هیچ کدام سمیت از خود نشان ندادند و در هر دو مورد با افزایش زمان کشت از ۳ به ۷ روز فعالیت متابولیسمی افزایش قابل توجهی نشان داد. نتایج مطالعات درون بدنی نشان داد که بافت تشکیل شده در زمان برابر با افزایش مقدار استرانسیم در هیدروکسی آپاتیت افزایش می یابد و استرانسیم باعث تحریک به تشکیل سلول های استخوانی می شود. حضور استرانسیم باعث تشکیل عروق خونی جدید نیز شده و روی آثربوژن نیز تأثیر مثبت داشت. این نتایج در پژوهش لو<sup>۴</sup> و همکارانش که از پلیمر پلی متیل متاکریلات به عنوان زمینه استفاده کرده بودند نیز تأیید شد و دیده شد با اینکه هیدروکسی آپاتیت و استرانسیم هیدروکسی آپاتیت هر دو اجازه رشد سلول های استئوبلاست را می دهند ولی تعداد این سلول ها در سیمان حاوی استرانسیم هیدروکسی آپاتیت بیشتر است. تشکیل سوزن های استخوانی بعد از دو هفته بر روی این سیمان های استخوانی مشاهده شد و تعداد آن ها بر روی سیمان حاوی استرانسیوم بیشتر بود [۴۱].

رهایش موضعی استرانسیم در محل آسیب دیده بافت استخوان باعث افزایش ترمیم استخوان در پوکی استخوان می گردد. در پژوهشی نشان داده شد که هیدروکسی آپاتیت حاوی ۱۰٪ استرانسیم به ازای هر میلی گرم از داربست حدود (۱۱ mmol/۰.۱۱). استرانسیم آزاد می کند که برای بهبود دادن پوکی استخوان کافی است. این ترکیب به عنوان داربست استخوانی روی حیوانات مدل بزرگ مانند گوسفند با موفقیت آزمایش شده است [۴۲]. مطالعات در این زمینه ادامه دارد و می توان عملکرد استرانسیم هیدروکسی آپاتیت را با افودن عناصر دیگر بهبود داد. برای مثال افزودن نقره به این ترکیب خاصیت آنتی باکتریال بودن آن را افزایش می دهد [۴۳].

**(ج) پوشش روی ایمپلنت ها:** هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم می تواند به عنوان پوششی بر روی ایمپلنت های تیتانیومی مورد استفاده قرار گرفته و باعث بهبود ادغام استخوان و تحکیم آن شود [۴۴]. مطالعات خارج بدن نشان می دهد که وجود استرانسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت و استفاده از آن به عنوان پوشش ایمپلنت های تیتانیومی باعث افزایش استحکام برشی و سفتی و جذب انرژی در فصل مشترک ایمپلنت و آپاتیت می شود [۲۱]. تأثیر جایگزینی استرانسیوم از جایگزینی روی و

<sup>1</sup> osteoconductivity

<sup>2</sup> osteoactivity

<sup>3</sup> Bordeaux University

<sup>4</sup> Lu

منیزیم بیشتر است [۴۴]. یکی از عوامل مؤثر در عملکرد ایمپلنت‌ها بلورینگی هیدروکسی آپاتیت است. علاوه بر این پوشش آپاتیت مانع آزاد شدن یون‌های رها شده از ایمپلنت می‌شود. تحقیقات نشان داده هیدروکسی آپاتیت با بلورینگی پایین به دلیل انحلال پذیری بالاتر ایمپلنت می‌شود ولی با افزایش بلورینگی خواص ایمپلنت در طولانی مدت بهتر خواهد شد. استفاده از استرانسیم هیدروکسی آپاتیت به دلیل ساختار ویژه باعث تحکیم ایمپلنت و افزایش استخوان‌سازی در تمام زمان‌ها می‌شود. مقدار بهینه استرانسیم در مطالعات مختلف حدود ۱٪ درصد گزارش شده است. سازوکار ادغام بالای استخوان در حضور استرانسیوم هیدروکسی آپاتیت هنوز شناخته نشده است. از این پوشش‌ها می‌توان به عنوان حامل داروهای آنتی‌میکروب نیز استفاده کرد [۴۴].

### ۳-۲-۲- کاربرد به عنوان افزودنی خمیردندان

مشاهده شده است که وجود استرانسیم در آب آشامیدنی باعث کاهش پوسیدگی دندان می‌شود. وجود مقدار کم این عنصر در آب آشامیدنی آثار سمی در پی ندارد. استرانسیم باعث تغییر ساختار سطحی مینای دندان و تبدیل آن به هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم می‌شود و این ترکیب نسبت به دوباره معدنی شدن مقاوم‌تر از هیدروکسی آپاتیت است. علاوه بر این تحقیقات مستند و مکتوب نشان می‌دهد استفاده از ترکیبات استرانسیم در دهان‌شویه‌ها باعث کاهش علائم حساسیت بالای دندان‌ها می‌شود. این ویژگی‌ها باعث توجه به استفاده از استرانسیم در خمیردندان‌ها شده است. البته در خمیردندان‌ها فلوراید نیز نقش اصلی در جلوگیری از پوسیدگی دندان‌ها دارد. برخی مطالعات کاهش پوسیدگی دندان را به اثر مشترک فلوراید و استرانسیم مربوط می‌کنند [۴۵]. در یکی از این مطالعات در خمیردندان ساخته شده از ۱۰۰۰ ppm فلوراید به همراه ۲۵۰ ppm استرانسیم که هر دو در ساختار آپاتیت وجود داشتند، استفاده شد. نتایج نشان داد با استفاده شش ماهه از خمیر دندان حاوی فلوراید فرایند معدنی شدن از عمق بیشتر شروع شده و در حال انجام است ولی به مقدار کافی رخ نداده و محتوای فسفات و کلسیم در عمق ۱۵ و ۱۰۰ میکرومتری از سطح مینای دندان از نمونه مرجع کلسیم زدایی شده پایین‌تر است. ولی در نمونه‌های حاوی استرانسیم مقدار کلسیم و فسفر و میزان معدنی شدن بالاتر است. مطالعات دیگر نیز استفاده هم زمان از استرانسیم و فلوراید را در فرایند معدنی شدن که مانع پوسیدگی دندان است مؤثر شمرده‌اند [۴۶].

### ۳- نتیجه‌گیری

هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده با استرانسیم ترکیبی با ساختار هیدروکسی آپاتیت است که بخشی از یون‌های کلسیم آن با استرانسیم جایگزین شده‌اند. این جایگزینی باعث ایجاد میکروکرنش‌هایی در شبکه هیدروکسی آپاتیت می‌شود که به تبع آن تغییراتی در خواص هیدروکسی آپاتیت مانند انحلال پذیری و پایداری حرارتی ایجاد می‌شود. علاوه بر این وجود استرانسیم باعث به وجود آمدن خواص بازجذبی، میزان تجزیه بالای ساختارهای آپاتیتی و خاصیت استئوکانداتیویتی می‌شود. این خواص باعث شده این ترکیب قابلیت بالایی برای کاربرد در زمینه مهندسی بافت و سایر کاربردهای پزشکی داشته باشد.

### مراجع

- [1] Orlovskii, V.P., Komlev, V.S., Barinov, S.M., Hydroxyapatite and Hydroxyapatite-Based Ceramics. Inorganic Materials, 2002, 38 (10), 973-84.
- [2] Farokhi, M., Mottaghitalab, F., Samani, S., Shokrgozar, M.A., Kundu, S.C., Reis, R.L., et al., Silk fibroin/hydroxyapatite composites for bone tissue engineering. Biotechnology Advances, 2018, 36 (1), 68-91.
- [3] Elliott, J.W.R., Dowker, S., Apatite Structures. JCPDS-International Centre for Diffraction Data, Advances in X-ray Analysis, 2002, 74 870-6.
- [4] Ma, G., Liu, X.Y., Hydroxyapatite: Hexagonal or Monoclinic?, Crystal Growth & Design, 2009, 9 (7), 2991-4.
- [5] Korkusuz, F., Timuçin, M., Korkusuz, P. Nanocrystalline Apatite-Based Biomaterials and Stem Cells in Orthopaedics. In: Ben-Nissan B, editor. Advances in Calcium Phosphate Biomaterials. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2014. p. 373-90.
- [6] Zougrou, I.M., Katsikini, M., Brzhezinskaya, M., Pinakidou, F., Papadopoulou, L., Tsoukala, E., et al., Ca L2,3-edge XANES and Sr K-edge EXAFS study of hydroxyapatite and fossil bone apatite. The Science of

- Nature, 2016, 103 (7), 60.
- [7] Bigi, A., Boanini, E., Capuccini, C., Gazzano, M., Strontium-substituted hydroxyapatite nanocrystals. Inorganica Chimica Acta, 2007, 360 (3), 1009-16.
- [8] Zanotto, A., Saladino, M., Martino, D., Caponetti, E., Influence of Temperature on Calcium Hydroxyapatite Nanopowders. Advances in Nanoparticles, 2012, 1 21-8.
- [9] Asjadi, F., Salahi, E., Mobasherpour, I., Removal of Reactive Red 141 Dye from Aqueous Solution by Titanium Hydroxyapatite Pellets. Journal of Dispersion Science and Technology, 2016, 37 (1), 14-22.
- [10] Asjadi, F., Salahi, E., Mobasherpour, I., Titanium and Fluoride Co-substitution in Hydroxyl Apatite Advanced Ceramics Progress, 2015, 1 (2), 18-23.
- [11] Kramer, E., Itzkowitz, E., Wei, M., Synthesis and characterization of cobalt-substituted hydroxyapatite powders. Ceramics International, 2014, 40 (8, Part B), 13471-80.
- [12] Tudorache, F., Petrila, I., Popa, K., Catargiu, A.M., Electrical properties and humidity sensor characteristics of lead hydroxyapatite material. Applied Surface Science, 2014, 303 175-9.
- [13] Hu, W., Ma, J., Wang, J., Zhang, S., Fine structure study on low concentration zinc substituted hydroxyapatite nanoparticles. Materials Science and Engineering: C, 2012, 32 (8), 2404-10.
- [14] Klemme, S., John, T., Wessels, M., Kusebauch, C., Berndt, J., Rohrbach, A., et al., Synthesis of trace element bearing single crystals of Chlor-Apatite ( $\text{Ca}(5)(\text{PO}(4))(3)\text{Cl}$ ) using the flux growth method. Chemistry Central Journal, 2013, 7 56-.
- [15] Luo, Y., Hughes, J.M., Rakovan, J., Pan, Y., Site preference of U and Th in Cl, F, and Sr apatites. American Mineralogist, 2009, 94 (2-3), 345-51.
- [16] M., E., Rivera-Muñoz. Hydroxyapatite-Based Materials : Synthesis and Characterization. In: Fazel R, editor. Biomedical Engineering - Frontiers and Challenges2012. p. 75-98.
- [17] Zhang, D., Zhao, H., Zhao, X., Liu, Y., Chen, H., Li, X. Application of Hydroxyapatite as Catalyst and Catalyst Carrier 2011.
- [18] Xu, Y., An, L., Chen, L., Xu, H., Zeng, D., Wang, G., Controlled hydrothermal synthesis of strontium-substituted hydroxyapatite nanorods and their application as a drug carrier for proteins. Advanced Powder Technology, 2018, 29 (4), 1042-8.
- [19] Zhu, K., Yanagisawa, K., Shimanouchi, R., Onda, A., Kajiyoshi, K., Preferential occupancy of metal ions in the hydroxyapatite solid solutions synthesized by hydrothermal method. Journal of the European Ceramic Society, 2006, 26 (4), 509-13.
- [20] Terra, J., Dourado, E.R., Eon, J.-G., Ellis, D.E., Gonzalez, G., Rossi, A.M., The structure of strontium-doped hydroxyapatite: an experimental and theoretical study. Phys Chem Chem Phys, 2009, 11 (3), 568-77.
- [21] Zhu, K., Yanagisawa, K., Shimanouchi, R., Onda, A., Kajiyoshi, K., Qiu, J. Hydrothermal Synthesis and Crystallographic Study of Sr-Pb Hydroxyapatite Solid Solutions 2007.
- [22] Egles, C., Ehret, C., Aid-Launais, R., Sagardoy, T., Siadous, R., Bareille, R., et al., Strontium-doped hydroxyapatite polysaccharide materials effect on ectopic bone formation. Plos One, 2017, 12 (9), e0184663.
- [23] Baier, M., Staudt, P., Klein, R., Sommer, U., Wenz, R., Grafe, I., et al., Strontium enhances osseointegration of calcium phosphate cement: a histomorphometric pilot study in ovariectomized rats. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2013, 8 (1), 16.

