

### هیات تحریریه:

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

### گروه مشاوران:

مهندس جلیل آرین پو	شیشه اردکان
مهندس سیروس ارجمند نیا	شرکت بازرگانی گیتا
دکتر علی اصغر بهنام قادر	پژوهشگاه مواد و انرژی
مهندس نادر خلیلی	شرکت نسوز مهر
مهندس سیروس روشنفکر فلاح	شرکت تجهیز مواد پیشگام
مهندس میر حسام الدین داعی نیاکی	شرکت گل سرخ گستر امل
مهندس محمود سالاریه	شرکت آرمیناز
دکتر آرمان صدقی	دانشگاه بین الملل امام خمینی
دکتر احمد صفری	دانشگاه ایالتی نیوجرسی
مهندس حسین عزیزیان	صنعت سیمان
مهندس مهران غفاری	پژوهشگاه مواد و انرژی
دکتر عباس فاضلی	سازمان زمین شناسی کشور
دکتر کاووس فلامکی	دانشگاه امیرکبیر
مهندس عباسعلی قصابی	شرکت چینی زرین ایران
مهندس حسین قصابی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر ابراهیم قاسمی	پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
دکتر کاظم قنبری	دانشگاه شفیلد انگلستان
دکتر مهرداد کشمیری	دانشگاه بریتیش کلمبیا
دکتر علیرضا گنجی	شرکت معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق
مهندس حمیدرضا نعمتی	پیشگامان سرامیک برسام
دکتر امیر عباس نوربخش	سرامیک نوین سپاهان



سال هشتم، شماره سی و هشتم و سی و نهم

تابستان و پاییز ۱۳۹۳

ISSN: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

« با درجه علمی ترویجی »

صاحب امتیاز: انجمن سرامیک ایران

مدیر مسئول: دکتر مسعود محبی

سرمدیر: دکتر اسماعیل صلاحی

معاون سردیر: مهندس علیرضا سوری

مدیر اجرایی: سعیده علیشاهی

گردآوری مطالب و سرپرست گروه مترجمان: مهندس تهیمینه گیوه کی

با همکاری: مهناز سادات محسنی

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@jiccers.ir

نشانی سایت اینترنتی: www.jiccers.ir

طراحی، گرافیک و صفحه آرای: تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

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

۱	مقالات پژوهشی
۱	تحقیق و بررسی جذب آلاینده دی فنیل آمین از فاضلاب‌های صنعتی با استفاده از خاک رس
۸	تهیه نانولوله‌های اکسید تیتانیم به روش آندایز کردن تیتانیم
۱۳	ارزیابی پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه در ورستور اکسید قلع دوپ شده ...
۲۰	مقالات مروری
۲۰	مواد گرادانی (FGM)، روش‌های ساخت و کاربردها
۳۴	اثر متاکائولن بعنوان ماده افزودنی در بتن‌های توانمند
۴۹	معرفی شرکت‌ها: پارک علم و فناوری خراسان - پایلوت سرامیک
۵۳	مصاحبه با: دکتر پائولو زینینی
۵۵	معرفی انجمن‌ها: انجمن سرامیک برزیل
۵۷	تازه‌ها
۵۷	اخبار انجمن سرامیک ایران
۵۷	گزارش جلسه هم‌اندیشی انجمن
۵۸	برگزاری سخنرانی علمی توسط انجمن سرامیک ایران
۵۹	جلسه هیات رئیسه گروه تخصصی شیشه
۶۰	گزارش بیست و دومین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی
۶۳	اخبار همایش‌ها
۶۳	اولین کنفرانس بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی ایران
۶۸	اخبار شرکت‌ها
۶۸	کسب رکورد جهانی عمر نسوز در پاتیل‌های مذاب فولاد مبارکه اصفهان
۶۹	اخبار علمی
۶۹	استفاده از نانوذرات سیلیکا با خاصیت چسبندگی در هیدروژل‌ها و بافت‌ها
۶۹	ماده پوشاننده خودتمیز شونده مخصوص صفحات خورشیدی
۷۰	سرامیک‌های شفاف برای پنجره‌های زره‌ای
۷۱	مواد سرامیکی پیشرفته به‌عنوان راه حل ذخیره هیدورژن در سلول‌های سوختی
۷۲	دریافت جایزه بین‌المللی گوستاو- ایریش ۲۰۱۴
۷۴	تازه‌های نشر
۷۵	معرفی پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی
۷۷	واژه‌گزینی سرامیک با همکاری فرهنگستان زبان و ادب فارسی
۸۱	لیست اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران
۸۸	تقویم رویدادهای سرامیک



Vajjhe.khani@gmail.com

مهندس وجیهه خانی نویسنده  
مسئول این مقاله، دانشجوی  
دکتری مهندسی مواد -  
سرامیک / دانشگاه تربیت  
مدرس می‌باشند.

## تحقیق و بررسی جذب آلاینده دی فنیل آمین از فاضلاب‌های صنعتی با استفاده از خاک رس

وجیهه خانی<sup>۱</sup>، شهرزاد زارع<sup>۲</sup>، لیلا شریفی<sup>۱</sup>، سید حسین میرحسینی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی استان یزد

<sup>۲</sup> دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

**چکیده:** حذف مواد سمی از جمله ترکیبات آروماتیک از فاضلاب‌های صنعتی از اهمیت بسیاری برخوردار است. خاک‌های رس و از جمله بنتونیت به‌عنوان جاذبی مناسب برای مواد آلی به‌شمار می‌آیند. به همین منظور در این پژوهش از خاک رس به‌عنوان جاذب در حذف دی فنیل آمین از پساب‌های صنعتی استفاده شد و اثر پارامترهای گوناگون مانند pH، زمان تماس و دما بر میزان جذب این آلاینده در محلول‌های آبی بررسی شد. میزان pH محلول با اثر بر روی شیمی سطح هردوی مولکول‌های جاذب و آلاینده بر فرایند جذب اثر گذاشته و مقدار جذب را تغییر می‌دهد. دما و مدت زمان تماس نیز بر فرایند جذب تاثیرگذار هستند. نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان تماس، میزان جذب آلاینده افزایش می‌یابد. در مطالعه حاضر، کینتیک فرایند جذب نیز بررسی شد. نتایج جذب به‌دست آمده برای حذف دی فنیل آمین توسط بنتونیت قابل مقایسه با جاذب‌های دیگر بوده، بنابراین بنتونیت می‌تواند به‌عنوان جاذبی ارزان قیمت برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مطرح شود.

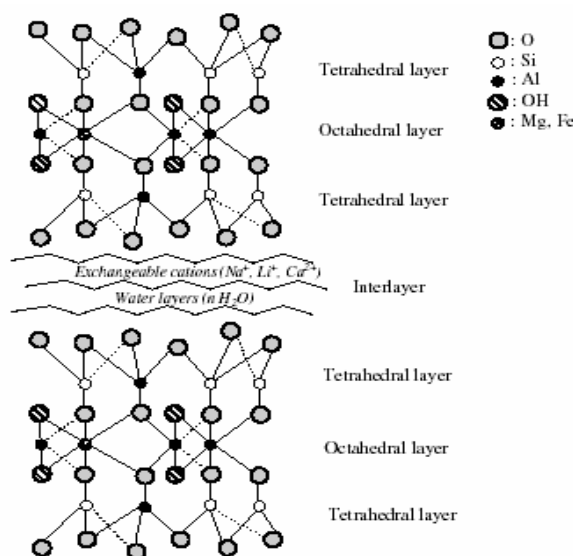
کلمات کلیدی: بنتونیت، جاذب، تصفیه پساب، دی فنیل آمین

### ۱- مقدمه

تاکنون روش‌ها و مواد مختلفی برای جذب مواد آلی به‌کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به روش جذب سطحی (جذب)، اکسید کردن شیمیایی و فرایندهای بیولوژیکی اشاره کرد [۱]. امروزه با رشد نانو فناوری و معرفی نانوجاذب‌های مختلف مشخص شده که از جاذب‌های با کارایی بالا و در عین حال ارزان‌تر و در دسترس‌تر می‌توان در جذب مواد آلی و حذف این دسته از آلاینده‌ها از محیط‌های زیست آبی و خاکی استفاده کرد [۲]. از رایج‌ترین نانوذرات استفاده شده در جذب مواد آلی در سال‌های اخیر می‌توان به نانو رس و آلی رس (نانو رس آلی دوست شده) اشاره کرد که بر پایه کانی رسی بنام مونت موری لونیت است. نایت در سال ۱۸۹۸ برای نخستین بار اصطلاح بنتونیت را در مورد مواد رسی تشکیل دهنده ناحیه شیل بنتون واقع در غرب آمریکا استفاده کرد. بنتونیت یک نوع خاک رس است که کانی اصلی آن مونت موریلونیت بوده ولی کانی‌های دیگری مانند بیدلیت، نانترونیست، کریستوبالیت، کلسیت، ژئولیت، فلدسپار و کوارتز را نیز به همراه داشته باشد. بنتونیت یک فیلوسیلیکات با فرمول  $(\text{Na,Ca})_{0/33} (\text{Al,Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  است که عمدتاً از مونت موریلونیت تشکیل شده است [۳]. این کانی‌ها خاک رس سه لایه و با واحدهای ساختمانی ۲:۱ اسمکتیت هستند که در شکل ۱ نشان داده شده است. اسمکتیت‌ها دارای ذرات با اندازه بسیار کوچک و یک فضای سطحی ویژه و قدرت تبادل کاتیونی بالا هستند [۴].

بنتونیت یک نوع کانی رسی است که بدلیل خصوصیات تورمی، کلوییدی و تغییر شکل‌پذیر بودن، قابلیت بالایی برای کاربرد در صنایع دارد. توانایی مبادله کاتیونی در فضای لایه درونی، یعنی توانایی جذب سطحی، مهم‌ترین ویژگی جالب توجه بنتونیت است. تاکنون پر شدن فضای لایه درونی با یون‌های غیر آلی، آمین‌ها، آمینو اسیدها، سورفکتانت‌های کاتیونی و سورفکتانت‌های غیر یونی مطالعه شده است [۵]. در حال حاضر بنتونیت یکی از مهم‌ترین خاک‌های رس مورد استفاده در فرایند پلیمر نیز است و می‌تواند به‌عنوان یک پرکننده در نانو کامپوزیت‌هایی که

خصوصیات مکانیکی منحصر به فردی نشان می‌دهند، به کار رود [۶ و ۷]. بنتونیت به‌عنوان یک ماده با قابلیت بالا برای حذف (جدا سازی) آلاینده‌های آب گریز از محلول‌های آبی ارائه شده است و بنابراین یک عامل بسیار امیدوار کننده در کمک به محیط زیست و کاهش علف‌کش‌ها (سموم دفع آفات) است [۹ و ۱۰].

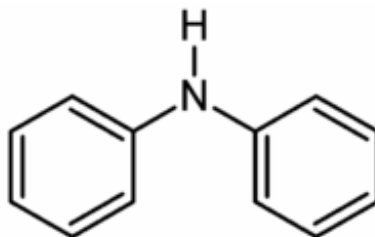


شکل ۱- ساختار بنتونیت

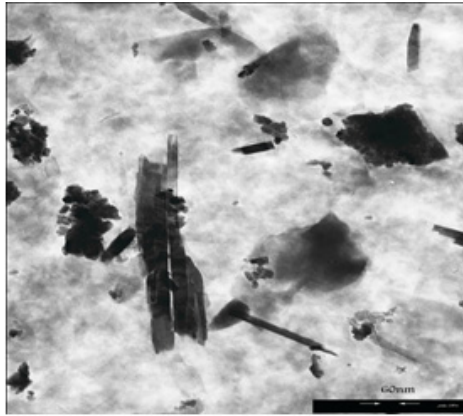
آمین‌های آروماتیک به‌عنوان آلاینده‌های محیط زیستی مشهور آب شناخته می‌شوند. در این مورد صنایع شیمیایی مهم هستند، زیرا آمین‌های آروماتیک به مقدار زیاد، به‌عنوان مواد خام در این صنایع مصرف می‌شوند و در صنایع پارچه، کاغذ، مواد رنگی، لاستیک، پلاستیک، آفت‌کش‌ها، مواد دارویی و لوازم آرایشی به‌عنوان ضایعات به مقدار زیاد تولید می‌شوند. معمولاً آمین‌های آروماتی به‌عنوان سیال خروجی (فاضلاب) به‌طور مستقیم یا به‌طور غیرمستقیم به‌عنوان مواد ته‌نشین شده حاصل از آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها (یعنی متابولیسی)، در آب زیرزمینی و رودخانه‌ها رها می‌شوند [۱۱]. به‌ویژه در فرایندهای تولید رنگ‌ها (رنگینه‌ها)، مقدار زیادی از فاضلاب با سمیت بالا خارج می‌شود که دارای آمین و مشتقات آن است. آمین‌های آروماتیک به‌دلیل حلالیت نسبتاً زیاد در آب، می‌توانند به‌راحتی در خاک نفوذ کرده و آب‌های زیرزمینی را آلوده سازند. آن‌ها می‌توانند هنگامی که انسان غذا یا آب آلوده به آن‌ها را مصرف می‌کند، وارد بدن شوند [۱۲]. این مواد توجه بسیاری را برانگیخته‌اند و توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده در فهرست آلاینده‌هایی که باید به‌شدت کنترل شوند قرار گیرند [۱۳]. به همین منظور در این پژوهش، حذف ترکیبات آروماتیک از پساب‌های صنعتی به‌وسیله جاذب‌های طبیعی مانند خاک رس بررسی شد.

## ۲- روش آزمایش

در این پژوهش، از بنتونیت به‌عنوان جاذب و دی‌فنیل‌آمین به‌عنوان آلاینده استفاده شد. دی‌فنیل‌آمین مصرفی دارای فرمول مولکولی  $(C_6H_5)_2NH$  و جرم مولکولی  $169/23$  گرم است (شکل ۲). تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری از پودر جاذب در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به تصویر TEM توزیع ذرات بنتونیت همگن نیست و ذرات از سطح یکنواختی برخوردار نیستند.



شکل ۲- ساختار دی‌فنیل‌آمین



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از بنتونیت مورد استفاده

ابتدا بنتونیت به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد در خشک کن قرار گرفت تا با کلسینه کردن، سطح آن فعال شود. برای اندازه گیری درصد جذب یا بازده تصفیه، ۰/۱ گرم ماده جاذب در ۳۰ میلی لیتر محلول آلاینده ریخته و پس از زمان معینی ماده جاذب را از محلول جدا کرده و جذب محلول زیر صافی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گرفته شد و با استفاده از فرمول زیر در صد جذب محاسبه شد.

$$\text{درصد جذب} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

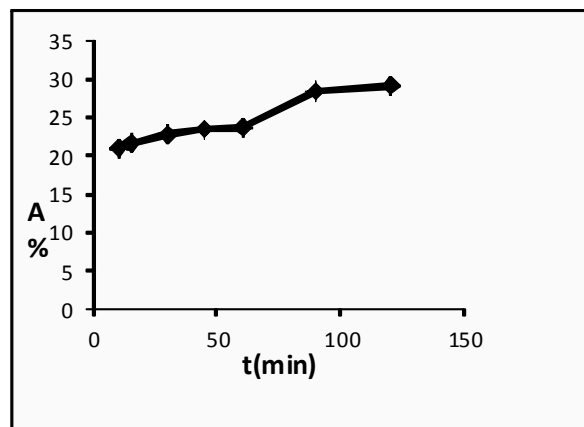
$A_0$  مقدار جذب آلاینده قبل از استفاده از جاذب و  $A$  مقدار جذب محلول آلاینده بعد از استفاده از جاذب است.

### ۳- نتایج و بحث

دی فنیل آمین یکی از مهم ترین ترکیبات آروماتیک و آلی است که به عنوان آلاینده نیتروژن دار در پسابها وجود دارد. از جمله عواملی که بر میزان جذب آلاینده توسط جاذب تاثیرگذار هستند عبارتند از پارامترهایی مانند pH، مدت زمان تماس و دمای محلول. بنابراین بهینه سازی این موارد می تواند قابلیت جذب را به میزان زیادی افزایش دهد.

#### ۳-۱- اثر زمان

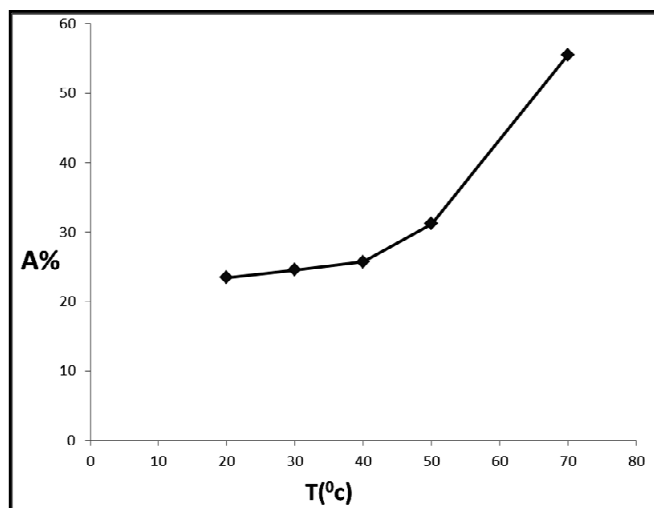
برای بررسی اثر زمان در حذف دی فنیل آمین، محلول هایی به حجم ۳۰ میلی لیتر و غلظت ۱۵ ppm دی فنیل آمین با ۰/۱ گرم جاذب بنتونیت در فواصل زمانی ۱۰-۱۲۰ دقیقه تماس داده شد. نحوه تغییر میزان جذب دی فنیل آمین با زمان تماس در شکل ۴ دیده می شود. ابتدا میزان جذب با افزایش مدت تماس محلول با جاذب افزایش می یابد ولی در زمان های طولانی تر از ۹۰ دقیقه ثابت می ماند. بنابراین، زمان مطلوب برای انجام آزمایش های بعدی ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل ۴- تغییرات درصد جذب دی فنیل آمین در زمان های مختلف تحت شرایط دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد ۰/۱ گرم جاذب و ۳۰ میلی لیتر محلول دی فنیل آمین

## ۳-۲- اثر دما

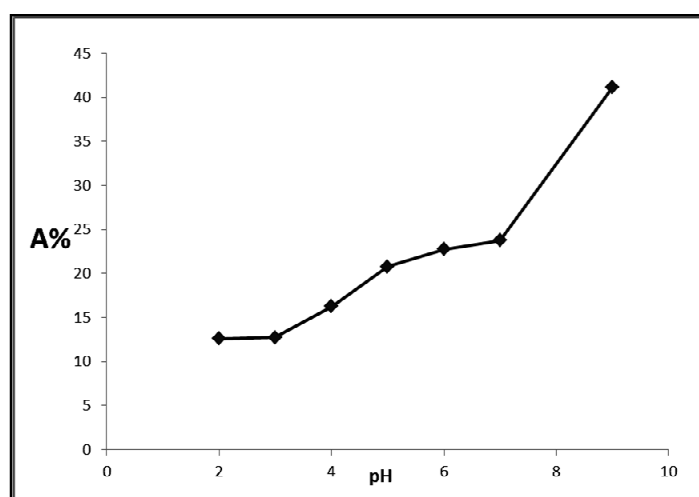
افزایش دما سبب تشدید میزان جذب مواد بر روی سطح ذرات ماده جاذب می‌شود. به‌طور کلی دما دو اثر عمده بر فرایند جذب دارد. در اثر افزایش دما میزان جذب مولکول‌های آلاینده در لایه مرزی تشکیل شده در داخل حفرات ساختمان جاذب افزایش می‌یابد که این خود به‌دلیل کاهش گرانشی محلول است. علاوه بر این، افزایش دما سبب افزایش ظرفیت تعادلی جاذب در حذف آلاینده می‌شود. شکل ۵ اثر دما بر میزان جذب دی فنیل آمین از محلول آبی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد با افزایش دما درصد جذب دی فنیل آمین افزایش می‌یابد و همان‌طور که دیده می‌شود از دمای ۷۰-۵۰ این روند افزایش، قابل توجه است.



شکل ۵- تغییرات درصد جذب دی فنیل آمین در دماهای مختلف تحت شرایط زمان ۹۰ دقیقه و ۰/۱ گرم جاذب بنتونیت در pH=7

## ۳-۳- اثر pH

میزان pH محلول بر جاذب و همچنین آلاینده نقش به‌سزایی دارد. pH محلول بر روی شیمی سطح هر دوی مولکول‌های جاذب و آلاینده اثر گذاشته و باعث تغییر نیروهای جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی می‌شود. بنابراین بر میزان جذب ترکیبات نیز اثر مهمی خواهد گذاشت. به منظور بررسی اثر pH محلول‌هایی به حجم ۳۰ میلی لیتر از دی فنیل آمین ۱۵ ppm با ۰/۱ گرم جاذب بنتونیت تماس داده شد. برای تغییر pH محلول از ترکیبات NaOH و HCl ۱۰ درصد استفاده شد.

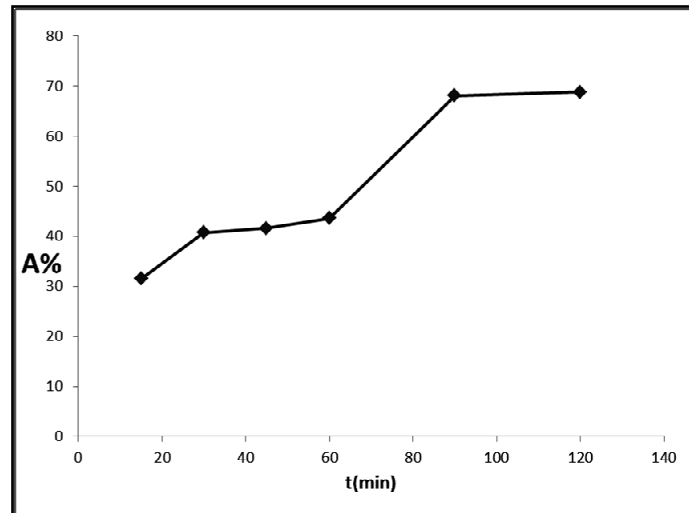


شکل ۶- تغییرات درصد جذب دی فنیل آمین در pH های مختلف تحت شرایط دمای ثابت، ۰/۱ گرم جاذب و ۳۰ میلی لیتر محلول دی فنیل آمین

همان طور که نتایج نشان می‌دهد افزایش pH، باعث افزایش بازده درصد جذب می‌شود و در مقادیر پایین از pH، میزان جذب کاهش می‌یابد.

### ۳-۴- استفاده از شرایط بهینه

همان طور که اشاره شد در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH=۹ بالاترین میزان درصد جذب به دست آمد. در این مرحله محلول‌هایی به حجم ۳۰ میلی‌لیتر از دی‌فنیل‌آمین ۱۵ ppm با ۰/۱ گرم جاذب بنتونیت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH=۹ به مدت زمان‌های مختلف تماس داده شدند. همان طور که در شکل ۷ دیده می‌شود در شرایط بهینه با افزایش میزان زمان تماس، درصد حذف دی‌فنیل‌آمین افزایش یافته و از زمان ۶۰ دقیقه به بعد افزایش قابل توجهی در بازده درصد جذب دیده می‌شود.



شکل ۷- تغییرات درصد جذب دی‌فنیل‌آمین در زمان‌های مختلف در شرایط دمایی ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH=9 و ۰/۱ گرم جاذب با ۳۰ میلی‌لیتر محلول دی‌فنیل‌آمین

نتایج نشان دادند که می‌توان دی‌فنیل‌آمین با غلظت ۱۵ ppm را در شرایط دمایی ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH=۹ و همچنین تماس با ۰/۱ گرم جاذب بنتونیت تا میزان ۶۸/۸ درصد حذف کرد. این مقدار جذب قابل مقایسه با جاذب‌های دیگر بوده و بنابراین می‌توان بنتونیت را به‌عنوان جاذب ارزان قیمت برای حذف ترکیبات نیتروژن‌دار از پساب‌های صنعتی معرفی کرد.

### ۳-۵- مطالعه سینتیک جذب

اطلاعات مربوط به سینتیک جذب می‌تواند در طراحی برنامه‌های تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مفید واقع شود. سینتیک جذب، عوامل کنترل‌کننده سرعت جذب در فصل مشترک یک حلال مایع و یک جامد را شرح می‌دهد. چندین معادله سینتیکی برای فهم رفتار جاذب‌ها و تعیین عوامل کنترل‌کننده فرایند جذب وجود دارند. در مطالعه حاضر، اطلاعات جذب توسط دو معادله سینتیکی مرتبه اول و دوم تحلیل شدند. معادله سینتیک مرتبه اول را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$e^{-k_1 t} [A] = [A_0]$$

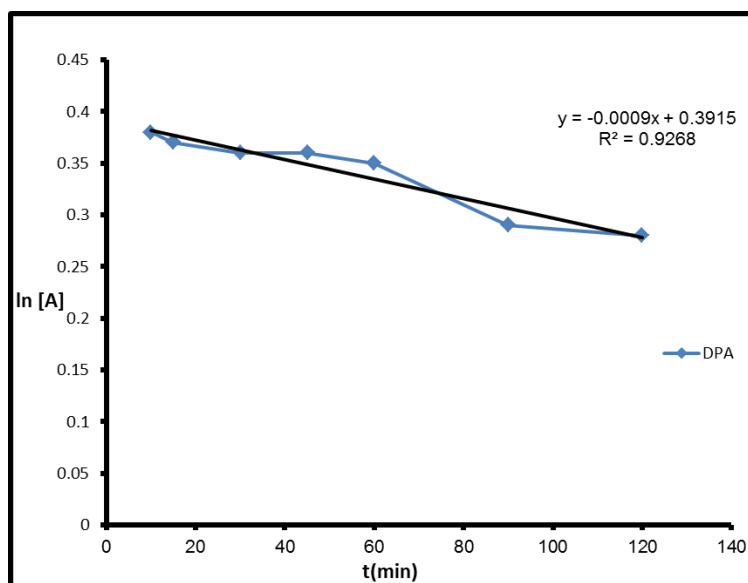
[A] غلظت گونه A در زمان t و [A<sub>0</sub>] غلظت گونه A در زمان صفر می‌باشد. منحنی Ln[A] بر حسب t رسم شده و در صورتی که شکل منحنی خطی باشد واکنش نسبت به گونه مورد نظر درجه اول است و می‌توان با محاسبه شیب این خط ثابت سرعت آن را نیز محاسبه کرد.

معادله سینتیکی مرتبه دوم طبق رابطه به شکل زیر خواهد بود:

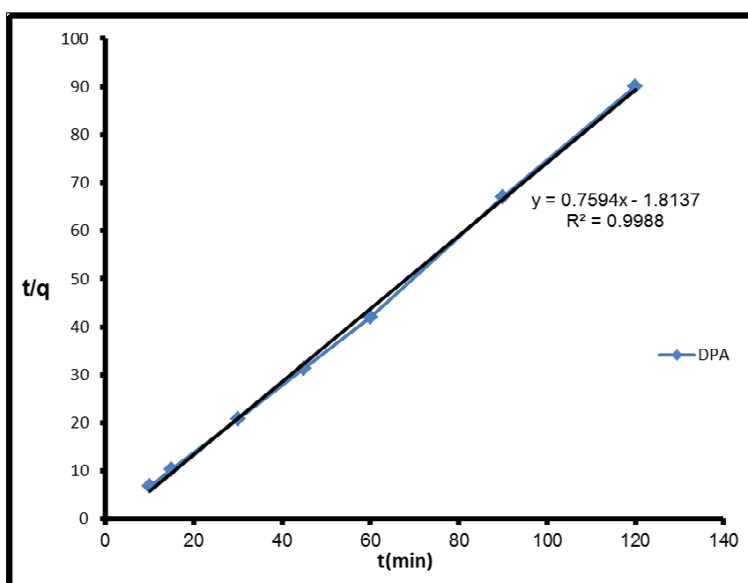
$$t/q = t/q_e + 1/(k_2 q_e^2)$$

q<sub>e</sub> مقدار رنگ جذب شده در تعادل در زمان‌های مختلف، k<sub>2</sub> ثابت سرعت واکنش درجه دوم است. شیب منحنی t/q نسبت به زمان،

$t/q_e$  و عرض از مبدا  $1/(k_2q_e^2)$  را نشان می‌دهد و می‌توان ثابت سرعت واکنش درجه دوم را به دست آورد. شکل (۸) و (۹) سینتیک درجه اول و دوم را برای جذب بنتونیت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است کردار واکنش حذف دی‌فنیل آمین برای جذب بنتونیت از نوع درجه دوم بوده و شیب خط برابر با سرعت واکنش است.



شکل ۸- سینتیک درجه اول برای جذب بنتونیت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ۳۰ میلی لیتر محلول دی فنیل آمین



شکل ۹- سینتیک درجه دوم برای جذب بنتونیت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ۳۰ میلی لیتر محلول دی فنیل آمین

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، فرایند حذف آلاینده دی فنیل آمین از فاضلاب‌های صنعتی توسط بنتونیت مطالعه شد و اثر پارامترهای مختلف مانند pH، زمان تماس و دما بر روی میزان جذب این آلاینده در محلول‌های آبی بررسی شد. بر طبق اطلاعات بدست آمده می‌توان نتایج زیر را گزارش کرد:

۱- pH محلول آلوده به دی فنیل آمین به شدت بر شیمی هر دوی مولکول‌های آلاینده و جاذب اثر می‌گذارد. شرایط بهینه در این پژوهش pH=۹ به دست آمد.



- ۲- میزان حذف آلاینده با افزایش زمان تماس و دمای محلول افزایش می‌یابد. علت افزایش درصد جذب را می‌توان به سریع‌تر شدن حرکت مولکول‌ها و میزان برخوردها نسبت داد.
- ۳- مطالعات سینتیک جذب نشان داد که واکنش حذف دی فنیل آمین برای جاذب بنتونیت از نوع درجه دوم بوده و سرعت واکنش جذب محاسبه شد.
- ۴- نتایج نشان داد که می‌توان از بنتونیت به‌عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف ترکیبات آروماتیک (به ویژه دی فنیل آمین) از محلول‌های آبی استفاده کرد.

## مراجع

- [1] S. A. Boyd, S. Shaobai, J. -F. Lee, M.M. Mortland, Clay Minerals, 36 (1988) 125-130.
- [2] G. W. Beall, "The Use of Organo-clays in Water Treatment", Applied Clay Science, Vol. 24, pp. 11-20, 2003.
- [3] O. Carmody, R. Frost, Y. Xi and S. Kokot, "Adsorption of Hydrocarbons on Organo-clays", Colloid and Interface Science, Vol. 305, pp. 17-24, 2007.
- [4] O. M'bodj, N. K. Ariguib, M.T. Ayadi, A. Magnin, J. Colloid Interf. Sci., 34(2004) 675.
- [5] S. Akyüza, T. Akyüzb, J. Mol. Struct. 651-653 (2003) 205-210.
- [6] C. Zilg, F. Dietsche, B.Hoffmann, C. Dietrich, R. MüLhaupt, Macromol. Symp., 169. (2001) 65-77.
- [7] H. Moazed and T. Viraraghavan, "Organo-Clay/Anthracite Filtration for Oil Removal", Journal of Canadian Petroleum Technology, Vol. 40, no. 9, pp. 37-42, 2001.
- [8] H. Moazed and T. Viraraghavan, "Water, Air, and Soil Pollution", vol. 138, no. 253, pp. 1-4, 2002.
- [9] P. C. LeBaron, Z. Wang, T. J. Pinnavaia, Appl. Clay Sci., 15 (1999) 11-29.
- [10] M. R. Carter, B. A. Stewart, Structure and Organic matter Storage in Agricultural soils, CRC Press, Boca Raton, FL, (1995).
- [11] Y. Zhu, M.H. Wang, H. Y. Du, F. Wang, S. F. Mou, P. R. Haddad, J. Chromatogr. A., 56 (2002) 215.
- [12] A. Cavallaro, V. Piangerelli, F. Nerini, S. Cavalli, C. Reschiotto, J.Chromatogr. A., 709 (1995) 361-366.
- [13] S. Chen, Y. Xu, Y. Bi, W. Du, B. Liu, Talanta., 70 (2006) 63-67.

# تهیه نانولوله‌های اکسید تیتانیم به روش آندایز کردن تیتانیم

اسماعیل صلاحی، حمید اصفهانی

پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی



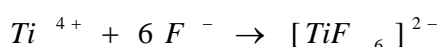
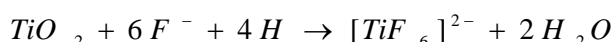
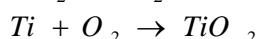
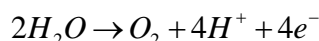
دکتر اسماعیل صلاحی نویسنده  
مسئول این مقاله، عضو هیات  
علمی پژوهشکده سرامیک  
پژوهشگاه مواد و انرژی  
می‌باشند.

e-salahi@merc.ac.ir

**چکیده:** با گسترده شدن کاربرد مواد پیشرفته، تولید نانوفیبرها و نانولوله‌ها امروز اهمیت بسیاری پیدا کرده‌اند. ایجاد نانولوله‌های اکسید تیتانیم در بستر تیتانیم یکی از روش‌های نوین در تولید نانوفیبرهاست. به کمک روش آندایز کردن نانولوله‌های اکسید تیتانیم به‌عنوان الگوی متخلخل برای رشد و سنتز دیگر نانوفیبرها استفاده می‌شود. در این پژوهش به بررسی اثر عامل زمان آندایز کردن، بر ساختار و میزان نانولوله‌ها در ولتاژ پایین پرداخته شده است. ریزساختار سطح نمونه آندایز شده در زمان‌های گوناگون توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، فاز تشکیل شده در سطح توسط الگوی پراش پرتو ایکس بررسی شدند. سایر عامل‌ها مانند ترکیب محلول الکترولیت، دما و فاصله الکترودها ثابت نگه داشته شد. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش زمان آندایز کردن در سطح ولتاژ ۱۰ ولت شرایط تشکیل نانولوله‌های اکسید تیتانیم فراهم شده است. کلمات کلیدی: آندایز، اکسید تیتانیم، تیتانیم، نانولوله، ولتاژ پایین.

## ۱- مقدمه

در دهه اخیر، مواد نانو ساختار، به‌خاطر خواص فیزیکی مطلوب و کاربردهای ویژه، توجه زیادی را به‌خود جلب کرده‌اند. کنترل اندازه و شکل نانومواد، از اهمیت زیادی برخوردار است. نانولوله‌های تیتانیا در مقایسه با شکل‌های دیگر آن، برای کاربردهایی مانند فتوکاتالیست برای تصفیه آب و هوا، فتوالکترولیز آب، تولید هیدروژن، سلول‌های خورشیدی فتوولتاییک و فتوالکتروشیمیایی، الکترونیک، اپتیک، مهندسی بافت و فیلتراسیون مولکولی، استفاده می‌شود [۱]. برای نخستین بار سطوح متخلخلی از فیلم تیتانیا که به‌صورت الکتروشیمیایی در الکترولیت دارای فلئوئر توسط آندایز کردن<sup>۱</sup> تیتانیم تشکیل شده بود، گزارش شد [۲]. روش‌های گوناگونی مانند استفاده از آلومینای متخلخل [۳ و ۴]، آندایز کردن مستقیم ورق تیتانیم با استفاده از محلول آبی HF [۵] و روش هیدروترمال قلیایی [۶ و ۷] برای تهیه تیتانیای نانو ساختار یک بعدی گزارش شده است. در همه موارد، ترکیبات بر پایه فلورین مثل HF، KF، NaF و NH<sub>4</sub>F به‌عنوان الکترولیت برای تهیه نانولوله‌های تیتانیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان این روش‌ها، آندایز کردن، یک روش قابل کنترل و تکرار پذیر است [۸]. در روش آندایز، زمان لازم برای تبدیل کامل تخلخل به نانولوله، بستگی به ولتاژ آندایز کردن دارد. در مراحل اولیه فرایند، تخلخل‌های کوچکی تشکیل می‌شود که با گذشت زمان اندازه و عمق آن‌ها افزایش می‌یابد. پس از مدتی انحلال تخلخل‌ها اتفاق افتاده و آن‌ها را عمیق‌تر می‌سازد و در نهایت ساختار تخلخل به ساختار نانولوله‌ای تبدیل می‌شود. به‌طور کلی رشد نانولوله‌های تیتانیا تحت تاثیر رقابت بین تشکیل TiO<sub>2</sub> و تشکیل / انحلال [TiF<sub>6</sub>]<sup>2-</sup> در طول فرایند آندایز کردن قرار می‌گیرد که توسط واکنش‌های زیر نشان داده شده است [۲]:



<sup>1</sup> Anodizing

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در ولتاژهای پایین، شرایط تشکیل نانولوله‌های تیتانا دشوار است و نیاز به غلظت بالای الکترولیت است [۹]. در پژوهش حاضر به بررسی اثر زمان بر تشکیل نانولوله‌های تیتانیا در ولتاژ پایین (۱۰ ولت) پرداخته شده است.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

فویل تیتانیم با ضخامت نیم میلی‌متر پس از برشکاری، با آب و صابون به منظور چربی‌زدایی شسته شو شدند. عمل پولیش انجام شد. عمل اسید شویی تیتانیم نیز انجام شد. محلول مورد استفاده جهت اسید شویی، مشابه و یکسان با محلول اچ کردن تیتانیم خالص تجاری انتخاب شد. ترکیب این محلول در جدول ۱ آورده شده است. فرایند اسید شویی به مدت ۱ دقیقه و در دمای اتاق و در زیر هود انجام شد. پس از اسید شویی، کلیه نمونه‌ها با الکل شستشو و خشک شدند.