[۲۴] صلاحی، ا.، مباشرپور، ا.، عسجده، ف.، مطالعه سینتیک و ترمودینامیک حذف یون فلوراید از محلول‌های آبی با استفاده از هیدروکسی‌آپاتیت نانوstructur. علم و مهندسی سرامیک، ۱۳۹۳، ۱۰، ۲۱-۱۵ ۳۴-۳۵.

- [25] Lei, Y., Xu, Z., Ke, Q., Yin, W., Chen, Y., Zhang, C., et al., Strontium hydroxyapatite/chitosan nanohybrid scaffolds with enhanced osteoinductivity for bone tissue engineering. Materials Science and Engineering: C, 2017, 72 134-42.
- [26] Özbek, Y.Y., Baştan, F.E., Üstel, F., Synthesis and characterization of strontium-doped hydroxyapatite for biomedical applications. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2016, 125 (2), 745-50.
- [27] Stipniece, L., Salma-Ancane, K., Loca, D., Pastare, S., Synthesis of Strontium Substituted Hydroxyapatite through Different Precipitation Routes. Key Engineering Materials, 2016, 674 3-8.
- [28] Gopi, D., Nithiya, S., Kavitha, L., Ferreira, J.M.F., Amino acid-assisted synthesis of strontium hydroxyapatite bone cement by a soft solution freezing method. Bulletin of Materials Science, 2012, 35 (7), 1195-9.
- [29] Zahra, N., Fayyaz, M., Iqbal, W., Irfan, M., Alam, S., A process for the development of strontium hydroxyapatite. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2014, 60 (1), 012056.
- [30] Zhang, W., Cao, N., Chai, Y., Xu, X., Wang, Y., Synthesis of nanosize single-crystal strontium hydroxyapatite via a simple sol-gel method. Ceramics International, 2014, 40 (10, Part A), 16061-4.
- [31] Balamurugan, A., Balossier, G., Torres, P., Michel, J., Ferreira, J.M.F., Sol-gel synthesis and spectrometric structural evaluation of strontium substituted hydroxyapatite. Materials Science and Engineering: C, 2009, 29 (3), 1006-9.
- [32] Kamaei, M., Fathi, M.H., Preparation and characterization of strontium-fluorapatite nanopowders by sol-gel method. 2018, 1920 020023-1--2.
- [33] Geng, Z., Cui, Z., Li, Z., Zhu, S., Liang, Y., Lu, W.W., et al., Synthesis, characterization and the formation mechanism of magnesium- and strontium-substituted hydroxyapatite. Journal of Materials Chemistry B, 2015, 3 (18), 3738-46.

- [34] Li, Z.H., Wu, J.M., Huang, S.J., Guan, J., Zhang, X.Z., Strontium Hydroxyapatite Synthesis, Characterization and Cell Cytotoxicity. *Advanced Materials Research*, 2010, 160-162 117-22.
- [35] Xu, J., Yang, Y., Wan, R., Shen, Y., Zhang, W., Hydrothermal preparation and characterization of ultralong strontium-substituted hydroxyapatite whiskers using acetamide as homogeneous precipitation reagent. *TheScientificWorldJournal*, 2014, 2014 863137.
- [36] Geng, Z., Wang, R., Li, Z., Cui, Z., Zhu, S., Liang, Y., et al., Synthesis, characterization and biological evaluation of strontium/magnesium-co-substituted hydroxyapatite. *Journal of biomaterials applications*, 2016, 31 (1), 140-51.
- [37] Ni, G.X., Lin, J.H., Chiu, P.K., Li, Z.Y., Lu, W.W., Effect of strontium-containing hydroxyapatite bone cement on bone remodeling following hip replacement. *Journal of materials science Materials in medicine*, 2010, 21 (1), 377-84.
- [38] Guo, D., Xu, K., Zhao, X., Han, Y., Development of a strontium-containing hydroxyapatite bone cement. *Biomaterials*, 2005, 26 (19), 4073-83.
- [39] Vazirzadeh, M., Hashemi-Najafabadi, S., Soleimani, M., Yaghoobi , M., Investigation of the Dynamic Culture Medium on Proliferation and Differentiation of Mesenchymal Stem Cells after Culturing on Electrospun PCL and PCL-nHA Nanofibers *Modares Journal of Medical Sciences: Pathobiology*, 2014, 3 73.
- [40] Yaghoobi, M., Hashemi-Najafabadi, S., Soleimani, M., Vasheghani-Farahani, E., Mousavi, S.M., Osteogenic Differentiation and Mineralization on Compact Multilayer nHA-PCL Electrospun Scaffolds in a Perfusion Bioreactor *Iran Journal of Biotechnology*, 2016, 14 (2), 41-9.
- [41] Wong, C.T., Lu, W.W., Chan, D., Cheung, K.M.C., Luk, K.D.K. Stimulation of in vitro mineralization on strontium-containing hydroxyapatite bioactive bone cement. 51st Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society.
- [42] Chandran, S., Shenoy, S.J., Babu, S.S., R, P.N., H, K.V., John, A., Strontium Hydroxyapatite scaffolds engineered with stem cells aid osteointegration and osteogenesis in osteoporotic sheep model. *Colloids and surfaces B, Biointerfaces*, 2018, 163 346-54.
- [43] Xu, Z.-L., Lei, Y., Yin, W.-J., Chen, Y.-X., Ke, Q.-F., Guo, Y.-P., et al., Enhanced antibacterial activity and osteoinductivity of Ag-loaded strontium hydroxyapatite/chitosan porous scaffolds for bone tissue engineering. *Journal of Materials Chemistry B*, 2016, 4 (48), 7919-28.
- [44] Kourkoumelis, N., Osteoporosis and strontium-substituted hydroxyapatites. *Annals of translational medicine*, 2016, 4 (Suppl 1), S10.
- [45] Surdacka, A., Stachecki, B., Kaczmarek, E., In situ analysis of usefulness of strontium-fl uoride toothpaste for enamel remineralization. *DENTAL FORUM* 2015, 17-22.
- [46] Yassen, G., Lippert, F., Eckert, G., Eder, J., Zandoná, A. The effect of strontium and combinations of strontium and fluoride on the remineralization of artificial caries lesions in vitro 2012.



مهندس آرمان کیانی‌فر،  
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه  
آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

# اثر نسبت $\text{CeO}_2$ بر رفتار خوردگی پوشش نانو ساختار $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$

\* آرمان کیانی‌فر<sup>۱</sup>، دکتر علی محمد رسیدی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه مواد، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

<sup>۲</sup> گروه مواد، واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

**چکیده:** هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر میزان غلظت سریم بر رفتار خوردگی نانو پوشش  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  بر روی زیرلایه فولاد زنگ نزن 316L بود. نانو لایه‌های  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  با نرخ‌های مولی متفاوت  $\text{Ce}/\text{Ti}$  و به روش پوشش‌دهی غوطه‌وری آماده شدند. آزمون‌های الکتروشیمیایی از پوشش‌های آماده شده در محلول رینگر انجام شد. مشخص شد که غلظت بسیار بالا و غلظت بسیار پایین سریم باعث کاهش ممانعت کنندگی خوردگی در ماتریس سل-ژل می‌شود. همچنین نتایج آزمون پلاریزاسیون تایید کرد که مقاومت به خوردگی پوشش‌ها در آغاز افزایش یافت و سپس با افزایش غلظت سریم کاهش یافت. از سوی دیگر، تسایج آزمون اشعه-X نشان داد که با افزایش غلظت سریم نیترات در محلول سل، نانو پوشش‌ها و نانو ذرات به صورت مغز-پوسته  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  به دست آمدند که  $\text{CeO}_2$  به صورت پوسته و  $\text{TiO}_2$  به صورت مغزه بود.

**کلمات کلیدی:** پوشش‌های  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ ، پوشش‌دهی غوطه‌وری، مغز-پوسته، مقاومت به خوردگی، محلول رینگر.

## ۱- مقدمه

همان‌گونه که می‌دانیم در فرآیند سل-ژل پوشش‌های کریستالی یا آمورف را می‌توان در دماهای پایین به وسیله یک آلکوکسید فلزی تهیه کرد. خواص نوری و دیگر خواص فیلم‌های نازک را می‌توان به آسانی به وسیله تغییر حالت‌های شیمیایی و فیزیکی در طی فرآیند سل-ژل کنترل کرد [1]. فلزاتی مانند آهن، آلومینیوم، مس و آلیاژ‌های منیزیم موادی هستند که به علت خواص فیزیکی‌شان معمولاً در صنایع معدنی، نفتی، ساختمانی، خودروسازی و هوافضا به کار برده می‌شوند، اما آنها بیشترین مقاومت به خوردگی را در محیط‌های مهاجم و خوردنده از خودشان نشان می‌دهند. پوشش‌های کروماته به طور گسترده‌ای در صنایع جهت افزایش مقاومت به خوردگی فلزات و آلیاژها استفاده می‌شود، اما یون شش ظرفیتی کروم ( $\text{Cr}^{+6}$ ) موجود در این فرآیند به علت سلطان‌زا بودن و آسیب‌های زیست‌محیطی به شدت سمی هستند. پوشش‌های سرامیکی سنتز شده از روش سل-ژل کاملاً پاکیزه و دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشند و به عنوان یک پوشش محافظ برای فلزات و آلیاژها در محیط‌های مهاجم در نظر گرفته شده‌اند [2]. سریا (اکسید سریم،  $\text{CeO}_2$ ) دارای کاربردهای بسیار مهمی می‌باشد، که این اساساً به خاطر خاصیت بی‌همتایش در اکسایش ( $\text{Ce}^{3+} \leftrightarrow \text{Ce}^{4+}$ ) می‌باشد [3]. حرکت کاتیونی و آئیون در سریا ممکن است بسته به غلظت و شعاع یونی در یون‌های دوپانت شده متفاوت باشد [4]. دی‌اکسید تیتانیوم در طبیعت به سه گونه‌ی کریستالی متفاوت وجود دارد: آناتاز، روتایل و بروکیت [5,6]. دی‌اکسید تیتانیوم به علت غیرسمی بودن، پایداری شیمیایی و هزینه پایین به صورت گسترده‌ای برای کاتالیست‌ها، سطوح خود تمیزشونده، انرژی برای پیل‌های سوخت، مواد الکتروودی برای باتری‌های لیتیومی، پوشش‌های آنتی‌رفلکس، پوشش‌های مقاوم به خوردگی، سنسورهای گازی، شیشه‌های فتوکرومیک و دیگر کاربردها به کار گرفته می‌شود [7,8]. در سال‌های اخیر، خواص حافظتی اکسیدهای خاص همچون  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به صورت ترکیب شده یا جداگانه، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سنجش‌های الکتروشیمیایی مبنی بر ارزیابی خواص محافظتی این فیلم‌ها انجام شده است. در مطالعات انجام شده اثر کاربردی پوشش‌های اکسیدی بر روی زیرلایه فولاد

زنگ نزن L316، آلیاژهای آلومینیوم و کامپوزیت‌های فلزی بررسی شد [9]. سریم نیترات به عنوان یک ممانع کنندهٔ خوردگی در محیط‌های مهاجم مایع استفاده می‌شود. به طور کلی پذیرفته شده است که یون‌های سریم منجر به رسوب اکسیدهای سریم یا هیدروکسیدها می‌شود که باعث متوقف شدن واکنش‌های خوردگی در عیوب می‌شود و فیلم‌های به دست آمده از فرآیند سل-ژل می‌تواند مقاومت به خوردگی خوبی از خود نشان دهد [10]. سنتر فیلم‌های سریما/تیتانیا به روش سل-ژل عموماً به وسیله نمک سریم و آکلوکسید تیتانیوم اینجا می‌گیرد، مانند تیتانیوم ایزوپروپوکساید که به عنوان آغازگر استفاده می‌شود [11,12]. به خاطر هیدرولیز شدید آکلوکسید تیتانیوم، سنتر نیازمند کنترل بالایی جهت به دست آوردن یک ژل همگن می‌باشد تا از رسوب و آکلورمه شدن جلوگیری به عمل آید. اصلاح شیمیایی آغازگر آکلوکسید تیتانیوم با یک لیگاند چنددانه عموماً در رسیدن به این هدف موثر است. یکی از متداول‌ترین مواد استیل استون (acac) است که از هیدرولیز Ti از طریق تشکیل پیوندهای Ti-acac کمتر از ۱۳٪ پذیر می‌شود [13]، اصولاً اسید استیک در سنتر به کار گرفته می‌شود [11,12]. اضافه کردن نمک‌های سریم به محلول سل‌واکنش پذیر می‌شود [14]، اما زیان‌هایی به دنبال دارد، چون استیل استون پس از عملیات حرارتی مواد پوشش را ترک می‌کند و فازهای کربناته از خود به جای می‌گذارد که این می‌تواند عملکرد و شفافیت پودرها را تحت تاثیر قرار دهد. سریما/تیتانیا می‌تواند به صورت سیستم Ce-Ti-O از طریق فرآیند سل-ژل به دست آید [14]. همچنین، حضور کاتیون‌های نوع  $\text{TiO}^{+4}$  یا  $\text{CeO}^{+4}$  در شبکه دیگر اکسیدها ( $\text{TiO}_2$  یا  $\text{CeO}_2$ ) هنوز یک پرسش است. دو اکسید اساساً به خاطر ساختار بلوری متفاوت و اندازه کاتیونی متفاوت نسبت به هم تقارن ندارند ( $\text{CeO}_2$  ۰/۹۲-۰/۹۷،  $\text{Ce}^{+3}$  ۱/۱۴،  $\text{Ce}^{+4}$  ۰/۶۱-۰/۶۸،  $\text{Ti}^{+4}$  ۰/۶۱) بر حسب آنگستروم. از این‌رو، برخی از پژوهشگران ادعا می‌کنند که قرار دادن سریم در شبکه  $\text{TiO}_2$  به علت اندازه‌های متفاوت بعید است، در عوض جایگزینی غلظت‌های کم  $\text{Ti}^{+4}$  در  $\text{CeO}_2$  امکان‌پذیر است [15]. اما برخلاف این، برخی از نویسندها ادعا می‌کنند که یون‌های سریم می‌توانند به شبکه‌ی تیتانیا وارد شوند [16]. بررسی‌های اندکی در مورد اثر غلظت سریم بر خواص پوشش‌ها و در نهایت دستیابی به نانومواد مغز-پوسته گزارش شده است. در این مقاله به بررسی رفتار خوردگی نانو فیلم نازک که به روش سل-ژل سنتز شده است و همچنین اثر غلظت سریم نیترات در این نانو فیلم‌ها پرداخته می‌شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

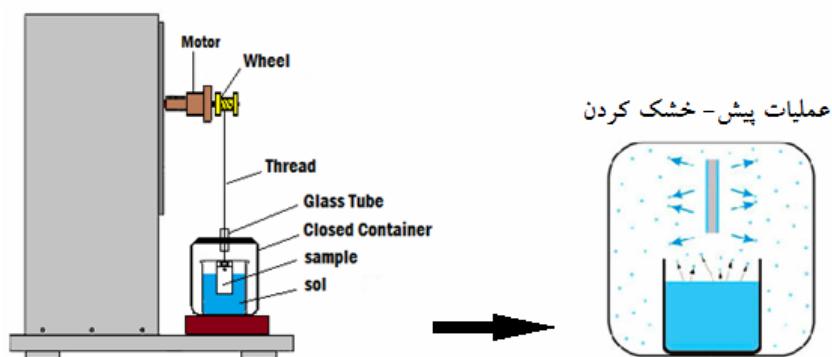
در این پژوهش به منظور تهیه سل ابتدا با استفاده از مواد آغازگری همچون اسید استیک گلاسیال (با خلول ۱۰۰ درصد، محصول پتروشیمی فن‌آوران ماهشهر، ایران)، سریم نیترات هگزاہیدرات (سیگما آلدربیج با خلوص ۱۰۰ درصد)، تیتانیوم تترا ایزوپروپوکساید (TTIP) مرک با خلوص بیش از ۹۸ درصد)، الكل ۲-پروپانول (مرک با خلوص بیش از ۹۹ درصد) و آب بدون یون تهیه شد. نسبت مولی مواد آغازگر سل که شامل اسید استیک، سریم نیترات، TTIP، ۲-پروپانول و آب بدون یون بود، به ترتیب ۷، ۱، ۱، ۱ و ۱۴۰ می‌باشد. پنج نمونه متفاوت با نسبت‌های دقیق استوکیومتری آماده شد، اما به جز میزان سریم نیترات، همه‌ی مولفه‌ها در همه‌ی نمونه‌ها میزانی یکسان داشتند و تنها میزان سریم نیترات بالا می‌رفت. نمونه‌ها به صورت A1، A2، A3، A4 و A5 نام‌گذاری شدند.

برای نمونه A1 در ابتدا در یک ظرف جداگانه یک گرم نمک سریم نیترات در آب بدون یون با نسب مولی ۱:۱۴۰ حل شد. در ظرفی دیگر سل تیتانیا با نرخ‌های مولی نهایی از اسید استیک: TTIP : ۲-پروپانول به ترتیب: ۷:۱:۱ تهیه شد. به این صورت که ابتدا اسید استیک و TTIP با هم مخلوط و اندکی همزده شدند. سپس در یک ظرف حاوی آب+بیخ+نمک (دما ۱۰°C) به مدت ۳۰ دقیقه نگه داشته شد. پس از گذشت مدت زمان لازم و در همان شرایط دمایی الكل ۲-پروپانول به ظرف اضافه شد، تا هیدرولیز جزیی شود و نیز مانع از واکنش شدید TTIP و آب شود که در مرحله پایانی به مخلوط اضافه می‌شود. در مرحله پایانی هر دو سل با هم مخلوط شده و به مدت ۲۰ دقیقه همزده شدند. در نهایت یک سل شفاف و بی‌رنگ به دست آمد. زمان تهیه سل تقریباً ۵۰ دقیقه بود و میزان pH برای همه نمونه‌ها برابر ۲/۷۵ بود. با افزودن آب به مخلوط هیدرولیز در سرتاسر مخلوط صورت می‌پذیرد که این نوع واکنش شروع واکنش سل-ژل است. این نمونه از سل تا سه ماه پایدار بود اما دیگر نمونه‌ها با افزایش غلظت سریم نیترات در آنها پایداری خودشان را پس از گذشت یک هفته از دست می‌دادند. واکنش هیدرولیز با افزایش

آب و جانشین شدن گروههای آلکوکسی (OR) با گروههای OH انجام می‌گیرد. سپس واکنش تراکمی پی در پی میان گروههای Ti-OR و Ti-O-Ti به همراه محصولات جانبی الکل و آب تولید می‌شوند.

### ۳- روش آماده‌سازی نانو فیلم‌ها

در این پژوهش از پیش‌ماده آلکوکسید تیتانیوم استفاده شد، چون این پیش‌ماده‌ها شامل گروههای هیدروکربنی زنجیره بلند آبگریز هستند و تشکیل ژلهای بدون تخلخل را توسعه می‌دهند و فیلم‌های نهایی به خواص خوبی دست خواهند یافت [16]. از پنج تکه فولاد زنگ نزن با ابعاد  $3 \times 2 \times 3$  سانتی‌متر به عنوان زیرلايه برای پوشش دهی استفاده شد. از آنجا که فولاد زنگ نزن L316 سطح آن توسط سرامیک کروم  $\text{CeO}_3$  پوشیده شده است و دارای اختلاف ضریب انبساط حرارتی کم با اکسید تیتانیوم است، در نتیجه به دست آوردن پوشش نهایی با همگنی و یکنواختی بالا بر روی این فولاد نسبت به فلزات دیگر مثل فولاد ساده کربنی راحت‌تر است و تحت ضخامت‌های کمتر می‌توان به این همگنی در ابعاد نانومتری، دست یافت [17]. زیرلايه‌ها پس از پولیش و پرداخت نهایی در استون چربی‌گیری و در پایان با آب و صابون شسته شدند. پس از تهیه سل‌ها برای این‌که واکنش در آمها کامل شود به مدت یک ۲۴ ساعت پیر شدند سپس بر روی سطح فولاد L316 پرداخت شده سه مرتبه رسوب داده شدند. پوشش دهی به روش غوطه‌وری بود که در یک ظرف در بسته انجام گرفت (شکل ۱). زمان مناسب برای غوطه‌وری به اندازه‌ای می‌باشد که تعادل حرارتی برقرار بشود و همچنین اغتشاش ایجاد شده در هنگام فرآیند غوطه‌وری آرام و فرو بنشیند. سپس نمونه با سرعت ثابت از محلول بیرون آورده می‌شود و در فاصله مناسبی از بالای محلول نگه داشته می‌شوند تا خشک بشوند.