جدول ۱- اجزا تشکیل دهنده محلول اسید شویی

نام شیمیایی	فرمول شیمیایی	درصد حجمی
آب مقطر	H <sub>2</sub> O	٪۹۶
اسید فلئوئیدریک	HF	٪۱/۵
اسید نیتریک	HNO <sub>3</sub>	٪۲/۵

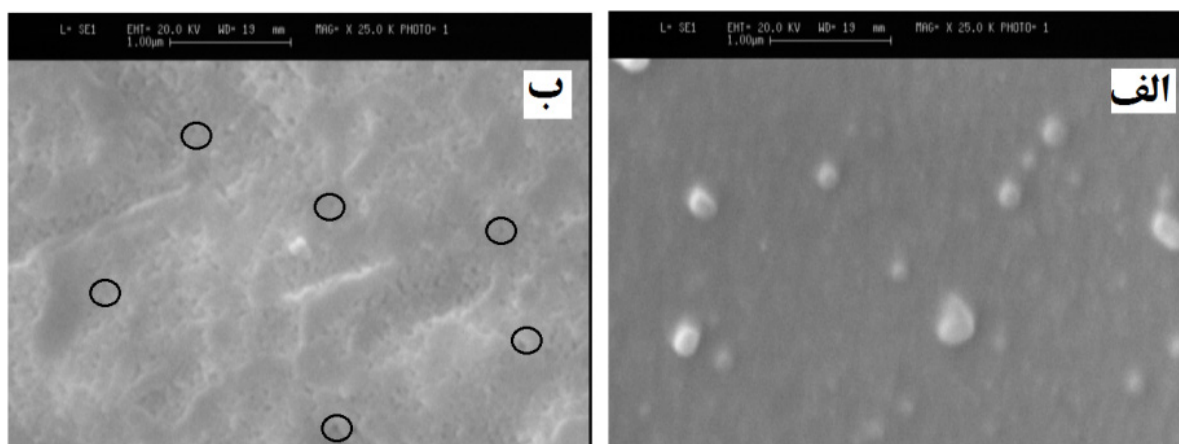
در این پژوهش از محلول مشابه اسید شویی یعنی شامل ۹۶ درصد حجمی آب مقطر، ۲/۵ درصد حجمی اسید نیتریک و ۱/۵ درصد حجمی اسید فلئوئیدریک به‌عنوان الکترولیت استفاده شد. محلول الکترولیت پس از تولید در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در هر بار اجرای فرایند آندایز کردن، دمای الکترولیت ثابت و برابر دمای اتاق و از محلول تازه استفاده شد. اجزای سلول آندایز شامل کاتد (گرافیت)، آند (ورق تیتانیم ۱ سانتیمتر در ۱ سانتیمتر)، منبع ولتاژ مستقیم، همزن مغناطیسی برای هم زدن محلول الکترولیت طی فرایند، ظرف پلاستیکی نگهداری الکترولیت، سیم‌ها و گیره‌های رابط و جریان‌سنج، دماسنج و pH متر برای کنترل تغییرات pH الکترولیت نیز استفاده شد.

در این پژوهش، زمان به‌عنوان عامل اثر گذار (۳۰ و ۶۰ دقیقه) انتخاب شد. ولتاژ ثابت و برابر ۱۰ ولت، فاصله الکترودها برابر یک سانتی‌متر، دمای فرایند حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ترکیب محلول شامل ۱/۵ درصد حجمی اسیدفلوئوئوریک انتخاب شد. به منظور تبلور کردن ساختار اکسید تیتانیم تشکیل شده روی زیر لایه، نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه در محیط هوا عملیات حرارتی شدند. سرعت گرمادهی ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه بود. بای بررسی فازهای تشکیل شده روی ورق تیتانیم در اثر آندایز کردن، از دستگاه پراش سنج مدل Philips-PW2273- Ni Filtered CuKα استفاده شد. ریزساختار نمونه‌ها با تصویر برداری به کمک میکروسکوپ روبشی الکترونی (SEM) مدل Oxford - Stereo Scan S360 انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

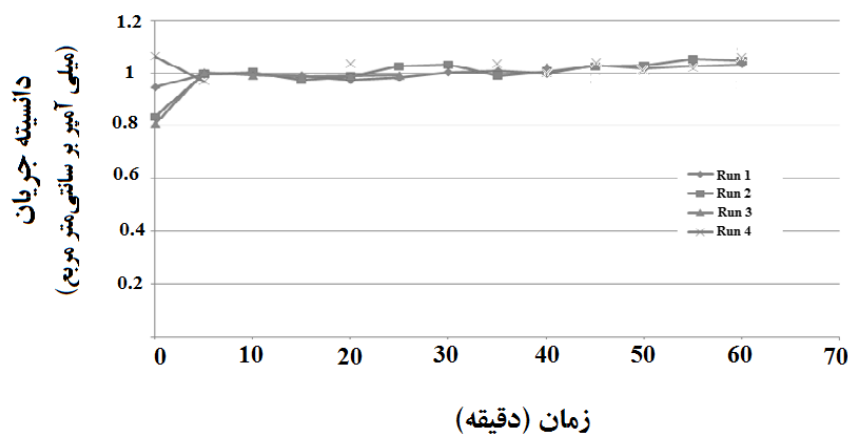
شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح نمونه‌های آندایز شده در ولتاژ ۱۰ ولت در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه را نشان می‌دهد. باید توجه کرد که دهانه نانولوله تیتانیای شکل گرفته در تصاویر میکروسکوپ الکترونی، به‌صورت حفره دیده خواهد شد. زمان و ولتاژ آندایز کردن، دو عامل بسیار مهم در ریز ساختار نانولوله‌های تیتانیایی و کیفیت آن‌هاست. این دو عامل وابسته به هم هستند. با افزایش ولتاژ آندایز کردن، تعداد لوله‌های جوانه زده شده افزایش خواهد یافت. با افزایش زمان، قطر لوله‌ها افزایش خواهد یافت. همانطور که اشاره شد در این پژوهش فرایند آندایز کردن در ولتاژ پایین و ثابت صورت گرفته است و دیده می‌شود که در سطح ولتاژ ۱۰ ولت امکان تشکیل نانولوله کم است و تنها عامل زمان است که می‌تواند موجب افزایش شرایط تشکیل جفت الکترون حفره و انحلال نانوخلخل‌های باز در سطح تیتانیم شود [۱۰]. تصاویر میکروسکوپی نشان داد که در سطح نمونه آندایز شده در زمان ۶۰ دقیقه حفرات ریزی تشکیل شده است. با توجه به تصاویر می‌توان مشاهده کرد که

قطر این حفرات کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر است. این نانوحفرات بیانگر وقوع مرحله اول آندایز کردن و تشکیل نانولوله‌های تیتانیایی است. برای بررسی تکمیلی و اثبات ادعا، تغییرات جریان روی سطح آند و پراش سنجی پرتو ایکس از این سطوح انجام شد.



شکل ۱- تصویر SEM از سطح نمونه های آندایز شده در ولتاژ ۱۰ ولت در زمان (الف) ۳۰ و (ب) ۶۰ دقیقه

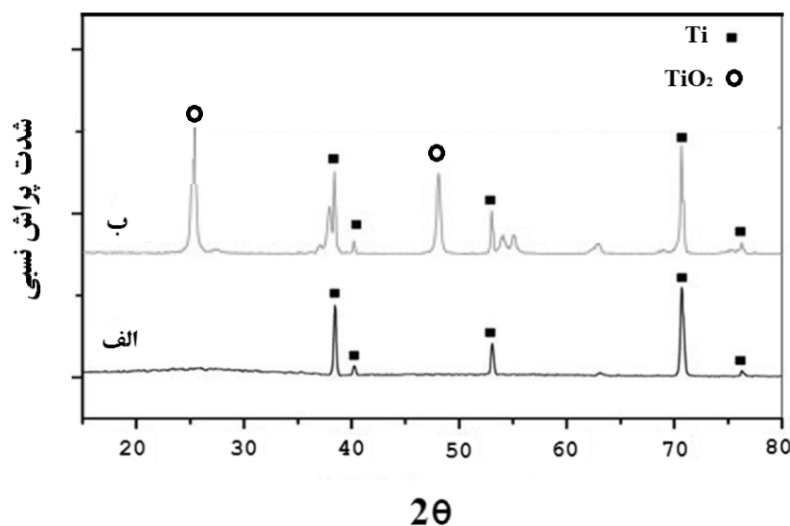
یکی از عامل‌های اثرگذار بر فرایند آندایز کردن، چگالی جریان است. سطح تماس کلیه نمونه‌ها با محلول الکترولیت برابر ۱ سانتی‌متر بود. به کمک آمپر متر تغییرات جریان برحسب زمان ثبت شد. تغییرات چگالی جریان برای آندایز کردن در ۳۰ و ۶۰ دقیقه برای ۴ بار تکرار فرایند در شکل ۲ رسم شده است. نوسان چگالی جریان در طول آندایز کردن به دلیل تغییر شرایط وقوع واکنش اکسید شدن تیتانیم، از جمله تامین جفت الکترون-حفره است. نتایج نشان داد که تغییرات چگالی جریان برای آندایز کردن در ۵ دقیقه اول با نوسانات شدیدتری همراه بوده است. با گذشت زمان، میزان نوسان جریان کاهش یافته است به طوری که در زمان‌های بالای ۳۰ دقیقه، چگالی جریان ثابت و یکسانی روی سطح آند پدید آمد. بدین معنا که با افزایش زمان آندایز، شرایط گذر از تشکیل حفره و انحلال تخلخل‌ها و امکان تشکیل همگن نانولوله‌های تیتانیایی فراهم شده است.



شکل ۲- تغییرات چگالی جریان

سطح تیتانیم خالص پیش از فرایند آندایز کردن، براق و به رنگ نقره‌ای بود. پس از فرایند آندایز، رنگ نمونه تغییر و به صورت رنگین کمانی ظاهر شد. تغییرات رنگ به وجود آمده ناشی از تغییرات فازی و بلوری است. بدین منظور الگوی پراش پرتو ایکس از سطح نمونه ۳۰ و ۶۰ دقیقه آندایز و عملیات حرارتی شده تهیه شد (شکل ۳). نتیجه الگوی پراش از سطح نمونه ۳۰ دقیقه آندایز شده نشان داد که تنها فاز تیتانیم وجود دارد. پس فرایند تشکیل نانولوله‌های اکسید تیتانیم روی نداده است یا اگر فرایند پیش رفته، به دو دلیل در الگوی پراش ظاهر نشده‌اند؛ اول به دلیل کم بودن این فاز دوم به دلیل ضخامت کم لایه اکسیدی (طول نانولوله‌ها). در حالت اول میزان فاز اکسید تیتانیم به قدری کم بوده که در الگوی پراش شرکت نکرده است و در حالت دوم با توجه به اینکه صفحات بلوری در عمق حداقل ۲ میکرومتر در تشکیل الگوی پراش شرکت می‌کنند، صفحات اکسید تیتانیم در پراش

شرکت نکرده‌اند. الگوی پراش نمونه آندایز شده در ۶۰ دقیقه دارای پیک‌های متفاوت و اضافی نسبت به نمونه ۳۰ دقیقه است. پیک‌های اضافی مربوط به صفحات بلوری اکسید تیتانیوم است. پیک مشخصه فاز آاناتاز  $\text{TiO}_2$  (زاویه پراش حدود ۲۵ درجه) کاملاً مشخص است. از آنجاکه تمام نمونه‌ها در دمای  $550^\circ\text{C}$  عملیات حرارتی شده‌اند، تبلور فاز آاناتاز در این شرایط قابل توجیه است. در منابع گوناگون دمای شروع تبدیل فاز آاناتاز به روتایل،  $600^\circ\text{C}$  اشاره شده که بالاتر از دمای عملیات حرارتی نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش است [۱۱]. پس عدم حضور فاز روتایل نیز قابل توجیه است.



شکل ۳- الگوی پراش پرتو ایکس از سطح نمونه آندایز و عملیات حرارتی شده (الف) ۳۰ دقیقه و (ب) ۶۰ دقیقه

#### ۴- نتیجه‌گیری

فرایند آندایز در ولتاژ ۱۰ ولت در شرایط دما، ترکیب الکترولیت، فاصله الکتروود ثابت انجام شد. اثر زمان بر شرایط تشکیل نانولوله‌های تیتانیا بررسی شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که با افزایش زمان آندایز نانوحفراتی در سطح تیتانیوم شکل گرفته است. مطالعات تکمیلی نشان داد که در زمان‌های بیشتر از ۳۰ دقیقه شرایط گذار از تشکیل حفره و انحلال تخلخل‌ها و امکان تشکیل همگن نانولوله‌های تیتانیومی فراهم شده است. همچنین الگوی پراش پرتو ایکس نشان داد که در نمونه ۶۰ دقیقه آندایز شده فاز اکسید تیتانیوم وجود دارد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در ولتاژ پایین (۱۰ ولت) با افزایش زمان آندایز از ۳۰ به ۶۰ دقیقه شرایط تشکیل نانولوله‌های تیتانیا فراهم می‌شود.

#### مراجع

- [1] Soon Hyung Kang, Hyun Sik Kim, Jae-Yup Kim<sup>1</sup> and Yung-Eun Sung<sup>1</sup>, "An investigation on electron behavior employing vertically-aligned  $\text{TiO}_2$  nanotube electrodes for dye-sensitized solar cells", *Nanotechnology* 20, 2009, 355-361.
- [2] Yahya Alivov, Mahesh Pandikunta, Sergey Nikishin and Z Y Fan, "The anodization voltage influence on the properties of  $\text{TiO}_2$  nanotubes grown by electrochemical oxidation", *Nanotechnology* 20, 2009, 225-231
- [3] M. M. Rahman, Jia-Zhao Wang, David Wexler, Yu-Yuan Zhang, Xin-Jun Li, Shu-Lei Chou and Hua-Kun Liu, "Silver-coated  $\text{TiO}_2$  nanostructured anode materials for lithium ion batteries", *J Solid State Electrochem*, 14, 2010, 571-578
- [4] Qingwei Chen and Dongsheng Xu, "Large-Scale, Noncurling, and Free-Standing Crystallized  $\text{TiO}_2$  Nanotube Arrays for Dye-Sensitized Solar Cells", *J. Phys. Chem. C* 113, 2009, 6310-6314
- [5] Varghese OK, Gong D, Paulose M, Ong KG, Dickey EC, Grimes CA, "Extreme Changes in the Electrical Resistance of Titania Nanotubes with Hydrogen Exposure" *Adv Mater*, 15, 2003, 624-627
- [6] Xiaofeng Yu, Yongxiang Li, Wojtek Wlodarski, Sasikaran Kandasamy and Kourosh Kalantar-zadeh, "Fabrication of nanostructured  $\text{TiO}_2$  by anodization: A comparison between electrolytes and substrates", *Sensors and Actuators B* 130, 2008, 25-31
- [7] Christian Jaeggi, Philippe Kern, Johann Michler, Thomas Zehnder and Hans Siegenthaler, "Anodic thin films on titanium used as masks for surface micropatterning of biomedical devices", *Surface & Coatings Technology*, 200, 2005, 1913 - 1919
- [8] Macak J M, Tsuchiya H, Taveira L, Aldabergerova S and Schmuki, "Smooth anodic  $\text{TiO}_2$  nanotubes."

- Angew Chem Int Ed Engl, 45, 2005, 7463-5
- [9] Lidong Sun, Sam Zhang, Xiao Wei Sun and Xiaodong He, "Effect of electric field strength on the length of anodized titania nanotube arrays ", Journal of Electroanalytical Chemistry, 637, 2009, 6-12
- [10] Tang Yu-xin, Tao Jie, Zhang Yan-yan, Wu Tao, Tao Hai-jun, Zhu Ya-rong, "Preparation of TiO<sub>2</sub> nanotube on glass by anodization of Ti films at room temperature", Trans.Nonferrous Met. Soc.China, 19, 2009, 192-198.
- [11] Srimala Seekantan, Roshasnorlyza Hazan, Khairul Arifah Saharudin, Lai Chin Wei & Ishak Mat, "Formation of High Aspect Ratio TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays by Anodization of Ti Foil in Organic Solution", Sains Malaysiana 40(3), 2011, 227-230

# تلفیقی از هنر و صنعت

شرکت آریا تهران سرام (سهامی خاص)  
اولین تولیدکننده کاشی های تزئینی و دکوراتیو برجسته در ایران



خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، خیابان اتحاد، پلاک ۴، واحد ۱  
تلفن: ۸۸۲۱۱۶۵۷ - ۸۸۰۵۹۷۷۸ - ۸۸۰۵۹۶۱۰  
www.tehranceram.com info@tehranceram.com



مهندس محمد مالکی شهرکی  
نویسنده مسئول این مقاله،  
دانشجوی دکتری مهندسی  
مواد- سرامیک پژوهشگاه مواد  
و انرژی می‌باشند.

malekishahraki@gmail.com

## ارزیابی پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه در ورستور اکسید قلع دوپ شده با کربنات کلسیم

محمد مالکی شهرکی، سیامک نورایی، محمدرضا حسن‌زاده، طاهر دین محمدپور

پژوهشگاه مواد و انرژی

**چکیده:** در این تحقیق، به بررسی تاثیر کربنات کلسیم بر ریزساختار و خواص الکتریکی سیستم کاربردی ورستور بر پایه اکسید قلع پرداخته شد. افزودن کربنات کلسیم تا ۰/۲۵ درصد مولی، سبب رشد دانه تا ۴/۵ میکرومتر و افزودن بیشتر از آن سبب کاهش رشد دانه شده است. هر چند ضریب غیرخطی ورستور با افزودن کربنات کلسیم کاهش یافته است اما ضریب غیرخطی اصلاح شده از مقدار ۱۰/۳ در نمونه بدون کربنات کلسیم تا مقدار ماکزیمم ۱۴ در نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم افزایش یافته است. محاسبات پارامترهای مدل سد شاتکی در مرز دانه نشان داد که نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم حاوی کوچک‌ترین ناحیه تخلیه ۴۰ نانومتر و بیشترین ارتفاع سد شاتکی ۲/۲ الکترون ولت است که سبب ایجاد بالاترین ضریب غیرخطی اصلاح شده می‌شوند.

**کلمات کلیدی:** ورستور، اکسید قلع، کربنات کلسیم، سد شاتکی دوگانه.

### ۱- مقدمه

ورستورها یا مواد غیراھمی سرامیکی بعنوان محافظ در کنترل جریان ناگهانی گذرا در ولتاژهای پایین در مدارات الکترونیک و در ولتاژهای بالا در مدارات توزیع و پست انتقال قدرت کاربرد دارند. یک ورستور برای کاربرد صنعتی با پارامترهای ولتاژ شکست، جریان نشستی، ضریب غیرخطی، میزان جذب انرژی، مقاومت در برابر تست ضربه الکتریکی و ولتاژ باقی‌مانده مشخصه‌بندی می‌شود [۱]. مبنای فیزیکی رفتار یک ورستور، تشکیل سدهای شاتکی دوگانه در مرز دانه ورستور است که به دلیل اختلاف در سطح فرمی دانه و مرز دانه، الکترون‌های مجاور مرز دانه از دو طرف مرز دانه به مرز دانه مهاجرت می‌کنند و یک دیواره الکترونی یا همان سد شاتکی به همراه دو ناحیه تخلیه را ایجاد می‌کنند [۲]. محاسبه پارامترهای مدل فیزیکی سد شاتکی می‌تواند به شناخت دقیق‌تر پارامترهای تجربی نظیر ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی کمک نماید. ورستورهای اکسید روی از سال ۱۹۷۶ میلادی به صورت تجاری در آمده‌اند و هم اکنون نیز تحقیقات بر روی بهبود خواص آنها ادامه دارد [۳].

ورستورهای نسل جدید بر پایه اکسید قلع از سال ۱۹۹۵ میلادی علی‌رغم دمای زینترینگ بالاتر، ضریب غیرخطی پایین‌تر بدلیل ریزساختار ساده، هدایت حرارتی بالاتر ولتاژ شکست بالاتر و مقاوم بودن به اضمحلال خواص الکتریکی در کاربردهای ولتاژ بالا مورد توجه قرار گرفته‌اند [۴]. معروف‌ترین سیستم ورستور اکسید قلع، سیستم دوپ شده با اکسیدهای کبالت، کروم و نئوبوم یا به صورت مخفف (SCNCr) است که ضریب غیرخطی و ولتاژ شکست آن به ترتیب در حدود ۵۰ و ۳kV/cm است که دارای بیشترین ضریب غیرخطی در میان ورستورهای بر پایه اکسید قلع است [۵] و تنها سیستم ورستور بر پایه اکسید قلع است که قابلیت تجاری شدن را دارا می‌باشد [۶].

در میان دوپانت‌های اضافه شده به ورستور اکسید قلع (SCNCr) دیده می‌شود که اکثر دوپانت‌هایی که به این سیستم اضافه می‌شوند سبب افزایش ولتاژ شکست و کاهش ضریب غیرخطی می‌شوند [۷]. در اثر افزودن اکسید لانتانیم به این سیستم ضریب غیرخطی تا ۱۵۰ نیز افزایش یافته است در عین حال ولتاژ شکست تا ۱۱ kV/cm افزایش یافته است [۸]. گلات و

همکارانش ضریب غیرخطی اصلاح شده را معرفی کردند که برابر با نسبت ضریب غیرخطی به ولتاژ شکست است و بر اساس ضریب غیرخطی اصلاح شده، کارایی یک وریستور بهتر است در صورتی که ضریب غیرخطی اصلاح شده بالاتر باشد. با توجه به این معیار، ضریب غیرخطی اصلاح شده در وریستور اکسید قلع SCNCr برابر است با ۵۰ (ضریب غیرخطی) تقسیم بر ۳ (ولتاژ شکست) است در حالی که در سیستم SCNCr دوپ شده با لاتانیوم برابر با ۱۵۰ تقسیم بر ۱۱ است کارایی وریستور SCNCr بدلیل ضریب غیرخطی اصلاح شده بالاتر علی رغم ضریب غیرخطی کمتر و ولتاژ شکست کمتر بهتر از وریستور دوپ شده با اکسید لاتانیوم است [۹].

گزارش شده است که افزودن کربنات کلسیم به وریستور اکسید قلع دوپ شده با اکسید کبالت و اکسید آنتی‌مون سبب رشد دانه و کاهش ولتاژ شکست از ۲۰۰ v/cm به ۲۰۰ v/cm شده است در حالی که ضریب غیرخطی تغییر چندانی نداشته است و در حدود مقدار ۵ است این کاهش ولتاژ بمعنای این است که وریستور از حالت کاربرد در مصارف ولتاژ بالا به وریستوری برای مصارف در ولتاژ پایین تبدیل شده است اما ضریب غیرخطی بسیار پایین و بعنوان محدودیت است [۱۰].

هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر افزودن کربنات کلسیم بر ریزساختار و خواص الکتریکی معروفترین و کاربردی ترین سیستم وریستور اکسید قلع SCNCr است. همچنین بمنظور ارزیابی دقیق خواص الکتریکی، تاثیر کربنات کلسیم بر پارامترهای مدل سد شاتکی بررسی می‌شود.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

ترکیب اولیه وریستور بر پایه اکسید قلع به صورت درصد مولی شامل  $X=99/24$  اکسید قلع ( $SnO_2$ )،  $0/66\%$  اکسید کبالت ( $Co_3O_4$ )،  $0/05$  اکسید کروم ( $Cr_2O_3$ )،  $0/05$  اکسید نئوبوم ( $Nb_2O_5$ ) و مقدار کربنات کلسیم ( $CaCO_3$ )  $0/5$ ،  $0/25$ ،  $0/1$ ،  $X=0/05$  است که ترکیبات مختلف بصورت مخفف با نماد SCNCrCaX نمایش داده شده است. مخلوط مواد اولیه در آسیاب پرانرژی به مدت ۲ ساعت در محیط آبی آسیاب شدند. پس از خشک کردن، محلول ۲ درصد پلی وینیل الکل به مخلوط اضافه شده و بمنظور گرانول کردن از الک با مش ۴۰ عبور داده می‌شود. برای شکل دهی قرص خام از فشار ۲۰۰ مگاپاسکال استفاده شد. قرص‌های خام به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت گرمایش و سرمایش ۲ درجه بر دقیقه حرارت‌دهی شدند. از روش ارشمیدس برای اندازه‌گیری دانسیته استفاده شد. آنالیز فازی توسط آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) توسط دستگاه (Philips-Pw3710) انجام شد. بررسی‌های ریزساختاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO - Germany انجام شد. بمنظور الکتروود گذاری، خمیر نقره بر سطح پولیش شده قرص‌ها اعمال شد و در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت‌دهی شد. منحنی شدت جریان بر حسب میدان الکتریکی با استفاده از مولتی متر Keithley2410 رسم شد. ولتاژ اعمالی در ۱ میلی آمپر بر سانتی متر مربع بعنوان ولتاژ شکست اندازه‌گیری شد و ضریب غیرخطی ( $\alpha$ ) از لگاریتم نسبت ولتاژ در جریان ۱ میلی آمپر به ولتاژ در ۱۰ میلی آمپر طبق رابطه (۱) محاسبه شد. همچنین ضریب خطی اصلاح شده ( $\beta$ ) از نسبت ضریب غیرخطی به ولتاژ شکست طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\alpha = 1 / \log \left( \frac{E_{10mA/cm^2}}{E_{1mA/cm^2}} \right) \quad (1)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{E_{1mA/cm^2}} \quad (2)$$

ضریب دی‌الکتریک نسبی و امپدانس قرص‌های زینتر شده در فرکانس ۱۰ Hz با استفاده از دستگاه Agilent HP 4291 اندازه‌گیری شد. برای محاسبه تاثیر کربنات کلسیم بر پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه یک ولتاژ مستقیم در محدوده ۰-۳۵ ولت که با یک ولتاژ متناوب به دامنه ۱ ولت و فرکانس kHz بر آن همراه است را بر قرص‌های وریستور اعمال نموده و تغییرات ظرفیت خازنی ثبت شد و سپس با استفاده از رابطه ۳ و رسم منحنی  $\left( \frac{1}{C} - \frac{1}{2C_0} \right)^2$  بر حسب ولتاژ، پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه از قبیل ارتفاع سد شاتکی، دانسیته اهداکننده‌ها و عرض ناحیه تخلیه محاسبه شد [۱۱].



$$\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{2C_0}\right)^2 = \frac{2p^2}{A^2 e \epsilon_0 \epsilon_r N_d} \left(\phi_b + \frac{V}{p}\right) \quad (3)$$

که  $C$  ظرفیت خازنی در ولتاژهای مستقیم،  $C_0$  ظرفیت خازنی در ولتاژ مستقیم صفر،  $p$  تعداد دانه،  $A$  مساحت الکتروود؛  $N_d$  دانسیته اهداکننده‌ها،  $\phi_b$  ارتفاع سدشاکتی،  $V$  ولتاژ مستقیم اعمالی،  $\epsilon_r$  ضریب دی الکتریک نسبی اکسید قلع است. همچنین از رابطه (۳) و (۴) برای محاسبه دانسیته حالات در مرزدانه  $N_{IS}$  و عرض ناحیه تخلیه  $w$  استفاده شد.

$$N_{IS} = \left(\frac{2\epsilon_r \epsilon N_d \phi_b}{e}\right)^{0.5} \quad (4)$$

$$W = \frac{N_{IS}}{N_d} \quad (5)$$

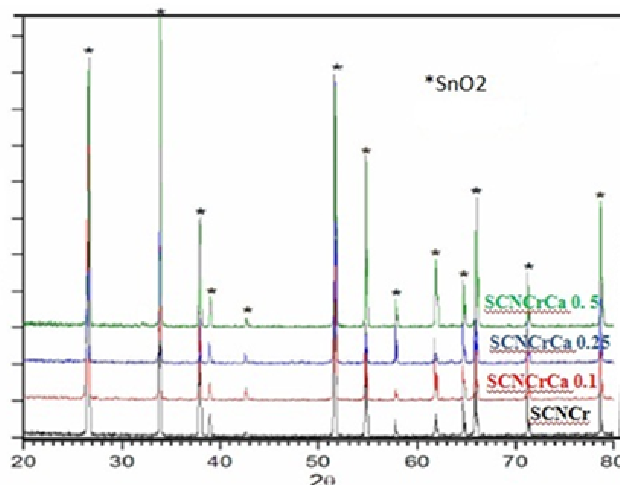
### ۳- نتایج و بحث

در جدول ۱، تاثیر افزودن کربنات کلسیم بر دانسیته قرص‌های وریستور اکسید قلع ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود با افزایش میزان کربنات کلسیم، دانسیته نسبی نمونه‌ها کاهش می‌یابد بطوریکه در نمونه بدون کربنات کلسیم SCNcr، دانسیته نسبی از ۹۹ درصد به ۹۷/۵ درصد در نمونه SCNcrCa0.5 کاهش یافته است.

**جدول ۱-** تاثیر افزودن کربنات کلسیم بر دانسیته نسبی، اندازه دانه، ضریب دی‌الکتریک و امپدانس در فرکانس ۱۰ kHz در قرص‌های وریستور اکسید قلع

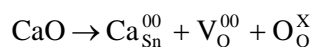
نمونه	دانسیته نسبی (%)	اندازه دانه $\mu m$	تعداد فاز	ضریب دی الکتریک نسبی ( $\epsilon_r$ )	امپدانس ( $Z$ ) $k\Omega$
SCNcr	۹۹	۲/۶	تکفاز	۸۶۲	۸۸
SCNcrCa0.05	۹۹	۲/۸	تکفاز	۹۰۰	۶۳
SCNcrCa0.1	۹۸/۵	۳/۷	تکفاز	۱۰۰۰	۵۷
SCNcrCa0.25	۹۸	۴/۵	تکفاز	۱۱۰۰	۴۰
SCNcrCa0.5	۹۷/۵	۲/۲	تکفاز	۴۳۷	۱۲۲

شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) را از نمونه‌های وریستور اکسید قلع که با کربنات کلسیم دوپ شده‌اند را نشان می‌دهد. در اثر افزودن کربنات کلسیم هیچ گونه فاز ثانویه‌ای ایجاد نمی‌شود و در تمام الگوها فقط فاز اکسید قلع در محدوده دقت XRD قابل شناسایی است.

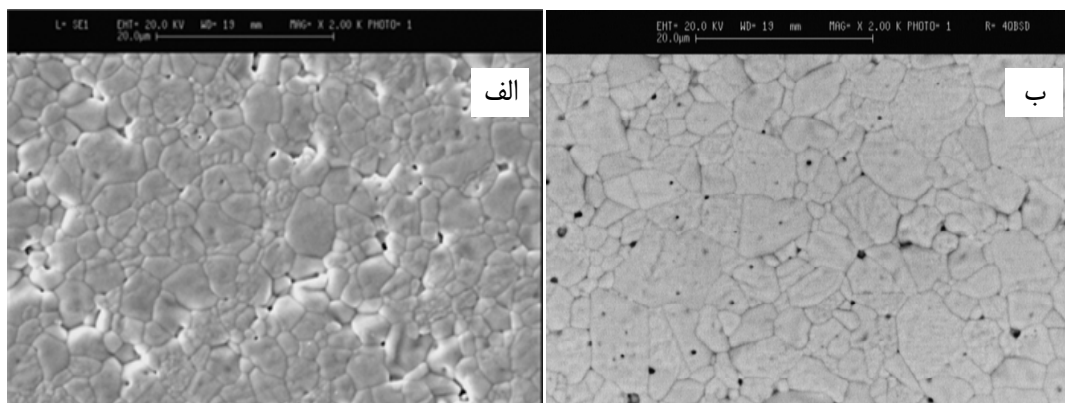


شکل ۱- الگوی XRD از نمونه‌های مختلف دوپ شده با کربنات کلسیم زینتر شده در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

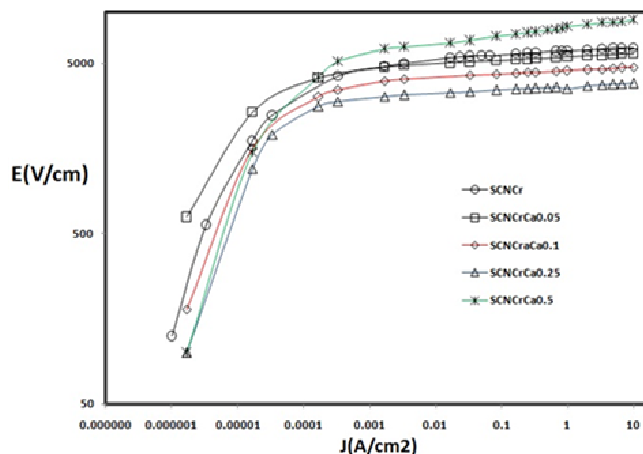
گزارش شده است که کربنات کلسیم در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به اکسید کلسیم و گاز دی‌اکسید کربن تجزیه می‌شود. شعاع یونی کلسیم ۱۱۱ پیکومتر در مقایسه با شعاع یونی قلع ۸۳ پیکومتر اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد و بنظر می‌رسد که حالیت اکسید کلسیم در اکسید قلع در دمای زینتر ناچیز باشد البته می‌تواند در شبکه اکسید قلع طبق واکنش زیر جایگزین شود [۱۰]:



در اثر این جایگزینی، جای خالی اکسیژنی ایجاد می‌شود که می‌تواند سبب بهبود چگالش اکسید قلع شود اما در اینجا در اثر افزودن کربنات کلسیم دانسیته کاهش می‌یابد بنابراین در یک نمونه اکسید کبالت را حذف نموده و فقط کربنات کلسیم افزوده شد دیده شد که هیچ گونه چگالشی در سیستم اکسید قلع اتفاق نیافتاده است پس بنظر می‌رسد که کربنات کلسیم بر خلاف آنچه گزارش شده است تاثیر چندانی در چگالش ندارد [۱۰]. علت کاهش دانسیته در اثر افزودن کربنات کلسیم را می‌توان در شکل ۲ مشاهده نمود. همانطور که دیده می‌شود در اثر افزودن کربنات کلسیم به سیستم SCNCr، تخلخل‌های بسته میان دانه‌ای در آن افزایش یافته است که این امر می‌تواند ناشی از تجزیه کربنات کلسیم باشد و عدم حذف حفرات ایجاد شده ناشی از این پدیده در حین زینترینگ باشد. در شکل ۲ دیده می‌شود که هیچ گونه فاز ثانویه ای در تصاویر SEM دیده نمی‌شود و در اثر افزودن کربنات کلسیم تا ۰/۲۵ درصد مولی رشد دانه و افزایش تخلخل را سبب شده است. تاثیر کربنات کلسیم بر رشد دانه و ریزتور اکسید قلع در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود افزودن کربنات کلسیم تا ۰/۲۵ درصد مولی در نمونه SCNCrCa0.25 سبب رشد دانه از ۲/۶ میکرومتر به ۵/۴ میکرومتر شده است که می‌تواند ناشی از افزایش تشکیل جای خالی اکسیژنی باشد که سبب تسریع فرایندهای نفوذی رشد دانه می‌شود. اما با افزایش کربنات کلسیم تا مقدار ۰/۵ در نمونه SCNCrCa0.5، اندازه دانه به ۲/۲ میکرومتر کاهش یافته است. این پدیده بنظر می‌رسد ناشی از رسوب فاز ثانویه نانومتری  $\text{CaSnO}_3$  در مرز دانه‌ها باشد که سبب کاهش رشد دانه می‌شود و گزارش شده است این فاز ثانویه در درصدهای بالاتر از ۱ درصد مولی کربنات کلسیم در الگوی XRD قابل تشخیص است [۱۲].