شکل ۱- عملیات پوشش دهی و پیش-خشک کردن در یک ظرف در بسته.

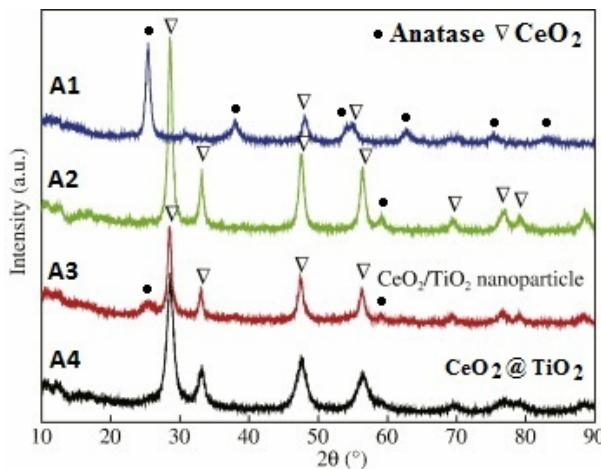
با توجه به شکل ۱ مرحله پیش-خشک کردن در دمای اتاق در فشار بخار اشباع شده از محلول آغازگر و تحت فشار بخار تعادلی از محلول آغازگر انجام می‌شود، که منجر به تبخیر بسیار آهسته حلال پس از رسوب فیلم می‌شود. فرآیند تبخیر از محلول درون ظرف بسته تا زمانی ادامه پیدا خواهد کرد تا مولکول‌هایی که از محلول اولیه فرار کرده‌اند به آن محلول بازگردند. این شرایط به طور قابل توجهی سرعت تبخیر حلال را کاهش می‌دهد و بر این اساس کاهش تنش ناشی از حفره‌های انقباضی را به دنبال خواهد خواهد داشت [18]. پس از پایان این مرحله نمونه‌ها در آون برقی به مدت ۲ ساعت و در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  پخته شدند. سپس به منظور پخت نهایی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  آبیل شدند.

### ۴- آنالیز XRD از نانوکامپوزیت $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$

چهت شناسایی ترکیب فازی محصول حاصل شده، از دستگاه دیفراکتومتر اشعه ایکس مدل (Philips PW1730) با پرتو  $\text{CuK}\alpha$  و طول موج  $1/540.5$  آنگستروم، زاویه  $(2\theta=90^{\circ}-10^{\circ})/0^{\circ}$  و با نرخ روبش  $0/05\text{min}^{-1}$  استفاده شد.

با توجه به نمودار اشعه ایکس کاملاً پیدا است که در نمونه‌های A1، A2 و A3 ترکیبی از اکسیدها سریم و تیتانیوم در کنار یکدیگر کمابیش وجود دارند، اما در نمونه اولی بعulet این که غلظت  $\text{Ce}/\text{Ti}$  به صورت ۱:۱ است پیک‌های آنها در نمودار برابر است. اما با افزایش غلظت  $\text{CeO}_2$  در نمودارهای بعدی پیک مربوط به تیتانیا محو شده و کمتر به چشم می‌خورد، بهطوری که در نمودار A4

تنها پیک‌های  $\text{CeO}_2$  دیده می‌شوند که این نشان دهنده تشکیل نانو ذارت مغز-پوسته  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  می‌باشد. به خاطر اختلاف زیاد در ساختار بلوری  $\text{CeO}_2$  و  $\text{TiO}_2$ ، اکسید سریم به سختی در شبکه اکسید تیتانیوم قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به الگوی پراش اشعه ایکس دیده می‌شود که واقعًا  $\text{Ce}$  جانشین اتم  $\text{Ti}$  در شبکه  $\text{TiO}_2$  نمی‌شود. اما فیلم کامپوزیت شده ترکیبی از فازهای اصلی  $\text{CeO}_2$  و  $\text{TiO}_2$  و فازهای  $\text{CeO}_{1.6}2\text{TiO}_2$  می‌باشد که این فاز از طریق واحدهای ساختاری  $\text{Ti}-\text{O}-\text{Ce}$  در فصل مشترک  $\text{CeO}_2$  و  $\text{TiO}_2$  ترکیب می‌شوند و به صورت یک پل ارتباطی میان شبکه‌های آنها به کار گرفته می‌شود [19]. در نمونه‌های با غلظت بالاتر سریم حضور  $\text{Ce}^{4+}$  غالبه است و با افزایش دما میزان  $\text{Ce}^{4+}$  زیاد می‌شود. همچنین شدت پیک با افزایش غلظت سریم افزایش می‌یابد و اندازه دانه‌ها درشت‌تر می‌شود. تمایل به انباستگی با افزایش میزان سریم در کامپوزیت کاهش می‌یابد و تمایل به کریستال شدن در همان زمان افزایش پیدا می‌کند. در سیستم دوتایی  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ , در سطح پایین سریم، حالت ظرفیتی ترجیحی سریم به صورت  $\text{Ce}^{3+}$  می‌باشد [20]. وقتی که  $\text{TiO}_2$  و  $\text{CeO}_2$  تنها به صورت فیزیکی با هم مخلوط می‌شوند کریستالیزاسیون زودتر آغاز می‌شود. در نرخ‌های برابر  $\text{TiO}_2\text{-CeO}_2$  مشاهده شده که مقداری از آغازگر سریم نیترات زمانی که آکلوکسید تیتانیوم به صورت کامل استحاله پیدا می‌کند هنوز بدون واکنش باقی می‌ماند و به طور جداگانه به  $\text{CeO}_2$  واکنش می‌دهد [21].



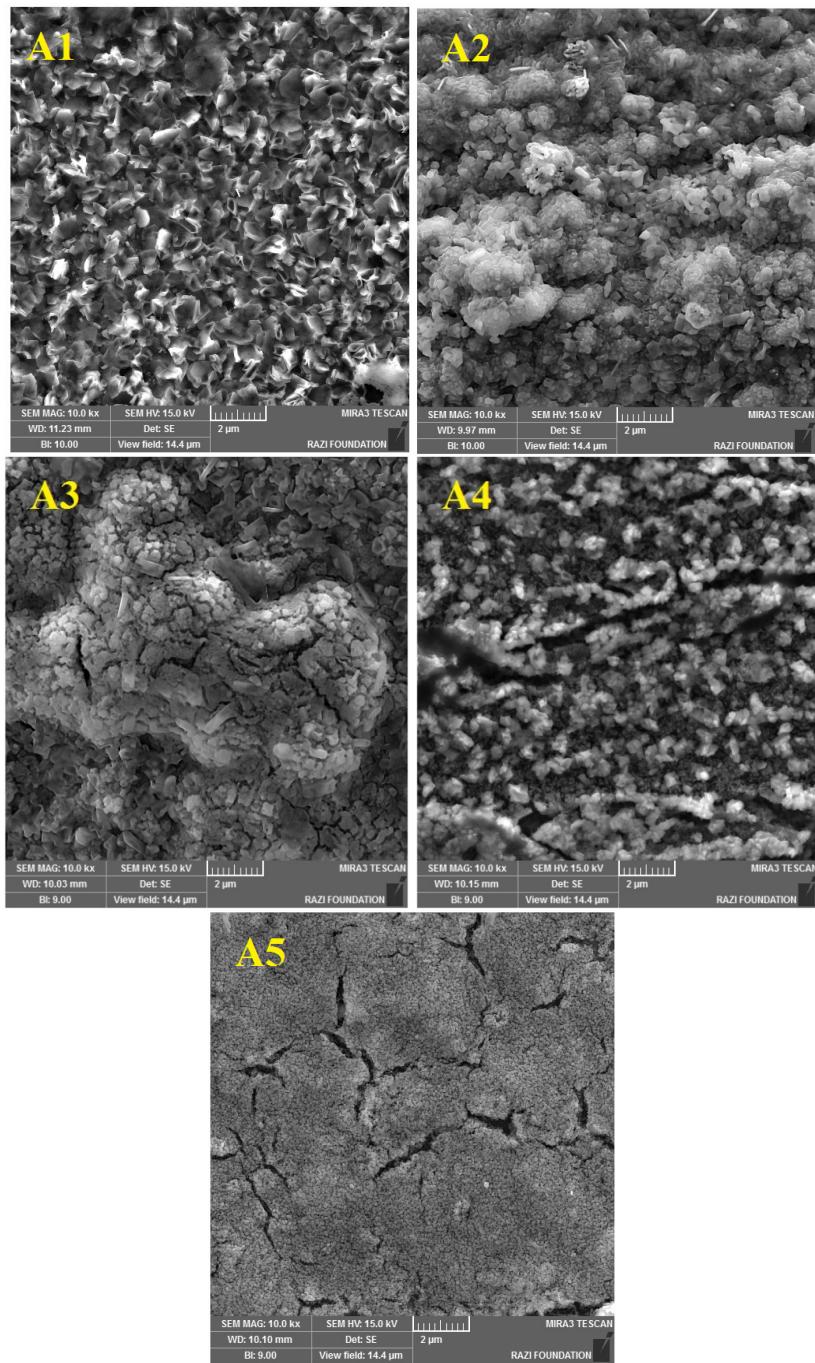
شکل ۲- نمودار XRD از چهار نمونه کلسینه شده در دمای  $700^\circ\text{C}$  به مدت یک ساعت.

## ۵- آنالیز SEM

شکل ۳ مورفولوژی و ریزساختارهای به دست آمده از نانو پوشش  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  توسط میکروسکوپ SEM مدل MIRA3 TESCAN نشان می‌دهد. اما همان‌گونه که از تصاویر SEM مشخص است با استفاده از روش کنترل شده در راشک کردن دست‌کم از به وجود آمدن عیب ترک خوردگی در چند پوشش اولی جلوگیری به عمل آمده است و پوشش نهایی فاقد ترک می‌باشد. می‌توان گفت با افزایش غلظت سریم، محلول به صورت فوق‌اشباع در آمده و تعداد مراکز جوانه‌زنی برای افزایش می‌یابد و با توجه به نمودار اشعه ایکس نانو ذارت مغز-پوسته  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$  به وجود می‌آیند که  $\text{CeO}_2$  به شکل پوسته تشکیل می‌شود. از این‌رو،  $\text{CeO}_2$  دارای اختلاف ضریب انبساط حرارتی خیلی زیاد با زیرلايه که از جنس فولاد زنگ نزن است که به نوعی خود پوشش را مستعد به ترک می‌کند. از سوی دیگر دیده می‌شود که یک سری جزایر یا آگلومرهایی در سطح پوشش وجود دارد که این می‌تواند به خاطر نقص روش پوشش‌دهی غوطه‌وری باشد که دوری از آن اجتناب ناپذیر است. آگلومره شدن مکانیزمی است که از طریق آن ذرات جامد با تشکیل یک باند فیزیکی که پل‌های کریستالی نامیده می‌شوند با هم برخورد کرده و به هم می‌چسبند. این مکانیزم اصولاً در سه مرحله رخ می‌دهد [22]:

- نزدیک شدن ذرات به هم ناشی از حرکت براوانی یا واکنش هیدرودینامیک.
- برخورد ذرات به هم به خاطر نیروی الکترواستاتیک.
- ایجاد پل کریستالی ناشی از رشد بلور.

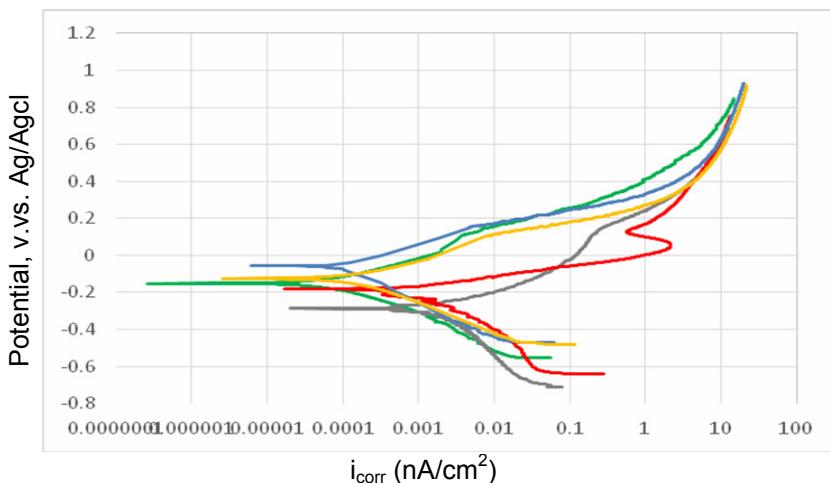
مراحل هسته‌زایی، رشد از گام‌های اصلی سنتزهای رسوبی هستند. فوق‌اشباعیت عامل اصلی در این فرآیندها است. همچنین فرآیندهای ثانویه‌ای بازپخت و کلسینه کردن می‌توانند منجر به کلخه‌ای شدن (تجمع) و رشد ناخواسته اندازه ذرات شوند. همچنین، کاهش خصامت پوسته‌ی  $\text{CeO}_2$  موجب افزایش پدیده‌ی انحلال هسته و همچنین افزایش آگلومراسیون ذرات گردد [23]. قابلیت جوانه‌زنی به شدت به زاویه تماس بستگی دارد و برای سهولت جوانه‌زنی، به زاویه تماس کوچکی نیاز است که این امر توسط برجستگی‌هایی که بر روی سطح زیرلایه در حین پرداخت و آماده‌سازی ایجاد شده‌اند تأمین می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که وقتی پارامترهای شیمیایی کریستال (نوع و نیروی بیوند) و سطح جسم خارجی مشابه باشند عدم تطابق شبکه این دو جسم از ماهیت زیادی برخوردار می‌گردد [24]. کنترل دقیق متغیرهای سنتز و همچنین استفاده از عوامل پایدارکننده می‌تواند کیفیت محصول نهایی را بالا ببرد. در تصاویر میکروسکوپی (به جز دو نمونه آخری) دانه‌های مکعبی  $\text{CeO}_2$  و دانه‌های کشیده آناتاز در  $\text{TiO}_2$  قابل مشاهده است.



شکل ۳ - تصاویر SEM از سطح نانو فیلم‌ها پس از عملیات حرارتی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$

## ۶- آزمون خوردگی

برای انجام تست‌ها،  $1\text{cm}^2$  سطح نمونه‌ها به عنوان سطح در معرض محلول در نظر گرفته شد و بقیه سطوح با لک پوشیده شدند. سپس هر یک از نمونه‌ها به صورت جداگانه در یک سل سه الکترودی داخل الکتروولیت قرار گرفت. نمونه به عنوان الکترود کاری بوده و از یک الکترود Ag/AgCl اشباع به عنوان الکترود مرجع و یک الکترود پلاتین خنثی هم به عنوان الکترود کمکی استفاده شده. از محلول رینگر به عنوان الکتروولیت استفاده شده است. هر نمونه ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه در محلول غوطه‌ور بود و سپس به مدت ۲ دقیقه پتانسیل مدار باز (OCP) آن اندازه‌گیری شد. سپس تست پلاریزاسیون روی آن‌ها انجام شد. همه تست‌ها توسط دستگاه Bio-Logic SAS SP-300 انجام شدند. تست پلاریزاسیون از پتانسیل  $-400\text{mV}$  تا  $1000\text{mV}$  نسبت به OCP و با نرخ  $1\text{mV/s}$  انجام گرفت و برای تحلیل نتایج آن از نرم‌افزار Ec-Lab V10.39 استفاده شد.



شکل ۴- نمودار پلاریزاسیون مربوط به نانو پوشش‌های سنتز شده.

با توجه به دیاگرام‌های خوردگی حاصل از آزمون‌های پلاریزاسیون، نتایج متعددی به دست آمد. به طوری که نمونه‌های فولادی پوشش داده شده دارای پتانسیل مثبت‌تر بودند و این حاکی از کاهش جریان اتحلال آندیک می‌باشد. در حقیقت نمونه‌های فولادی پوشش داده شده به سمت ناحیه پسیو تغییر جهت می‌دهند.

پوشش‌های تهیه شده با نمک سریم عملکرد پوشش را افزایش داد، که احتمالاً به خاطر شکل گیری  $\text{Ce(OH)}_3$  بر روی سطح از یک مکانیزم الکتروشیمیایی همچون واکنش اکسایش-کاهش میان یون‌های کروم و سریم است [23]. به طور کلی نانو پوشش‌ها به صورت یک لایه خازنی، شدت واکنش‌های الکتروشیمیایی و بالتع شدت جریان خوردگی فولاد زنگ نزن را کاهش می‌دهند. به وجود آمدن حالت دی‌الکتریک در فصل مشترک باعث عدم تماس مستقیم فلز پایه با محیط شیبیه‌سازی شده و در نتیجه باعث عدم نفوذ یون‌ها از درون فیلم روئین و رسیدن به سطح فلز پایه می‌گردد. به وجود آمدن حالت دی‌الکتریک در فصل مشترک فیلم-الکتروولیت باعث کاهش میزان جذب اکسیژن به سطح فیلم و همچنین باعث کاهش تمایل واکنش میان فلز پایه با اکسیژن می‌شود. به نظر می‌رسد خیلی پایین بودن و خیلی بالا بودن غلظت سریم منجر به عدم ممانعت کنندگی خوردگی در ماتریس سل-ژل می‌شود و به دنبال آن یک تاثیر ممانت کنندگی ضعیف در پی خواهد داشت. به علاوه، افزایش میزان سریم نیترات باعث ایجاد تخلخل و ترک بیشتر در پوشش‌ها می‌شود و این معایب خواص ممانعت کنندگی در پوشش را کاهش می‌دهند و در نتیجه حفاظت مورد نظر در مواد را کاهش می‌باید.

از سوی دیگر همیشه خواص حفاظت خوردگی متناسب با اضافه کردن میزان سریم نیست. می‌توان به این صورت استنباط کرد که یک غلظت مطلوب برای اثرات سودمند یون‌های سریم بر روی مقاومت به خوردگی وجود دارد. در حالی که در غلظت‌های بالاتر یون‌های سریم در پوشش سل-ژل منجر به تشکیل یک فیلم شکننده با خواص ممانعت کنندگی ضعیف است [25]، که این کاملاً با مقادیر  $i_{corr}$  در جدول (۱) مطابقت دارد و همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود با افزایش بیشتر غلظت سریم شدت جریان و پتانسیل خوردگی کاهش می‌باید و این حالت تا جایی ادامه می‌باید که نسبت بهینه‌ای از سریم اعمال شود. به نظر

می‌رسد افزایش میزان ترک‌ها و نقص در لایه سل‌ژل مسئول این اثرات منفی در پوشش‌ها می‌باشد. همچنین، مقدار چگالی جریان خوردگی نمونه‌های دارای پوشش با افزایش غلظت سریا نسبت به نمونه شاهد روند کاهشی را دنبال می‌کند و از سوی دیگر این روند برای مقادیر پتانسیل خودگی معکوس بوده و افزایش یافته است. این امر نشان دهنده کاهش انجام آندی سطح و افزایش مقاومت به خوردگی سیستم است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تست پلاریزاسیون.

$R_p$	Mpy	$\beta_a(mv)$	$\beta_c(mv)$	$E_{corr}$ (mv vs)	$I_{corr}$ (nA/cm <sup>2</sup> )	نمونه‌ها
20/2	0.7809	105/1	316	-278/26	1/695	A1
29/4	0.2925	57/6	170/2	-184/16	0/635	A2
407/6	0.0294	112/3	129/2	-151/15	0/0.64	A3
51/9	0.0244	6/6	161/9	-56/15	0/0.53	A4
191/4	0.0668	109/8	153/1	-125/69	0/145	A5
76/8	0.375	102/5	244	-184/01	0/408	Ass

## ۷- نتیجه‌گیری

- با افزایش میزان سریم نیترات در محلول سل پایداری سل‌ها به شدت پایین آمد و در کیفیت فیلم‌های نهایی اثرگذار بود و باعث ایجاد ترک و تخلخل بیشتر در فیلم‌ها شد.
- عملیات پیش-خشک‌کردن برای نمونه‌ها بسیار تاثیرگذار بود و باعث شد میزان ترک در پوشش‌ها به حداقل برسد و در پوشش‌هایی که میزان سریم آنها کمتر بود این عیب کاملاً حذف شد و هیچ ترکی مشاهده نگردید.
- با توجه به ضریب انبساط حرارتی بالای سریم که در طی عملیات حرارتی آشکار شد، مشخص شد که چرا باید یک غلظت بحرانی برای سریم وجود داشته باشد که این عامل احتمال ترک خوردن را برجسته‌تر می‌کند. از سویی، در پوشش‌های نانو ساختار به علت فشار ایجاد شده ناشی از برونو رفت بخار ترکیبات معدنی در طی عملیات حرارتی باعث تولید تنش در پوشش می‌شود و افزایش تنش بیش از حد بحرانی باعث تولید ترک‌ها و عیوب در پوشش نهایی می‌شود. بنابراین حضور ترک و عیوب در پوشش نرخ خوردگی را افزایش می‌دهد.
- مشاهده شد که خیلی پایین بودن و خیلی بالا بودن غلظت سریم منجر به عدم ممانعت کنندگی خوردگی در پوشش‌ها می‌شود و به دنبال آن یک تاثیر ممانعت کنندگی ضعیف در پی خواهد داشت. از این‌رو، یک غلظت مطلوب برای اثرات سودمند یون‌های سریم بر روی مقاومت به خوردگی به دست آمد که در نمونه A3 مشاهده شد.