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از دو نمونه الف (SCNCr) ب (SCNCrCa0.25)



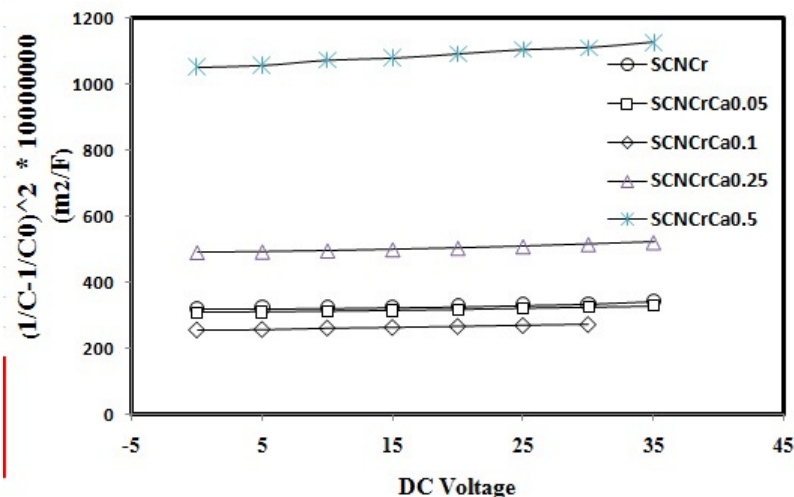
شکل ۳- منحنی شدت جریان الکتریکی بر حسب میدان الکتریکی برای نمونه‌های مختلف دوپ شده با کربنات کلسیم

در شکل ۳، منحنی شدت جریان الکتریکی بر حسب میدان الکتریکی برای قرص‌های مختلف دوپ شده با کربنات کلسیم ارائه شده است. ولتاژ شکست ( $E_b$ ) و ضریب غیرخطی ( $\alpha$ ) بدست آمده از این منحنی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- تاثیر افزودن کربنات کلسیم بر خواص غیرخطی وریستور اکسید قلع و تاثیر آن بر پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه

نمونه	ولتاژ شکست ( $E_b$ ) Kv/cm	ضریب غیرخطی $\alpha$	ضریب غیرخطی اصلاح شده $\beta$	ارتفاع سد شاتکی ( $\phi_B$ ) ev	عرض ناحیه تخلیه (w) nm	دانسیتته اهداکننده ( $N_D$ ) $m^{-3}$	دانسیتته حالات در مرزدانه ( $N_{II}$ ) $m^{-2}$
SCNCr	۶	۶۲	۱۰,۳	۱,۸	۷۳	$۵,۳ \times 10^{23}$	$۳,۹ \times 10^{16}$
SCNCrCa0.05	۵,۵	۵۲	۹,۴۵	۱,۷	۶۰	$۳,۹ \times 10^{23}$	$۲,۴ \times 10^{17}$
SCNCrCa0.1	۴,۵	۴۸	۱۰,۶	۱,۹	۶۱	$۴ \times 10^{23}$	$۳ \times 10^{16}$
SCNCrCa0.25	۳,۵	۴۹	۱۴	۲,۲	۴۳	$۲,۳ \times 10^{24}$	$۱ \times 10^{17}$
SCNCrCa0.5	۸,۲	۲۳	۲,۸	۱	۱۰۰	$۱ \times 10^{23}$	$۱ \times 10^{16}$

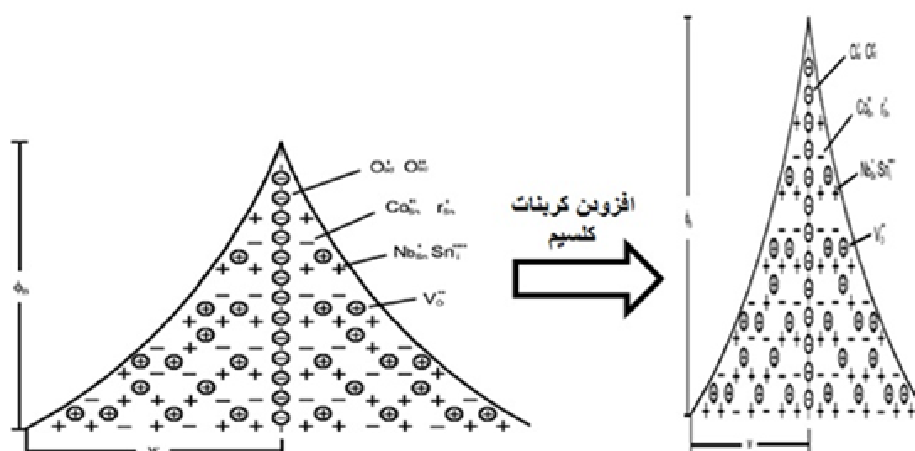
همانطور که دیده می‌شود ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی در قرص SCNCr به ترتیب ۶ و ۶۲ kv/cm است که مقدار ضریب غیرخطی مطابقت خوبی با مقادیر گزارش شده دارد [۱۳]. در اثر افزودن کربنات کلسیم، هم ولتاژ شکست و هم ضریب غیرخطی تا نمونه SCNCrCa0.25 کاهش می‌یابد بطوریکه که ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی در نمونه SCNCrCa0.25 به ترتیب ۳/۵ و ۴۹ می‌باشد و با افزودن بیشتر کربنات کلسیم در نمونه SCNCrCa0.5، ولتاژ شکست افزایش شدیدی تا ۸/۲ kv/cm دارد در عین حال ضریب غیرخطی به مقدار ۲۳ کاهش می‌یابد. همین روند را نیز در مقاومت ظاهری نمونه در جدول ۱ مشاهده می‌شود بطوریکه مقاومت ظاهری از ۸۸ k $\Omega$  در نمونه SCNCr به مقدار ۴۰ k $\Omega$  در نمونه SCNCrCa0.25 کاهش یافته است در حالیکه مجدداً در نمونه SCNCrCa0.5 تا ۱۲۲ k $\Omega$  افزایش یافته است. علی‌رغم پایین‌تر بودن ضریب غیرخطی SCNCrCa0.25 نسبت به سایر نمونه‌ها بجز SCNCrCa0.5، این نمونه دارای بزرگترین مقدار ضریب غیرخطی اصلاح شده ( $\beta$ ) با مقدار ۱۴ است و این وریستور از حساسیت بیشتری نسبت به میدان الکتریکی برخوردار است حتی نسبت به نمونه SCNCr که دارای ضریب غیرخطی ۶۰ است زیرا ضریب غیرخطی اصلاح شده در نمونه SCNCr، ۱۰/۳ است بنابراین نمونه SCNCrCa0.25 می‌تواند گزینه مناسب‌تری نسبت به سیستم وریستوری SCNCr باشد.



شکل ۴- تغییرات ظرفیت خازنی بر حسب ولتاژ مستقیم در نمونه‌های مختلف دوپ شده با کربنات کلسیم

علی‌رغم اینکه در وریستورها ولتاژ شکست با اندازه دانه رابطه مستقیم دارد از مقایسه ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی با اندازه دانه در جدول ۱ دیده می‌شود که این تاثیر چندان مشهود نیست به طوریکه در نمونه‌های SCNCr و SCNCrCa0.5 که اندازه

دانه تقریباً مشابه است اما ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی کاملاً متفاوت است بنابراین بنظر می‌رسد این تغییرات ناشی از تاثیر کربنات کلسیم بر ریزساختار و شیمی عیوب مرزدانه در مدل سد شاتکی دوگانه باشد. در شکل ۴ تغییرات ظرفیت خازنی بر حسب اعمال ولتاژ مستقیم ارائه شده است و پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه مشتق شده از آن در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود که با افزایش کربنات کلسیم، ارتفاع سد شاتکی به صورت منظم تغییر نمی‌کند اما بیشترین ارتفاع سد شاتکی در نمونه SCNCCrCa0.25 مشاهده می‌شود. عرض ناحیه تخلیه با افزایش کربنات کلسیم از ۷۸ نانومتر SCNCCr در نمونه به ۴۰ نانومتر در نمونه SCNCCrCa0.25 کاهش می‌یابد اما در نمونه SCNCCrCa0.5 تا ۱۰۰ نانومتر افزایش می‌یابد. از لحاظ مدل فیزیکی سد شاتکی دوگانه، کارایی بهتر وریستور ناشی از ارتفاع سد شاتکی بزرگتر و عرض ناحیه تخلیه کوچک است [۲] که این مشخصات در نمونه SCNCCrCa0.25 مشاهده می‌شود زیرا دارای بیشترین ارتفاع سد شاتکی و کمترین عرض ناحیه تخلیه است که سبب می‌شود ضریب غیرخطی اصلاح شده ۱۴ باشد که بیشترین مقدار را داراست و در عین حال نمونه SCNCCrCa0.5 دارای کمترین کارایی وریستور از لحاظ مدل فیزیکی سد شاتکی دوگانه است زیرا دارای بزرگترین عرض ناحیه تخلیه و کمترین ارتفاع سد شاتکی است که با ضریب غیرخطی اصلاح شده ۲/۸ در آن که به صورت تجربی محاسبه شده است مطابقت خوبی دارد. دلیل این رفتار نمونه SCNCCrCa0.25 را می‌توان به حضور یون کلسیم در مرزدانه و تغییر شیمی عیوب مرزدانه مرتبط دانست افزایش مقدار یون کلسیم، سبب جدایش فاز ثانویه در مرزدانه و کاهش خواص الکتریکی می‌شود [۱۴]. بصورت شماتیک تاثیر ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم در نمونه SCNCCrCa0.25 بر مدل سد شاتکی دوگانه در سیستم SCNCCr در شکل ۵ رسم شده است. این نتایج با نتایج ضریب دی الکتریک نسبی در جدول ۱ در نمونه‌های مختلف همخوانی خوبی دارد. ضریب دی الکتریک نسبی اکسید قلع خالص در حدود ۱۴ است بدلیل ایجاد سدهای شاتکی در وریستور ضریب دی الکتریک افزایش می‌یابد و ضریب دی الکتریک نسبی در نمونه SCNCCrCa0.25 بیشترین مقدار را دارا می‌باشد که ناشی از تشکیل سدهای شاتکی تیز در این نمونه است [۱۵].



شکل ۵- تاثیر افزودن ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم بر مدل سد شاتکی سیستم وریستوری SCNCCr

#### ۴- نتیجه گیری

- در اثر افزودن کربنات کلسیم به کاربردی ترین سیستم وریستور اکسید قلع تا ۰/۲۵ درصد مولی، اندازه دانه افزایش یافت و با افزایش بیشتر تا ۰/۵ درصد مولی اندازه دانه کاهش یافت. در ضمن هیچ گونه فاز ثانویه‌ای در این نمونه‌ها قابل مشاهده نبود.
- علی‌رغم کاهش ولتاژ شکست و ضریب غیرخطی در نمونه دوپ شده با ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم در مقایسه با نمونه بدون کربنات کلسیم، این نمونه دارای بیشترین ضریب غیرخطی اصلاح شده و در حدود ۱۴ بود که سبب کارایی بهتر وریستور از لحاظ تجربی نسبت به نمونه بدون کربنات کلسیم می‌شود و می‌تواند جایگزین آن شود.

- ارزیابی‌های پارامترهای مدل سد شاتکی دوگانه در نمونه‌های مختلف نشان داد که ضریب غیرخطی اصلاح شده بالاتر نمونه دوپ شده با ۰/۲۵ درصد مولی کربنات کلسیم ناشی از ارتفاع سد شاتکی بیشتر و عرض ناحیه تخلیه کوچکتر در مقایسه با سایر نمونه‌هاست.

## مراجع

- [1] T. K. Gupta, "Application of Zinc Oxide Varistors" J. Am. Ceram. Soc. Vol73, pp 1817-1840 ,1990.
- [2] D. R. Clarke, "Varistor Ceramics", J. Am. Ceram. Soc, Vol 82, pp 485-502,1999.
- [3] M. Matsouka, "nonohmics property of zinc varistors", Japan journals of applied physics, Vol10, pp 634-644 ,1976.
- [4] Paulo R. Bueno, "SnO<sub>2</sub>, ZnO and related polycrystalline compound semiconductors:An overview and review on the voltage-dependent resistance(non-ohmic) feature", J. Euro.Ceram. Soc.Vol 28,pp 505-529 , 2008.
- [5] S. A.Pianaro, P. R. Bueno, E. Longo, J. Varela, "Electrical Properties of SnO<sub>2</sub> based Varistor", j.Mater. sci.: Mater in Electronic,Vol 9,pp159-165 ,1998
- [6] M. A. Ramí rez, W. Bassi, R. Parra, P. R. Bueno, "E. Longo, Comparative Electrical Behavior at Low and High Current of SnO<sub>2</sub>- and ZnO-Based Varistors", J. Am. Ceram. Soc., Vol91,pp 2402-2404 ,2008
- [7] M. R. Cássia-Santos, V. C. Sousa, M. M. Oliveira, F. R. Sensato, W. K. Bacelar, "Recent research developments in SnO<sub>2</sub>-based varistors", Materials Chemistry and Physics.,Vol90, pp 1-9 ,2005
- [8] J A Aguilar-Martínez, A B Glot, A V Gaponov, M B Hernáandez, "Current-voltage characteristics of SnO<sub>2</sub>-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ceramics", J. Phys. D: Appl. Phys.Vol42,pp 205401, 2009
- [9] M. M. Oliveira, P. R. Bueno, E. Longo, J. A. Varela, "Influence of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CeO<sub>2</sub> on the nonlinear properties of SnO<sub>2</sub> multicomponent varistors", Mater. Chem. and Phys.,Vol74,pp 150-153, 2002
- [10] A Aguilar-Martínez, M B Hernáandez, A B Glot, "Microstructure and electrical properties in SnO<sub>2</sub> ceramics with sequential addition of Co, Sb and Ca", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol40 , pp7097-7102, 2007
- [11] P. R. Bueno, M. R. de Cassia-Santos, E. R. Leite, E. Longo, J. Bisquert, "Nature of the Schottky-type barrier of highly dense SnO<sub>2</sub> systems displaying nonohmic behavior", J. Appl. Phys.Vol 88, pp 6545 , 2000,
- [12] J. A. Aguilar-Martínez,A. Durán-Régulesc, A. B. Glot, "Effect of CaO on the microstructure and non-ohmic properties of (Co,Sb)-doped SnO<sub>2</sub> varistors", REVISTA MEXICANA DE FÍSICA., Vol54 ,pp 20-24 , 2008
- [13] Qiaoyuan Wei, Jinliang He,† Jun Hu, and Yunchao Wang, "Influence of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Residual Voltage Ratio of SnO<sub>2</sub>-Based Varistor", J. Am. Ceram. Soc.,Vol94 ,pp1999-2002 ,2011
- [14] M. M. Oliveira, P. C. Soares Jr, P. R. Bueno, E. R. Leite, E. Longo, J. A. Varela, "Grain-boundary segregation and precipitates in La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doped SnO<sub>2</sub>.CoO-based varistors", J.Euro.Cer. Soc., 23:1875-1880(2003)
- [15] R. Bueno, S. A. Pianaro, E. C. Pereira, L. O. S. Bulhões, E. Longo, "Investigation of the electrical properties of SnO<sub>2</sub> varistor system using impedance spectroscopy", J. Appl. Phys., 8:( 1998)

## مواد گرادیانی (FGM): روش‌های ساخت و کاربردها

ناصر بیات، محمد مسعود محبی، شیوا رودشتی

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



مهندس ناصر بیات، نویسنده  
مسئول این مقاله، دانشجو  
فوق لیسانس سرامیک دانشگاه  
بین‌المللی امام خمینی (ره)

naserbayatt@gmail.com

**چکیده:** مواد گرادیانی یا Functionally Graded Materials (FGM) به موادی گفته می‌شود که ساختار و خواص آن‌ها به‌طور تدریجی در نقاط مختلف قطعه تغییر می‌کند. این نوع طراحی منجر به ایجاد ساختاری متناسب با عملکرد و شرایط کاری هر بخش از قطعه می‌شود. پوشش‌های سد حرارتی، مواد دندان، ابزارهای سایشی و برشی و سلول‌های سوختی از کاربردهای FGM است که توسعه یافته است. در این مقاله ابتدا مواد FGM معرفی شده‌اند. سپس روش‌های ساخت آن بررسی شده و در پایان برخی از کاربردهای آن ذکر شده است.

**کلمات کلیدی:** FGM، مواد گرادیانی، مواد با ساختار تدریجی، مواد چندسازه.

### ۱- مقدمه

FGM ها موادی هستند که دارای تغییری تدریجی در ترکیب یا ساختار بوده که در یک یا چند جهت از قطعه رخ می‌دهد و منجر به تغییر خواص در آن جهات می‌شود [۱]. این مواد معمولاً وقتی به کار می‌روند که قطعه‌ای همزمان نیاز به ویژگی‌های متفاوت داشته باشد یا اینکه بخواهیم دو ماده با خواص متفاوت را به هم اتصال دهیم. مثلاً ساینده‌ها که همزمان نیاز به سختی و انعطاف‌پذیری بالا دارند تا هم بتوانند کار سایش را انجام دهند و هم در برابر تنش‌های وارد شده دچار شکست نشوند. مثال دیگر پوشش‌های سد حرارتی<sup>۱</sup> هستند که باید یک پوشش سرامیکی روی زیر لایه‌ای فلزی قرار بگیرد و بنابراین نیازمند یک لایه میانی بین این دو لایه است که خواصی مرکب از خواص دو لایه دیگر داشته باشد.

یک راه برای فراهم آوردن این ویژگی‌ها استفاده از مواد چندسازه<sup>۲</sup> است. مواد چندسازه دسته‌ای از مواد پیشرفته هستند که از ترکیب دو یا چند ماده تشکیل شده‌اند و خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها ترکیبی مطلوب از مواد اولیه است. در واقع بخشی از خواص مورد نظر را یکی از مواد و بخش دیگر را ماده دوم تأمین می‌کند. اما استفاده از این مواد محدودیت‌های خاصی دارند. به علت اینکه هر دو فاز در تمام قطعه به یک نسبت پراکنده شده‌اند، نمی‌توان درجایی که نیاز به خواص بیشتری از یکی از دو ماده باشد، آن خاصیت را تأمین کرد. برای مثال در مورد ساینده‌ها، مطلوب‌تر آن است که در سطح مواد با سختی بالاتر و در بدنه موادی با انعطاف‌پذیری بیشتر به کار برده شود. یا در مورد لایه میانی پوشش سرامیکی و زیر لایه فلزی، بهتر است ماده چندسازه به کار برده شده در نزدیکی لایه فلزی، فلز بیشتر و در نزدیکی لایه سرامیکی، سرامیک بیشتری داشته باشد تا بر اثر اختلاف ضریب انبساط حرارتی پدیده لایه‌ای شدن رخ ندهد. لذا در این چنین مواردی از FGM ها که نسل جدیدتری از مواد مرکب هستند استفاده می‌شود [۲-۵]

نمونه‌ای از ساختار FGM در به شکل طرحواره شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل یک اتصال فلز-سرامیک دیده می‌شود که در آن تغییر فاز به شکل تدریجی انجام شده است. ابتدا ناخالصی‌هایی از هر فاز در زمینه‌ای از فاز دیگر وارد می‌شود. بعد از آن شاهد یک ناحیه انتقالی هستیم که تقریباً هر دو فاز میزانی برابر دارند و اتصال در همین ناحیه رخ می‌دهد. [۶]

<sup>1</sup> Thermal barrier coating

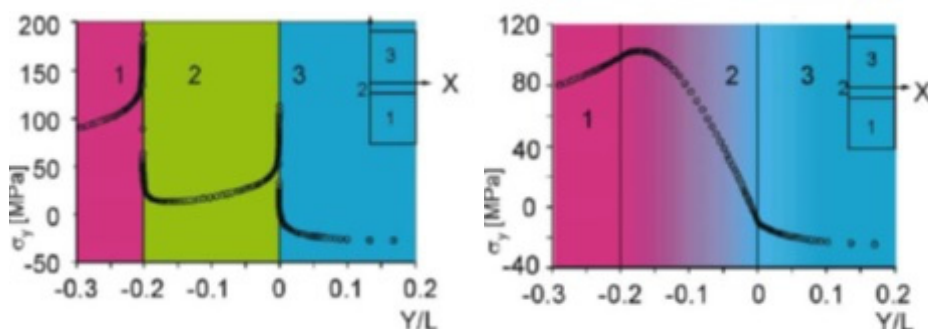
<sup>2</sup> Composites



شکل ۱- طرح‌واره‌ای از ساختار یک نمونه FGM [۲]

استفاده از مواد با ساختار FGM دارای مزایایی است که عبارتند از:

- ۱- کاهش نیروی محرکه رشد ترک
- ۲- افزایش استحکام اتصالات
- ۳- کنترل خواص به شکل موضعی
- ۴- جلوگیری از افزایش ناگهانی تنش در فصل مشترک: برای درک بهتر این موضوع دو ساختار را در نظر می‌گیریم. اول وقتی که دو فاز متفاوت با یک لایه میانی همگن به هم متصل باشند، و دیگری وقتی ترکیب لایه میانی به آرامی از یکی از فازها به دیگری تغییر می‌کند. توزیع تنش این دو حالت در دیده می‌شود. ملاحظه می‌شود که تنش محاسبه‌شده در دو فصل مشترک لایه میانی همگن با لایه‌های دیگر تجمع تنش رخ داده است (شکل ۲-الف) در حالی که در مورد ساختار با لایه میانی FGM شده این تجمع تنش رخ نداده و حداکثر مقدار تنش به مراتب کمتر است. (شکل ۲-ب) که این به معنی عمر طولانی‌تر قطعه هست [۷].
- ۵- کاهش تنش حرارتی در نقطه اتصال [۴، ۸].



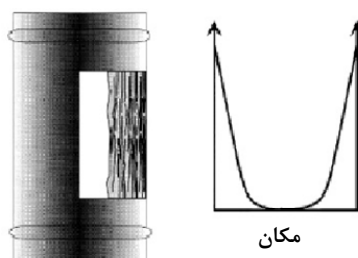
شکل ۲- توزیع تنش در دو ساختار چندلایه: بالا فاز میانی همگن و متفاوت از دو فاز دیگر؛ پایین فاز میانی FGM از دو فاز دیگر [۷]

## ۲- تاریخچه توسعه

با اینکه در انتهای قرن بیستم تلاش علمی برای توسعه مواد FGM آغاز شد، اما این مواد کاملاً جدید محسوب نمی‌شوند. در واقع تغییر ریزساختار مواد در اندام زنده وجود داشته است. در خیزران<sup>۱</sup> و جو و بسیاری از گیاهان دیگر ریزساختارهایی به شکل گردیانی شکل گرفته است تا ساختاری با عملکرد بهینه و با حداقل استفاده از ماده به وجود آید. مثلاً ساقه خیزران متشکل از

<sup>1</sup> Culm of bamboo

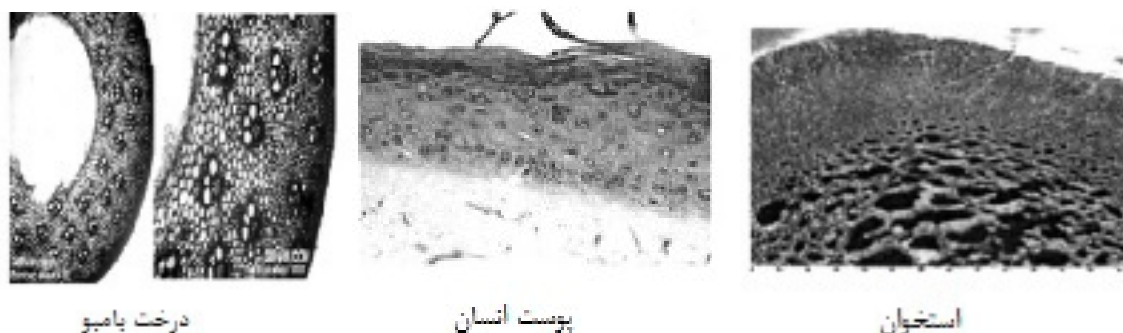
رشته‌های طبیعی با استحکام بالا است که در زمینه‌ای از سلول‌های عادی قرار گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود رشته‌ها در مقطعی عرضی ساقه خیزران به شکل یکنواخت توزیع نشده است و به سمت درون میزان رشته‌ها کاهش می‌یابد [۹]. صدف حلزون و بسیاری از بافت‌های بدن انسان مانند استخوان‌ها، دندان‌ها، رگ‌ها و پوست بدن هم ساختار تدریجی دارند [۱۰]. استخوان‌ها هم ساختار گرادایانی دارند [۱۱]. حتی پوست انسان هم دارای ساختار تدریجی است [۳]. نمونه‌هایی از ساختارهای گرادایانی طبیعی در شکل ۴ دیده می‌شود.



الف) ساقه خیزران

ب) توزیع رشته

شکل ۳- برش افقی از یک ساقه خیزران و توزیع رشته در آن [۹]



درخت بامبو

پوست انسان

استخوان

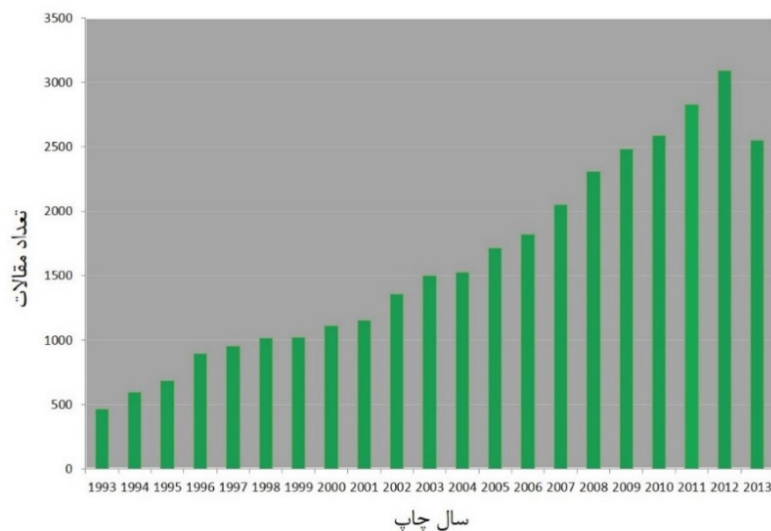
شکل ۴- نمونه‌هایی از ساختار گرادایانی در طبیعت [۳]

مثال‌هایی هم برای ساختار FGM در مواد ساخت بشر دیده می‌شود. معروف‌ترین آن‌ها فولاد کربن‌دهی شده است که برای ساخت شمشیر از آن استفاده می‌شده است. می‌توان با عملیات کربن‌دهی سطحی سختی سطح فولاد را که در معرض سایش قرار دارد، افزایش داد و در عین حال انعطاف‌پذیری بدنه فولاد را نیز حفظ کرد [۱۲-۱۴].

در سال ۱۹۷۲ بور و داووز [۱۵] و شن و بور [۱۶] نشان دادند استفاده از مواد چندسازه با ساختار FGM به لحاظ نظری سودمند است، اما شاید به علت محدودیت‌های فناوری تا سال ۱۵ کار آن‌ها در جامعه علمی اثر چندانی نداشت. اولین تحقیقات گسترده و هدفمند در ژاپن برای تولید مواد با ساختار FGM و در یک برنامه تحقیقاتی ملی آغاز شد [۱۷]. از سال ۱۹۸۴ دانشمندان ژاپنی به دنبال ماده‌ای می‌گشتند که بتواند در مقابل شار گرمایی بالایی که در اثر بازگشت فضاپیماها به جو ایجاد می‌شود مقاومت کند. این تحقیقات که منجر به توسعه مواد FGM گردید [۱۸].

از آن زمان تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مواد FGM صورت پذیرفته است و این مواد کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند. روند مقالات منتشر شده در زمینه FGM در بیست سال اخیر در شکل ۵ نشان از رشد مداوم علاقه محققان به این موضوع است. در ایران هم از سال ۲۰۰۲ روند جدی تحقیقات روی این مواد آغاز شده و به سرعت رشد یافته است، به گونه‌ای که مطابق جدول ۱ هم‌اکنون ایران از نظر تعداد مقاله رتبه ۱۲ را در چاپ مقالات ISI مرتبط با مواد گرادایانی دارد. از نظر کیفی هم مقالات ایرانی مرتبط با FGM رشد قابل توجهی داشته‌اند. این را می‌توان از افزایش ارجاع به مقالات ایرانی دریافت که در شکل ۶ نشان داده شده است. با این وجود هنوز با کشورهای پیشرو فاصله‌ی محسوسی وجود دارد. متوسط ارجاع به هر مقاله آمریکایی مرتبط با FGM برابر ۲۳/۹۸ و آلمانی ۱۶/۵۰ است، در حالی که این مقدار برای مقالات ایرانی ۵/۶۹ می‌باشد.

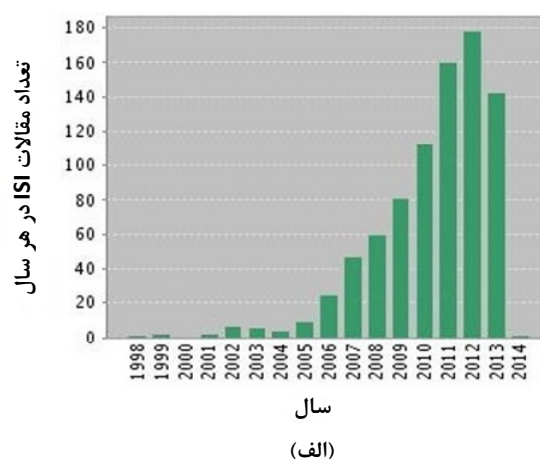
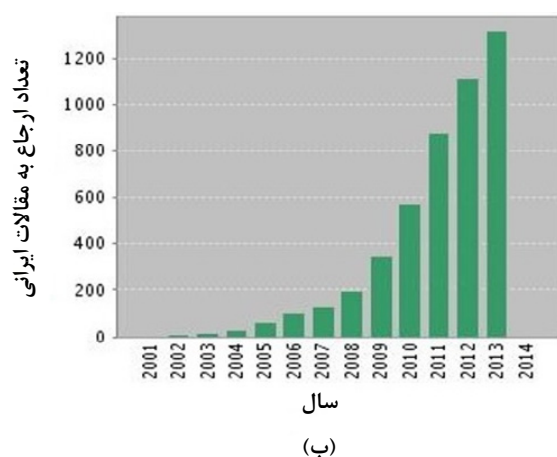




شکل ۵- مقالات ISI چاپ شده در ۲۰ سال اخیر با موضوع مواد FGM [۱۹]

جدول ۱- رده بندی کشورهای جهان برای تولید مقالات ISI در مورد FGM [۱۹]

ردیف	نام کشور	تعداد مقالات ISI	درصد	ردیف	نام کشور	تعداد مقالات	درصد
۱	آمریکا	۸۷۹۳	۲۹/۰۴	۹	کانادا	۱۳۴۲	۳/۹۸
۲	آلمان	۳۱۵۷	۹/۳۷	۱۰	ترکیه	۱۰۸۹	۳/۲۳
۳	چین	۲۶۲۲	۷/۷۸	۱۱	کره جنوبی	۱۰۵۳	۳/۱۳
۴	ژاپن	۲۲۲۵	۶/۶۱	۱۲	ایران	۸۵۳	۲/۲۵
۵	انگلیس	۱۷۹۲	۵/۳۲	۱۳	اسپانیا	۸۳۹	۲/۴۹
۶	فرانسه	۱۴۷۴	۴/۳۸	۱۴	سوئد	۸۱۷	۲/۴۳
۷	ایتالیا	۱۴۴۷	۴/۳۰	۱۵	استرالیا	۷۷۴	۲/۳۰
۸	هند	۱۳۷۶	۴/۰۹				



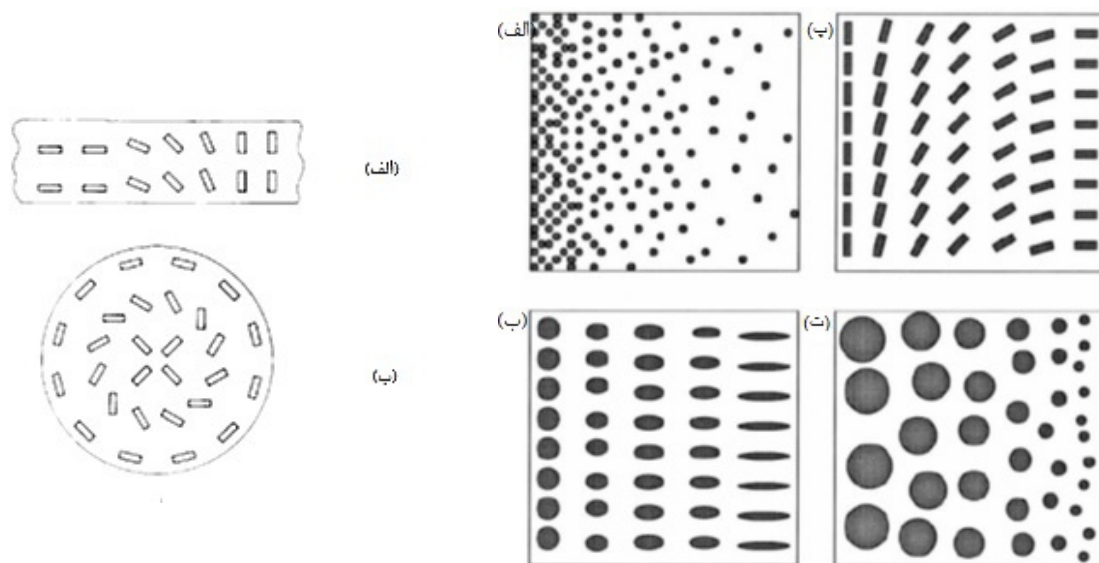
شکل ۶- روند تحقیقات FGM در ایران الف) تعداد مقالات ISI در هر سال؛ ب) تعداد ارجاع به مقالات ایرانی [۱۹]

### ۳- انواع ساختار FGM

ساختارهای FGM را می توان از جهات گوناگون دسته بندی کرد که در اینجا به چند مورد مهم اشاره می شود:

## ۳-۱- نوع تدریجی شدن

در این تقسیم‌بندی که برای مواد چندسازه کاربرد دارد، بر اساس اینکه فاز پخش شده<sup>۱</sup> چگونه در فاز زمینه توزیع شده است، انواع مختلفی از FGM خواهیم داشت که در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷- انواع مواد چندسازه FGM با تدریجی شدن فاز پخش شده در:

شکل ۸- گرادیان در جهت‌گیری فاز دوم

(الف) در صفحه (ب) در استوانه [۱۵]

(الف) مقدار (ب) شکل (پ) جهت (ت) اندازه [۹]

ملاحظه می‌شود که با تغییر در مقدار، شکل، جهت‌گیری و اندازه فاز پخش شده در فاز زمینه می‌توان انواع مختلفی از FGM داشت. در همه این انواع ویژگی در نقاط مختلف ماده بسته نوع ریزساختار متفاوت خواهد بود. مثلاً در مورد تغییر در مقدار (شکل ۷- الف) می‌توان این تغییر را با یک تابع انتقال<sup>۲</sup>  $f(x,y,z)$  بیان کرد؛ که در  $f$  درصد حجمی یکی از فازها برحسب موقعیت است. در عمل اغلب این تغییر به یک جهت، مثلاً  $z$  محدود شده و تابع انتقال این چنین خواهد بود:

$$f(z) = \left[ \frac{z}{d} \right]^p \quad (1)$$

که  $f$  درصد حجمی یکی از فازها،  $d$  ضخامت ناحیه گرادیان شده، و  $p$  اصطلاحاً توان گرادیان شدن<sup>۳</sup> هستند. [۹]

## ۳-۲- اندازه ناحیه گرادیان شده

در این تقسیم‌بندی<sup>۳</sup> دسته اصلی از FGM قرار دارند: لایه‌نازک FGM<sup>۴</sup>، فصل مشترک‌های FGM<sup>۵</sup>، بدنه‌های FGM<sup>۶</sup>. لایه‌های نازک FGM پوشش‌هایی با ضخامت ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند که به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای مشکل عدم تطبیق خواص پوشش با زیر لایه مطرح است. FGM های فصل مشترک با ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر ضخامت برای اتصال دو ماده متفاوت استفاده می‌شوند. این نوع FGM به شکل تجاری هم مورد استفاده زیادی داشته و فناوری ایجاد آن‌ها رشد یافته است. در FGM های بدنه اما ناحیه بزرگ‌تری گرادیان شده است (۱ تا ۱۰ سانتی‌متر) و حجم نسبتاً زیادی از هر دو ماده مورد استفاده قرار گرفته است. [۲۰]

## ۳-۳- پیوسته- پله‌ای

مطابق این دسته‌بندی دو نوع FGM داریم: ساختار FGM پیوسته<sup>۱</sup>، ساختار FGM پله‌ای<sup>۲</sup>

<sup>1</sup> Dispersed phase  
<sup>2</sup> Transition function  
<sup>3</sup> Gradation exponent  
<sup>4</sup> FGM films  
<sup>5</sup> Interface-FGMs  
<sup>6</sup> Bulk-FGMs

این دو ساختار در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. در ساختار پیوسته شکل ۹-الف) تغییر آرامی در ریزساختار داریم درحالی‌که در ساختار پله‌ای شکل ۹-ب) تغییرات ناگهانی در ساختار و ترکیب شیمیایی رخ می‌دهد که به ایجاد ساختاری چندلایه همراه با وجود فصل مشترک در بین لایه‌ها می‌شود. اغلب به علت نبودن روش مناسب برای ایجاد ساختار پیوسته از این ساختار استفاده می‌شود. [۲۱، ۲۲]



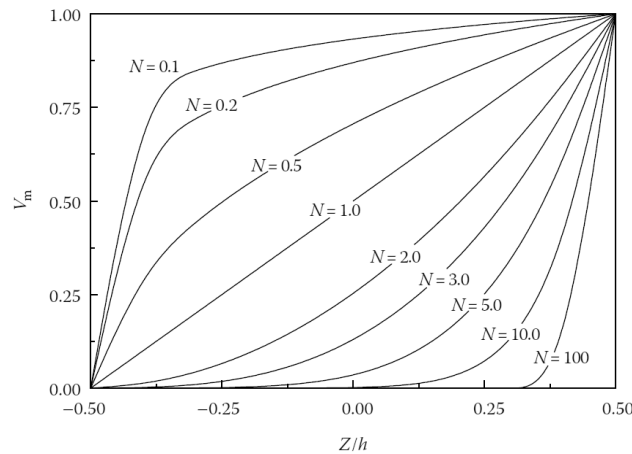
شکل ۹- طرح‌واره دو ساختار FGM: سمت چپ ساختار پیوسته، سمت راست پله‌ای [۱]

#### ۴- ملاحظات طراحی

برای درک بهتر ارتباط موقعیت در قطعه با خواص یک ساختار FGM پیوسته سرامیک - فلز را در نظر می‌گیریم. می‌توان در جهت Z رابطه زیر را برقرار دانست:

$$V_m = \left( \frac{2Z + h}{2h} \right)^N \quad (2)$$

که در آن ضخامت ساختار، Z فاصله از مبدأ و  $V_m$  کسر حجمی ماده در آن نقطه است. N توان کسر حجمی است که نوع توزیع را مشخص می‌کند. شکل ۱۰ تغییرات توزیع ترکیب به ازای مقادیر مختلف N را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- توزیع فلز در ضخامت برای مقادیر مختلف توان کسر حجمی (N) [۲۳]

از طرف دیگر برای مواد چندسازه داریم:

$$P_f = \sum_{j=1} P_j V_{fj} \quad (3)$$

که در آن ویژگی مؤثر ماده مثل مدول یانگ یا ضریب انبساط حرارتی و غیره هستند و  $V_{fj}$  و  $P_j$  هم به ترتیب حجم جزیی و ویژگی ماده هستند. لازم به ذکر است که مجموع جزء حجمی مواد باید ۱ باشد، یعنی:

<sup>1</sup> Continuous structure  
<sup>2</sup> Stepwise structure

$$\sum_{j=a} V_{ij} = 1 \quad (4)$$

با توجه به اینکه مواد FGM اغلب در دمای بالا استفاده می‌شوند، و ویژگی‌های ماده در دماهای بالا متفاوت است، باید عامل دما را هم در نظر بگیریم؛ بنابراین داریم:

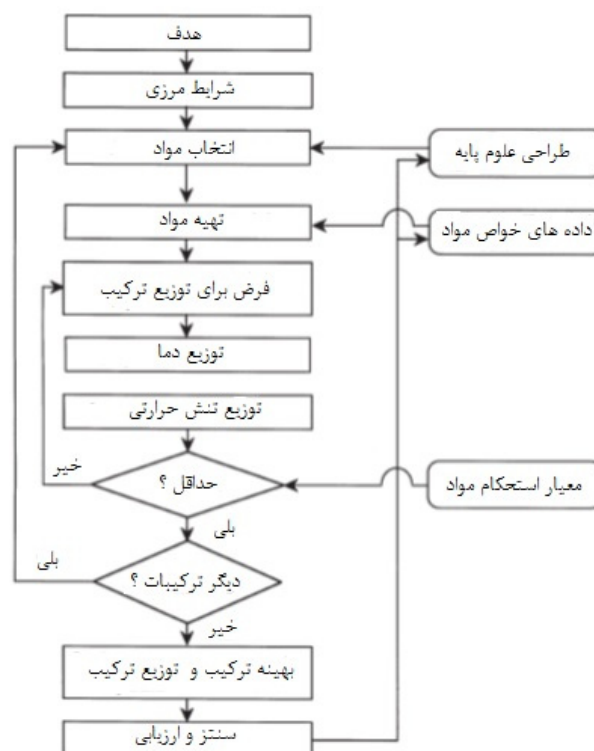
$$P_j = P_0(P_{-1}T^{-1} + 1 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3) \quad (5)$$

که ضرایب  $P_0, P_1, P_2, P_3, P_{-1}$  و ضرایب دما هستند که برای هر ویژگی متفاوت بوده و مقادیر آن در مراجع موجود است. با توجه به روابط فوق برای یک FGM دو جزیی فلز-سرامیک داریم:

$$P_f(Z, T) = [P_m(T) - P_c(T)] \left( \frac{2Z + h}{2h} \right)^N + P_c(T) \quad (6)$$

که در آن ویژگی نهایی،  $P_m(T)$  ویژگی فلز، و  $P_c(T)$  ویژگی سرامیک است. محاسبات فوق نشان می‌دهد که خواص FGM تابعی از دما و مکانی از قطعه است که خواص آن بررسی می‌شود، می‌باشد. [۲۳]

در طراحی یک سیستم FGM دو نکته باید مورد توجه قرار گیرد. یکی اینکه چگونگی تغییر ترکیب چه تأثیری روی خواص نهایی دارد. نکته دوم این است که چگونه به یک طراحی بهینه در راستای هدف مورد نظر برسیم. مثلاً برای کاهش تنش حرارتی روشی به نام «روش طراحی معکوس»<sup>۱</sup> توسعه یافته است. در این روش ابتدا ساختار هندسی و شرایط مرزی مشخص می‌شوند. سپس مواد انتخاب شده و بر اساس خواص آن‌ها یک نمونه اولیه ساخته می‌شود. توزیع دما و تنش گرمایی در آن‌ها اندازه‌گیری شده و با مقایسه با استحکام ماده قضاوت می‌کنیم که آیا به شرایط بهینه رسیده‌ایم یا نه. در صورتی که نرسیده باشیم با تغییر نسبت مواد مجدداً عملیات را تکرار می‌کنیم و این کار را ادامه می‌دهیم تا به شرایط بهینه برسیم [۲۴]. فلوچارت این روش در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱- طرحواره‌ی روش طراحی معکوس برای کاهش تنش حرارتی [۲۴]

<sup>1</sup> Inverse design procedure

## ۵- روش‌های ساخت

### ۵-۱- مقدمه

فرآیند ساخت FGM را به‌طور کلی می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد: ساختن ساختار ناهمگن فضایی<sup>۱</sup> (گرادیانی کردن<sup>۲</sup>)، انتقال این ساختار به درون یک بدنه<sup>۳</sup> (تثبیت<sup>۴</sup>)

گرادیانی کردن خود به فرآیندهای ترکیب کردن<sup>۵</sup>، همگن کردن<sup>۶</sup>، و جداسازی<sup>۷</sup> تقسیم‌بندی می‌شود. فرآیند ترکیب کردن بر مبنای ساخت گام‌به‌گام ساختار گرادیانی از پیش ماده<sup>۸</sup> و یا پودرها قرار دارد. پیشرفت‌های فناوری ماشینی شدن<sup>۹</sup> فرآیند گرادیانی کردن ترکیبی را از نظر اقتصادی و فناوری ممکن ساخته است. در فرآیند همگن‌سازی یک فصل مشترک تند و شدید بین دو ماده با انتقال ماده به فصل مشترکی گرادیانی تبدیل می‌شود. در فرآیند جداسازی یک ماده همگن با انتقال ماده‌ای که در اثر یک میدان خارجی (مانند گرانشی یا میدان الکتریکی) به یک ماده گرادیانی تبدیل می‌شود. فرآیندهای همگن‌سازی و جداسازی می‌توانند ساختارهای گرادیان پیوسته ایجاد کنند، اما در نوع گرادیان‌هایی که می‌توان با آن‌ها ایجاد کرد محدودیت وجود دارد. مرحله تثبیت معمولاً بعد از گرادیانی شدن انجام شده و شامل خشک کردن و تف جوشی و یا انجماد است [۱۷].

### ۵-۲- پودر خشک<sup>۱۰</sup>

در این فرآیند ابتدا مقدار مناسب از هر ماده را باهم ترکیب کرده و لایه‌های با ترکیب مختلف روی هم قرار داده می‌شوند. حداقل ضخامت هر لایه باید حدود ۰/۲ میلی‌متر باشد [۲۵]. در مرحله بعد پودر ترکیب‌شده به‌وسیله پرس در قالب یا پرس ایزوستاتیک گرم فشرده می‌شود. علاوه بر گرادیان ترکیب، با تنظیم شکل و اندازه پودر، گرادیان تخلخل و اندازه تخلخل هم با روش پودر خشک قابل دستیابی است. همچنین با استفاده از فضاپرن‌ها که در حین تف جوشی از ماده خارج شده و تخلخل‌هایی به‌اندازه خود را باقی می‌گذارند می‌توان این گرادیان را ایجاد نمود [۲۶]. با توسعه روش‌های ساخت بی‌قالب که در آن ترکیب و شکل هر دو توسط فایل کامپیوتری کنترل می‌شوند، این روش نیز برای ساخت ساختارهای FGM قابل کاربرد است [۲۷].

### ۵-۳- ریخته‌گری دوغابی<sup>۱۱</sup> و فیلتراسیون تحت فشار<sup>۱۲</sup>

ریخته‌گری دوغابی یک روش شکل‌دهی سنتی بر پایه پودر است و در واقع یک فرآیند فیلتراسیون است که روی دوغابی حاوی ذرات پودر اعمال می‌شود [۲۸]. اگر در این روش ترکیب شیمیایی یا اندازه دانه پودر سوسپانسیون را در حین فرآیند ریخته‌گری تغییر دهیم، یک گرادیان ایجاد می‌شود. با این روش FGM های زیرکونیا/آلومینا و آلومینا/آلومینیوم تیتانات ساخته شده است. [۲۶]

### ۵-۴- ریخته‌گری نواری<sup>۱۳</sup>

برای ساختن FGM با استفاده از ریخته‌گری نواری ابتدا نوارهای با ترکیب‌های مختلف آماده می‌شود. سپس قطعات مربعی شکل از هر کدام از نوارهای خام بریده‌شده و روی هم چیده می‌شوند. بعد از خشک شدن در دمای اتاق، برای تف جوشی حرارت دیده تا چگالی لازم را پیدا کنند. ضخامت لایه‌های به‌دست‌آمده عموماً در حد ۲۰۰ میکرومتر است. لازم به ذکر است که این روش قادر به تولید قطعات پیچیده هندسی نیست [۲۶].

<sup>1</sup> Building the spatially inhomogeneous structure

<sup>2</sup> Gradation

<sup>3</sup> Transformation of this structure into abulk material

<sup>4</sup> Consolidation

<sup>5</sup> Constitutive,

<sup>6</sup> Homogenizing

<sup>7</sup> Segregating

<sup>8</sup> Precursor

<sup>9</sup> Automation technology

<sup>10</sup> Dry powder processing

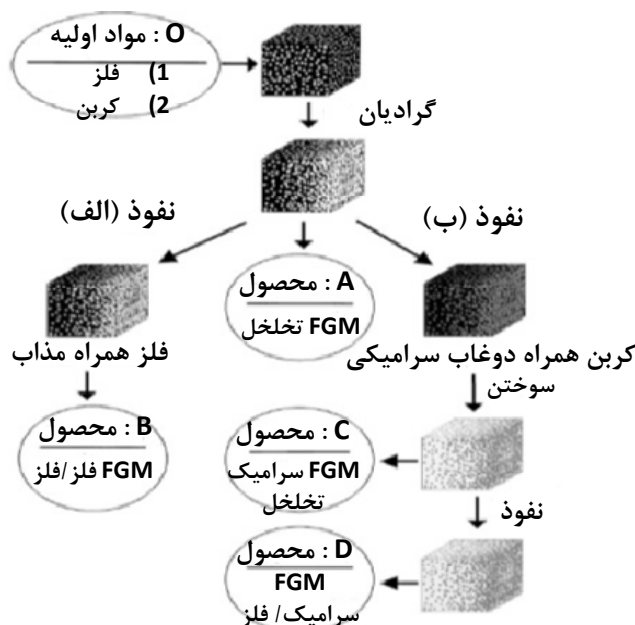
<sup>11</sup> Slip casting

<sup>12</sup> Pressure filtration

<sup>13</sup> Tape casting

۵-۵- خوراندن<sup>۱</sup>

نمونه‌ای از فرآیند ساخت با این روش در شکل ۱۲ دیده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود در این روش ابتدا یک نمونه اولیه ساخته می‌شود. بسته به جنس این ماده می‌توان به FGM های فلز-فلز و فلز / فلز / فلز / فلز دست یافت. [۱۸]



شکل ۱۲- طرحواره‌ی فرآیند خوراندن الکتروشیمیایی الف FGM / فلز / فلز ب FGM / فلز / فلز / فلز / فلز سرامیک [۱۸]

۵-۶- سنتز دما بالای خود پیش‌رونده<sup>۲</sup>

برای ساختن FGM به روش SHS تحقیقات متعددی انجام شده است [۲۹-۳۲] یکی از مهم‌ترین این تحقیق‌ها را فنگ<sup>۳</sup> و مور<sup>۴</sup> انجام دادند. [۳۳, ۳۴] در این روش با تغییر نسبت‌های استوکیومتری می‌توان به ترکیبات مختلف و در نتیجه FGM دست یافت.

۵-۷- انباشت الکتروفورتیک<sup>۵</sup>

با استفاده از اختلاف بین موصلیت<sup>۶</sup> پودرهای مختلف، سرعت ذرات سرامیکی، اختلاف اندازه ذرات و ویسکوزیته و سایر پارامترهای موثر در انباشت الکتروفورتیک می‌توان به FGM رسید.

۵-۸- انباشت دوغابی<sup>۷</sup>

اگر یک جسم به‌طور متوالی وارد دوغاب‌های با غلظت‌های متفاوت شود، سطوحی با غلظت و ویژگی‌های متفاوت به دست می‌آید. این انباشت می‌تواند با استفاده از روش‌های لایه نشانی چرخشی<sup>۸</sup>، پاششی<sup>۹</sup> و غوطه‌وری<sup>۱۰</sup> انجام شود [۱۷].

۵-۹- پاشش پلاسما<sup>۱۱</sup>

با اعمال برنامه‌ریزی کامپیوتری، روی این دستگاه پاشش پلاسما می‌توان یک ساختار گرادیانی فلز، فلز - سرامیک، سرامیک تولید کرد [۳۷-۴۰]. از مهم‌ترین محصولات<sup>۱۱</sup> که به این روش FGM شده‌اند می‌توان به پوشش‌های سد حرارتی اشاره کرد [۴۱].

<sup>1</sup> Infiltration

<sup>2</sup> Self-propagating high-temperature synthesis technology

<sup>3</sup> Feng

<sup>4</sup> Moore

<sup>5</sup> Electrophoretic deposition

<sup>6</sup> Mobility

<sup>7</sup> Slurry deposition

<sup>8</sup> Spin coating

<sup>9</sup> Spray coating

<sup>10</sup> Dip coating

<sup>11</sup> Plasma spraying

## ۵-۱۰- ریخته‌گری مرکز‌گریز<sup>۱</sup>

می‌توان با استفاده از روش مرکز‌گریز و با استفاده از اختلاف چگالی بین دو ماده [۴۲]، اختلاف سرعت ذرات [۴۳] و اختلاف اندازه دانه ذرات مقدار نیروی گریز متفاوتی بر ذرات مختلف اعمال کرد و در نتیجه ساختار گرادینانی ایجاد کرد.

## ۵-۱۱- روش ساخت بی قالب (SFF)<sup>۲</sup>

در این روش با کنترل ترکیبی از مخلوط چند جوهر سرامیکی در چاپگرهای جوهر افشان [۴۴] و یا لایه‌نشانی ارتعاشی مخلوطی از پودرهای فلزی [۴۵] می‌توان به FGM هایی دست یافت که ترکیب آنها با کامپیوتر قابل کنترل باشد. در این نوع چاپگرها که کنترل ترکیب توسط یک فایل کامپیوتری صورت می‌گیرد، می‌تواند علاوه بر ساخت قطعات FGM برای ایجاد مجموعه نمونه در پژوهش مواد به روش کامبیناتوریل<sup>۳</sup> به کار گرفته شوند [۴۶]. از مزایای روش SFF می‌توان به این موارد اشاره کرد: سرعت بالای تولید، مصرف انرژی نسبتاً کم، بیش‌ترین بهره‌وری ماده، توانایی تولید شکل‌های پیچیده [۴۷]. به کارگیری SFF برای لایه‌نشانی پودری همراه با کنترل ترکیب می‌تواند به ساخت قطعات FGM بیانجامد [۴۸].

## ۵-۱۲- رسوب‌دهی شیمیایی از فاز بخار<sup>۴</sup> (CVD)

با تغییر مداوم ترکیب گاز ورودی حین پوشش‌دهی یا کنترل شرایط CVD مانند دمای رسوب‌دهی و فشار گاز می‌توان ساختار FGM تولید کرد. [۴۹، ۵۰]

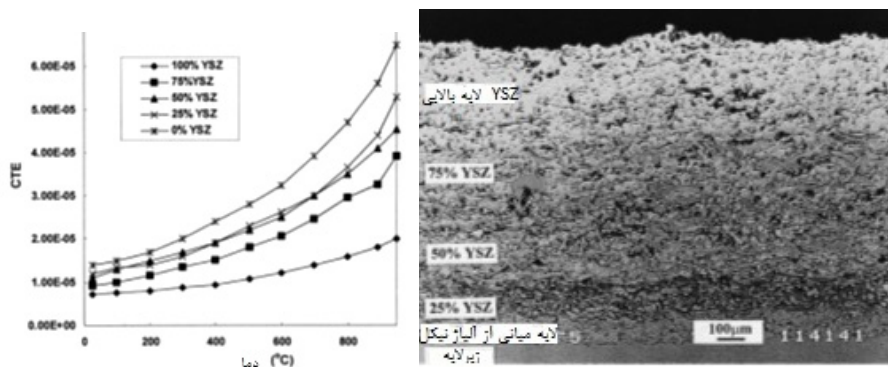
## ۵-۱۳- رسوب‌دهی فیزیکی از فاز بخار<sup>۵</sup> (PVD)

در این روش هم با تغییر ترکیب گازها و سایر شرایط می‌توان به ساختار FGM رسید. همچنین پوشش‌های TBC هم به روش باریکه الکترونی رسوب‌دهی فیزیکی از فاز بخار (EB-PVD) با ساختار FGM پوشش داده شده‌اند [۴، ۲۴]

## ۶- کاربردها

### ۶-۱- پوشش‌های سد حرارتی<sup>۶</sup>

پوشش‌های سد حرارتی (TBC) پوشش‌های سرامیکی هستند که روی تیغه‌های توربین‌های گازی اعمال می‌شوند و با افزایش دمای کارکرد، بازده موتور را افزایش می‌دهند [۵۱] اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین پوشش سرامیکی و زیر لایه فلزی منجر به تجمع تنش در مرز بین آن‌ها و در نهایت جدا شدن پوشش از زیر لایه می‌شود. یک‌راه برای کم کردن این اختلاف استفاده از ساختارهای FGM است. در شکل ۱۳-الف یک پوشش سد حرارتی پنج لایه با تغییر تدریجی ترکیب نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۳-ب دیده می‌شود FGM کردن پوشش کاهش اختلاف ضریب انبساط حرارتی میان لایه‌ها را به دنبال داشته است. [۵، ۵۲]



شکل ۱۳-الف) ریزساختار یک ساختار FGM پنج لایه ب) ضریب انبساط حرارتی لایه‌ها [۵۲]

<sup>1</sup> Centrifugalcasting

<sup>2</sup> Solid Freeform Fabrication Method

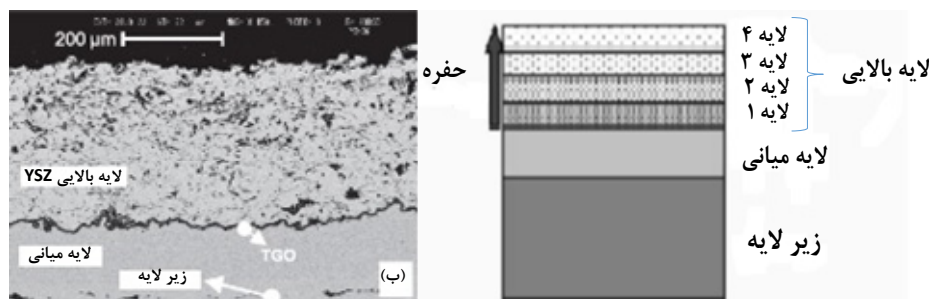
<sup>3</sup> Combinatorial

<sup>4</sup> Chemical Vapor Deposition

<sup>5</sup> Physical Vapor Deposition

<sup>6</sup> Thermal Barrier Coating

روش دیگر ایجاد گرادیان در تخلخل موجود در لایه فوقانی است. می‌دانیم که افزایش تخلخل هدایت حرارتی را کاهش می‌دهد. اما اگر مقدار آن از حدی بیشتر شود باعث افت سایر خواص می‌شود. از جمله اینکه هماهنگی خواص بین لایه‌ها از بین می‌رود که خود عامل شکست است. حال اگر تخلخل از زیر لایه به سمت سطح لایه فوقانی افزایش یابد، هم هماهنگی بین لایه‌ها از بین نمی‌رود و هم هدایت حرارتی کاهش یافته است. نمونه‌ای از این ساختار در شکل ۱۴ دیده می‌شود [۵۳].



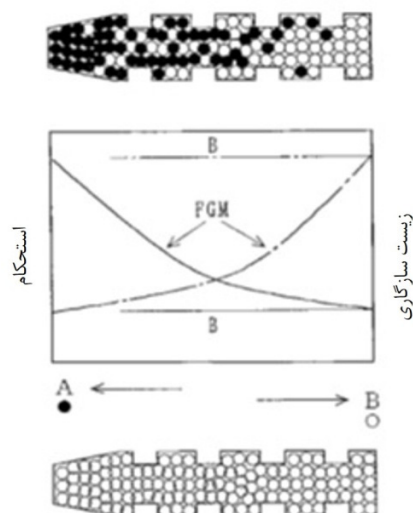
شکل ۱۴- برش عرضی از یک پوشش FGM با گرادیان در تخلخل الف: طرح‌واره ب: ریزساختار SEM [۵۳]

## ۲-۶- ابزارهای سایشی و برشی

یکی از موادی که در ساخت ابزارهای برش استفاده می‌شود، ماده چندسازه کاربید تنگستن- کبالت است که در آن سختی با مقدار کبالت رابطه عکس دارد. همچنین در مقادیر یکسان کبالت، با کاهش اندازه دانه سختی افزایش می‌یابد. با کنترل این عوامل می‌توان سختی سطح نسبت به داخل بیشتر کرد که برای یک ابزار برش با سرعت بالا مناسب است. [۵۴]

## ۳-۶- کاربردهای پزشکی

ساختار استخوان‌ها در بدن انسان ساختاری تدریجی است و از نظرگاه مهندسی مواد استخوان یک ماده چندسازه با ساختار موضعی-عملکردی به شمار می‌رود [۵۵]. برای ساخت جایگزین استخوان در بدن از ساختار FGM استفاده می‌شود تا ماده حاصل همزمان خواص مکانیکی و زیست‌سازگاری<sup>۱</sup> مناسبی داشته باشد (شکل ۱۵) به این منظور می‌توان یک لایه آپاتیتی که ساختاری مشابه با استخوان دارد را روی زیر لایه‌ای فلزی قرار داد و برای اینکه اتصال بین آن‌ها در فصل مشترک محکم باشد، نسبت به زیر لایه تدریجی خواهد بود. زیر لایه فلزی هم می‌تواند آلیاژی زیست فعال<sup>۲</sup> مانند Ti-6Al-4V باشد [۲۴، ۵۶].



شکل ۱۵- طرحواره چگونگی تأثیر FGM کردن روی خواص مکانیکی و زیست‌سازگاری [۵۸]

<sup>1</sup> Biocompatibility

<sup>2</sup> Bioactive



در نوع دیگری از ایمپلنت‌های پایه تیتانیوم، در یک سو تیتانیوم خالص و در سوی دیگر تیتانیوم حاوی ۲۰ درصد هیدروکسی آپاتیت استفاده شده و در میان آن‌ها مقدار هیدروکسی آپاتیت به تدریج تغییر می‌کند. در این ایمپلنت تیتانیوم خالص استحکام بالاتر و Ti/20HAP زیست سازگاری بیشتری دارند. از این نوع ایمپلنت برای استخوان‌های فک و دندان‌ها استفاده می‌شود [۵۷، ۵۸]. همچنین از FGM های تیتانیوم / زیرکونیا، Ti/Co، Ti/SiO<sub>2</sub>، Ti/HAP، به‌عنوان ایمپلنت در کاربردهای پزشکی استفاده شده است [۵۹، ۶۰].

## ۶-۴- سلول‌های سوختی<sup>۱</sup>

سلول‌های سوختی ابزارهایی هستند که انرژی شیمیایی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. یک نوع آن سلول سوختی اکسید جامد<sup>۲</sup> (SOFC) است. این سیستم شامل یک کاتد در هوا و یک آنود در سمت سوخت است، و این دو با یک الکترولیت اکسیدی از هم جدا می‌شوند [۵۴]. مواد کاتدی نیاز به ویژگی‌های متنوعی دارند: رسانایی الکتریکی و یونی بالا، اکتیویته کاتالیستی بالا برای کاهش اکسیژن<sup>۳</sup>، سازگاری شیمیایی با الکترولیت و اتصالات، سازگاری ضریب انبساط حرارتی با سایر اجزای سلول سوختی، پایداری در هوا در دمای بالا، و قابلیت ساخت فیلم نازک با آن. با تدریجی کردن ساختار این پیل‌ها مشکل چسبندگی ضعیف به علت اختلاف ضریب انبساط حرارتی به حداقل می‌رسد و فصل مشترک فعال شیمیایی افزایش یافته و افزایش کارایی پیل را به دنبال دارد. [۱]

## مراجع

- [1] E. Reimanis, "Functionally Graded Materials," in Handbook of Advanced Materials, ed: John Wiley & Sons, Inc., 2004, pp. 465-486.
- [2] G. H. Paulino, "Fracture of functionally graded materials," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 69, pp. 1519-1520, 2002.
- [3] D. K. Jha, T. Kant, and R. K. Singh, "A critical review of recent research on functionally graded plates," *Composite Structures*, vol. 96, pp. 833-849, 2013.
- [4] U. Schulz, M. Peters, F. W. Bach, and G. Tegeer, "Graded coatings for thermal, wear and corrosion barriers," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 362, pp. 61-80, 2003.
- [5] M. Ferraris, E. Garcia-Lecina, and D. Godlinski, "Optimal ceramic-metal joints with FGM," in *Technology and controlled tailoring of FGM*, R. Astrid, Ed., ed, 2005, pp. 121-127.
- [6] S.-h. Chi and Y.-L. Chung, "Cracking in coating-substrate composites with multi-layered and FGM coatings," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 70, pp. 1227-1243, 2003.
- [7] W. Lengauer and K. Dreyer, "Functionally graded hardmetals," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 338, pp. 194-212, 2002.
- [8] H. A. Bahr, H. Balke, T. Fett, I. Hofinger, G. Kirchhoff, D. Munz, et al., "Cracks in functionally graded materials," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 362, pp. 2-16, 2003.
- [9] A. Neubrand, "Functionally Graded Materials," in *Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition)*, K. H. J. B. Editors-in-Chief: , W. C. Robert, C. F. Merton, I. Bernard, J. K. Edward, M. Subhash, et al., Eds., ed Oxford: Elsevier, 2001, pp. 3407-3413.
- [10] K. F. Leong, C. K. Chua, N. Sudarmadji, and W. Y. Yeong, "Engineering functionally graded tissue engineering scaffolds," *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, vol. 1, pp. 140-152, 4/ 2008.
- [11] W. Pompe, H. Worch, M. Epple, W. Friess, M. Gelinsky, P. Greil, et al., "Functionally graded materials for biomedical applications," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 362, pp. 40-60, 12/5/ 2003.
- [12] G. Parrish, *Carburizing: microstructures and properties*: ASM International, 1999.
- [13] R. E. Smallman and A. Ngan, *Physical metallurgy and advanced materials*: Butterworth-Heinemann, 2011.
- [14] G. E. Totten and M. A. Howes, *Steel heat treatment handbook*: CRC Press, 1997.
- [15] M. B. Bever and P. E. Duwez, "Gradients in composite materials," *Materials Science and Engineering*, vol. 10, pp. 1-8, 1972.
- [16] M. Shen and M. B. Bever, "Gradients in polymeric materials," *Journal of Materials Science*, vol. 7, pp. 741-746, 1972.
- [17] B. Kieback, A. Neubrand, and H. Riedel, "Processing techniques for functionally graded materials," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 362, pp. 81-106, 2003.
- [18] R. Jedamzik, A. Neubrand, and J. Rödel, "Functionally graded materials by electrochemical processing and infiltration: application to tungsten/copper composites," *Journal of Materials Science*, vol. 35, pp. 477-486, 2000.

<sup>1</sup> Fuel cells

<sup>2</sup> Solid Oxide Fuel Cell

<sup>3</sup> High catalytic activity for oxygen reduction

- [19] .(۲۰۱۳/۱۰/۱۱)web of knowledge. Available: <http://thomsonreuters.com/>
- [20] A. J. Ruys, E. B. Popov, D. Sun, J. J. Russell, and C. C. J. Murray, "Functionally graded electrical/thermal ceramic systems," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 21, pp. 2025-2029, 2001.
- [21] Y. Watanabe and H. Sato, *Review Fabrication of Functionally Graded Materials under a Centrifugal Force*, 2011.
- [22] M. Mott and J. R. G. Evans, "Zirconia/alumina functionally graded material made by ceramic ink jet printing," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 271, pp. 344-352, 1999.
- [23] "Modeling of Functionally Graded Materials and Structures," in *Functionally Graded Materials*, ed: CRC Press, 2009.
- [24] L. Chen and T. Goto, "Chapter 16 - 16.1 Functionally Graded Materials," in *Handbook of Advanced Ceramics*, ed Oxford: Academic Press, 2003, pp. 445-464.
- [25] A. Neubrand and J. Rödel, "Gradient materials: an overview of a novel concept," *Zeitschrift für Metallkunde*, vol. 88, pp. 358-371, 1997.
- [26] A. Chrysanthou, O. Delverdier, E. Garcia-Lecina, S. Sereni, J. Roodel, and A. Rota, "Powder technology methods," in *Technology and controlled tailoring of FGM*, R. Astrid, Ed., ed, 2005, pp. 103-110.
- [27] M. Mohebi, S. Yang, and J. Evans, "Computer generation of metal components by simultaneous deposition of mould, cores and part," 2006.
- [28] M. N. Rahaman, "Powder Consolidation and Forming of Ceramics," in *ceramic processing and sintering*, second ed, pp. 328-424.
- [29] Z. A. Munir and J. Holt, "Combustion and plasma synthesis of high temperature materials," DTIC Document 1989.
- [30] E. Ma, M. A. Nicolet, and M. Nathan, "NiAl<sub>3</sub> formation in Al/Ni thin;film bilayers with and without contamination," *Journal of Applied Physics*, vol. 65, pp. 2703-2710, 1989.
- [31] S. E. Niedzialek, G. C. Stangle, and Y. Kaieda, "Combustion-synthesized functionally gradient refractory materials," *Journal of Materials Research*, vol. 8, pp. 2026-2034, 1993.
- [32] X.-H. Zhang, J.-C. Han, X.-D. He, and V. L. Kvanin, "Combustion Synthesis and Thermal Stress Analysis of TiC-Ni Functionally Graded Materials," *Journal of Materials Synthesis and Processing*, vol. 8, pp. 29-34, 2000.
- [33] J. J. Moore and H. J. Feng, "Combustion synthesis of advanced materials: Part I. Reaction parameters," *Progress in Materials Science*, vol. 39, pp. 243-273, 1995.
- [34] J. J. Moore and H. J. Feng, "Combustion synthesis of advanced materials: Part II. Classification, applications and modelling," *Progress in Materials Science*, vol. 39, pp. 275-316, 1995.
- [35] H. J. Feng and J. J. Moore, "The Effect of Pressure on the Combustion Synthesis of a Functionally-Graded Material: TiB<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al Ceramic- Metal Composite System," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 2, pp. 645-650, 1993.
- [36] A. R. Boccaccini, V. Cantavella, O. Delverdier, M. Ferraris, E. Garcia-Lecina, and B. Major, "Deposition methods," in *Technology and controlled tailoring of FGM*, R. Astrid, Ed., ed, 2005, pp. 113-120.
- [37] Y. W. Gu, K. A. Khor, Y. Q. Fu, and Y. Wang, "Functionally graded ZrO<sub>2</sub>-NiCrAlY coatings prepared by plasma spraying using pre-mixed, spheroidized powders," *Surface and Coatings Technology*, vol. 96, pp. 305-312, 1997.
- [38] S. Stewart, R. Ahmed, and T. Itsukaichi, "Contact fatigue failure evaluation of post-treated WC-NiCrBSi functionally graded thermal spray coatings," *Wear*, vol. 257, pp. 962-983, 11 2004.
- [39] Y. P. Wan, S. Sampath, V. Prasad, R. Williamson, and J. R. Fincke, "An advanced model for plasma spraying of functionally graded materials," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 137, pp. 110-116, 2003.
- [40] K. A. Khor, Y. W. Gu, C. H. Quek, and P. Cheang, "Plasma spraying of functionally graded hydroxyapatite/Ti-6Al-4V coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. 168, pp. 195-201, 2003.
- [41] Y. J. Su, "Processing and performance of yttrium-stabilized zirconia-based multilayer thermal barrier coatings," Ph.D. 3033564, Northwestern University, United States -- Illinois, 2001.
- [42] Y. Fukui and Y. Watanabe, "Analysis of thermal residual stress in a thick-walled ring of duralcan-base Al-SiC functionally graded material," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 27, pp. 4145-4151, 1996/12/01 1996.
- [43] Y. Watanabe, E. Miura-Fujiwara, and H. Sato, "Fabrication of functionally graded materials by centrifugal slurry-pouring method and centrifugal mixed-powder method," *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy/Funtai Oyobi Fummatsu Yakin*, vol. 57, pp. 321-326, 2010.
- [44] M. M. Mohebi and J. R. G. Evans, "A drop-on-demand ink-jet printer for combinatorial libraries and functionally graded ceramics," *Journal of Combinatorial Chemistry*, vol. 4, pp. 267-274, Jul-Aug 2002.
- [45] M. M. Mohebi, S. Yang, and J. R. G. Evans, "Compositional control in solid freeforming; Fabrication of 3D FGM," in *Science of Engineering Ceramics Iii*. vol. 317, 318 T. Ohji, T. Sekino, and K. Niihara, Eds., ed Zurich-Uetikon: Trans Tech Publications Ltd, 2006, pp. 151-154.
- [46] M. M. Mohebi and J. R. G. Evans, "Functional Gradients and Combinatorial Libraries Using an Ink-jet Printer," presented at the 104th Annual Meeting & Exposition of The American Ceramic Society, St. Louis, Missouri, USA, 2002.
- [47] R. M. Mahamood, E. T. Akinlabi, M. Shukla, and S. Pityana, "Functionally Graded Material: An Overview," 2012.
- [48] S. Yang, M. Mohebi, and J. Evans, "A novel solid freeforming method using simultaneous part and mould

- construction," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 14, pp. 35-43, 2008.
- [49] K. L. Choy, "Chemical vapour deposition of coatings," *Progress in Materials Science*, vol. 48, pp. 57-170, 2003.
- [50] T. Hirai and M. Sasaki, "In-situ processing of inorganic composites by chemical vapor deposition," *Ceramics international*, vol. 17, pp. 275-281, 1991.
- [51] C. B. Carter and M. G. Norton, "Coatings and Thick Films " in *Ceramic Materials*, ed: Springer New York. pp. 481-493, 2007.
- [52] K. A. Khor and Y. W. Gu, "Thermal properties of plasma-sprayed functionally graded thermal barrier coatings," *Thin Solid Films*, vol. 372, pp. 104-113, 2000.
- [53] A. Portinha, V. Teixeira, J. Carneiro, J. Martins, M. F. Costa ,R. Vassen, *et al.*, "Characterization of thermal barrier coatings with a gradient in porosity," *Surface and Coatings Technology*, vol. 195, pp. 245-251, 2005.
- [54] Y. Miyamoto, W. A. Kaysser, B. H. Rabin, A. Kawasaki , and R. G. Ford, *Functionally Graded Materials: Design, Processing and Applications*. Boston: Kluwer Academic, 1999.
- [55] A. J. Salgado, O. P. Coutinho, and R. L. Reis, "Bone Tissue Engineering: State of the Art and Future Trends," *Macromolecular Bioscience*, vol. 4, pp. 743-765, 2004.
- [56] W.-Q. Yan, T. Nakamura, M. Kobayashi, H.-M. Kim, F. Miyaji, and T. Kokubo, "Bonding of chemically treated titanium implants to bone," *Journal of Biomedical Materials Research*, vol. 37, pp. 267-275, 1997.
- [57] F. Watari, A. Yokoyama, F. Saso, M. Uo, and T. Kawasaki, "Fabrication and properties of functionally graded dental implant," *Composites Part B: Engineering*, vol. 28, pp. 5-11, 1997.
- [58] F. Watari, A. Yokoyama, M. Omori, T. Hirai, H. Kondo, M. Uo, *et al.*, "Biocompatibility of materials and development to functionally graded implant for bio-medical application," *Composites Science and Technology*, vol. 64, pp. 893-908, 5 2004.
- [59] M. Mehrali, F. S. Shirazi, M. Mehrali, H. S. C. Metselaar, N. A. B. Kadri, and N. A. A. Osman, "Dental implants from functionally graded materials," *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, vol. 101, pp. 3046-3057, 2013.
- [60] H. Takahashi, "Mechanical properties of functionally gradient materials of titanium-apatite and titanium-zirconia for dental use," *J Jpn SocDent Mater Devic*, vol. 12, pp. 595-612, 1993.