## مراجع

- [1] H. Sakamoto, J. Qiu, A. Makishima, Science and Technology of Advanced Materials 4 (2003) 69–76.
- [2] J.B.R. Carvalho, R.S. Silva, I. Cesarino, S.A.S. Machado, K.I.B. Eguiluz, E.B. Cavalcanti, G.R.S. Banda, Ceramics International (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.05.064>.
- [3] B.H. Lee, T. Nakayama, Y. Tokoi, T. Suzuki, K. Niihara, Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) 1231–1235.
- [4] Ken'ichi Matsushita, Internal friction in ceria ceramics doped with alkali earth metal oxides, Journal of Alloys and Compounds, 211/212 (1994) 374–377.
- [5] Angela Wong, Walid A.Daoud, Hanhua Liang, Yau Shan Szeto, Materials Letters 117 (2014) 82–85.
- [6] F. SAYILKAN, M. ASILTURK, H.SAYILKAN, Y.ONAL, M. AKARSU, E. ARPAC, Turk J Chem 29 (2005), 697–706.
- [7] M.R. Mohammadi, D.J. Fray, " Nanostructured TiO<sub>2</sub>–CeO<sub>2</sub> mixed oxides by an aqueous sol–gel process: Effect of Ce:Ti molar ratio on physical and sensing properties", Sensors and Actuators B 150 (2010) 631–640.
- [8] H. Hassannejad, T. Shahrabi, F. Malekmohammadi, A. Shanaghi, M. Aliofkhazraei, A. Oskuie, Current Applied Physics 10 (2010) 1022–1028.

- [9] S. Li, Q. Wang, T. Chen, Z. Zhou, Y. Wang, J. Fu, "Study on cerium-doped nano-TiO<sub>2</sub> coatings for corrosion protection of 316L stainless steel", 10.1186/1556-276X-7-227, (2012).
- [10] Makishima, M. Asami, K. Wada, J. Non-Cryst. Solids 100 (1988) 321.
- [11] D. Keomany, J.P. Petit, D. Deroo, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 36 (1995) 397.
- [12] J. Livage, M. Henry, C. Sanchez, Prog. Solid State Chem. 18 (1988) 259.
- [13] C. Gionco, M.C. Paganini, S. Agnoli, A. Enrico Reeder, E. "Structural and spectroscopic characterization of CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> mixed oxides", Giannello, Journal of Materials Chemistry A. DOI: 10.1039/C3TA12018J, (2013).
- [14] C. Karunakaran, P. Gomathisankar, "Solvothermal Synthesis of CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite for Visible Light Photocatalytic Detoxification of Cyanide", pubs.acs.org/journal/ascecg., dx.doi.org/10.1021/sc400195n | ACS Sustainable Chem, (2013).
- [۱۵] شانقی، ع، صبور روح قدم، ع.ر، شهرابی، ت، خضرابی، م.ع، "بررسی خواص خودگی پوشش نانوذرات اکسید تیتانیوم اعمال شده بوسیله فرایند سل-ژل بر روی فولاد"، منتشر شده در کنفرانس پتروشیمی ایران ۱۳۷۸.
- [۱۶] کیانی فر، آ، رشیدی، ع.م، "اثر استفاده از دمای سرد در فرایند سل-ژل بر سنتر نانو کامپوزیت CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>", فصلنامه سرامیک ایران، شماره ۵۱، پاییز ۱۳۹۶.
- [17] A. Trinch, Y.X. Li ,W. Włodarski, S. Kaciulis, L. Pandolfi, S. Viticoli, E. Comini, G. Sberveglieri, "Investigation of sol-gel prepared CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> thin films for oxygen gas sensing", Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 95, Issues 1–3, 15, pp. 145–150, (2003).
- [18] R. Ashiri, "A new sol-gel processing routine without chelating agents for preparing highly transparent solutions and nanothin films: engineering the role of chemistry to design the process", Philosophical Magazine, Vol. 95, No. 1, 1–11, http://dx.doi.org/10.1080/14786435.2014.984005, (2014).
- [19] V. Michael, W. Alexandra, T. Valentin, A. Cristian, W. Matthias, 10-Jun-2009. Journal: Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie. DOI: 10.1002/zaac.200900186, (2009).
- [20] M. Schnebelen, K. Mozet, A. Jakob, D. Sy, E. Plasari, Hervé Muhr, "Crystal Structure Theory and Applications", 4, 35-46. http://dx.doi.org/10.4236/csta.2015.43005, (2015).
- [۲۱] عشیری، ر، نعمتی، ع. "سنتر نانو کریستال‌های بسیار خالص تینات باریم با استفاده از روشی اصلاح شده". فصلنامه فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال ششم، شماره اول، بهار ۱۳۹۱.
- [۲۲] قاسمی پیرانلو، ف، باورسی‌ها، ف، داداشیان، س، "ساخت میکروساختار هسته/پوسته/پوسته Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> و بررسی خواص ساختاری آن"، فرایندهای نوین در مهندسی مواد سال ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶.
- [23] Duhua Wang, Gordon. P. Bierwagen, "Sol-gel coatings on metals for corrosion protection", Progress in Organic Coatings 64 (2009) 327-338.
- [۲۴] دیویس، جی، "انجماد و ریخته‌گری"، ترجمه رامین رئیس‌زاده، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، ۱۳۷۸.
- [25] Suning Li, Qian Wang, Tao Chen, Zhihua Zhou, Ying Wang, Jiajun Fu, "Study on cerium-doped nano-TiO<sub>2</sub> coatings for corrosion protection of 316 L stainless steel", Nanoscale Research Letters, 7:227 doi:10.1186/1556-276X-7-227, (2012).

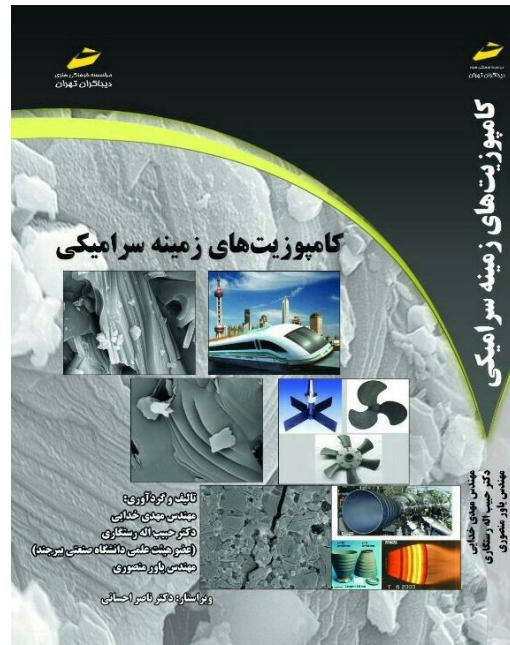
تاژه‌های نشر

## کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی

**مؤلفان:** مهندس مهدی خدایی، دکتر حبیب الله رستگاری، مهندس یاور منصوری  
**ویراستار:** دکتر ناصر احسانی

در این کتاب، به بررسی دقیق وضعیت فعلی تحقیق و توسعه پیرامون کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی پرداخته شده است. مجموعه‌ای از داده‌ها، شرح فرآیندها و گزارش‌های تحقیقاتی در مورد کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی طی یازده فصل در اختیار خواننده قرار گرفته است. در فصل یک، خصوصیات اصلی این نوع کامپوزیت‌ها و کاربردهای آنها ارائه شده است. در فصل دوم، انواع تقویت‌کننده‌های مورد استفاده و فرآیند تولید آنها شرح داده شده است. مهمترین فرآیندهای تولید و فرآوری کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی در فصل سوم ارائه شده است. اطلاعات تفصیلی در مورد خصوصیات فصل مشترک الیاف و زمینه، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی و تنش‌های حرارتی در فصول چهارم الی هفتم ارائه گردیده است. در فصل هشتم، مکانیزم‌های چرخمه‌سازی و مهندسی فصل مشترک در کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی شرح داده شده است. در فصول نهم و دهم نیز به ده موضوع سیار، مهندسی، بعنده، خواص، تبلیه‌ها،

کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی و تکنیک‌های اتصال دهی آنها پرداخته شده است. در نهایت، نانوکامپوزیت‌های زمینه سرامیکی در فصل یازدهم معرفی شده‌اند.



# معرفی پایان نامه های دانشجویی

## پایان نامه دکترا

### بررسی خواص اپتیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت های YAG - Spinel به روش SPS



دانشجو: رضا ایران خواه

اساتید راهنما: دکتر محمد رضا رحیمی پور، دکتر محمد ذاکری

استاد مشاور: دکتر منصور رضوی

پژوهشگاه مواد و انرژی

**چکیده:** در این پژوهش خواص اپتیکی و مکانیکی اسپینل  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -YAG-Spinel با نسبت های متفاوت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. این سرامیک ها با استفاده از مواد اولیه و با روش سینتر جرقه پلاسمای تهیه شدند. نمونه های اسپینل در دمای  $1250^{\circ}\text{C}$  به مدت  $10\text{ min}$  سینتر و سینتر شدند. بررسی تاثیر خلوص مواد اولیه بر روی میزان عبور امواج مادون قرمز این نمونه ها نشان داد که با افزایش میزان خلوص مواد اولیه، میزان عبور نیز افزایش می یابد. بیشترین میزان عبور داخلی برابر با  $55$  درصد بدست آمد. با هدف تهیه نمونه های YAG، مخلوط پودرها در دمای  $1250^{\circ}\text{C}$  تا  $1500^{\circ}\text{C}$  سینتر و سینتر شدند. نتایج نشان داد نمونه های تهیه شده در دماهای کمتر از  $1450^{\circ}\text{C}$  علاوه بر فاز YAG، دارای فازهای باقیمانده بوده و همچنین میزان عبور داخلی امواج مادون قرمز در بازه طول موج های  $3$  تا  $5\text{ }\mu\text{m}$  در نمونه حاوی فاز کامل YAG، برابر با  $14$  درصد بدست آمد. مقادیر چگالی، سختی و استحکام خمثی این نمونه به ترتیب برابر با  $10 \pm 4\text{ GPa}$ ،  $4.54\text{ g/cm}^3$  و  $215 \pm 25$  بدلست آمد. میکرو کامپوزیت های YAG-Spinel با استفاده از مواد اولیه با خلوص پایین سینتر و سینتر شدند. نتایج نشان داد در دماهای کمتر از  $1300^{\circ}\text{C}$  علاوه بر فازهای اصلی فازهای واکنش نداده YAM و YAP در ساختار نمونه ها وجود داشته و با افزایش دمای سینتر خواص مکانیکی نمونه ها بهتر شده به طوری که نمونه های سینتر شده دارای مقادیر چگالی، سختی و استحکام خمثی به ترتیب برابر با  $19.7 \pm 2\text{ GPa}$ ،  $4.719\text{ g/cm}^3$  و  $371 \pm 22\text{ MPa}$  می باشند. در ادامه سینتر و سینتر کامپوزیت های مختلف از دو جزء  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ : YAG با نسبت های مولی مختلف انجام شد. حضور فازهای ناخواسته و غیر مطلوب از نظر اپتیکی نظیر در ساختار کامپوزیت با استفاده از راهکارهایی نظیر استفاده از افزودنی و آلومینا در مخلوط مواد اولیه برطرف شد. کامپوزیت های تهیه شده دارای عدم عبور داخلی امواج مادون قرمز بوده و خواص شامل کمترین و بیشترین استحکام خمثی  $114$  تا  $305\text{ MPa}$  در نمونه های دارای  $3$  و  $1$  درصد مولی بدست آمد.