## اثر متاکائولن بعنوان ماده افزودنی در بتن‌های توانمند

علیرضا سوری<sup>۱</sup>، فرهاد گلستانی فرد<sup>۱</sup>، رحیم نقی زاده<sup>۱</sup>، سهراب ویسه<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران  
<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات ساختمان و راه، مسکن و شهرسازی



مهندس علیرضا سوری نویسنده  
مسئول این مقاله، دانشجوی  
دکتری مهندسی مواد- سرامیک  
دانشگاه علم و صنعت ایران  
می‌باشد.

arsouri@gmail.com

**چکیده:** مواد مکمل سیمانی یکی از اجزاء ضروری در طراحی مخلوط‌های بتن با استحکام و کارایی بالا می‌باشند. این‌ها می‌توانند مواد طبیعی، پسماندهای صنعتی یا محصولات فرعی باشند که برای فراوری آنها به انرژی کمتری نیاز است. خاکستر بادی، میکروسیلیس، سرباره کوره بلند و متاکائولن برخی از مواد مکمل سیمان هستند. استفاده از متاکائولن به عنوان یک ماده پوزولانی برای ملات و بتن توجه زیادی در سال‌های اخیر به خود جلب نموده است. بخشی از این تمایل توجه گسترده به سمت کاربرد موادی است که باعث کاهش مصرف سیمان پرتلند می‌شوند که تولید آن برای محیط زیست زیان‌آور است. دلیل دیگر آن تاثیر قابل ملاحظه متاکائولن در بهبود خواص مکانیکی و دوام ملات و بتن است. این مقاله مروری از کارهای انجام شده در بررسی خواص متاکائولن و استفاده از آن بصورت جایگزینی جزئی سیمان در ملات و بتن ارایه می‌دهد. منابع موجود نشان می‌دهند که متاکائولن یک ماده پوزولانی موثر است که موجب بهبود خواص مکانیکی بتن، اصلاح ساختار تخلخل‌ها و توزیع اندازه حفرات و همچنین مقاومت بتن در برابر واکنش سیلیس-قلیا، نفوذ یون کلریدی و حملات سولفات‌ها را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: پوزولان، متاکائولن، بتن‌های توانمند

### ۱- مقدمه

بتن پرکاربردترین ماده ساختمانی در جهان است. این ماده پس از آب بیشترین مصرف وزنی را دارد و سالیانه حدود شش میلیارد تن از آن به مصرف می‌رسد. این مساله بخاطر فراوانی مواد خام برای تولید سیمان، قیمت نسبتاً پایین آن و نیز تنوع و سازگاری بتن در شرایط و سازه‌های مختلف است. نگرانی‌های زیست محیطی در مورد آسیب‌های ناشی از استخراج مواد خام و انتشار گاز  $CO_2$  حین تولید سیمان موجب فشارهایی برای کاهش مصرف سیمان با استفاده از مواد کمکی به جای آن شده است. این مواد کمکی می‌توانند طبیعی، پسماندهای صنعتی، محصولات فرعی و یا موادی باشند که به انرژی خیلی کمتری برای تولید نیاز دارند. در پاسخ به این نگرانی‌ها، امروزه مخلوط‌هایی از سیمان پرتلند به همراه مواد پوزولانی به طور متداول در تولید بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در گذشته اصطلاح پوزولان به خاکستر آتشفشانی و خاک‌های کلسینه‌شده که بطور طبیعی شکل گرفته‌اند اطلاق می‌شد که با آهک در دمای محیط و حضور آب واکنش می‌دهند. در حال حاضر، این اصطلاح به تمام مواد سیلیسی / آلومینی تعمیم پیدا کرده‌است که با اندازه دانه بسیار ریز و در حضور آب به طور شیمیایی با هیدروکسید کلسیم (CH) وارد واکنش می‌شوند تا ترکیباتی را شکل دهند که دارای خواص سیمانی هستند. این تعریف تعمیم یافته محصولات پسماند مثل خاکستر بادی، خاکستر سوس برنج و میکروسیلیس را شامل می‌شود.

سیمان پرتلند اگر بطور کامل هیدراته شود حدود ۲۸ درصد وزن خود هیدروکسید کلسیم تشکیل می‌دهد. هیدروکسید کلسیم بوجود آمده بوسیله هیدراته‌شدن سیمان پرتلند نقش قابل توجهی در استحکام ندارد و برای دوام بتن مضر است. حذف یا کاهش هیدروکسید کلسیم از طریق واکنش با پوزولان می‌تواند منجر به استحکام و دوام بیشتری شود. به خاطر این مزایای فنی و در بعضی موارد مزایای اقتصادی است که در دهه گذشته با مصرف گسترده مواد پوزولانی در بتن مواجه بوده‌ایم. این روند در حال حاضر انگیزه خیلی بیشتری پیدا کرده و دلیل آن هم مزایای بارز زیست‌محیطی آن می‌باشد و باور بر اینست که حجم کاربرد آن‌ها با افزایش درک مزایای

زیست محیطی افزایش پیدا می کند و به ساخت و ساز پایدار در آینده کمک خواهد کرد. لذا دلایل اجتناب ناپذیر در بلند مدت وجود خواهد داشت تا جایگزین کردن سیمان در ملات و بتن با پسماندها و مواد پوزولانی گسترش پیدا کند. یک منبع برای ماده پوزولانی می تواند رس کلسینه شده باشد. استفاده از رس کلسینه شده به شکل متاکائولن به عنوان یک افزودنی پوزولانی برای ملات و بتن توانسته نگاه قابل توجهی در سال های اخیر بخود جلب کند. بخشی از این تمایل به حذف هیدروکسید کلسیم مربوط می شود. حذف هیدروکسید کلسیم تاثیر عمده ای بر مقاومت در برابر نفوذ سیالات (یون کلرید، یون های سولفاتی و...) و واکنش قلیایی سنگدانه ها داشته و استحکام بیشتری را بوجود می آورد و بخش دیگر مربوط به تولید متاکائولن در دمای پایین نسبت به سیمان پرتلند و مصرف انرژی و انتشار گاز CO<sub>2</sub> کمتر است.

## ۲- متاکائولن

متاکائولن (MK) یک ماده پوزولانی است که از کلسینه شدن کائولن در دمای ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس با توجه به نوع کائولن بدست می آید. این پوزولان یکی از جدیدترین مصالح جایگزین سیمان برای تهیه بتن توانمند محسوب می شود. حرارت دادن آب شیمیایی کائولن را خارج کرده، ساختار کریستالی آن را از بین برده و محصول تبدیل به یک سیلیکات آلومینیوم آمورف می شود. متاکائولن در واکنش با هیدروکسید کلسیم (CH) ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) را در دمای محیط ایجاد نموده و فازهای حاوی آلومینات شامل C<sub>2</sub>ASH<sub>8</sub> و C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>، C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub> را تولید می کند [۱].

متاکائولن در بسیاری از کاربردهای بتن به شرح زیر مورد استفاده قرار می گیرد [۲]:

بتن های توانمند، استحکام بالا و سبک وزن - بتن های پیش ساخته، ملات ها، اندودکاری، مواد تعمیراتی و پلاسترهای استخری

و مزایای آن عبارتند از:

استحکام خمشی و فشاری بالاتر، نفوذپذیری کمتر، مقاومت بیشتر در مقابل نفوذ سیالات و دوام بیشتر، سطح با کیفیت تر بتن، رنگ و ظاهر بهتر، استعداد کمتر برای وقوع پدیده شوره زدنی کنترل بهتر واکنش قلیایی سنگدانه

## ۲-۱- خواص متاکائولن

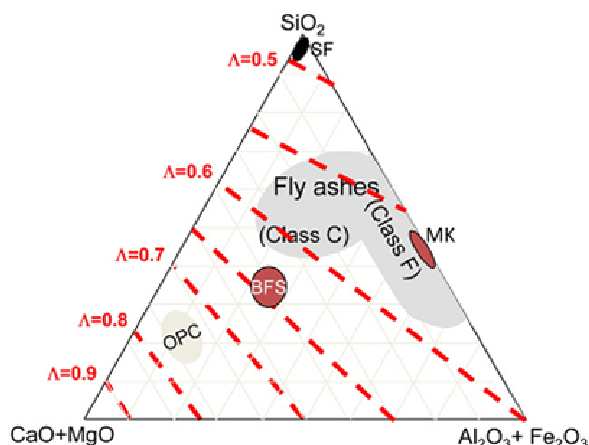
متاکائولن دارای ۹۹/۹ درصد ذرات کوچکتر از ۱۶ میکرون است و متوسط اندازه ذرات آن حدود ۳ میکرون می باشد [۲]. ترکیب شیمیایی یک نوع متاکائولن در جدول ۱ و برخی از خواص فیزیکی نوعی متاکائولن در جدول ۲ آمده است. جایگاه متاکائولن در مقایسه با پوزولان های دیگر در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۲- خواص فیزیکی یک نوع متاکائولن [۲]

مقدار	خواص
۱/۰	متوسط اندازه ذرات (میکرون)
۲/۵	وزن مخصوص
۱۲	سطح ویژه، cm <sup>2</sup> /g
سفید	رنگ

جدول ۱- آنالیز شیمیایی یک نوع متاکائولن [۲]

اجزاء	درصد وزنی
SiO <sub>2</sub>	۵۱/۵۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۰/۱۸
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۲۳
CaO	۲/۰
MgO	۰/۱۲
K <sub>2</sub> O	۰/۵۳
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۸
Ti <sub>2</sub> O	۲/۲۷



شکل ۱- جایگاه ترکیب متاکائولن در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی (OPC) و برخی از پوزولان‌ها مثل میکرو سیلیس (SF)، سرباره کوره بلند (BFS) و خاکستر بادی (FA) [۳]

## ۲-۲- مکانیزم واکنش هیدراسیون

تعدادی از روش‌های حرارتی، مکانیکی و شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا قابلیت واکنش‌پذیری مواد پوزولانی را فعال سازند. روش‌های فعال‌سازی حرارتی شامل پخت مواد اولیه می‌شود در حالیکه روش‌های مکانیکی روی آسیاکاری تکیه دارند و روش‌های شیمیایی از فعال‌کننده‌هایی مثل ترکیبات اسیدی و قلیایی استفاده می‌کنند.

آسیاکاری مواد رسی فرایند مهمی است که در صنعت و طبیعت اتفاق می‌افتد و باعث کاهش بلورینگی مواد رسی می‌گردد و در نهایت آلومینوسیلیکات‌های آمورف بدست می‌آیند. فعال‌سازی مکانوشیمیایی خواص سطحی رس‌ها را دستخوش تغییر می‌کند و ظرفیت تعویض یونی رس را افزایش می‌دهد و همچنین آسیاکاری باعث کاهش اندازه ذرات و افزایش مساحت سطح رس می‌شود. فعال‌سازی حرارتی مواد معدنی رسی بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس بوسیله هیدروکسیل‌زدایی منجر به شکست کامل یا جزئی ساختار می‌گردد و فاز انتقالی با واکنش‌پذیری بالا بوجود می‌آورد. تولید متاکائولن ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  یا  $AS_2$ ) بوسیله کلسینه کردن رس‌هایی است که غنی از کائولینیت هستند (کائولینیت یک مینرال با ساختار دو لایه‌ای می‌باشد که در آن ورقه‌ای از آلومینیوم با چیدمان اکتاهدرال به یک ورقه سیلیکونی با چیدمان تتراهدرال متصل است) واکنش اصلی بین  $AS_2$  و هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراته شدن سیمان در حضور آب می‌باشد. این واکنش ژل سیمانی C-S-H بیشتری را به همراه محصولات بلورین تشکیل می‌دهد که شامل هیدرات آلومینات کلسیم و هیدرات آلومینوسیلیکات می‌شود. محصولات بلورین بیشتر به نسبت  $AS_2/CH$  و دمای واکنش بستگی دارند [۴].

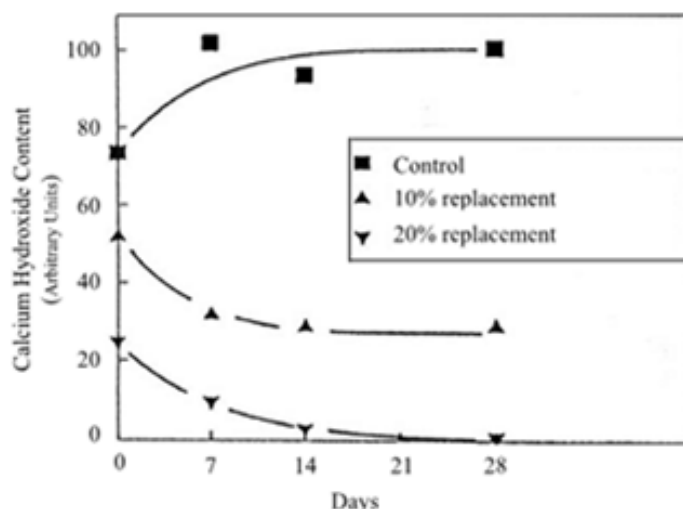


مطالعات متعددی صورت پذیرفته است تا واکنش هیدراسیون را بررسی کرده و سطح واکنش‌پذیری متاکائولن را از نظر فرآوری و خلوص رس اولیه مورد سنجش قرار دهند. کائولن باید بطور طبیعی دارای خلوص بالا بوده یا اینکه بوسیله تکنیک‌های فرآوری معدنی استاندارد پالایش شود. دمای فعال‌سازی حرارتی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و بستگی به ماده معدنی پایه استفاده شده دارد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که افزایش استحکام و کاهش سطح CH در بتن سخت شده با رس‌هایی حاصل می‌شود که غنی از کائولینیت باشند. با تعیین سطح واکنش‌پذیری با استفاده از تست Chapelle نشان داده شده است که متاکائولن فرآوری شده تحت شرایط مناسب می‌تواند دارای کارایی پوزولانی بسیار خوبی باشد.

شکل ۲ تغییرات میزان CH بتن حاوی متاکائولن را با زمان عمل‌آوری ارائه می‌کند. مشاهده می‌شود که CH در تمام زمان‌های سخت‌شدن با میزان جایگزینی متاکائولن کاهش قابل توجهی داشته است.

گزارش‌ها در مورد میزان متاکائولن لازم برای حذف کامل CH متفاوت‌اند. گزارش Kostuch و همکارانش (۲۰۰۰) [۵] نشان می‌دهند که ۲۰ درصد جایگزینی سیمان با MK برای حذف تمام CH در بتن ۲۸ روزه کافی است. گزارش‌های دیگر [۶] مقادیر

بالتر MK را برای حذف تمام CH بیان می‌کنند این اختلاف‌ها عجیب نیستند چرا که محصولات هیدراسیون و فعالیت پوزولانی به میزان زیادی بستگی به ترکیب شیمیایی سیمان پرتلند، خلوص متاکائولن و نسبت آب به سیمان دارد. Rojas و Cabrera (۲۰۰۱) کینتیک یک مخلوط متاکائولن و آهک در آب ۶۰ درجه سلسیوس را با استفاده از تحلیل حرارتی بررسی کردند. نتایج عددی آن برای تعیین نوع واکنش بکار رفته است. آن‌ها نشان داده‌اند که واکنش پوزولانی تحت تأثیر فرایند نفوذ کنترل شده و می‌تواند با معادله نفوذ Jander بیان گردد که بر اساس قانون سهمی‌گون فیک از نفوذ استوار است.



شکل ۲- اثر مقدار جایگزینی متاکائولن روی مقدار CH در بتن [۷]

آنها یک روش سریع جدید برای کنترل واکنش با استفاده از خشک‌کن ماکروپوش پیشنهاد کردند تا آن را بتوان در هر زمان دلخواهی از واکنش متوقف ساخت. آنها نوع و کمیت محصولات واکنش را به وسیله روش‌های DTA، TG و نیز XRD مشخص کردند. بر اساس آزمایشات چنین نتیجه‌گیری کردند [۷]:

۱- خشک کردن با امواج ماکروپوش برای نگاه داشتن فرایند هیدراسیون یک روش عملی و مفید می‌باشد که نوع محصولات واکنش را دستخوش تغییر نمی‌کند.

۲- آهک با سرعت خیلی سریعی در زمان اولیه واکنش به مصرف می‌رسد. مکانیزم واکنش با کنترل نفوذی در ۱۲۰ ساعت اولیه سازگار بود. ثابت سرعت محاسبه شده واکنش از طریق معادله جاندر نشان داد که متاکائولن خیلی واکنش پذیر بوده و از نظر واکنش پذیری با میکروسلیس قابل مقایسه است.

۳- محصولات واکنش که از ۲ تا ۹ روز آشکار شدند نشان دادند که فازهای  $C_2ASH_8$  و  $C_6AH_{13}$  تا مدت ۹ روز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تحت شرایط مورد بررسی نیمه پایدار بودند. با وجود این واقعیت که هیدروگارت (C<sub>3</sub>ASH<sub>8</sub>) نیز از زمان ۳۰ ساعت تا ۹ روز موجود بوده است. این می‌تواند نشانه‌ای از آن باشد که هیدروگارت از یک واکنش تبدیلی شکل نگرفته بلکه در اثر واکنش مستقیم بین متاکائولن و آهک حاصل می‌شود.

Poon و همکارانش (۲۰۰۱) میزان واکنش‌های پوزولانی سیستم سیمان/متاکائولن با میکروسلیس (SF) و خاکستر بادی (FA) مقایسه کردند. نتایج واکنش پوزولانی خمیرها در زمان‌های مختلف در جدول ۳ آمده است که به صورت مقادیر درصدی از پوزولان واکنش کرده نسبت به میزان اولیه پوزولان در خمیر بیان شده‌اند [۸].

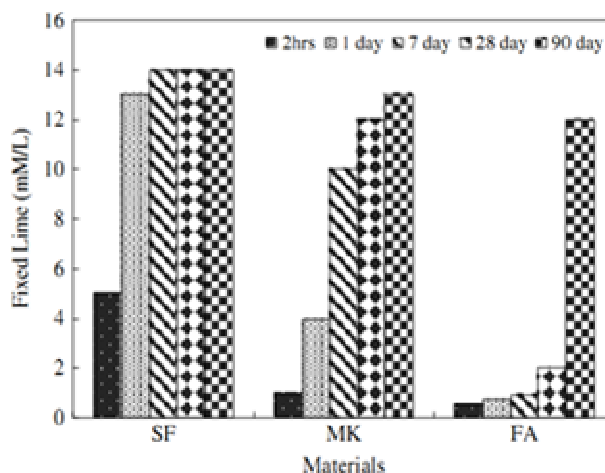
بر اساس آزمایش‌ها نتیجه گرفتند که: ۱- میزان واکنش پوزولانی متاکائولن در هر مرحله، در سطح جایگزینی ۵ درصد نسبت به سطوح ۱۰ و ۲۰ درصد بالاتر بوده است. سرعت واکنش پوزولانی بیشتر در خمیر سیمانی با سطح جایگزینی کمتر می‌تواند به غلظت بیشتر CH موجود برای واکنش پوزولانی نسبت داده شود. ۲- در مقایسه مواد پوزولانی مختلف، سرعت واکنش پوزولانی MK بیشتر از SF در ابتدا بود. ۳- واکنش‌پذیری اولیه بیشتر MK می‌تواند به فازهای  $Al_2O_3$  آن نسبت داده شود که در تشکیل ژلینت ( $C_2ASH_8$ ) و میزان اندک فاز بلوری  $C_4AH_{13}$  شرکت داده می‌شود.

جدول ۳- درجه واکنش پوزولانی سیستم‌های سیمان/ پوزولان [۸]

مخلوط	درجه واکنش پوزولانی، %			
	۳روز	۷روز	۲۸روز	۹۰روز
5%MK	۲۰/۵۶	۲۹/۵۲	۳۹/۴۴	۵۶/۲۸
10%MK	۱۵/۳۴	۲۶/۹۸	۳۶/۲۸	۵۰/۹۶
15%MK	۹/۳۸	۱۸/۶۴	۳۰/۸۲	۴۱/۲۹
5%SF	۱۵/۸۶	۲۴/۶۴	۳۸/۵۳	۵۴/۸۵
10%SF	۱۰/۳۲	۲۱/۲۵	۳۵/۳۸	۵۲/۰۶
20%FA	۳/۹۸	۷/۲۹	۱۷/۵۴	۲۸/۵۹

### ۳-۲- اثر دما

Frias و همکارانش (۲۰۰۰) اثر واکنش پوزولانی متاکائولن را بر تحول گرمایی در ملات‌های سیمان/ متاکائولن در مقایسه با دیگر مواد پوزولانی مثل میکروسیلیس و خاکستر بادی مورد بحث قرار دادند. نتایج نشان داد که ملات‌های متاکائولن موجب افزایش جزئی گرما در مقایسه با ملات ۱۰۰ درصد سیمان پرتلند بخاطر فعالیت پوزولانی شدید متاکائولن می‌شوند. با توجه به گرمای هیدراسیون، ملات آمیخته با متاکائولن رفتاری نزدیک‌تر با میکروسیلیس نشان داد. نتایج بدست آمده برای فعالیت پوزولانی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. پس از گذشت ۲ ساعت، هر دو مخلوط متاکائولن و میکروسیلیس فعالیت پوزولانی از خود نشان داده‌اند [۹].



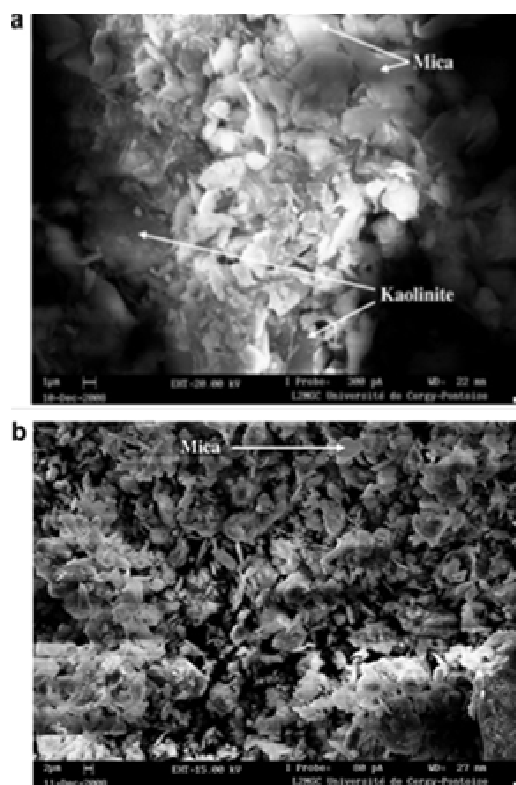
شکل ۳- مقایسه فعالیت پوزولانی متاکائولن، میکروسیلیس و خاکستر بادی در زمان‌های مختلف برای مخلوط ملات سیمان/ پوزولان [۹]

### ۳-۲-۴- اثر هیدروکسیل زدایی

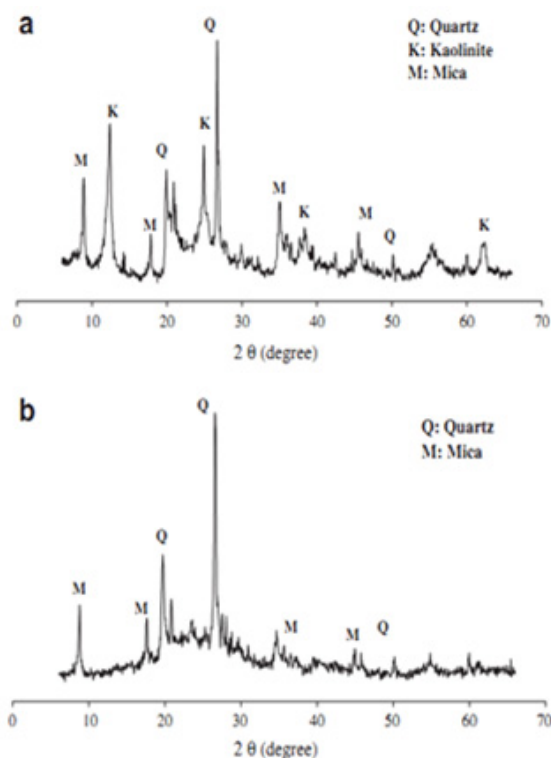
Said Kenai و همکارانش (۲۰۱۱) بمنظور بررسی ریز ساختار کائولن و متاکائولن پس از عملیات کلسینه‌شدن و هیدروکسیل زدایی نمونه‌ها را مورد آنالیز فازی قرار دادند. تصاویر پراش اشعه X نمونه‌های کائولن و متاکائولن کلسینه‌شده در ۸۵۰ درجه سلسیوس بمدت ۳ ساعت در شکل ۴ نشان داده شده است. فازهای کریستالی متاکائولن شامل کوارتز و میکا بوده‌است. عملیات حرارتی منجر به این نتایج شده است: (۱) از بین رفتن پیک مربوط به کائولینیت (۲) ظهور یک پیک بین ۲۰ تا ۳۰° که نشان از تشکیل فاز آمورف می‌باشد.

تصاویر SEM نیز تغییر ریز ساختار متاکائولن نسبت به کائولن را نشان می‌دهد (شکل ۵). حضور کائولینیت و میکا در کائولن فعال نشده بطور آشکار در شکل ۵a نشان داده شده است. در حالیکه شکل ۵b عدم حضور کائولینیت را نشان می‌دهد [۱۰].





شکل ۵- تصاویر SEM (a) کائولن (b) متاکائولن [۱۰]



شکل ۴- الگوهای XRD (a) کائولن (b) متاکائولن [۱۰]

Shrarrzum و همکارانش (۲۰۰۳) اثر پارامترهای عملیات حرارتی را بر فرایند هیدروکسیل زدایی / آمورف شدن مواد پایه کائولینیت مورد تحقیق قرار دادند. فرایند هیدروکسیل زدایی / آمورف شدن بوسیله DTA/TGA با طیف سنجی جرمی و پراش اشعه ایکس پودر تشخیص داده شد. بر اساس این پژوهش نتیجه گیری کردند که [۱۱]:

۱- در دمای کلسینه شدن کمتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد کائولن سطح نسبتاً پایینی از میزان هیدروکسیل زدایی را نشان داد. در محدوده ۴۵۰ تا ۵۷۰ درجه سلسیوس، میزان هیدروکسیل زدایی به شدت افزایش یافته است و در نهایت در دمای ۵۷۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس کائولن کاملاً هیدروکسیل زدایی شده است.

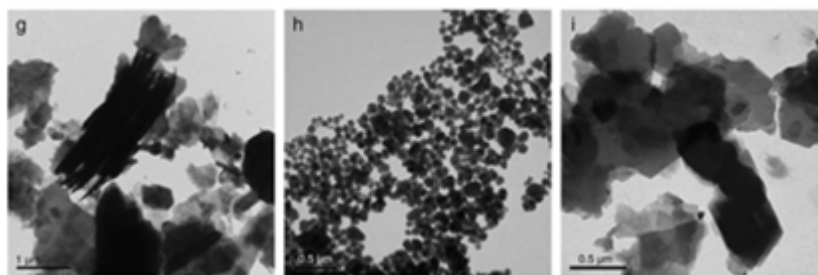
۲- هیدروکسیل زدایی با آمورف شدن همراه بوده است که فعالیت افزودنی را تحت تاثیر خود قرار داده است.

۳- نشان داده شد که فعالیت شیمیایی تابع خطی از میزان فاز آمورف در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ درصد است

۴- شاخص استحکام فعالیت مخلوط‌های سخت شده (۷، ۲۸، و ۹۰ روزه) بستگی زیادی به میزان فاز آمورف و نیز میزان هیدروکسیل زدایی دارد.

## ۲-۵- اثر نوع فراوری روی مورفولوژی ذرات

شکل ۶ مورفولوژی کائولن طبیعی و آنهایی که مورد عملیات حرارتی و مکانوشیمیایی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. آسیا کاری به شدت شکل ذرات را به لبه‌های گرد تغییر می‌دهد (شکل ۶-h) و عملیات حرارتی تاثیری روی مورفولوژی ذرات نگذاشته است (شکل ۶-۱۲). [۱۲].



شکل ۶- ریزنگاره‌های TEM (g) کائولن طبیعی (h) ۱۲۰ دقیقه آسیا کاری شده (i) کلسینه شده در ۷۰۰°C [۱۲]

### ۳- بتن‌های توانمند

بدلیل تقاضای صنعت ساخت و ساز نیاز به بتن‌های توانمند افزایش یافته است. برخی از ویژگی‌های بتن‌های توانمند به شرح زیر است: \* استحکام اولیه و نهایی بالاتر \* نفوذپذیری کمتر، دوام و طول عمر بالاتر \* مدول الاستیسیته بالاتر \* مقاوم‌تر در برابر حملات شیمیایی و در برابر تخریب ناشی از سرما خواص بتن‌های توانمند مطابق با استاندارد ASTM در جدول ۴ نشان داده شده است [۱۳].

جدول ۴- خواص بتن‌های توانمند مطابق با استاندارد ASTM

خواص	روش آزمون	ضوابط مشخص شده
استحکام فشاری	ASTM C 39	۱۴۰-۷۰ MPa در ۲۸ تا ۹۰ روز
استحکام خمشی	ASTM C 78	۴-۲ MPa در ۱ تا ۳ روز
مقاومت سایشی	ASTM C 944	۰-۱ mm عمق سایش
نفوذپذیری کم	ASTM C 1202	Coulombs ۵۰۰-۲۰۰۰
نفوذ کلرید	AASHTO T 259/260	کمتر از ۰/۰۷٪ کلر در ۶ ماه
جذب کم	ASTM C 642	۲ تا ۵ درصد

### ۴- کارپذیری بتن تازه حاوی متاکائولن

در این حالت خواص بتن از زمانی که آب به سیمان و سنگدانه اضافه می‌شود تا وقتی که بتن گیرش پیدا کرده و سخت می‌شود مورد توجه قرار می‌گیرد. بسیار مهم است که کارپذیری و سیالیت بتن تازه در حدی باشد که بتوان آن را با سهولت کافی ریخته، متراکم، پرداخت و یا حمل کرد.

Brooks و Johari (۲۰۰۱) زمان‌های گیرش و اسلامپ بتن‌های حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد متاکائولن را بررسی کردند. نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۲۸ بود. نتایج مربوط به زمان گیرش و اسلامپ در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- کارپذیری و زمان‌های گیرش بتن‌های حاوی متاکائولن [۱۴]

درصد متاکائولن	اسلامپ، mm	گیرش اولیه، h	گیرش نهایی، h
۰	۱۰۰	۵	۷/۷
۵	۳۰	۶/۴۲	۸/۸۲
۱۰	۲۰	۶/۹۸	۹/۴۲
۱۵	۵	۶/۴۵	۹/۳۱

می‌توان مشاهده کرد که میزان اسلامپ با افزایش مقدار MK کاهش یافته در حالیکه زمان‌های گیرش با افزایش MK افزایش یافته‌اند [۱۴].

### ۵- خواص بتن‌های سخت شده حاوی متاکائولن

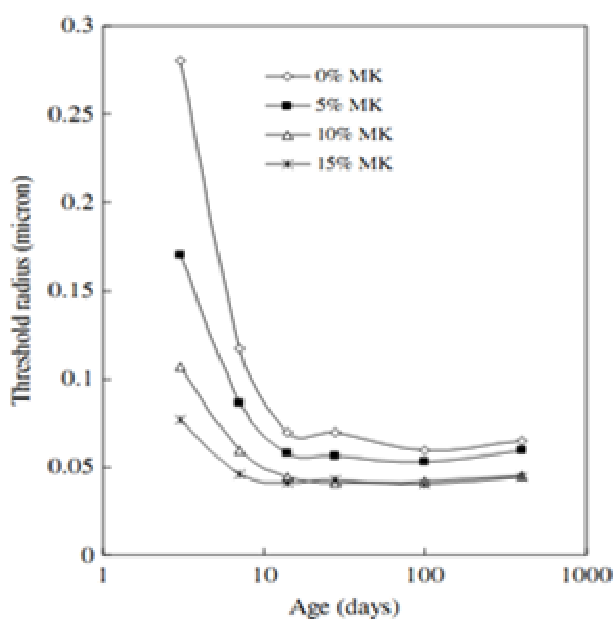
#### ۵-۱- توزیع اندازه حفرات

رفتار خوردگی، سایش، مقاومت به شوک، نفوذ پذیری از جمله خواص مهم بتن‌ها می‌باشند. علاوه بر میزان تخلخل، شکل و توزیع حفرات در بتن تأثیر زیادی روی این خواص دارند. خواص ذکر شده عمدتاً با کاهش اندازه حفرات بهبود می‌یابند.

Khatib و Wild (۱۹۹۶) میزان تخلخل و توزیع اندازه حفرات خمیر عمل آورده شده متاکائولن-سیمان را تعیین نمودند. خمیرها حاوی ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد متاکائولن با نسبت آب/سیمان ۰/۵۵ تهیه شدند. نمونه‌ها برای دوره‌های ۳ الی ۳۶۵ روز عمل آوری شدند. حجم و ساختار حفرات بوسیله نفوذدهی جیوه اندازه‌گیری شد. نسبت تخلخل‌های با شعاع کمتر از ۲۰ میکرون در جدول ۶ آمده است. نسبت تخلخل با شعاع کمتر از ۲۰ میکرون با افزایش مقدار MK افزایش یافته است [۱۵]. مقدار شعاع آستانه‌ای برای خمیرها با افزایش مقدار MK کاهش یافته است. شکل ۸ شعاع آستانه را برای خمیرهای با و بدون MK در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. استفاده از MK در خمیر سیمان منجر به اصلاح ساختار تخلخل شده است.