## پایان‌نامه کارشناسی ارشد

### ساخت و بررسی خواص مکانیکی و شیمیایی شیشه-سرامیک‌های فلورکاتاناسیتی حاوی افزودنی اکسید تیتانیم



دانشجو: پویا تکاو

اساتید راهنمای: دکتر سارا بنی جمالی، دکتر علی صداقت آهنگری حسینزاده

استاد مشاور: دکتر ایمان میاشرپور

پژوهشگاه مواد و انرژی

**چکیده:** امروزه شیشه-سرامیک‌های دندانی با خواص مکانیکی و نوری مطلوب از اهمیت ویژه‌ای در دندانپزشکی ترمیمی برخوردار هستند. در پژوهش حاضر، خواص فیزیکی، رفتار زینترپدیری، خواص مکانیکی و ریزاساختار شیشه-سرامیک‌های دندانی فلورکاتاناسیتی ( $\text{Ca}_{5}\text{Na}_{3.4}\text{K}_{2.3}\text{Si}_{12}\text{O}_{30}\text{F}_4$ ) در حضور افزودنی اکسید تیتانیم بررسی شد. در این راستا، ابتدا شیشه پایه و نیز شیشه‌های حاوی سه مقدار مختلف افزودنی اکسید تیتانیم تهیه شد. این ترکیبات طی فرآیند ذوب در بوته آلمونیمی و سردسازی مناب شیشه‌های حاصل در آب به فریت تبدیل شد. شکل دهی فریت‌های مذکور به روش پرس به صورت قرص و عملیات حرارتی در محدوده دمایی  $950^\circ\text{C}$ - $1450^\circ\text{C}$  انجام شد. برای بررسی رفتار تبلور و نیز شناسایی فازهای متابولور شده به هنگام عملیات حرارتی به ترتیب از آزمون‌های افتراف حرارتی (DTA) و پراش پرتوهای ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبیشی گسیل میدانی (FESEM) استفاده شد. خواص فیزیکی شامل انقباض خطی و جذب آب شیشه-سرامیک‌های نهایی، بر حسب دماهای مختلف عملیات حرارتی اندازه گیری و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل نشان داد کلیه شیشه-سرامیک‌های ساخته شده در محدوده دمایی عملیات حرارتی از رفتار زینترپدیری بسیار مناسبی برخوردار بودند به طوری که در پایان محدوده دمایی مذکور دستیابی به قطعاتی کاملاً متراکم با جذب آب صفر از کلیه ترکیب‌های انتخابی امکان‌پذیر بود. دمای  $950^\circ\text{C}$  به عنوان دمای بینه عملیات حرارتی انتخاب شد. خواص شیمیایی و مکانیکی شامل خوردگی شیمیایی، استحکام خمی، سختی و چرگمگی شکست شیشه-سرامیک‌های مورد مطالعه اندازه گیری و با یکدیگر مقایسه شد. شیشه-سرامیک‌های تهیه شده از ترکیب شیشه پایه (فاقد اکسید تیتانیم)، از بالاترین استحکام خمی ( $1934 \text{ MPa}$ ) و چرگمگی شکست ( $1 \text{ MPa.m}^{1/2}$ ) و شیشه-سرامیک‌های تهیه شده از شیشه حاوی  $12\%$  قسمت وزنی اکسید تیتانیم از بیشترین مقدار مقاومت به خوردگی به میزان ( $3495 \pm 549 \mu\text{g/cm}^3$ ) و سختی ( $113\%/\text{HV}$ ) در میان شیشه-سرامیک‌ها مورد مطالعه برخوردار بودند. بر اساس نتایج آزمون‌های XRD و FESEM، فارهای بلورین اصلی و فرعی در شیشه-سرامیک‌های زینتر شده، به ترتیب فلورکاتاناسیت ( $\text{Ca}_{5}\text{Na}_{3.4}\text{K}_{2.3}\text{Si}_{12}\text{O}_{30}\text{F}_4$ ) و فلوراید کلسیم ( $\text{CaF}_2$ ) بودند. مطابق نتایج به دست آمده، در بین شیشه-سرامیک‌های ساخته شده، نمونه‌های تهیه شده از ترکیب شیشه پایه، از بیشترین مقدار بلورینگی و بهترین خواص مکانیکی برخوردار بودند.

# اعضاي حقوقی انجمن سراميك ايران

## اعضاي حقوقی ویژه انجمن سراميك ايران

### شرکت پویا همراه سرام (بازرگانی و مهندسین مشاور)



مدیر عامل: مهندس محسن طارمسي

آدرس دفتر مرکزی: تهران، شهرآپارتس، خیابان رشید، نبش خیابان ۱۴۴، خیابان امیرکبیر، طبقه ۲، واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸

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

### تهیيه و تولید مواد نسوز کشور

مدیر عامل: مهندس باقری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، یوسف آباد، خیابان ابن سينا، نبش خیابان ۳۱، شماره ۸۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۱۲۵۶۲

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



### لعايران

مدیر عامل: دکتر نعمتی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونك، خیابان گاندی شمالی، کوی شهید صانعی، شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۵۱۴۱-۲

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

### شرکت سهامي شيشه

#### قزوين (عام)



شرکت سهامي شيشه قزوين (plc)  
Ghazvin Glass Co

مدیر عامل: مهندس محمدرضا علاقه‌نديان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان استاد مطهری، خیابان شهید سرافراز، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۱۵۱۵

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

### Glassworks Hounsell Ltd

مدیر عامل:

Mr. William Brinkman

آدرس دفتر مرکزی: Glassworks Hounsell, Park Lane, Halesowen, West Midlands, United Kingdom

تلفن دفتر مرکزی:

۰۰-(۰)-۱۳۸۴۵۶۰۶

فاكس: ۰۰-(۰)-۱۳۸۴۵۶۱۳۶

نشانی سایت:

<http://www.glassworkshounsell.co.uk>



### مجتمع کارخانجات تولیدی

#### توس چيني

مدیر عامل: مهدى كاملان نجار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد،

صلع غربى ميدان احمدآباد، پلاک ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۸۸۰

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

## اعضای حقوقی ممتاز انجمن سرامیک ایران

### دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مدیریت: دکتر متین

آدرس: دزفول، کوی آزادگان، دانشگاه آزاد اسلامی



تلفن دفتر مرکزی:

۰۶۴-۱۶۲۶۲۰۹۰

نشانی سایت:

[www.iaud.ac.ir](http://www.iaud.ac.ir)

### چینی بهداشتی آرمیتاژ

مدیر عامل: مهندس محمدحسین وکیلی مقدم

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

طبقه دوم، آپارتمان شماره ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۰۲۲۷

نشانی سایت: <http://www.armitagesw.com>



چینی بهداشتی



### شاپیراد تجارت پارس

مدیر عامل: مهندس اتحادی

آدرس: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان فرزان غربی، پلاک ۸۰، واحد

۱۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۴۸۳۱۰

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

### دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و

#### تحقیقات خوزستان

مدیریت: دکتر لک

آدرس: اهواز، سهراه فرودگاه، دانشگاه آزاد

واحد علوم و تحقیقات

تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱-۳۴۴۵۷۱۷۴

نشانی سایت: [www.khouzestan.srbiau.ac.ir](http://www.khouzestan.srbiau.ac.ir)



### کاشی گرانیت و کاشی لعاب زهره

مدیر عامل: مهندس خیاط

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.zohretile.com](http://www.zohretile.com)

### کاشی کسری

مدیر عامل: 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](http://www.kasratileco.com)



### فرآورده‌های نسوز ایران

مدیر عامل: 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](http://www.irefco.ir)

### فرآورده‌های نسوز آذربایجان

مدیر عامل: مهندس سلیمانی فرد

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

کوچه ساعی ۲، روپروی مدرسه پسرانه هافت، پلاک ۳۱، واحد منطقه ۱

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۸۲۰۹۵

نشانی سایت:

[www.azarref.ir](http://www.azarref.ir)



## اعضاي حقوقی انجمن سراميك ايران

<p><b>آریا تهران سرام</b></p> <p>مدیر عامل: محمد علی سلیمانی</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیرازی جنوبی، خیابان اتحاد، پلاک ۴، واحد ۱۱</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۹۶۱۰</p>	<p><b>آپادانا سرام</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس نجفی</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، روبروی بیمارستان بقیه‌الله، کوچه گلداشت، گلداشت یکم، پلاک ۸</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۴۳۱۰۰۰۰</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.apadanaceram.com">www.apadanaceram.com</a></p>
<p><b>ایران آیمدی</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس مطلب لو</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان شیراز شمالی، نیش کوچه شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.imdco.net">www.imdco.net</a></p>	<p><b>اشکان پارت آفرین</b></p> <p>مدیر عامل: دکتر غفاری</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: کرج، گلشهر ویلا رودکی غربی، پلاک ۲۷۱</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۶۳-۶۶۷۰۸۳۶</p>
<p><b>پارس کائولن</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس صمدی</p> <p>آدرس: طبس، نرسیده به جو خواه، معدن کائولن پارس</p> <p>تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۵۵۷۳</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.parskaolin.com">www.parskaolin.com</a></p>	<p><b>گروه پاترون (پات روشنان) نیکتا</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس عباس کلانتر</p> <p>آدرس: تهران، خیابان ملاصدرا، پلاک ۱۶۲، طبقه چهارم</p> <p>تلفن: ۰۲۱-۸۲۱۰۸۹۰</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.patron.group">www.patron.group</a></p>
<p><b>پژوهشگاه مواد و انرژی</b></p> <p>مدیریت: دکتر صالحی</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آزادی، انتهای خیابان الوند، کوچه جوین، پلاک ۱۶</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.merc.ac.ir">www.merc.ac.ir</a></p>	<p><b>پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ</b></p> <p>مدیریت: دکتر رنجبر</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان وفا منش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۹</p> <p>تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.icrc.ac.ir">www.icrc.ac.ir</a></p>
<p><b>پیشگامان سرامیک برسام</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس سرجهانی</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: شیراز، بلوار امیرکبیر برج صنعت ورودی ۳، طبقه ۴، واحد ۴۱۷</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۳۸۳۸۵۴۴۴</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.barsamceram.com">www.barsamceram.com</a></p>	<p><b>پیشرو ذوب آتور</b></p> <p>مدیر عامل: مهندس ملایی داریانی</p> <p>آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان احمد قصیر، کوچه یکم، پلاک ۶، واحد ۱۰</p> <p>تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۴۹۸۸۴</p> <p>نشانی سایت: <a href="http://www.pishrozob.com">www.pishrozob.com</a></p>



تولیدی و مهندسی نسوزین

### تولیدی و مهندسی نسوزین

مدیر عامل: مهندس زریان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان

آرژانتین، خیابان بیهقی، خیابان دوازدهم

شرقي، پلاک ۲، طبقه ۳، شماره ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵-۴۵۹۱

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



سامان‌تایل

SAMAN TILE

### 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](http://www.samantile.com)

### تهیه و تولید مواد اولیه آریا کانی اسپادانا

مدیر عامل: دکتر پویامهر

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان ملاصدرا، خیابان پانزدهم،

پلاک ۳۴، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۱۷۵۳۷-۸

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

### تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده

مدیر عامل: مهندس زارعی

آدرس دفتر مرکزی: آباده، چهارراه جوادیه

تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۴۴۳۳۷۹۹۷

### چینی اصفهان

مدیر عامل: مهندس جهانبانی

آدرس: اصفهان، جاده دولت‌آباد، خیابان بهارستان، اولین فرعی سمت

چپ، خیابان خبوشانی

تلفن دفتر مرکزی:

۰۳۱-۴۵۸۳۶۲۰۰



شرکت صنایع  
خاک چینی ایران

### 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

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

### چینی زرین ایران

مدیر عامل: مهندس قصاعی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک،

خیابان ونک، ساختمان شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۰۰۴۴

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



چینی زرین ایران



درسا سرام ایستاتیس

مدیر عامل: مهندس نداییان

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)



### 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)



### سارا کاشی سپاهان

مدیر عامل: مهندس مجذون

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان

سجاد، ابتدای خیابان ارباب، جنب بانک

صادرات، مجتمع کسری، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۲۷۱۱۷

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



### رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام

مدیر عامل: مهندس مهینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضرآباد، بلوار افقيا،

خیابان زيتون

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۷۷۷۲۴۴۸

ساقاگار و قطعات نسوز

مدیر عامل: مهندس معرفتی

آدرس: مرند، کیلومتر ۵ جاده قدیم جلفا،

شهرک صنعتی سرامیکی

تلفن: ۰۴۱-۴۲۲۲۳۸۲

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

Sara Loab Maybod.co

سارا لاب مید

مدیر عامل: مهندس جعفری پور

میدی

آدرس دفتر مرکزی: مید، شهرک

صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن، انتهای

بلوار سمت راست

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۷۷۷۲۲۲۸

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

توپلید گنبد کاشی و سرامیک پخت ۴۰۳

شرکت صنایع سرام آرا

مدیر عامل: مهندس آهنی ها

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان سپهبد قرنی، بالاتر از چهارراه طالقانی، خیابان شاداب غربی، پلاک ۳۳، طبقه ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۱۰۴۵

نشانی سایت: [www.ceramara.ir](http://www.ceramara.ir)سرامیک های صنعتی اردکان

مدیر عامل: مهندس برهانی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان،

میدان آزادی، ابتدای خیابان

سعادت آباد، پلاک ۱، طبقه ۴، واحد ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۸۲۷۷۷

نشانی سایت: [www.aic.ir](http://www.aic.ir)شرکت مهندسی بازرگانی درداران سریر

مدیر عامل: مهندس طهماسبی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان ولیعصر، خیابان فتحی شفاقی، میدان سلماس، پلاک ۳، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۷۳۶۶-۸

نشانی سایت: [www.sarirco.com](http://www.sarirco.com)شرکت فیبرونا

مدیر عامل: مهندس شاهپوری

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان میرزای شیرازی، نبش استاد

مطهری، شماره ۲۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۲۳۳۵۵

نشانی سایت: [www.fiberona.com](http://www.fiberona.com)صناعت کاشی نیلوافر

مدیر عامل: مهندس نوربخش

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فردوسی، مجتمع تجاری اسکان، طبقه ۱، واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۷۶۲۳۳۳۶

نشانی سایت: [www.niloofartile.com](http://www.niloofartile.com)صناعت کاشی زرین خراسان

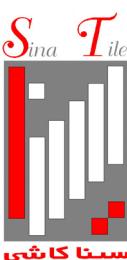
مدیر عامل: مهندس عمید مبشر

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ملالصدر، خیابان شیراز جنوبی، پلاک ۹۹

طبقه اول

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۶۷۶۸۱

نشانی سایت: [www.zarrintile.com](http://www.zarrintile.com)صناعت کاشی و سرامیک سینا

مدیر عامل: مهندس عزیزان

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۷۲۳۰۱

نشانی سایت: [www.sinatile.ir](http://www.sinatile.ir)صناعت کاشی و سرامیک الوند

مدیر عامل: 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)

### فرواردهای نسوز آذر شهاب تبریز

مدیر عامل: مهندس صدیقی  
آدرس دفتر مرکزی: تبریز، خیابان راه آهن، ایستگاه سرچشمه، مجتمع تجاری میلاد، طبقه ۳، واحد ۳۰۵  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۴۱-۳۵۵۱۸۴۴۱  
نشانی سایت: [www.azarshahab.com](http://www.azarshahab.com)



### صنعت سرام

مدیر عامل: مهندس غفاری  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۲۰، واحد ۱۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹

### کائولین و خاکهای نسوز خراسان

مدیر عامل: مهندس زیارت نیا  
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۴، پلاک ۲۸  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۳۰۳۴-۵  
نشانی سایت: [www.kaolin-co.com](http://www.kaolin-co.com)



### فرواردهای نسوز پارس

مدیر عامل: مهندس حیدرپور  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، برج آبین ونک، طبقه ۷، واحد ۷۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۶۹۲  
نشانی سایت: [www.pars-ref.ir](http://www.pars-ref.ir)

### کاشی ستاره مبید

مدیر عامل: مهندس خالقیه  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیزار جنوبی، گرسار غربی، کوچه بهار، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۷  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۰۴۴۷۴۴  
نشانی سایت: [www.setarehtile.com](http://www.setarehtile.com)

### کاشی تیما

مدیر عامل: دکتر ناصری  
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز ۲، اندیشه ۲، انتهای دانش ۲  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۵۴۱۳۹۹۰  
نشانی سایت: [www.tima-tile.com](http://www.tima-tile.com)

### کاشی فیروزه مشهد

مدیر عامل: مهندس سقاء رضوی  
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار سجاد، خیابان بیستون ۲، مجتمع تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶  
صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۰۰۰۱  
نشانی سایت: [www.firoozehtile.com](http://www.firoozehtile.com)

### کاشی طوس

مدیر عامل: مهندس توکلی فرد  
آدرس دفتر مرکزی: مشهد، خیابان سناباد، جنب داروخانه سناباد، ساختمان ۴۶۵، طبقه ۳  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۴۱۸  
نشانی سایت: [www.toostileco.com](http://www.toostileco.com)

### کاشی مرجان

مدیر عامل: مهندس معصومی  
آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه کاویان، پلاک ۴۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۲۴۸۰۱۹  
نشانی سایت: [www.marjantileco.com](http://www.marjantileco.com)

### کاشی کرد

مدیر عامل: مهندس چنگیزی  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، سهپوردی شمالی، هویزه شرقی، پلاک ۳۴  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۳۵۲۳۳۳  
نشانی سایت: [www.cordgroup.com](http://www.cordgroup.com)

### کاشی نوآوران

مدیر عامل: مهندس طباطبایی  
آدرس دفتر مرکزی: یزد، مید، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم  
تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۱۹۳  
نشانی سایت: [www.noavaranceramics.ir](http://www.noavaranceramics.ir)

### کاشی مسعود ایران

مدیر عامل: 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)

۸۷



**گلسا ر فارس**  
 مدیر عامل: مهندس فرخمند  
**آدرس دفتر مرکزی:** تهران، خیابان کربلای خان زند، خیابان سپهبد فرنی، خیابان برادران شاداب، پلاک ۳۳، طبقه ۲  
**تلفن دفتر مرکزی:** ۰۲۱-۸۸۹۰۸۰۴۴  
**نشانی سایت:** [www.golsarfars.com](http://www.golsarfars.com)

### کسری لعاب مبید

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:** ۰۲۱-۸۰۴۳۶۹۶  
**نشانی سایت:** <http://www.mashhadglaze.com>

### لعاب مارال مبید



مدیر عامل: دکتر داود قهرمانی  
**آدرس دفتر مرکزی:** یزد، مبید  
**شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن شمالی، خیابان صنعت ۹**  
**تلفن دفتر مرکزی:** ۰۳۵-۳۲۳۷۴۰۹۶-۷  
**نشانی سایت:** [www.maralloab.ir](http://www.maralloab.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 علویجه  
**آدرس:** شیراز، کیلومتر ۳ جاده شیراز بوشهر، بعد از پل شهید علیپور، جاده ایستگاه شماره ۱ گاز  
**تلفکس:** ۰۷۱۳-۸۳۰۱۹۹۰



**مجتمع صنعتی اردکان (چینی رزا)**  
 مدیر عامل: مهندس ضراییه  
**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)



**مغید شیشه**  
 مدیر عامل: مهندس موسوی کریمی  
**آدرس دفتر مرکزی:** تهران، خیابان ولیعصر، پایین تر از میدان ونک، شماره ۲۵۴۰، طبقه ۲  
**تلفن دفتر مرکزی:** ۰۲۱-۸۸۶۴۸۱۱  
**نشانی سایت:** [www.mofidglass.com](http://www.mofidglass.com)

### معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق

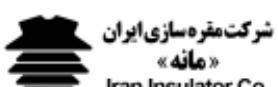


مدیر عامل: مهندس معصومی  
**آدرس دفتر مرکزی:** تهران، سعادت آباد، خیابان علامه شمامی، انتهای کوچه اقبال ملی، پلاک ۱، واحد ۲  
**تلفن دفتر مرکزی:** ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳  
**نشانی سایت:** [www.iranclay.com](http://www.iranclay.com)

### مهقام جام (سهامی خاص)

مدیر عامل: مهندس دهقان  
**آدرس دفتر مرکزی:** تهران، میدان آزادی‌انتیں، خیابان احمد قصیر، چهاردهم غربی، پلاک ۲۶، طبقه ۳  
**تلفن دفتر مرکزی:** ۰۲۱-۸۸۵۱۵۰۱۵

### مقره سازی ایران



شرکت مقره‌سازی ایران «مانه»  
**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)

# تقویم رویدادهای سرامیک

دوازدهمین کنگره سرامیک ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۱۳۹۸ اردیبهشت ۱۱-۱۰

[www.lcers.ir](http://www.lcers.ir)

چهارمین نمایشگاه صنعت دیرگذار ایران

هتل المپیک، تهران

۱۳۹۷ آبان ۲۰-۱۹

[www.conf-refractory.org](http://www.conf-refractory.org)

پانزدهمین همایش علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی ایران

دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۱۳۹۷ آبان ۲۳-۲۲

<https://cmat.iromes.ir/>

اولین کنفرانس ملی مدلسازی رفتار مکانیکی مواد

دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۱۳۹۷ مهر ۲۶-۲۵

[cmbm2018.uk.ac.ir](http://cmbm2018.uk.ac.ir)

هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

تهران، ایران

۱۳۹۷ مهر ۱۸-۱۷

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

**Materials Science & Technology 2018 (MS&T18)**

Columbus, OH United States

October, 14-16 2018

<http://www.matscitech.org>

**Ceramics Japan 2018**

Mukuhari Messe Japan

December, 5-7 2018

<http://www.ceramics-japan.jp/en>

**43rd International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (ICACC)**

Daytona Beach, FL United States

27 January -1 February 2019

<https://ceramics.org/icacc2019>

**Materials Science & Technology (MS&T) 2019**

United States

29 September -3 October 2019

<http://www.matscitech.org>

**SEMICON Europa 2018**

Munich Germany

November, 13-16 2018

<http://www.semiconeuropa.org>

**XVI ECerS Conference**

Torino, Italy

June, 16-20 2019

<http://www.ecers2019.org/>

**PACRIM13 the13th Pacific Rim conference of Ceramic Societies**

Okinawa Convention Center, Japan

October, 27-31 2019

<http://www.ceramic.or.jp/pacrim13>