جدول ۶- درصد تخلخل با شعاع کمتر از ۲۰ میکرون در بتن حاوی متاکائولن در زمان‌های مختلف [۱۵]

درصد حفرات کمتر از ۲۰ میکرون				
روز	۰٪ MK	۵٪ MK	۱۰٪ MK	۱۵٪ MK
۳	۲۲/۲	۲۸/۳	۳۱/۰	۳۹/۹
۷	۲۶/۵	۳۲/۱	۴۱/۰	۵۰/۴
۲۸	۳۰/۳	۴۳/۰	۵۳/۹	۵۵/۷
۹۰	۳۳/۷	۴۳/۵	۴۸/۷	۵۴/۹
۳۶۵	۳۷/۳	۴۴/۷	۴۹/۹	۵۷/۶



شکل ۷- تغییرات شعاع آستانه‌ای در زمان‌های مختلف برای خمیرهای با و بدون متاکائولن [۱۵]

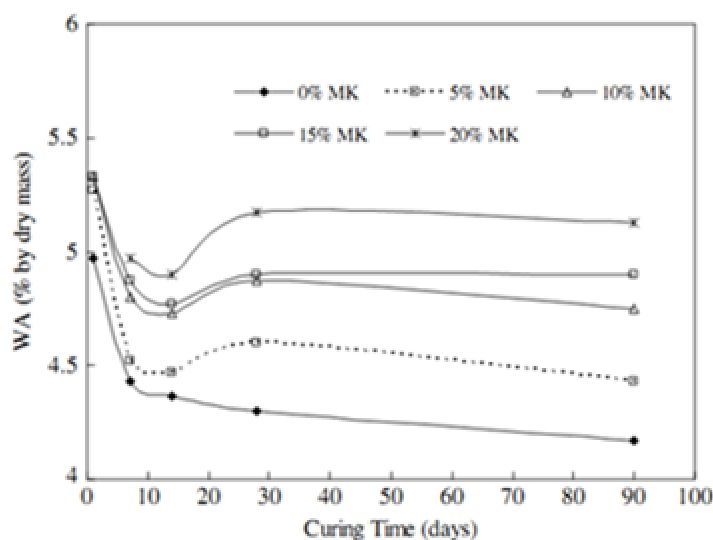
Poon و همکارانش (۲۰۰۶) تخلخل و توزیع اندازه حفرات خمیر سیمان-متاکائولن را با خمیرهای سیمان مخلوط با میکروسیلیس و خاکستر بادی مقایسه کردند که نتایج مربوطه در جدول ۷ خلاصه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که برای تمام نمونه‌ها، تخلخل و متوسط اندازه حفرات با طولانی‌تر شدن زمان عمل آوری کاهش یافته‌اند. نمونه‌های حاوی MK دارای تخلخل کمتری با قطر حفرات متوسط کوچکتر از نمونه کنترلی و نیز نمونه حاوی میکروسیلیس با همان درصد جایگزینی در تمام مدت زمان‌های آزمایش بوده‌اند. این مسأله نشان داد که متاکائولن نسبت به میکروسیلیس در اصلاح ساختار تخلخل موثرتر بوده است اگرچه هر دوی آن‌ها تخلخل و اندازه حفرات خمیرهای سیمانی را کاهش داده‌اند [۱۶].

جدول ۷- قطر متوسط حفرات خمیر سیمان‌های آمیخته [۱۶]

مخلوط	متوسط قطر حفرات (میکرون)			
	روز ۳	روز ۷	روز ۲۸	روز ۹۰
کنترل	۰/۰۳۸۰	۰/۰۳۷۱	۰/۰۳۶۲	۰/۰۳۴۸
۵٪ MK	۰/۰۳۵۷	۰/۰۲۷۹	۰/۰۲۵۷	۰/۰۲۴۳
۱۰٪ MK	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۵۱	۰/۰۱۹۷	۰/۰۱۸۶
۲۰٪ MK	۰/۰۲۰۴	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۱۴
۵٪ SF	۰/۰۳۶۶	۰/۰۳۷۰	۰/۰۳۶۷	۰/۰۳۴۹
۱۰٪ SF	۰/۰۳۵۳	۰/۰۳۴۱	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳۰۶
۲۰٪ FA	۰/۰۳۶۸	۰/۰۳۵۶	۰/۰۳۴۷	۰/۰۳۳۹

### ۵-۲- جذب آب و جذب سطحی

Clay و همکارانش (۲۰۰۴) ویژگی‌های جذب آب بتن حاوی متاکائولن را مورد بررسی قرار دادند. جذب آب از طریق غوطه‌وری بتن حاوی MK انجام شد. جذب آب برای تمام نمونه‌ها در زمان‌های مختلف عمل‌آوری در شکل ۹ نشان داده شده است. این روند به صورت یک افزایش سیستماتیک کوچک در جذب آب با افزایش میزان MK در تمام زمان‌های عمل‌آوری دیده می‌شود. بین ۱۴ تا ۲۸ روز افزایش کمی در جذب آب در اثر حضور متاکائولن ایجاد گردیده است. این افزایش می‌تواند بخاطر تشکیل فاز هیدراته چگال‌تر باشد. اما پس از گذشت ۲۸ روز، ۵ و ۱۰ درصد متاکائولن در بتن کاهش کوچکی در جذب آب آشکار ساخت، در حالیکه در سطوح جایگزینی بالاتر متاکائولن (۱۵ و ۲۰ درصد) تغییر در مقدار جذب آب ناچیز بوده است [۱۷].



شکل ۸- تغییرات جذب آب در زمان‌های مختلف عمل‌آوری بتن‌های حاوی متاکائولن [۱۷]

### ۵-۳- استحکام فشاری بتن

از مهمترین خصوصیات بتن مقاومت فشاری آن است. بررسی‌های متعددی روی بهبود استحکام بتن‌های حاوی متاکائولن صورت گرفته است. Brooks و همکارانش (۲۰۰۱) استحکام فشاری بتن‌های حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد متاکائولن را تعیین کردند. نسبت آب به چسب برابر ۰/۲۸ بود. نتایج استحکام ۲۸ روزه بتن‌های MK در جدول ۸ خلاصه شده است. از جدول پیداست که استحکام فشاری با افزایش متاکائولن افزایش یافته است [۱۸].

جدول ۸- استحکام فشاری بتن‌های حاوی متاکائولن [۱۸]

مخلوط‌های بتن	استحکام فشاری، MPa
سیمان پرتلند معمولی	۸۷/۰
۵ درصد متاکائولن	۹۱/۵
۱۰ درصد متاکائولن	۱۰۴/۰
۱۵ درصد متاکائولن	۱۰۳/۵

پژوهشگران سه عامل اصلی را شناسایی کردند که نقش متاکائولن در استحکام بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱۸]:  
 ۱- اثر پرکنندگی متاکائولن که بلافاصله است.

۲- شتاب در هیدراسیون سیمان پرتلند که در طی ۲۴ ساعت رخ می‌دهد.

۳- واکنش پوزولانی با هیدروکسید کلسیم که بیشترین تأثیر را طی ۷ تا ۱۴ روز نخست برای تمام سطوح جایگزینی متاکائولن می‌گذارد.

#### ۵-۴- استحکام کششی و خمشی

Li و Qian (۲۰۰۱) استحکام کششی بتن‌های حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ درصد متاکائولن به عنوان جایگزین سیمان مورد تحلیل قرار دادند. متاکائولن استفاده شده دارای سطح ویژه  $12000 \text{ m}^2/\text{kg}$  و قطر متوسط ذرات آن  $2/23$  میکرون بود. نمونه‌ها به ابعاد  $300 \times 100 \times 20 \text{ mm}$  تحت کشش مستقیم مورد آزمایش قرار گرفتند. این آزمایشات برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در زمان ۲۸ روز انجام گرفت. نتایج آزمون کشش در جدول ۹ آمده است [۱۹].

جدول ۹- استحکام کششی بتن با سطوح مختلف جایگزینی متاکائولن [۱۹]

زمان، روز	استحکام کششی، MPa			
	۱۵٪ MK	۱۰٪ MK	۵٪ MK	۰٪ MK
۲۸	۳/۳۵	۲۸	۳/۳۵	۲۸

نتایج حاکی از آن بودند که استحکام کششی بتن با افزایش سطح جایگزینی متاکائولن افزایش یافته است. افزایش استحکام کششی متوسط عبارت بودند از ۷٪، ۱۶٪ و ۲۸٪ و افزایش کرنش نهایی عبارت بودند از ۳٪، ۱۹٪ و ۲۷٪ که به ترتیب برای ۵، ۱۰، ۱۵ درصد متاکائولن ارائه شده‌اند.

Li و Qian استحکام خمشی بتن‌های حاوی متاکائولن با شرایط مذکور را بررسی کردند. نمونه‌ها به ابعاد  $300 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  تحت خمش ۴ نقطه‌ای مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج در جدول ۱۰ آمده است. آنها نتیجه‌گیری کردند [۱۹]:

- سطح جایگزینی ۵ درصد اثر کمی بر استحکام خمشی بتن داشته است.
- در ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی متاکائولن، استحکام خمشی ۲۸ روزه به ترتیب ۳۲ و ۳۸ درصد افزایش پیدا کرده است. بنابراین ارتقای قابل توجه در استحکام خمشی بتن را می‌توان برای سطوح جایگزینی ۱۰ و ۱۵ درصد متاکائولن بدست آورد.

جدول ۱۰- استحکام خمشی بتن با سطوح مختلف جایگزینی متاکائولن [۱۹]

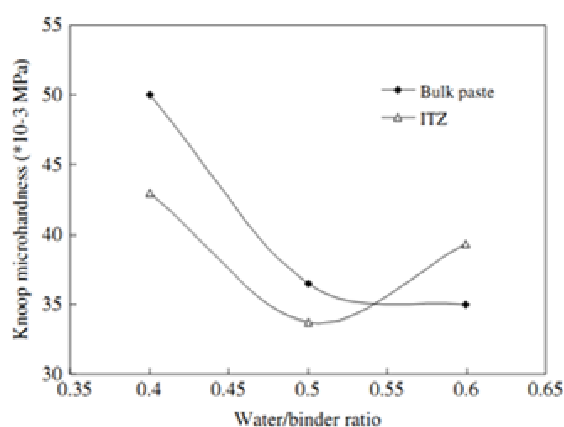
زمان، روز	استحکام خمشی، MPa			
	۱۵٪ MK	۱۰٪ MK	۵٪ MK	۰٪ MK
۲۸	۴/۶۵	۴/۷۴	۶/۱۶	۶/۴۰
۸۰	۵/۷۰	۵/۸۱	۶/۴۶	۷/۰۶

#### ۵-۵- میکرو سختی

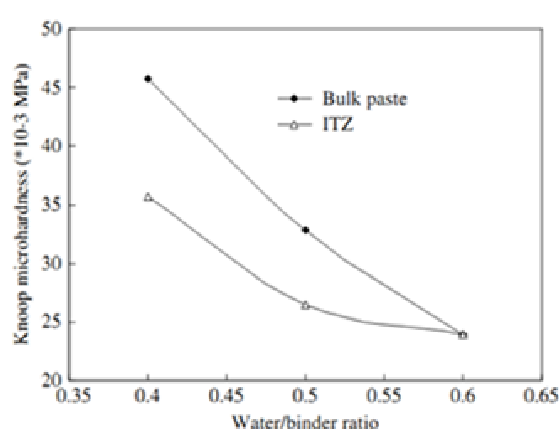
ناحیه انتقال یا ناحیه بین خمیر سیمان و سنگدانه از اهمیت قابل توجهی در خصوص خواص بتن برخوردار است. ناحیه انتقال به

صورت یک پوسته نازک به دور دانه‌های درشت قرار گرفته و عموماً ضعیف‌تر از دو بخش دیگر بتن است و در نتیجه تاثیر بسزایی در خواص مکانیکی بتن دارد. آزمون میکروسختی ابزاری برای تعیین گرادیان میکروساختار در سرتاسر منطقه فصل مشترک انتقالی (ITZ) بدست می‌دهد. اندازه‌گیری میکروسختی می‌تواند به تشخیص خواص ITZ نسبت به زمینه‌خیمیر سیمان کمک کرده و وسیله‌ای برای تخمین وسعت ITZ می‌باشد.

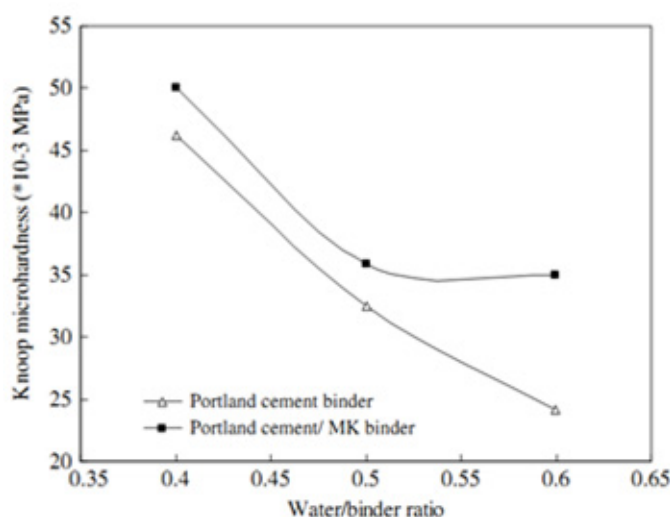
Asbidge و همکارانش (۲۰۰۲) تغییرات در میکروسختی اجرای هیدراته زمینه سیمانی را به صورت توابعی از فاصله تا سطح اگریگیت (مصالح دانه‌ای) برای نمونه‌های حاوی متاکائولن بدست آوردند. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از بارگذاری ۲۵ g انجام شد. تغییرات در میکروسختی خیمیر / ITZ در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده‌اند. از شکل ۱۰ به نظر می‌رسد که در نمونه‌های سیمان پرتلند ITZ نرم‌تر از (متخلخل‌تر) زمینه‌ها با نسبت‌های کمتر آب به چسب بوده است [۲۰]. میکروسختی ITZ به میزان ۲۲ درصد کمتر از زمینه‌ها با نسبت آب به چسب ۰/۴ بود. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در نمونه‌ایی که سیمان پرتلند با ۱۰ درصد متاکائولن جایگزین شده است، میکروسختی منطقه ITZ مشابه با زمینه‌ها با نسبت آب به چسب ۱۲ واضح است که میکروسختی زمینه‌ها با ITZ وقتی متاکائولن بعنوان جایگزینی جزئی برای سیمان پرتلند بکار می‌رود افزایش یافته است.



شکل ۱۰- تغییرات در میکروسختی با نسبت آب/چسب (چسب سیمان پرتلند/ متاکائولن) [۲۰]



شکل ۹- تغییرات در میکروسختی با نسبت آب/چسب (چسب سیمان پرتلند) [۲۰]



شکل ۱۱- تغییرات در میکروسختی با نسبت آب/چسب مختلف [۲۰]

## ۶- دوام بتن‌های حاوی متاکائولن

دوام بتن به مقاومت آن در برابر عوامل هوازدگی، حمله شیمیایی، سایش و یا هر فرایندی که موجب آسیب دیدگی شود، گفته می‌شود. بنابراین بتن با دوام، بتنی است که شکل اولیه، کیفیت و قابلیت سرویس‌دهی خود را در شرایط محیطش حفظ کند.

## ۶-۱- واکنش سیلیس - قلیا

انبساط و ترک خوردگی‌ای که منجر به کاهش مقاومت و دوام بتن می‌شوند، می‌توانند به علت واکنش‌های شیمیایی بین یون‌های قلیایی ناشی از سیمان پرتلند و مواد سیلیسی سنگدانه بوجود آیند، که این پدیده را واکنش سیلیس - قلیا می‌گویند. Ramlochan و همکارانش (۲۰۰۰) کارائی متاکائولن را در جلوگیری از واکنش سیلیس - قلیا برای کنترل انبساط زیان‌آور ارزیابی کردند. انبساط بتن‌های حاوی ۰ تا ۲۰ درصد متاکائولن بعنوان جایگزین جزئی سیمان پرتلند تعیین گردید. آزمایش‌ها تا مدت ۲ سال ادامه پیدا کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که [۲۱]:

۱- وارد ساختن ۱۰ تا ۱۵ درصد متاکائولن بعنوان جایگزین سیمان می‌تواند برای کنترل انبساط زیان‌آور در اثر واکنش سیلیس - قلیا در بتن بسته به طبیعت مصالح بکار رفته کافی باشد.

۲- میزان متاکائولن مورد نیاز برای کنترل انبساط در مقادیر زیر ۰/۰۴ درصد بمدت ۲ سال بسته به نوع مصالح بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بدست آمد.

مکانیزمی که متاکائولن می‌تواند انبساط را بخاطر واکنش سیلیس - قلیا کنترل کند شامل حبس مواد قلیایی بوسیله هیدرات‌های اضافی، کاهش در pH محلول و همچنین کم کردن میزان CH و کاهش نسبت CH/SiO<sub>2</sub> بوده و لذا از تشکیل ژل باد کننده جلوگیری به عمل می‌آید.

## ۶-۲- اثر متاکائولن روی نفوذ کلرید در بتن

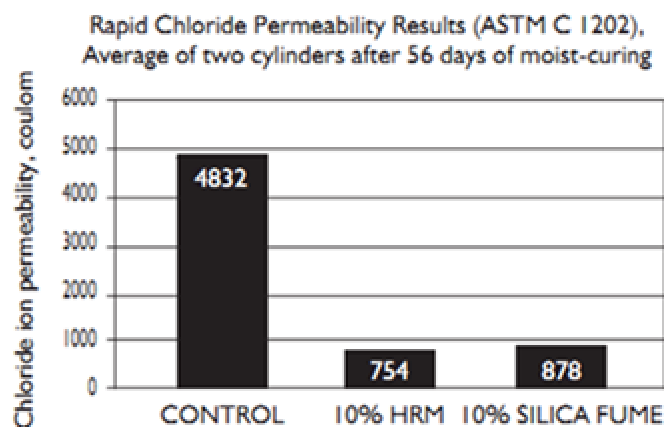
Poon و همکارانش (۲۰۰۶) نفوذپذیری کلرید در مخلوط‌های بتنی حاوی متاکائولن و میکروسیلیس را در نسبت آب به چسب ۰/۳ و ۰/۵ بدست آوردند. دو سری مخلوط بتنی در نسبت‌های آب/چسب از ۰/۳ و ۰/۵ تهیه شدند و هر سری شامل سه مخلوط MK با ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد و دو مخلوط میکروسیلیس با ۵ و ۱۰ درصد بود و یک نمونه کنترلی بدون هیچگونه افزودنی معدنی وجود داشت. نفوذپذیری کلریدی بتن نیز با استفاده از دستورالعمل ASTM C1202 صورت گرفت. آزمایش نفوذپذیری کلریدی تا ۹۰ روز ادامه یافت و نتایج آن در جدول ۱۱ آورده شده است. آنها نتیجه‌گیری کردند که [۲۲]:

جدول ۱۱- نفوذپذیری کلرید بتن حاوی متاکائولن و میکروسیلیس [۲۲]

w/b	آمیز، %	بار عبوری کل، Coulombs		
		۳روز	۷روز	۲۸روز
۰/۳۰	کنترل	۲۴۶۱	۲۱۵۱	۱۰۳۵
	5MK	۱۳۲۷	۱۲۴۴	۸۶۲
	10MK	۴۱۷	۳۴۷	۱۹۹
	20MK	۴۰۶	۳۹۵	۲۴۰
	5SF	۱۰۶۰	۹۴۵	۶۶۵
	10SF	۵۶۷	۴۴۵	۳۶۰
	کنترل	۵۳۱۲	۴۰۵۴	۲۹۷۱
	5MK	۴۲۱۵	۳۷۶۵	۲۰۷۹
	10MK	۱۵۸۰	۱۲۴۷	۹۱۸
	20MK	۷۵۱	۷۴۰	۶۴۰
۰/۵۰	5SF	۳۱۵۶	۲۰۴۷	۱۶۴۱
	10SF	۳۱۴۰	۱۸۷۷	۱۲۲۳

۱- هم بتن‌های متاکائولن و هم میکروسیلیس بار مجموع (Total Charge) کمتری را نسبت به نمونه کنترلی از خود عبور دادند. در نسبت آب/چسب ۰/۳، بتن با ۱۰ درصد جایگزینی MK بهترین عملکرد را داشت در حالیکه وقتی این نسبت به ۰/۵ می‌رسید با ۲۰ درصد جایگزینی عملکرد بهتری داشت. جایگزینی ۱۰ درصد MK باعث بار مجموع عبوری کمتری نسبت به ۱۰ درصد جایگزینی با میکروسیلیس شده است.

۲- در نسبت بالاتر آب/چسب ۰/۳ درصد جایگزینی بیشتر، استفاده از MK موثرتر از میکروسیلیس برای بهبود مقاومت بتن‌ها در برابر نفوذ یون کلرید است. در شکل ۱۳ اثر متاکائولن روی نفوذپذیری یون کلرید آمده است. نتایج نشان می‌دهند که متاکائولن سرعت نفوذ یون کلریدی را از طریق زمینه سیمان هیدراته کاهش می‌دهد و همچنین مقاومت ناحیه فصل مشترک را در مقابل نفوذ کلرید بهبود می‌دهد.



شکل ۱۲- اثر متاکائولن روی نفوذپذیری یون کلرید

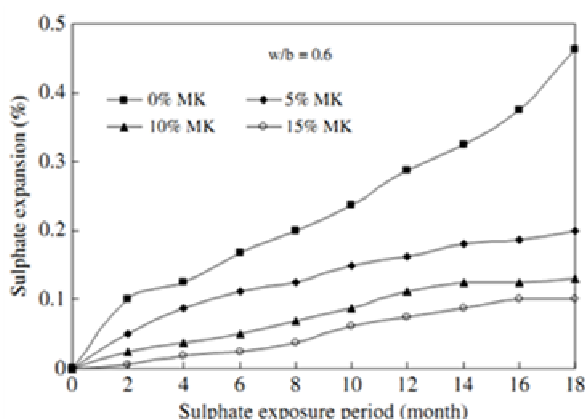
### ۳-۶- اثر متاکائولن روی مقاومت سولفات در بتن

حمله سولفات یکی از خشن و مهاجم‌ترین تخریب محیطی است که دوام بلند مدت سازه‌های بتنی را تهدید می‌کند. حمله سولفات روی بسیاری از سازه‌های مهندسی عمران که در معرض محیط‌های سولفات مثل اسکله‌ها، پل‌ها، فونداسیون‌ها، لوله‌های بتنی و غیره قرار دارند اتفاق می‌افتد و باعث انبساط بتن و ترک خوردگی و غیره می‌شود. حمله سولفات‌ها معمولاً به واکنش‌های یون‌های سولفات با هیدروکسید کلسیم و هیدرات آلومینات کلسیم برای تشکیل سنگ گچ واترینگایت (ettringite) نسبت داده می‌شود. سنگ گچ واترینگایت شکل گرفته در نتیجه حمله سولفات‌ها به مراتب حجیم‌تر از واکنش دهنده‌های اولیه است. تشکیل گچ واترینگایت موجب انبساط، ترک خوردگی، تخریب و شکست سازه‌های بتنی می‌شود.

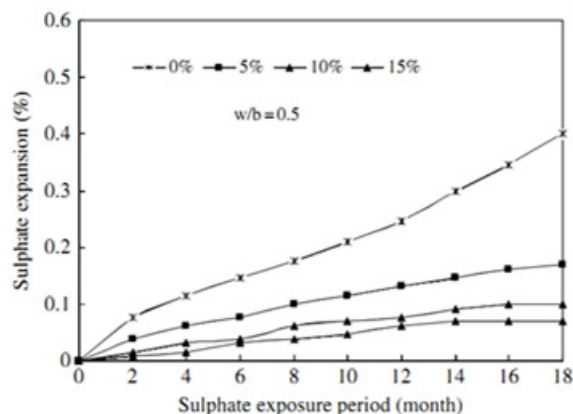
Al-Akhras (۲۰۰۶) اثر متاکائولن بر دوام بتن در معرض حمله سولفات را مورد تحقیق قرار داد. درجه حمله سولفات با اندازه‌گیری انبساط منشورهای بتنی ارزیابی شد. اندازه‌گیری حمله سولفات با غوطه‌وری نمونه‌های بتنی در مخزن آبی حاوی ۵ درصد سولفات سدیم برای یک دوره ۱۸ ماهه انجام گرفت. اثر سطح جایگزینی متاکائولن بر تغییرات انبساط ناشی از در معرض‌گذاری سولفات در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نمایش داده شده است. ایشان نتیجه گرفتند که مقاومت بتن MK بیشتر از بتن معمولی بود و مقاومت سولفات با افزایش سطوح جایگزین MK افزایش یافت. بتن ۱۰ و ۱۵ درصد متاکائولن در هر دوی نسبت‌های آب/چسب دارای دوام عالی در برابر حمله سولفات از خود نشان دادند. بتن حاوی ۵ درصد MK دوام متوسطی در برابر حمله سولفات از خود نشان داد. افزایش مقاومت سولفات بتن حاوی متاکائولن را می‌توان با مکانیزم‌های زیر توضیح داد. نخست، جایگزینی بخشی از سیمان پرتلند با MK موجب کاهش میزان کل هیدرات آلومینات تری کلسیم از خمیر سیمانی زمینه بتن می‌شود. دومین مکانیزم از طریق واکنش پوزولانی بتن MK و هیدرواکسید کلسیم آزاد شده طی هیدراسیون سیمان می‌باشد که بخشی از هیدروکسید کلسیم را به مصرف می‌رساند. بنابراین مقدار گچ انبساط یافته حاصل از واکنش هیدروکسید کلسیم در بتن MK نسبت به بتن معمولی کمتر خواهد شد. بعلاوه تشکیل C-S-H ثانویه از واکنش پوزولانی اگرچه تراکم کمتری نسبت به ژل C-S-H اولیه دارد ولی با پر کردن و ناپیوسته کردن حفرات از طریق اصلاح اندازه تخلخل موجب کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود.



علاوه بر واکنش پوزولانی، اثر پرکنندگی MK بخاطر اندازه ذرات ریز آن در مقایسه با سیمان، تراکم ساختار بیشتری ایجاد می‌کند و مقاومت بتن را در برابر حمله سولفات‌ها افزایش می‌دهد [۲۳].



شکل ۱۴- اثر متاکائولن روی تغییرات انبساط ناشی از حمله سولفات‌ها (نسب آب/چسب ۰/۶) [۲۳]



شکل ۱۳- اثر متاکائولن روی تغییرات انبساط ناشی از حمله سولفات‌ها (نسب آب/چسب ۰/۵) [۲۳]

## ۷- نتیجه گیری

- استفاده از متاکائولن در بتن توجه زیادی بخاطر الزامات زیست محیطی و ساخت و ساز پایدار در آینده به خود جلب کرده است.
- متاکائولن یک ماده پوزولانی است که از کلسینه شدن کائولن در دمای ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس با توجه به نوع کائولن بدست می‌آید. حرارت دادن آب شیمیایی کائولن را خارج کرده، ساختار کریستالی آن را از بین برده و محصول تبدیل به یک سیلیکات آلومینیوم آمورف می‌شود.
- متاکائولن به بهبود خواص مکانیکی در زمان‌های کوتاه و بلند مدت بتن کمک می‌کند و باعث اصلاح ساختار تخلخل و توزیع اندازه ذرات بتن شده و در نتیجه بطور قابل ملاحظه‌ای نفوذپذیری را در مقابلیون‌های مضر از قبیل یون کلرید کاهش می‌دهد.
- متاکائولن باعث کاهش چشم‌گیر انبساط ناشی از حمله سولفات‌ها به زیر ۰/۱ درصد در بتن شده و موجب دوام بلند مدت بتن می‌گردد.
- جایگزینی جزئی متاکائولن با سیمان موجب کنترل قابل قبول انبساط زبان‌بار ناشی از واکنش سلیس- قلیا در بتن می‌گردد.

## مراجع

- [1] Rafat Siddique, Juvas Klaus, "Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review", Applied Clay Science 2009, 43, 392-400.
- [2] Rafat sedigh, "Waste Materials and By-Products in Concrete", 2008, pp 41-92.
- [3] Ellis M. Gartner, Donald E. Macphee, "A physico-chemical basis for novel cementitious binders", Cement and Concrete Research, 2011, 41 736-749.
- [4] B. Sabir, S. Wild, J Bai, "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review", Cement and concrete Composites 23, 2001, 441-454.
- [5] Kostuch, J.A., Walters, G, V., Jones, T. R.: High performance concrete incorporating metakaolin- a review, pp. 1799-1811. Concrete 2000.
- [6] Oriol, M., Pera, J.: Pozzolanic activity of metakaolin under microwave treatment. Cem.Concr. Res. 25(2), 265-270 (1995).
- [7] Rojas MF, Cabrera J, "The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin-lime-water systems", Cement and Concrete Research 32, 2002, 133-138.
- [8] Poon CS, Lam L, Kou SC, Wong YL, Wong R, "Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high-performance cement pastes", Cement and Concrete Research 31, 2001, 1301-1306.
- [9] Frias M, Sanchez de Rojas MI, Cabrera J, "The effect that the pozzolanic reaction of metakaolin has on the heat evolution in metakaolin-cement mortars", Cement and Concrete Research 30, 2000, 209-216.

- [10] Said Kenai ,Mohamed Said-Mansour, Mohamed Ghric, Rachid Bennaceur, , El-Hadj Kadri, "Influence of calcined kaolin on mortar properties", Construction and Building Materials 25, 2011, 2275–228.
- [11] Shvarzman A, Kovler K, Grader GS, Shter GE, " The effect of dehydroxylation/ amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite", Cement and Concrete Research 33, 2003, 405–416.
- [12] C. Vizcayno, R. Castello, E. Rodriguez, C.E. Guerrero , R.M. de Gutiérrez , "Pozzolan obtained by mechanochemical and thermal treatments of kaolin", Applied Clay Science 49 2010, 405–413.
- [13] Florence Sanchez, Konstantin Sobolev, "Nanotechnology in concrete – A review", Construction and Building Materials 24, 2010, 2060–2071.
- [14] Brooks JJ, Johari MMA , "Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete", Cement & Concrete Composites 23, 2001, 495–502.
- [15] Khatib JM, Wild S, "Pore size distribution of metakaolin paste" Cement and Concrete Research 26, 1996, 1545–1553.
- [16] Poon CS, Kou SC, Lam L, "Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete", Construction and Building Materials 20, 2006, 619-623.
- [17] Clay RM, Khatib JM, "Absorption characteristics of metakaolin concrete", Cement and Concrete Research. 34, 2004, 19–29.
- [18] Brooks JJ, Johari M, "Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete", Cement and Concrete Composites 23, 2001, 495–502.
- [19] Qian X, Li Z , "The relationships between stress and strain for high-performance concrete with metakaolin", Cement and Concrete Research 31, 2001, 1607–1611.
- [20] Asbridgeo AH, Page CL, Page MM "Effects of metakaolin, water/binder ratio and interfacial transition zones on the micro hardness of cement mortars" , Cement and Concrete Research 32, 2002, 1335-1369.
- [21] Ramlochan T, Thomas M, Gruber KA , "The effect of metakaolin on alkali-silica reaction in concrete", Cement and Concrete Research 30, 339–344.
- [22] Poon CS, Kou SC, Lam L, "Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete", Construction and Building Materials 20, 2006, 858-865.
- [23] Al-Akhras NM, "Durability of metakaolin to sulfate attack", Cement and Concrete Research 39, 2006, 1727-1734.

# پارک علم و فناوری خراسان - پایلوت سرامیک



## معرفی

پایلوت سرامیک پارک علم و فناوری خراسان در سال ۱۳۷۱ در شهر مشهد مقدس با نصب و راهاندازی تجهیزات آزمایشگاهی و نیمه صنعتی شروع به کار کرده است. عمده فعالیت این واحد، تعریف و اجرای طرحهای پژوهشی، کاربردی، نیمه صنعتی و ساخت انواع قطعات سرامیکی مهندسی و پیشرفته طبق سفارش سازمانها و صنایع مختلف است که ضمن برخورداری از توان تخصصی بالا و همچنین تجهیزات آزمایشگاهی و نیمه صنعتی منحصر به فرد خود توانسته است خدمات ارزندهای ارائه کند.

## محورهای فعالیت

- طراحی و ساخت سرامیکهای مهندسی و صنعتی (به ویژه آلومینا و زیرکونیا)
- اجرای پروژههای پژوهشی، کاربردی و نیمه صنعتی
- ایجاد پوششهای فلزی و غیر فلزی
- ارائه خدمات آزمایشگاهی تخصصی
- ارائه مشاوره های علمی و فنی

## مهمترین فعالیتها و افتخارات



- اولین سازنده انواع ظروف دما بالا از جنس آلومینا و زیرکونیا در کشور
- دستیابی به دانش فنی ساخت فرول از جنس آلومینا و زیرکن مورد استفاده در صنایع نفت و گاز
- دستیابی به دانش فنی ساخت قطعه سرامیکی ته ریز سلیکلون مورد استفاده در صنایع تغلیظ مس
- اولین و تنها سازنده انواع مکانیکال سیل آلومینایی مورد استفاده در پمپها و شیرهای صنعتی در کشور
- طراحی و ساخت شتاب سنج پیزوالکتریک برای اولین بار در کشور جهت استفاده در صنایع هوافضا
- بزرگترین آزمایشگاه تخصصی شرق کشور در زمینه مهندسی مواد (آزمایشگاه آکرو دیته استاندارد)

• کسب عنوان آزمایشگاه نمونه همکار استاندارد در سال ۱۳۹۱

- اختراع "ته ریز سیکلون به روش پرس ایزواستاتیک سرد ویژه صنایع تغلیظ"
- اختراع "سرامیک پیزوالکتریک جرقه زن شیر کنترل گاز"
- اختراع "بوته منیزیتی جهت ذوب فلزات"

• رتبه دوم پژوهش "تحقیقات کاربردی در زمینه آماده سازی پودر؛ شکل دهی و پخت قطعات سرامیکهای صنعتی آلومینایی"

• رتبه دوم پژوهش "آلومینایزینگ قطعات فولادی به روش غوطه وری گرم"

## امکانات و تجهیزات پایلوت سرامیک

- خشک کن پاششی با ظرفیت تبخیر ۶۰ کیلوگرم آب در ساعت (اسپری درایر)
- از این دستگاه برای تهیه پودر گرانول شده با ذرات یکنواخت استفاده می شود. سیستم گرمکن این دستگاه قادر است هوای ورودی را تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد گرم کرده و باعث تسریع در تبخیر آب دوغاب و افزایش سرعت تولید گرانول شود.
- پرس ایزواستاتیک سرد با فشار ۲۰۰۰ بار (CIP)
- پرس های هیدرولیک آزمایشگاهی و نیمه صنعتی
- کوره نیمه صنعتی با دمای ۱۸۰۰ درجه سانتیگراد و ظرفیت یک متر مکعب
- کوره های آزمایشگاهی از دمای ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد
- سنگ شکن های آزمایشگاهی و نیمه صنعتی
- آسیاب های گلوله ای آزمایشگاهی و نیمه صنعتی
- ترازوهای حساس آزمایشگاهی

## برخی از نتایج طرح های تحقیقاتی که به مرحله تولید رسیده اند عبارتند از:

- ۱- طراحی و ساخت فرول سرامیکی
- ۲- ساخت قطعه سرامیکی ته ریزسایکلون
- ۳- چینی بدنه شمع اتومبیل و کسب دانش فنی آن
- ۴- ساخت گلوله های بال میل آجر لاینیک و ظروف جارمیل و فست میل
- ۵- ساخت سگمنت های سنگ بری (Diamond Perl Wite) و تدوین دانش فنی آن
- ۶- ساخت پودر پاناد که نوعی سرامیک- فلز (Cermet) است و جهت اتصال بین الکترودهای درون چینی با بدنه داخلی شمع اتومبیل قابل استفاده قرار می گیرد.
- ۷- ساخت انواع بدنه های آلومینایی و زیرکونیایی (مکانیکال سیل، میله، لوله و...)
- ۸- پوشش فلزی و سرامیکی بر روی قطعات فلزی (قطعات آلومینای زینگ، پاشش شعله ای و پلاسما)



## عناوین برخی از پروژه‌های پژوهشی، کاربردی و صنعتی اجرا شده

- ۱- طراحی و ساخت فرول آلومینایی و زیرکونیایی
- ۲- ساخت پوشش مقاوم به حرارت بر روی پره‌های توربین نیروگاهی
- ۳- طراحی و ساخت یک نمونه شتاب سنج پیزوالکتریک
- ۴- طراحی و ساخت تیغه‌های سرامیکی آلومینا- زیرکونیا
- ۵- تکنولوژی ساخت لوله‌های آلومینایی به روش اکستروژن
- ۶- طراحی و ساخت جار میل آلومینایی
- ۷- طراحی و ساخت بوته‌های منیزیتی خلوص بالا
- ۸- طرح پژوهشی افزایش خلوص و دمای کارکرد لوله‌های آلومینایی دستگاه لیزر
- ۹- نیمه صنعتی آلومینایزینگ قطعات منفصله اکزوز
- ۱۰- طراحی و ساخت لوله آلومینایی دستگاه لیزر
- ۱۱- طراحی و ساخت ظروف آلومینایی
- ۱۲- طرح نیمه صنعتی پیزوالکتریک جرقه زن
- ۱۳- طرح نیمه صنعتی ساخت ته ریزسیکلون صنایع مس
- ۱۴- طراحی و ساخت واشرهای آب بندی سرامیکی
- ۱۵- بررسی مقاومت به خوردگی فولاد ضدزنگ ۴۱۲

آزمایشگاه پارک علم و فناوری خراسان با بیش از ۱۵ سال تجربه و بهره‌گیری از کادری متخصص و مجرب جهت ارزیابی هرچه بهتر خدمات آزمایشگاهی در زمینه انجام آزمایش‌های متالورژیکی مانند متالوگرافی و بررسی کمی و کیفی فازهای موجود در ساختار میکروسکوپی آلیاژهای صنعتی، سختی سنجی، ضخامت پوشش‌های فلزی و غیرفلزی بر روی فلزات آهنی و غیرآهنی و انجام آزمایش‌های مکانیکی کشش، فشار، خمش به بخش تحقیقات و صنعت و به منظور جلب رضایت مشتری و بهبود مداوم کیفیت در ارائه خدمات، با الگو قراردادن استاندارد ISIRI-ISO/IEC 17025 و براساس استانداردهای بین‌المللی و ملی مطابق با نیاز مشتری و الزامات قانونی ارائه خدمت می‌کنند.



## امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی

- استحکام سنج یونیورسال با ظرفیت‌های 50KN و 600KN
- دستگاه آنالیز فلزات-کوانتومتری مدل SOLARIS CCD Plus
- دستگاه XRD (مدل Unisantis XMD300)
- دستگاه XRF (مدل 4 Unisantis XMF10)
- دستگاه طیف سنجی جذب اتمی (A.A)
- دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)
- دستگاه میکروسکوپ نوری Olympus BH60
- دستگاه آنالیز حرارتی (مدل Bahr STA 503)
- دستگاه پارتیکل آنالایزر لیزری مدل Fritsch A22
- دستگاه رطوبت سنج IR
- سختی سنج یونیورسال
- میکروسختی سنج MHT2 (Matsuzawa Microhardness Tester)



- سختی سنج پلیمرها (لاستیکها و پلاستیکها) (مدل Time TH210, TH200)
- سختی سنج پرتابل فلزات (روش لیبز Leeb) (مدل Time TH160)
- انواع ترازوی دیجیتال
- دستگاه تعیین پارامتر d33 سرامیکهای پیزوالکتریک (d33 tester)

**کاشی نیلو**

**NILOU TILE**  
PORCELAIN PRODUCTS

60x120 cm

60x60 cm

FINISHED PRODUCTS

Tel : 031-42235057-8 Fax : 031-42232697  
Website : WWW.NILOUTILE.COM  
Email : mail@niloutile.com

## دکتر پائولو زینینی، رئیس انجمن سرامیک ایتالیا



دکتر پائولو زینینی (Dr. Paolo Zannini) عضو هیئت علمی دانشگاه مودنا، رئیس انجمن سرامیک ایتالیا، عضو هیئت مدیره انجمن سرامیک اروپا و اتحادیه بین‌المللی سرامیک می‌باشند. ایشان همچنین عضو کمیته علمی مجلات Ceramics International، American Ceramic Society و Ceramic World Review می‌باشند.

### ارزیابی کلی شما از وضعیت صنعت سرامیک‌های سنتی در ایران چیست؟

پیش از حضور در ایران، اینجانب اطلاعات کاملی در خصوص اهمیت صنعت سرامیک ایران کسب کرده بودم. این صنعت موجب شده است که ایران به رتبه چهارم تولید کنندگان کاشی در دنیا برسد که البته در آینده نزدیک به رتبه سوم خواهد رسید. چنین پیشرفتی در ایران مدیون پتانسیل بالای این کشور در تولید مواد اولیه سرامیکی و دستگاه‌های مدرن خریداری شده در این صنعت می‌باشد. عمده اطلاعات من در این زمینه از طریق تولیدکنندگان ایتالیایی دستگاه‌های خط تولید مواد سرامیکی بدست آمده که در حال صادر کردن ماشین و متخصصین خود به ایران بوده‌اند و بالطبع این متخصصین در بازگشت به ایتالیا حامل اطلاعات مفیدی در زمینه فعالیت‌های مربوط به این صنعت در ایران می‌باشند.

### آیا می‌توانید تعریفی از نوع جهت‌گیری صنایع مختلف در ایران، به ویژه برای آینده ارائه دهید؟

بازار جهانی کاشی و سرامیک در طول سال‌های گذشته تغییرات شگرفی داشته است. این تحولات را می‌توان به فاکتورهای زیادی از جمله افزایش کیفیت زندگی در بسیاری از کشورها و در نتیجه آن تقاضا برای خانه‌هایی با کیفیت بالاتر، امکان دستیابی به رس‌های جدید و سایر مواد اولیه از طریق تامین کنندگان به روزتر، توسعه تکنولوژی از جمله پاشش جوهری (Ink Jetting) در ترئین لعاب‌ها اشاره کرد که به کشورهای غیر سنتی تولیدکننده مواد سرامیکی اجازه می‌دهد کاشی‌هایی با کیفیت بالا تولید کنند.

به دلیل توانایی‌های بالای اقتصادی و فنی در ایران، این کشور همواره قادر بوده است خود را به بازار جهانی معرفی نموده و به دیدگاه من چنین روند توسعه‌ای در آینده نیز ادامه خواهد یافت. البته این روند ممکن است با سرعتی که در سال‌های گذشته دنبال شده ادامه نیابد؛ ولی به هر حال روندی پیوسته رو به رشد خواهد داشت. در این مسیر نیاز اساسی ایران افزایش سریع کیفیت و سیاست‌های جدید فروش بوده تا از آن طریق بتواند میزان صادرات خود را افزایش دهد.

### آیا تکنولوژی‌های جدید در ایران به درستی مورد استفاده قرار گرفته است؟

توانایی‌ها و قابلیت‌های نیروی انسانی فعال در صنعت کاشی و سرامیک ایران باید هرچه سریع‌تر افزایش پیدا کرده تا بتواند به خوبی از منافع موجود در پیشرفت‌های تکنولوژیک اخیر بهره‌مند گردد.

در طول مدت اقامت بنده در ایران بابت حضور در کنفرانس ICTS-2014، این نکته را دریافتم که دانشجویان و اساتید دانشگاهی در ایران از سطح علمی خوبی برخوردار هستند که لازم است توانایی‌های تولیدکنندگان در واحدهای صنعتی فعال در زمینه سرامیک نیز، به این حد از رشد برسد. برای استفاده بهینه از یک تکنولوژی جدید تنها برخوردار بودن از ارتباطات قوی با تولیدکنندگان خارجی کافی نبوده، بلکه مهم‌تر از آن ایجاد یک فرهنگ سرامیکی واقعی در کشور واردکننده تکنولوژی مربوطه بوده که از طریق آن، متخصصین آن کشور قابلیت تحلیل مشکلات تولید و حل این مشکلات را از طریق اقدامات صحیح داشته باشند. بدون این مرحله، تولید همواره تکرار فعالیت‌هایی است که شخص دیگری آن را طراحی کرده است.

### آیا شما آثاری از خلاقیت در صنایع ایران مشاهده نمودید؟

واقعیت آن است که من اطلاعات کافی از محصولات تولید شده در ایران نداشته که بتوانم از طریق آن دیدگاهی منطبق بر واقعیت را ارائه نمایم. اما باید تاکید کنم که تکنولوژی‌های جدید در صورتی که به شکل صحیحی از یک فرهنگ سرامیکی اصیل مطابق آنچه در پاسخ به سوال قبل اشاره کردم منتج شده باشد، می‌تواند به سادگی نتایج مطلوب و اصیل را به همراه بیاورد. مسلم است که در این مسیر کاربرد تخصص‌های جدید که بتواند ارتباطی صحیح بین دنیای هنر، طراحی و معماری با دنیای تکنولوژیک ایجاد کند و همچنین قدرت انتقال مفاهیم زیبایی شناختی به دستورالعمل‌های تکنولوژیک را داشته باشد، حائز اهمیت خواهد بود.

**انجمن سرامیک ایران می‌تواند ارتباطاتی با مراکز خارج از کشور جهت ایجاد آینده‌ای بهتر در صنایع سرامیک ایران و همچنین تربیت دانش‌آموختگان متخصص ایجاد کند. به نظر شما بهتر است چه توافقاتی در این زمینه صورت پذیرد؟**

شاید این امر بتواند شروعی مناسب برای تبادل دانشجویان و اساتید باشد که از طریق آن‌ها دانش مشترک موجود افزایش پیدا کرده و نقاط بحرانی شناسایی گردد. علاوه بر آن در ایتالیا نیز، همچون اسپانیا و ترکیه، تجارب زیادی در خصوص مراکز صنعتی فعال در ایران ایجاد خواهد شد، که می‌تواند به افزایش ارتباطات بین مراکز آکادمیک و صنعتی دو کشور کمک کند.

### آیا شما فکر می‌کنید مرکز شما بتواند کمکی در این خصوص انجام دهد؟

مسئله یکی از رسالت‌های تعریف شده در دانشگاه مودنا، کمک به تبادل افراد در شرایطی است که برنامه‌ریزی‌های متناسب تهیه شده و توافقات لازم صورت پذیرفته است. چنین فرآیندی در ارتباط بین این دانشگاه با دانشگاه‌های اسپانیا و ترکیه نیز وجود دارد. انجمن سرامیک ایتالیا می‌تواند به عنوان هماهنگ‌کننده فعالیت‌های فرهنگی از جمله کنفرانس‌ها، نشست‌ها، و انتشار کتاب‌های فنی و تجربی عمل کند. علاوه بر آن می‌توان به امکان ایجاد دانشکده‌ها و رشته‌های مرتبط فکر کرد که این امر در گذشته توسط انجمن سرامیک ایتالیا انجام شده است.

**ارتباط بین صنعت و دانشگاه در ایران همواره یک دغدغه پایدار بوده است. در صنعت سرامیک‌های سنتی تقریباً هیچ‌گونه ارتباطی با تحقیق وجود ندارد. ممکن است نظر خود را در این باره بیان کنید؟**

ارتباط بین دانشگاه و صنعت در هر کشوری دشوار است. شاید اسپانیا تنها کشوری باشد که توانسته در سال‌های اخیر ارتباطی مناسب در این زمینه ایجاد کند. علت اصلی این جدایی بین صنعت و دانشگاه به این موضوع بر می‌گردد که صنایع همواره خواستار پاسخی سریع و محرمانه از تحقیقات کاربردی بوده‌اند. این در حالی است که طبیعت تحقیقات آکادمیک، بیشتر متعهد به تحقیقات پایه‌ای بوده که در نهایت باید بین محققین به اشتراک گذاشته شود. علاوه بر آن، مشکل دیگر در تحقیقات مرتبط با سرامیک‌های سنتی آن است که دانشمندان در فعالیت‌های خود عمدتاً تمایل به تولید مقالات علمی دارند که بتوانند آن را در مجامع مختلف علمی ارائه نمایند. این مسئله می‌تواند در پارامترهای ارزشیابی آن‌ها همچون ضریب تاثیر (IF)، میزان ارجاعات و رتبه علمی آنها موثر باشند. متأسفانه مجلات و ژورنال‌ها رغبت چندانی به چاپ مطالب مرتبط با سرامیک‌های سنتی نداشته و به همین خاطر دانشجویان و محققین جوان تمایلی به فعالیت در این زمینه تحقیقاتی نشان نمی‌دهند. در شرایط فعلی، من راه حل ساده‌ای برای این مسئله نمی‌توانم ارائه دهم. شاید تنها امکان موجود، افزایش حمایت‌های مالی و بورسیه تحصیلی دانشجویان دکتری از طریق صنعت بوده که به دانشمندان و متخصصان اجازه دهد در فضائی مناسب با شناخت هرچه بیشتر دانش مشترک خود فعالیت نمایند و این بدان معناست که صنایع، پس از این باید برای تحقیقات طولانی مدت سرمایه‌گذاری کنند و فقط به دنبال دستیابی به نتایج آنی نباشند.

\* با تشکر از آقای مهندس مهدیار طاهری به‌خاطر ترجمه متن مصاحبه \*





## انجمن سرامیک برزیل

### معرفی

انجمن سرامیک برزیل (Associação Brasileira de Cerâmica) در سال ۱۹۵۳ تاسیس شده و یک نهاد غیردولتی است که مرکزیت آن در شهر سائوپائولو قرار دارد. از جمله اهداف تشکیل انجمن سرامیک برزیل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- توسعه‌ی تعامل بین متخصصان و شرکت‌های فعال در زمینه سرامیک
- برگزاری دوره‌های آموزشی و همایش‌ها
- چاپ کتب و مجلات علمی و فنی و تبادل نظر با متخصصان و سایر انجمن‌های موجود در برزیل و خارج از کشور
- مشارکت در زمینه‌های آموزش پرسنل
- تحقیق و توسعه و ابداع فناوری و حمایت از طرح‌های حوزه سرامیک از جمله طرح‌های هنری، علمی، فرهنگی، آموزشی، تجاری، صنعتی و فنی

### اعضاء انجمن

انجمن سرامیک برزیل بیش از ۴۰ عضو حقوقی مشتمل بر مراکز صنعتی و دانشگاهی و نیز حدود ۱۳۰ عضو حقیقی دارد.

### برگزاری کنگره سرامیک برزیل

کنگره سرامیک برزیل قدیمی‌ترین و مهم‌ترین رویداد این کشور بزرگ آمریکای جنوبی در حوزه سرامیک است. از سال ۱۹۵۴ تا کنون انجمن سرامیک برزیل ۵۸ مرتبه کنگره مذکور را برگزار کرده است. به عبارت دیگر غیر از سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۶۶ این کنگره هر ساله در برزیل برگزار شده است. در جدول زیر خلاصه‌ای از وضعیت پنج کنگره اخیر نشان داده است.



شماره کنگره	سال برگزاری	محل برگزاری	تعداد شرکت‌کنندگان	مجموع مقالات ارسالی به کنگره	تعداد سخنرانان کلیدی
۵۴	۲۰۱۰	Foz do Iguaçu	۴۲۷	۳۶۵	۹
۵۵	۲۰۱۱	Porto de Galinhas	۴۳۵	۴۹۰	۱۰
۵۶	۲۰۱۲	Curitiba	۴۳۲	۳۹۸	۱۹
۵۷	۲۰۱۳	Natal	۵۶۱	۶۸۱	۱۰
۵۸	۲۰۱۴	Bento Gonçalves	۴۳۶	۵۰۵	۱۱

### معرفی نشریه

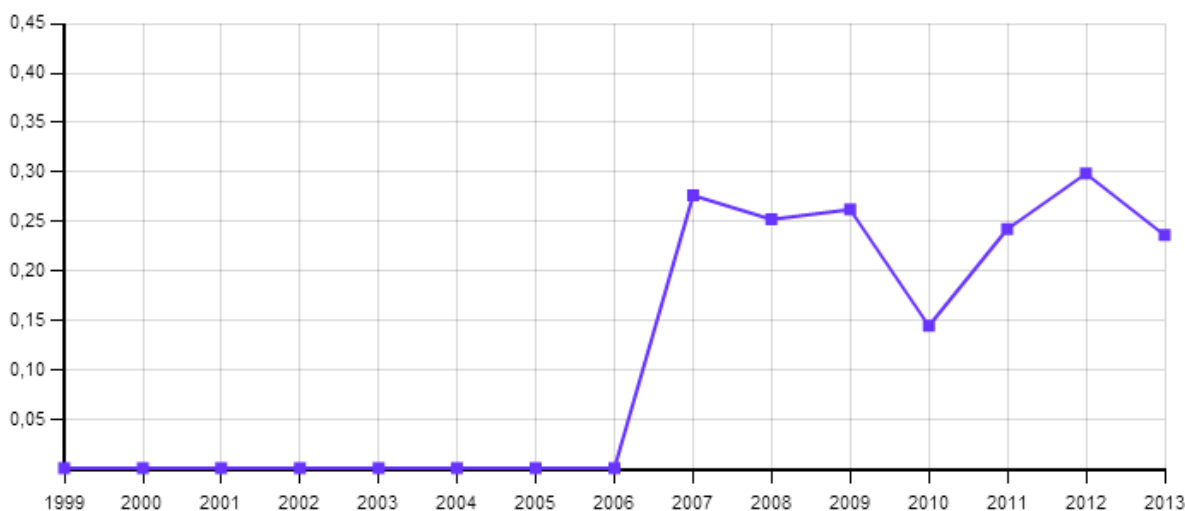
نشریه رسمی انجمن سرامیک برزیل سرامیکا (Cerâmica) نام دارد. این مجله که به زبان پرتغالی است مقالات پژوهشی و مروری در تمامی زمینه‌های علم و فناوری سرامیک منتشر می‌کند که از آن جمله می‌توان به بیوسرامیک‌ها، سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های مغناطیسی، سرامیک‌های نوری، سرامیک‌های هسته‌ای، مواد اولیه سرامیکی، سیمان‌ها، چینی بهداشتی و پرسلان، عایق‌های حرارتی، کاشی، دیرگدازها، لعاب‌ها و رنگدانه‌های سرامیکی، شیشه‌ها و شیشه سرامیک‌ها، کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی، علوم پایه، روش‌های شناسایی، تجهیزات سرامیکی، مطالعات ریزساختاری، فرایندهای تولید، سنتز پودر و ... اشاره کرد.



اولین شماره مجله در ماه مارس ۱۹۵۵ منتشر شد. فصلنامه سرامیکا با تیراژ ۷۰۰ نسخه منتشر می‌شود و برای اعضای انجمن سرامیک برزیل و کتابخانه‌های معتبر دنیا ارسال می‌شود. چاپ مجله سرامیکا تحت حمایت شورای ملی توسعه علوم و فناوری برزیل و بنیاد حمایت از پژوهش ایالت سائوپائولو انجام می‌گیرد. این مجله اگرچه در فهرست مجلات نمایه شده در ISI قرار ندارد، اما بوسیله پایگاه‌های زیر نمایه شده است:

- Ceramic Abstracts
- British Ceramic Abstracts
- Chemical Abstracts
- INIS Atomindex
- Engineered Materials Abstracts

در شکل زیر میانگین میزان ارجاعات به مقالات این مجله که نشان دهنده ضریب تاثیر آن است نشان داده شده است.



### پایگاه اینترنتی

جهت کسب اطلاعات بیشتر از فعالیت‌های انجمن سرامیک برزیل می‌توانید به پایگاه اینترنتی این انجمن به آدرس <http://www.abceram.org.br> مراجعه نمایید.

## اخبار انجمن سرامیک ایران

### گزارش جلسه هم‌اندیشی انجمن

اولین جلسه هم‌اندیشی انجمن در تاریخ ۹۳/۶/۲۴ در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران برگزار شد. چندی پیش یک گروه با نام دوستداران انجمن سرامیک در محیط مجازی با هدف اطلاع رسانی و تبادل نظر متخصصان و علاقمندان سرامیک تشکیل شد که با استقبال و عضویت تعداد قابل توجهی از اهل صنعت و دانشگاهیان روبرو شد. در این گروه مباحثی پیرامون ارتباط صنعت با دانشگاه و نقش انجمن سرامیک در آن مطرح شد و به دلیل محدودیت محیط مجازی برای گفتگو، آقای دکتر گلستانی‌فرد به‌عنوان رییس انجمن سرامیک پیشنهاد کردند که جلسه‌ای برای گفتگوی رودر رو از طرف انجمن تشکیل شود که اعضا نیز از آن استقبال کردند.

در این جلسه ابتدا آقای دکتر گلستانی‌فرد در سخنانی به تشریح فعالیت‌ها و برنامه‌های فعلی و آتی انجمن و اهداف آن پرداختند و حاضرین در جریان برنامه‌های جدید انجمن قرار گرفتند.



در ادامه جلسه، حاضران در این مورد که چگونه می‌توان فعالیت‌های انجمن را گسترش داد و نحوه ارتباط بیشتر انجمن‌های علمی با صنعت را فراهم کرد نظرانی ارائه کردند. قرار شد این جلسات هم‌اندیشی به‌صورت مستمر برگزار شود و در جلسات دیگر افراد بیشتری از صنعت و دانشگاه حضور یابند.

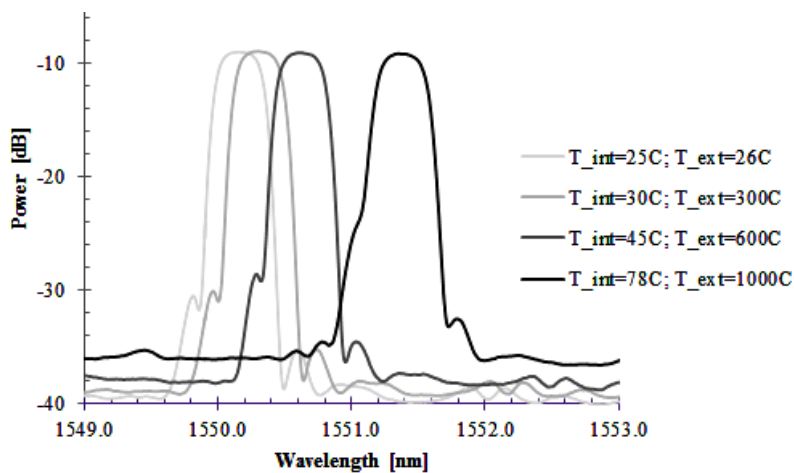
### برگزاری سخنرانی علمی توسط انجمن سرامیک ایران



سخنرانی علمی با عنوان "طراحی سنسورهای فیبر نوری به‌منظور اندازه‌گیری همزمان فشار و دما در چاه نفت" در تاریخ ۴ آبان ۱۳۹۳ توسط آقای دکتر امیر اظهاری از دانشگاه واترلو کانادا در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران با حضور جمعی از استادان، کارشناسان و دانشجویان دانشگاهی کشور برگزار شد.

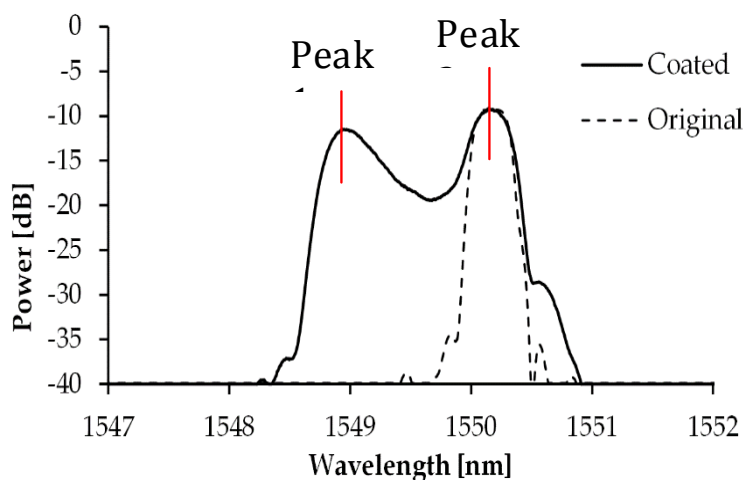
#### خلاصه‌ای از این سخنرانی به شرح زیر است.

فیبرهای نوری اهمیت به‌سزایی در صنایع ارتباطات دارند. با توجه به عدم تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی بر حرکت نور و همچنین افت ناچیز طول موج نور در فیبر، گستردگی استفاده از فیبرهای نوری در این صنایع در چند دهه اخیر چشمگیر بوده است. در دو دهه گذشته فناوری جدیدی معرفی شد که بر اساس آن با استفاده از لیزر تغییراتی در ضریب شکست بخش‌هایی از فیبر حاصل شد. این قسمت‌های مشخص به نام براگ گریٹینگ (Bragg Gratings) شناخته می‌شود. با توجه به این تغییرات ضریب شکست، طول موج خاصی از نور برگشت داده می‌شود که طول موج براگ (Bragg Wavelength) نامیده می‌شود. در صورت اعمال کرنش و یا تغییرات دمایی، این طول موج برگشتی تغییر وضعیت داده و به سمت طول موج‌های بیشتر یا کمتر حرکت می‌کند (شکل ۱).

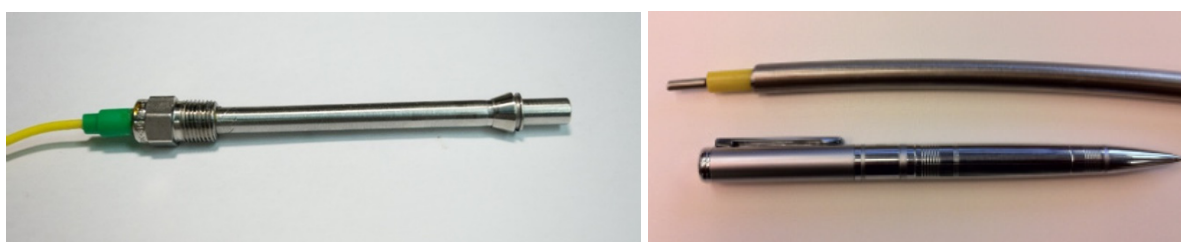


شکل ۱- اثر تغییرات دمایی بر جابجایی طول موج براگ

به این ترتیب می‌توان جابه‌جایی طول موج براگ را به میزان کرنش محیطی یا تغییرات دمایی محیط ارتباط داد. اما یکی از چالش‌های پیش رو در استفاده از این نوع سنسورها تشخیص دادن اثر کرنش و دما بر جابجایی طول موج براگ است. در تحقیق انجام شده با اعمال تغییراتی بر روی فیبر و پوشش آن هر طول موج براگ به دو طول موج تبدیل می‌شود که هر کدام از آنها به‌صورت جداگانه به دما و کرنش حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود پیک ۱ به دما و پیک ۲ به کرنش اعمال شده بر روی فیبر واکنش نشان داده و به این ترتیب اثر دما و کرنش به خوبی تمیز داده می‌شود. در ادامه این تحقیق به منظور استفاده از این نوع سنسورها در چاه نفت، فیبر نوری پوشش داده شده با طراحی خاص در یک لوله یک چهارم اینچ قرار داده شد و مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). نتایج این پژوهش در پتنتی تحت عنوان Packaging Designs, Fabrication and Calibration of Dual-parameter Optical Sensor (PCT Patent: PCT/ CA2014/ 050492) به چاپ رسیده است. همچنین اطلاعات بیشتر در مورد این فن آوری در وب سایت به آدرس [www.aoms-tech.com](http://www.aoms-tech.com) ارائه شده است.



شکل ۲- تشکیل دو پیک بر اثر اعمال پوشش بر روی فیبر، پیک شماره ۱ به دما و پیک شماره ۲ به کرنش حساس می‌باشد.



شکل ۳- سنسور فیبر نوری تهیه شده در لوله یک چهارم اینچی جهت استفاده در چاه‌های نفت

### جلسه هیات رئیسه گروه تخصصی شیشه

دومین جلسه هیات رئیسه گروه تخصصی شیشه، زیرمجموعه انجمن سرامیک ایران با حضور اعضای آن، به شرح زیر در دفتر انجمن صنفی شیشه برگزار شد.

دکتر بنی‌جمالی - پژوهشگاه مواد و انرژی، مهندس رحمانی - اداره تولید و دفتر صنایع معدن، مهندس قربانی - گروه صنایع شیشه کاوه، مهندس زجاجی - مدیر گروه/ انجمن صنفی شیشه، مهندس شکوهی - شرکت استخراج، خانم علیشاهی - انجمن سرامیک ایران، مهندس منظوری - شرکت سینا شیشه، دکتر نعمتی - دانشگاه صنعتی شریف، دکتر همنبرد - پژوهشگاه انرژی اتمی ایران، دکتر همدانی - دانشگاه تبریز، دکتر یوسفی - لعاب مشهد/ موسسه تحقیقاتی پر طاووس.

### دستور جلسه:

- ۱- معرفی کلی پروژه‌های مورد نیاز صنعت شیشه
- ۲- برنامه‌ریزی اولیه برای برگزاری اولین گردهمایی تخصصی شیشه

### در این جلسه موضوعات زیر مورد بحث قرار گرفت:

۱- از آنجا که در جلسه قبلی گروه، پیشنهاد شده بود تا نیازهای صنعت در جلسات گروه معرفی شود تا با توجه به این نیازمندی‌ها، پیشنهادهایی برای رفع مشکلات مزبور در قالب پروپوزال‌های دانشجویی از طرف مراکز دانشگاهی و مرتبط با علم و صنعت شیشه به گروه معرفی شود، تعدادی از موضوعات پیشنهادی صنعت توسط آقای مهندس زجاجی مطرح شد. برخی از این پیشنهادها به شرح زیر است:

- مطالعه و ساخت گوی‌های شیشه‌ای
  - یافتن روشی برای زنگ‌زدایی شیشه‌ها
  - بررسی سازگاری خمیر نقره در رنگ مشکی سرامیکی در شیشه عقب خودرو
- برخلاف اطلاع‌رسانی قبلی انجمن مبنی بر ارسال ایده و پیشنهادها قابل اجرا توسط صنعت از سوی همکاران دانشگاهی، تعداد

محدودی پیشنهاد از مراکز دانشگاهی دریافت و در این جلسه مطرح شد. بنابراین تصمیم گرفته شد تا جلسه بعدی به همکاران دانشگاهی فرصت داده شود تا ایده‌ها و پیشنهادهای قابل اجرای خود در صنعت شیشه را برای طرح در جلسه بعدی گروه تخصصی شیشه به انجمن سرامیک ارسال کنند تا در جلسه بعدی با بررسی اولیه و جداگانه پیشنهادهای دانشگاهی و صنعتی در مورد انتخاب موضوعات قابل اجرا و تهیه پروپوزال‌های مشترک دانشگاهی-صنعتی تصمیم‌گیری شود.

۲- در این مورد پیشنهاد برگزاری سه گردهمایی تخصصی شیشه داده شد. در این راستا آقای مهندس زجاجی برگزاری اولین گردهمایی را در محل کارخانه شیشه قزوین پیشنهاد دادند که مدیریت کارخانه نیز از این امر استقبال کرده است. برنامه پیشنهادی یک روزه و شامل ارایه دو مقاله صنعتی، دو مقاله دانشگاهی و نیز بازدید یک ساعته از خط تولید کارخانه خواهد بود. در مورد مقالات صنعتی، آقایان مهندس منظوری و مهندس معین افشار اعلام آمادگی کرده‌اند. تصمیم در مورد زمان‌بندی این گردهمایی به جلسه بعد موکول شد.

۳- آقای دکتر یوسفی به ضرورت ایجاد یک مرکز پژوهشی مختص شیشه و نیز تشکیل شرکت‌های دانش بنیان در زمینه شیشه در جهت اعتلای علم و صنعت شیشه کشور اشاره کردند. در ادامه این مبحث، لزوم شناسایی مراکز مرتبط و فعال در زمینه شیشه در سراسر کشور مطرح شد و تصمیم گرفته شد تا یک تیم چند نفره طی مدت زمان محدود و از پیش تعیین شده نسبت به شناسایی این مراکز مبادرت ورزند. جهت همکاری در این تیم، آقایان دکتر یوسفی، مهندس منظوری و دکتر همدانی اعلام آمادگی کردند.

- خانم دکتر همنبرد در راستای تحقق ایده یک پژوهشگاه تخصصی شیشه، به لزوم اجرای برنامه‌های میان مدت و بلند مدت مانند مشارکت در تدوین استانداردهای مختص شیشه اشاره کردند.
- مقرر شد تا انتقال اخبار و تصمیم‌های جلسات گروه به‌عهده مدیر گروه یا دبیران علمی و اجرایی گروه باشد.
- مقرر شد جلسات گروه هر دو ماه یک‌بار و براساس پیشنهاد اعضای گروه در مراکز صنعتی یا دانشگاهی برگزار شود. همچنین تقویم برگزاری جلسات سال ۹۳ در جلسه بعدی گروه آورده شود.

### گزارش بیست و دومین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی

بیست و دومین نمایشگاه بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی در تیرماه ۱۳۹۳ در محل دائمی نمایشگاه‌های بین‌المللی تهران برگزار شد. این دوره از نمایشگاه با حضور ۱۹۵ شرکت داخلی و ۳۵ شرکت خارجی برگزار شد. در این نمایشگاه شرکت‌ها و نمایندگی‌هایی از کشورهای ایتالیا، چین، امارات، آلمان، هلند، بلغارستان، کره جنوبی، اسپانیا و جمهوری چک حضور داشته و تولیدات و صنایع خود را ارایه کردند. این نمایشگاه در ۷ گروه کالایی؛ کاشی و سرامیک، ماشین‌آلات و تجهیزات، چینی بهداشتی، رنگ و لعاب، مواد اولیه، پخت سوم، شیرآلات و سرویس‌های بهداشتی، پخش کاشی و نشریات مرتبط برگزار شد.



انجمن سرامیک ایران نیز با ارایه انتشارات و عضوگیری حضوری فعال در این نمایشگاه داشت.



اعضای هیات مدیره انجمن سرامیک ایران نیز ضمن بازدید از نمایشگاه با حضور در غرفه انجمن، به سوالات شرکت‌کنندگان در نمایشگاه پاسخ دادند.

تعدادی از اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران نیز در این نمایشگاه شرکت کردند که مصاحبه‌ای با چند تن از مدیران و کارشناسان این شرکت‌ها انجام شد.

### مهندس مهران غفاری - اشکان پارت آفرین

تفاوت عمده این دوره با سال‌های گذشته در محل قرارگیری غرفه‌های شرکت‌های جانبی سرامیک مثل صنایع بالمیل بوده است. نمایشگاه فرصت مناسبی است که با ایجاد ترفندهای جدید مشتری جذب کنیم علاوه بر آن نمایشگاه توانایی سنجی شرکت‌ها و اطمینان‌دهی به خریداران است.

### آقای حسین نجف بیگلو - مدیرفروش شرکت سرام نگار

متأسفانه نمایشگاه امسال نسبت به سال‌های گذشته به خاطر قرارگیری در وسط هفته خلوت‌تر است. امسال طرح‌های جدید در تمام شرکت‌ها دیده می‌شود و دیده می‌شود که حجم تولید کارخانه‌ها افزایش یافته است.



### آقای مهندس آهنی‌ها - مدیرعامل سرام آرا

خوشبختانه صنعت سرامیک در کشور ما نهادینه شده است و همچنین رشد چشمگیری از لحاظ کیفیت داشته است و این موضوع باعث شده تا ما بتوانیم با رقبای خارجی خود رقابت مناسبی داشته باشیم علاوه بر آن با توجه به پتانسیل خوبی که در صنعت کاشی وجود دارد ما می‌توانیم با یک برنامه‌ریزی مناسب یک پیشرفت قابل توجهی رو به رو باشیم. در ضمن متأسفانه بعضی کارخانه‌ها پس از وارد شدن در بازار صادرات سطح محصولات خود را کم می‌کنند و این باعث می‌شود بعد از مدتی از این بازار خارج شوند.

### آقای مهندس علیرضا احدیان - مدیر کارخانه سینا کاشی

رقابت شرکت‌ها و کارخانه‌ها نسبت به پارسال افزایش چشمگیری داشته است و محصولات جدیدتری را آورده‌اند.



سینا کاشی نیز محصولات جدید با تنوع در ابعاد و طرح تولید کرده است و سعی بر آن داشته است تا با ایجاد تنوع فرصت کپی برداری را از رقبا بگیرند.



**آقای مهندس محمود سالاریه - مدیرعامل شرکت آرمیتاژ**  
 زمان برگزاری نمایشگاه امسال به خاطر قرارگیری در ایام وسط هفته مناسب نبود به همین دلیل بعضی از نمایندگی‌ها در شهرستان‌ها نتوانستند در نمایشگاه حضور داشته باشند با این وجود تعداد بازدیدکنندگان نسبتاً راضی کننده بود. در ضمن خوشبختانه سالن‌های نمایشگاه از لحاظ تهویه نسبت به پارسال پیشرفت کرده است و همچنین کیفیت محصولات چینی بهداشتی از لحاظ طرح و کیفیت لعاب جهش خیلی خوبی داشته است به طوری که ایران توانسته امسال مقام سوم را از نظر کیفیت و کمیت در دنیا کسب کند.



**آقای مهندس سید امیر اسماعیل حقی - مدیرعامل نوبین سرام**  
 نمایشگاه امسال نسبت به پارسال دیرتر تشکیل شد پس این فرصت مناسبی بود تا شرکت‌ها آمادگی بیشتری برای حضور در نمایشگاه داشته باشند. در ضمن محصولات از نظر کیفی و کمی رشد مناسبی داشته است و امیدواریم روند تولید به گونه‌ای باشد که ما بتوانیم صادرات خوبی حتی به کشورهای اروپایی داشته باشیم.



**آقای مهندس رشید حسین پور - مدیرعامل چینی ارس**  
 متأسفانه امسال نیز محل قرارگیری غرفه‌ها مناسب نیست و بیشتر در نمایشگاه ما شاهد واسطه‌ها به جای واحدهای تولیدی هستیم که این نشان‌دهنده مشکل جدی است که واحدهای تولیدی با آن روبه‌رو هستند. چینی ارس سعی بر تولید جنس‌های متمایز داشته است و خوشبختانه امسال حدود ۱۰-۱۲ مدل جدید داشتیم که می‌توانیم به مشتری تحویل دهیم.



## اولین کنفرانس بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی ایران



گزارش از مهندس پرنواز تبریزیان  
دانشجوی فوق لیسانس سرامیک،  
دانشگاه علم و صنعت ایران

اولین کنفرانس بین‌المللی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی ایران با همکاری انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک کشور و انجمن سرامیک ایران در مورخ ۸ و ۹ آذرماه ۱۳۹۳ در هتل المپیک تهران با حضور بیش از ۳۰۰ نفر از مدیران و کارکنان صنایع مرتبط و اساتید و دانشجویان داخلی و خارجی برگزار شد. در این کنفرانس آقای مهندس محمد روشنفکر به عنوان دبیر، آقای دکتر فرهاد گلستانی فرد به عنوان دبیر علمی و آقای مهندس بهنام عزیززاده به عنوان دبیر اجرایی کنفرانس فعالیت داشتند. شرکت‌های کاشی کسری، ایفا سرام، اسمال گلس، سینا کاشی، چینی ارس، تکسرام و KING TAU به عنوان حامیان این کنفرانس و پشتیبان آن بودند.



حضور ۱۲ سخنران مدعو خارجی از کشورهای دارای تکنولوژی پیشرفته در زمینه‌ی کاشی، سرامیک و چینی بهداشتی و مباحث مرتبط با این صنایع یکی از نکات مهم و برجسته این کنفرانس بوده است و هم‌چنین حضور ۷ نفر از اساتید در حوزه‌ی صنعت و دانشگاه به عنوان سخنران داخلی موجب تعامل و همکاری بیش‌تر بین دانشگاهیان و مدیران صنایع شد. بیش از ۸۵ مقاله علمی در موضوعات مربوطه برای کنفرانس ارسال شد که با توجه به داروی‌های انجام گرفته ۲۳ پوستر علمی انتخاب شد.

این کنفرانس در روز ۸ آذرماه آغاز شد و پس از خیر مقدم دبیر و دبیر علمی کنفرانس جناب آقای دکتر توفیق معاونت پژوهشی و آموزشی وزارت صنعت، معدن و تجارت با ایراد سخنرانی کنفرانس مذکور را افتتاح کردند. در روز اول کنفرانس سخنرانی‌ها به شرح ذیل توسط اساتید داخلی و خارجی ایراد شد.

موضوع		
صنعت سرامیک ایران	کاشی کسری	آقای مهندس محمد روشنفکر
چالش‌های پیش روی صنعت جهانی کاشی و سرامیک	Intertile Research Pty Ltd, Australia	Dr. Richard Bowman
تاثیر اصلاح ترکیب بر رفتار زینترینگ و ریزساختار کاشی‌های پرسلانی	Anadolu University, Turkey	Dr. Ferhat Kara
نقش صنایع کاشی و سرامیک در آلودگی‌های زیست محیطی و راه‌های جلوگیری و روش‌های نوین بازیافت	موسسه تحقیقاتی پرتاووس	آقای دکتر عباس یوسفی
توسعه جوهرهای پایه آبی برای دکوراسیون کاشی و سرامیک	Anadolu University, Turkey	Dr. Alpagut Kara
موضوع: بررسی فرآیندهای نوین تولید کاشی	دانشگاه علم و صنعت ایران	آقای دکتر حمیدرضا رضایی
بهبود رفتار رئولوژی دوغاب‌های کاشی پرسلانی در حضور ترکیبات بور	Anadolu University, Turkey	Mr. Mustafa Fahri Ozer
مبانی بازاریابی نوین و چالش‌های پیش‌روی صنعت سرامیک ایران	شرکت صنایع چینی ارس	آقای مهندس رشید حسین‌پور

در انتهای روز اول کنفرانس کارگاه آموزشی با عنوان دیجیتال پرینت توسط Dr. Michele Dondi و Dr. Paolo Zannini از اساتید به نام ایتالیا برگزار شد که مورد استقبال تعداد زیادی از شرکت‌کنندگان قرار گرفت و در پایان جلسه پرسش و پاسخی برگزار شد و شرکت‌کنندگان علاقه‌مند گواهینامه شرکت در این کارگاه دریافت کردند.



در روز ۹ آذرماه نیز سخنرانی‌ها به شرح ذیل برگزار شد:

موضوع		
Mr. Giorgio Timellini	Bologna Univerity, Italy	استاندارد و توسعه پایدار در بخش کاشی و سرامیک
آقای علی نعمتی	دانشگاه صنعتی شریف	تکنولوژی و روش‌های ساخت کاشی و چینی بهداشتی آنتی‌باکتریال و خود تمیزشونده
Mr. Paolo Zannini	Modena and Reggio Emilia University, Italy	پیشرفت در زمینه خواص سطحی کاشی در محصولات ایتالیایی
Mr. Guido Nasseti	Bologna Ceramic Center, Italy	بهره‌وری انرژی در فرآیندهای تولید مواد سرامیکی
آقای محسن خواجه امینیان	دانشگاه یزد	بررسی اثر جایگزینی سیلیکات زیرکونیم با سیلیکات آلومینیوم-امسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیوم در لعاب‌های سرامیکی بر خواص نوری سطح سرامیک
Mr. Michele Dondi	CNR-ITEC, Italy	تکنولوژی جوهر در دکوراسیون دیجیتالی کاشی و سرامیک
Mr. Arnaldo Moreno Berto	ITC, Spain	تکنولوژی‌های پیشرفته برای تولیدات کاشی
Mr. Luca Baraldi	Acimac Research Department, Italy	تولید و مصرف جهانی کاشی و سرامیک، تازه ترین نوآوری‌ها در حوزه تکنولوژی
Mr. Eliseo Monfort Gimeno	ITC, Spain	فاکتور سبز در صنعت کاشی و سرامیک
آقای حمید حاجی ابوطالبی	کاشی کسری	تاثیر شرایط چاپ دیجیتال بر کیفیت تصویر ایجاد روی یک کاشی
Mr. Davide Zannoni	Esmalglass.itaca, Spain	دیجیتال پرنیت
خانم مریم شهریاری	سورواجین عقیق	خاک‌های ایلیتی سورواجین



در حاشیه کنفرانس دو روزه نمایشگاه جانبی با حضور تعدادی از شرکت‌های کاشی و چینی بهداشتی و دیرگداز داخلی و خارجی برگزار شد.

- شرکت لعاب مشهد
- شرکت ایفا سرام
- شرکت اسمال گلس
- شرکت کاشی کسری
- شرکت سینا کاشی
- شرکت فوژان راهبران
- شرکت لاستیک سازی کاشان
- شرکت دیرگداز آمل
- شرکت چینی ارس
- فصلنامه سرامیک ساختمان
- فصلنامه دنیای سرامیک

• شرکت KING TAU

• انجمن سرمایه‌گذاری ترکیه

در انتهای کنفرانس مراسم اختتامیه با قدردانی از شرکت کنندگان و برگزارکنندگان توسط آقای مهندس روشنفر و آقای دکتر گلستانی‌فرد برگزار شد و هدایایی به رسم یادبود از این کنفرانس به سخنرانان خارجی و داخلی اهدا شد.



جلساتی در طی کنفرانس به منظور تبادل اطلاعات و گسترش روابط ایران به عنوان چهارمین تولید کننده و صادرکننده کاشی جهان با دیگر کشورهای مطرح در این صنعت برگزار شد و در مجموع سخنرانان خارجی ارزش علمی کنفرانس را مناسب می‌دانستند و برگزاری چنین کنفرانسی را به عنوان یک موفقیت با ارزش برای صنایع و دانشگاه‌های ایران تلقی کردند. در پایان کنفرانس تورهای بازدید از تهران و اصفهان برای سخنرانان خارجی برگزار شد که مورد استقبال آنان قرار گرفت این بازدیدها برای معرفی فرهنگ غنی ایرانی بسیار موثر واقع شد.



انجمن سرامیک ایران از تمامی مدیران عامل صنایع و اساتید دانشگاه و کلیه همکاران انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک کشور و به ویژه دانشجویان دانشکده مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران که در برگزاری هرچه بهتر این کنفرانس همکاری نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارد.



**بازرگانی و مهندسی مشاور پویا همراه سرام**  
**Pouya Hamrah Ceram Co. Ltd**











**نمایندۀ انحصاری:**

- سیلیکات زیرکونیم ۲ و ۵ میکرون
- بالکلی و کانولین شسته شده
- لعاب، فریت، لوستر، پودر چاپ، رنگ (پکیج کامل)
- گلوله و لاینینگ آلومینایی ۷۵ و ۹۲ و ۹۵ درصد
- جایگزین فریت و سیلیکات زیرکونیم
- گلوله و لاینینگ فلینتی، کربنات باریوم
- اسکاچ های صنعتی، STPP، اکسید آلومینیوم
- و تروزا جهت پخت سوم
- قالب و پانچ جهت انواع ماشین پرس
- الماسه های برش و ابزار ساب خشک و تر
- ماشین پولیش، بغل ساب و لبه زن خشک و تر - نانوپولیش
- رولر سرامیکی
- کوره های رولری تا ۳۵۰ متر طول، خشک کن، خط کامل تولید انواع کاشی

آدرس: تهران، تهرانپارس، خیابان رشید نیش خ ۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر، طبقه دوم، واحد ۱۰  
 تلفن: ۷۷۲۹۵۴۹۸-۹ ، ۷۷۸۶۰۰۷۵ ، ۷۷۸۷۸۵۱۸ ، فاکس: ۷۷۸۷۸۴۴۵  
 pouyahamrahceram@yahoo.com ، www.phceram.com  
 ghalaz@phceram.com ، parinaz@phceram.com

## اخبار شرکت‌ها:

# کسب رکورد جهانی عمر دیرگداز در پاتیل‌های مذاب فولاد مبارکه اصفهان



با همکاری تنگتنگ مرکز دیرگداز فولاد مبارکه، اساتید دانشگاه در حوزه سرامیک و شرکت فرآورده‌های دیرگداز مهرگداز و در نهایت با به‌کارگیری مواد دیرگداز تولید شده در داخل کشور، رکورد عمر دیرگداز در پاتیل‌های مذاب فولاد مبارکه اصفهان به ۲۰۵ مرتبه ذوب رسید. این خبر را غلامرضا صوفیان مدیر مرکز دیرگداز فولاد مبارکه اعلام کرد و افزود: در راستای سیاست‌های فولاد مبارکه در زمینه کاهش هزینه‌ها، بومی‌سازی مواد دیرگداز و کسب رکوردهای جهانی، عمر دیرگداز پاتیل با بهره‌گیری از مواد دیرگداز داخلی به رکورد عمر ۲۰۵ مرتبه ذوب و متوسط عمر ۱۸۸ بار

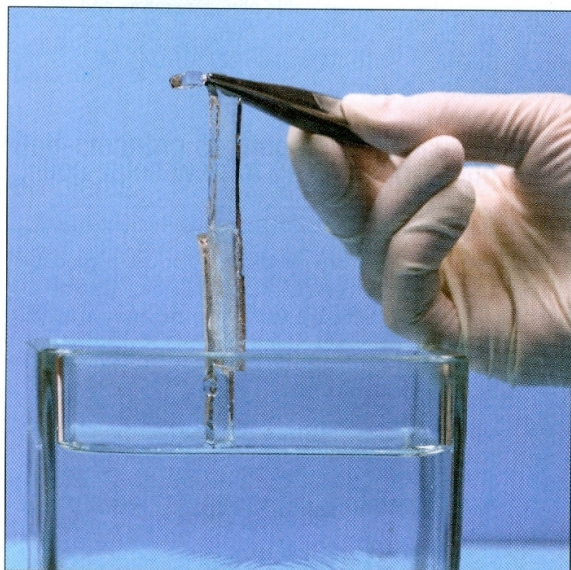
ذوب رسید که در نوع خود در پاتیل‌های فولاد سازی عمر بسیار بالا و قابل توجهی بوده، به‌ویژه اینکه این رکورد با آجرهای تولید داخل سبب شده است.

غلامرضا صوفیان در ادامه رکورد قبلی عمر دیرگداز پاتیل در فولاد مبارکه را ۲۰۱ مرتبه ذوب و متوسط ۱۸۰ بار ذوب و با استفاده از آجرهای دیرگداز یکی از بهترین شرکت‌های تولید کننده مواد دیرگداز خارجی عنوان کرد و افزود: کسب رکورد ۲۰۵ مرتبه ذوب با استفاده از آجرهای تولید داخل، بسیار اهمیت دارد.

ایشان کسب این موفقیت را حاصل ۲۳ سال کار و تلاش تنگتنگ قسمت‌های مربوط در تعیین کیفیت‌ها و انجام طرح‌های مختلف دیرگداز چینی در پاتیل‌ها و تاندیش‌ها مواد مذاب خواند و گفت: به‌همین منظور طرح‌های گوناگونی انجام شده است که برخی از آن‌ها عبارتند از: طرح دیرگداز چینی پاتیل آندالوزیتی، آلومینایی، آلومینا گرافیتی، دولومیتی، منیزیت کربنی و در نهایت طرح دیرگداز چینی آلومینا منیزیت کربنی بوده که موفقیت اشاره شده در بالا، با دیرگدازهای هوشمند آلومینا منیزیت کربن با پایه کوراندومی تولیدات داخلی به‌دست آمده است.

مدیر مرکز دیرگداز فولاد مبارکه خاطر نشان کرد: از سال ۱۳۸۰ تا کنون، مصرف دیرگداز پاتیل از ۹/۱۶ کیلوگرم برتن مذاب به ۲/۱۳ کیلوگرم بر تن مذاب رسیده است که صرفه‌جویی ناشی از کاهش مصارف دیرگداز در پاتیل در این سال‌ها حدود ۴۳ میلیارد تومان برآورد شده است. وی با اشاره به ویژگی‌های ویژه دیرگدازهای هوشمند آلومینا منیزیت کربن در زمینه تهیه مواد دیرگداز پاتیل‌ها تصریح کرد: دیرگدازهای هوشمند آلومینا منیزیت کربن A.M.C در چند سال اخیر به‌واسطه خواص مناسب‌تری همچون رسانش گرمایی پایین‌تر، مقاومت سایشی بالاتر و مقاومت به خوردگی مناسب‌تر در برابر فولاد مذاب، در مقایسه با دیرگدازهای منیزیت کربنی M.C به‌عنوان جایگزینی مناسب در نواحی مختلف پاتیل در دنیا مطرح و به‌کارگیری شده است. غلامرضا صوفیان کسب این رکورد را حاصل همکاری تنگتنگ مرکز دیرگداز فولاد مبارکه، اساتید دانشگاه و شرکت فرآورده‌های دیرگداز مهرگداز برشمرده و افزود: با کسب این رکورد، برگ زرین دیگری به دیوان افتخارات فولاد مبارکه افزوده شد. وی اشاره کرد که نتیجه این همکاری‌ها در قالب مقاله‌ای در دومین همایش صنعت دیرگداز ایران در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۴ ارائه خواهد شد.

## استفاده از نانوذرات سیلیکا با خاصیت چسبندگی در هیدروژل‌ها و بافت‌ها



French scientists have devised an adhesive from silica nanoparticles that can glue together gellike materials and resist deformation.

محققان فرانسوی در مدرسه فیزیک و شیمی صنعتی پاریس موفق به ساخت ماده چسبناک نانوذرات سیلیکا شده‌اند که می‌تواند در مواد ژل مانند مورد استفاده قرار گیرد در صورتی که پلیمرها قادر به انجام چنین کاری نیستند. این محققان اخیراً در مجله نیچر اعلام کردند که موفق به ساخت روشی کم هزینه شده‌اند که می‌توان از این نانوذرات چسبنده به-عنوان ژل و حتی بافت‌های بیولوژیکی نیز استفاده کرد.

محققان توانستند دو قطعه پلی ژل را با استفاده از نانوذرات سیلیکایی و پوشاندن سطح یکی از این دو قطعه به هم وصل کنند. این قطعه توانست فشار زیاد را بدون تغییر شکل و یا شکستن تحمل کند همچنین این نانوذرات خاصیت خود ترمیمی و ضدآب بودن را نیز دارند. محققان امیدوار هستند که بتوانند از این ژل برای چسباندن بافت‌های بدن مانند کبد نیز استفاده کنند. طبق گفته محققان راه حل در این است که

بتوان این نانوذرات را با اندازه و شکل شبکه بافت‌های بدن تطابق داد. زنجیره پلیمری موجود در این ژل‌ها توسط سطح بیرونی نانوذرات جذب می‌شوند و باعث بوجود آمدن پیوندی قوی بین دوبافت می‌شود. به دلیل اینکه زنجیره‌های زیادی در سطح نانوذرات ایجاد می‌شود این ماده می‌تواند در مقابل تغییر شکل به خوبی مقاومت کند حتی زمانی که دو قطعه کش بیایند. از آنجائیکه اندازه نانوذرات و تعامل آنها با شبکه ژل می‌تواند بر روی چسبندگی تاثیر گذار باشد این ذرات را می‌توان برای مصارف خاص و با ایجاد تغییرات در اندازه ذرات و خصوصیات سطحی آنها استفاده کرد.

تحقیقات این دانشمندان فرانسوی راه را برای پیشرفت‌های بعدی هموار ساخته است. طبق گفته خبرگزاری‌ها این کشف تازه امیدهای جدیدی را در زمینه‌های مختلف مخصوصاً کاربرد پزشکی و دامپزشکی و همچنین جراحی به وجود آورده است. برای مثال شاید به‌توان از این روش برای چسباندن اعضای که دچار بریدگی‌های شدید شده‌اند و یا تحت عمل جراحی بوده‌اند استفاده کرد. همچنین می‌توان از این روش در صنعت غذا سازی و یا صنایع آرایشی و یا ساخت وسایل پزشکی نیز استفاده کرد.

This paper is:  
Nano particle solution as adhesives for gels and biological tissues (Nature 12806)

### ماده پوشاننده خودتمیز شونده مخصوص صفحات خورشیدی

وجود گرد و خاک بر روی پنل‌های خورشیدی مولد برق می‌تواند طی دو هفته توان این صفحات را تا ۵۰٪ کاهش دهد. اما به همت محققان در آزمایشگاه ملی آک ریچ و با استفاده از یک سیستم ارزان دیگر چنین مشکلی وجود نخواهد داشت. طبق گزارش وب سایت ORNL این محققان ماده جدیدی را ساخته‌اند که می‌تواند آب و ذرات گرد و خاک را از خود دفع کنند.

در حال حاضر از مواد شوینده و آب یونیزه شده برای این کار استفاده می‌شود اما این ماده جدید نیازی به مواد خارجی دیگر ندارد و با استفاده از باد و عوامل طبیعی تمیز می‌شود.

برخلاف سایر روش‌های پاک‌سازی معمول پوشش‌های جدید که تنها چندصد نانومتر ضخامت دارند با استفاده از تکنیک‌های



ORNL researchers have developed a new coating that helps solve soiling problems for solar panels.

اسپری که متشکل از ذرات ارگانیک هستند و بسیار ارزان نیز می‌باشند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحقیقات از سوی بخش مربوط به سازمان انرژی و حمل و نقل حمایت می‌شوند که تمرکز اصلی‌شان بر روی انرژی‌های خورشیدی است.

تحقیقات و آزمایشات بعدی در زمینه‌هایی همچون پوشش برای سقف‌های خنک شونده و همچنین پوشش‌هایی با خاصیت ضد یخ‌زدگی و ضد انقباض در سال ۲۰۱۴ آغاز خواهند شد.

### سرامیک‌های شفاف برای پنجره‌های زره‌ای

آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا (NRL) نوعی سرامیک نانوکریستال اسپینلی بسیار شفاف تولید کرده است که انتظار می‌رود به‌عنوان شیشه‌های محافظ در ماشین‌آلات جنگی استفاده شود. با استفاده از یک تکنیک زینتر فشار بالای پیشرفته EHPS محققان این آزمایشگاه توانستند سختی این شیشه‌ها را تا ۵۰ برابر نمونه‌های فعلی افزایش دهند.



Credit: U.S. Navy; General Dynamics

این محققان از فشار زیاد (تا ۶ گیگاپاسکال) شکستن آگومره‌ها قدرت همجوشی و قرار دادن نانوذرات در کنارهم جهت کمک به حذف تخلخل‌ها در زینتر این سرامیک‌ها استفاده می‌کنند. سپس از پتانسیل سطح افزایش یافته در سطح نانوذرات برای متراکم‌سازی استفاده می‌کنند.

روش جدید باعث کاهش دانسیته یا مقاومت شکستگی نمی‌شود اما در نمونه‌های قبلی به دلیل تخلخل باقیمانده در ذرات نانوکریستال چنین مشکلی وجود داشت. همچنین این محصول اسپینلی جدید بسیار شفاف است که این موضوع برای تجهیزات اپتیکال و ادوات نظامی بسیار ضروری است.

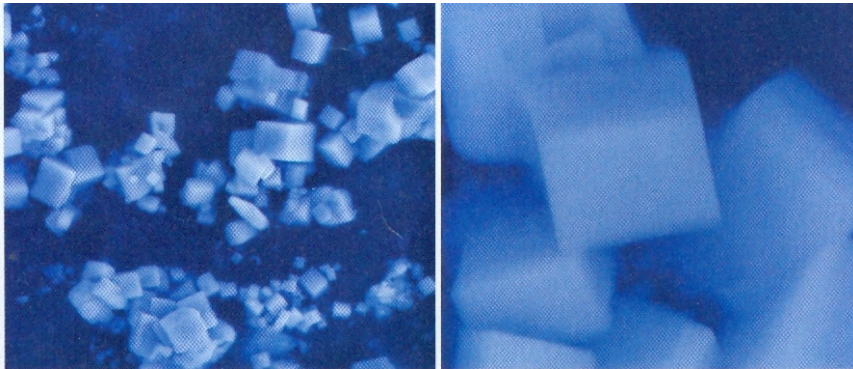


با وجود این که در تحقیقات قبلی ثابت شده بود که رابطه بین استحکام و سختی در موادی که اندازه آنها کم‌تر از ۱۳۰ نانومتر باشد از بین خواهد رفت اما تحقیقات جدید نشان می‌دهند که ذراتی با اندازه ۲۸ نانومتر می‌توانند سختی و استحکام از خود نشان دهند. مقاله موجود در این زمینه عبارت است از:

An extended hardness limit in bulk nano ceramic (actamat. 2014.01. 30)

### مواد سرامیکی پیشرفته به‌عنوان راه حل ذخیره هیدروژن در سلول‌های سوختی

تحقیقات جدیدی که بر روی سرامیک‌های پیشرفته در دانشگاه کالیفرنیا صورت گرفته ممکن است بتواند راه حل‌های جدیدی را



Scanning electron micrograph of hexaboride structures, at 5  $\mu\text{m}$  (left) and 500 nm (right), that may provide a viable hydrogen storage solution.

برای مسئله ذخیره‌سازی سوخت هیدروژن در اختیار قرار دهد.

طبق اعلان دفتر مرکزی سازمان تامین انرژی‌های معمول و انرژی‌های قابل تجدید سلول‌های سوختی هیدروژنی مورد استفاده در اتومبیل‌های فعلی به اندازه کافی بزرگ نیستند و برای استفاده از این نوع سوخت باید مخزن بزرگ‌تری استفاده شود. به‌دلیل

وجود این مشکلات استفاده از سوخت‌های جدید خیلی عملی به نظر نمی‌رسد.

هیدروژن را می‌توان هم به‌صورت گاز فشرده و هم به‌صورت مایع ذخیره کرد و یا این که با مواد پیشرفته ترکیب کرد. یکی از اعضای انجمن سرامیک آمریکا به نام Graeve در ساخت مواد سرامیکی جدید و پیشرفته که مخصوص چنین اهدافی هستند، کمک به‌سزایی کرده است.

وی به‌همراه یک تیم دیگر ترکیبات کلسیم هگزابوراید، استرانتیوم و باریم هگزابوراید را با هم سنتز کردند. آنها به‌خوبی نشان دادند که ترکیب به‌وجود آمده بسیار به‌صرفه بوده و می‌تواند جایگزین روش‌های قبلی شود.

## دریافت جایزه بین‌المللی گوستاو- ایریش ۲۰۱۴

### موفقیت پژوهشگران ایرانی در افزایش استحکام خام بتن‌های دیرگداز



محسن نوری، دانشجوی دکتری  
سرامیک، دانشگاه علم و صنعت  
ایران

پژوهشگران کشورمان با همکاری پژوهشگران برزیلی با بهره‌گیری از فناوری نانو موفق به ساخت بتن‌های دیرگدازی شدند که از استحکام خام بالایی برخوردار هستند. به گزارش سرویس فناوری ایسنا، محسن نوری خضراباد، دانشجوی دکتری سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران، به‌عنوان مجری این طرح موفق به دریافت جایزه بین‌المللی گوستاو- ایریش (Gustav- Eirich 2014) شده است. دیرگدازهای بی‌شکل مثل آجرهای دیرگداز به‌طور گسترده در صنایع مصرف‌کننده دیرگداز از جمله فولاد و فلزات غیرآهنی استفاده می‌شوند. بتن‌های دیرگداز، سهم عمده‌ای از دیرگدازهای بی‌شکل را به‌خود اختصاص داده‌اند. با پیشرفت فناوری نانو، در سال‌های اخیر تلاش شده است که از مواد نانومتری مانند سیلیس کلوئیدی به‌عنوان جایگزینی برای سیمان دیرگداز در این بتن‌ها استفاده شود. با این حال استحکام خام پایین حاصل از ژله‌ای شدن عامل کلوئیدی، استفاده از این بتن‌ها را محدود

کرده است. پژوهشگران در این طرح تلاش کرده‌اند با بهره‌گیری از افزودنی‌های خاص و تشدید فرایند ژله‌ای شدن نانوذرات سیلیس، استحکام خام دیرگدازهای ریختنی را افزایش دهند. دستاوردهای این پژوهشگران با کمک به توسعه‌ی نسل جدیدی از دیرگدازهای ریختنی دارای پیوند نانو و دستیابی به استحکام خام بسیار زیاد، راه را برای استفاده هرچه بیشتر این محصولات در صنایع مصرف‌کننده هموار کرده است. از صنایع مصرف‌کننده دیرگداز در کشور می‌توان صنایع فولاد، فلزات غیر آهنی، سیمان، پتروشیمی و... را نام برد. برای مثال می‌توان با ساخت قطعات دیرگداز پیش‌ساخته مصرفی در این صنایع، عملکرد این قطعات را بهبود بخشید. پژوهشگر طرح، برتری استفاده از سوسپانسیون‌های کلوئیدی را، ماهیت نانومتری ذرات آن‌ها می‌داند. وی در این باره می‌گوید: عامل اتصال رایج در بتن‌ها، سیمان دیرگداز است که در اثر واکنش با آب و ایجاد ترکیبات سیمانی هیدرولیک، منجر به ایجاد استحکام در بتن ریخته شده می‌شود. در حالی که در دیرگدازهایی با اتصال نانو، برخلاف سیمان دیرگداز، اتصال از طریق ژله شدن عامل کلوئیدی صورت می‌گیرد. با این وجود یک مشکل اساسی در راه استفاده از سوسپانسیون‌های نانومتری وجود دارد. در این موارد، استحکام خام بدنه ریخته شده در مقایسه با دیرگداز دارای سیمان دیرگداز پایین است. این مشکل، خروج قطعات بزرگ از قالب را با دشواری مواجه می‌کند. در طرح پژوهشی حاضر، راهکارهای مناسبی برای غلبه بر این چالش معرفی شده است. نوری خضراباد در ادامه افزود: در این پژوهش با استفاده از افزودنی‌های مناسب، فرایند ژله شدن سیلیس کلوئیدی تشدید شده است. به‌طوری‌که استحکام خام بدنه‌های ریخته شده تا حدود دو و نیم برابر افزایش یافته و به سطح یک دیرگداز ریختنی دارای پنج درصد وزنی سیمان دیرگداز رسیده است. وی تصریح کرد: ماهیت نانومتری سیلیس کلوئیدی استفاده شده در این دیرگدازها، اثرات مختلفی بر عملکرد بتن ریخته شده خواهد داشت. از آن جمله می‌توان به قابلیت خشک کردن سریع‌تر، پایداری ابعادی، سینتر شدن در دماهای پایین‌تر و نیز تشکیل فاز مولایت در بدنه‌ها اشاره کرد. به گفته نوری، نوآوری‌های این کار سبب شده است تا این پژوهش، شایسته‌ی دریافت جایزه بین‌المللی گوستاو- ایریش ۲۰۱۴ معرفی شود. این جایزه هر ساله با حمایت مرکز دیرگداز اروپا و شرکت آلمانی ایریش به سه مورد از برترین پروژه‌های پژوهش‌های انجام شده در زمینه دیرگدازها اعطا می‌شود. این طرح به‌عنوان نماینده‌ی جامعه علمی دیرگداز ایران برای نخستین بار مفتخر به دریافت این جایزه شد. مروری بر این طرح که حاصل همکاری محسن نوری، دکتر فرهاد گلستانی‌فرد و دکتر حمیدرضا رضایی از اعضای هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران و همکارانشان از دانشگاه فدرال ساؤکارلوس برزیل است، در مجله‌ی Ceramics International منتشر شده است.



Gustav Eirich Award

EUROPEAN CENTRE  
**ECREF**  
FOR REFRACTORIES

awards

on the occasion of  
the 57<sup>th</sup> International Colloquium on Refractories  
2014

the **third prize** for the paper

**Novel engineering route to improve the green mechanical  
properties of nano-bonded refractory castabel**

to

**Mr. Mohsen Nouri-Khezrabad**  
Iran University of Science and Technology, Tehran

Evaluation and selection were performed by the jurors

Christos G. Aneziris, TU Bergakademie Freiberg, Germany  
William Lee, Imperial College London, United Kingdom  
Jacques Poirier, Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans, France  
Manuel Miranda Martínez, Fundación ITMA, Parque Tecnológico de Asturias, Llanera, Spain  
Adam Molin, REFRAFIL s.r.o., Třinec-Konšská, Czech Republic  
Christopher Parr, Kerneos Alumina Technologies, Paris, France  
Stephan Eirich, Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardheim, Germany  
Peter Quirnbach, ECREP European Centre for Refractories gem. GmbH,  
Hohr-Grenzhausen, Germany

  
Peter Quirnbach

for the ECREP European Centre for Refractories gem. GmbH



### جناب آقای دکتر حسین سرپولکی

سر دبیر محترم نشریه علم و مهندسی سرامیک  
انجمن سرامیک ایران، ارتقای مرتبه دانشگاهی جنابعالی را به مقام استادی تبریک  
عرض کرده و از خداوند متعال موفقیت‌های روز افزون جنابعالی را آرزومندیم.

## تازه‌های نشر

### تکنولوژی تولید چینی بهداشتی (CERAMIC TECHNOLOGY SANITARYWARE)

نویسنده: Dominco Faenza

ترجمه: دکتر علی آراسته نوده (عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قوچان)

گرچه صنعت سرامیک یک صنعت قدیمی در ایران محسوب می‌شوند و باید دست نوشته‌های زیادی در این زمینه وجود داشته باشد، اما ظاهراً نیاکان ما بر این باور بوده‌اند که آموخته‌های خود را سینه به سینه انتقال دهند. در حالی که باید پذیرفت که این صنعت ملغمه‌ای از دانش و تجربه بوده و کمبود مکتوباتی در مورد سرامیک به‌خصوص در حالی که صنایع کوچک و بزرگ بسیاری در این زمینه فعالیت می‌کنند آزار دهنده است. کتاب حاضر ترجمه کتاب "Sanitaryware" نوشته دومینکو فائزا بوده که در دوازده فصل به تفصیل به فناوری تولید چینی بهداشتی شامل دستشویی، روشویی و ... پرداخته است. گرچه تمرکز این کتاب در خصوص تولید چینی بهداشتی بوده اما قابل استفاده برای

صنایع مشابه نظیر چینی مطروف نیز خواهد بود.



**Aras**  
Sanitary ware Industries  
شرکت صنایع چینی ارس  
تولید کننده چینی آلات بهداشتی

[www.arasind.com](http://www.arasind.com)  
تلفن: ۰۲۱ ۸۸ ۶۰ ۶۵ ۰۷ - ۸

# معرفی پایان‌نامه‌های دانشجویی

## بررسی اثر جایگزینی سیلیکات زیرکونیم با آلومینو سیلیکات‌ها بر خواص فیزیکی سطح لعاب



دانشجو: فرزانه کرم‌پور راد

استاد راهنما: دکتر محسن خواجه امینیان

استاد مشاور: دکتر عباس بهجت

**چکیده:** زیرکن (سیلیکات زیرکونیم) یکی از مواد مصرفی در ترکیب لعاب سرامیک برای بازتاب نور و ایجاد سفیدی سطح است. سفیدی در لعاب‌های سرامیکی از طریق افزودن ماده‌ای که بصورت ذرات مجزایی در لعاب پخش شده و مقداری از نور تابیده را پراکنده و بازتاب می‌کند، ایجاد می‌شود. برای ایجاد سفیدی سطح ضریب شکست ماده پخش شده باید اختلاف زیادی با ضریب شکست لعاب سرامیکی شفاف داشته باشد. ضریب شکست زیرکن ۱/۸۴ است. قیمت بالای این ترکیب باعث پژوهش‌هایی برای جایگزینی آن با مواد ارزان‌تر شده است. هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر جایگزینی سیلیکات آلومینیوم (ضریب شکست ۱/۶۴) بجای زیرکن و همچنین بررسی تاثیر جایگزینی اکسید منیزیم، کلسیم و آلومینیوم بجای زیرکن بعنوان فریت در لعاب سرامیک بر خواص فیزیکی سطح مانند جذب و بازتاب نور، ظاهر رنگی، سفیدی و ریزساختار می‌باشد. برای بررسی تاثیر استفاده از مقدارهای متفاوت سیلیکات آلومینیوم و همچنین مقدارهای متفاوت اکسید منیزیم، کلسیم و آلومینیوم بعنوان فریت بر ظاهر رنگی لعاب کاشی، طیف بازتاب نوری، شاخص سفیدی و پارامترهای رنگی در فضا رنگ  $CIE L^*a^*B^*$  نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین برای مطالعه ساختار بلوری و ریزساختار سطح آزمایش‌های SEM و XRD بر روی نمونه‌ها انجام شدند. نتایج نشان می‌دهد جانشین کردن ۵٪ سیلیکات آلومینیوم و همچنین جانشین کردن ۵٪ اکسید منیزیم، کلسیم و آلومینیوم بعنوان فریت در انگوب (یک لایه حد واسط بین لعاب و بدنه)، شاخص سفیدی تقریباً برابر با نمونه مرجع (زیرکن کامل) را بدست می‌دهد. طیف بازتاب و دیگر آزمایش‌ها نیز نزدیک بودن دو نمونه (نمونه‌ای که ۵۰٪ از زیرکن با سیلیکات آلومینیوم جایگزین شده و همچنین نمونه‌ای که ۵۰٪ از زیرکن با اکسید منیزیم، کلسیم و آلومینیوم بعنوان فریت جایگزین شده و نمونه مرجع) را تایید کرد.

## بررسی سنتز نانو ذرات کاربید بور در درجه حرارت پایین

### با استفاده از پیش‌سازه مزومتخلخل کربنی CMK-8 و فرآیند منیزوترمال



دانشجو: فرشید فرزانه

استاد راهنما: دکتر فرهاد گلستانی فرد، دکتر امیرعباس نوربخش

دانشگاه علم و صنعت ایران

**چکیده:** کاربیدبور (B4C) بدلیل سختی بالا، نقطه ذوب بالا، دانسیته پایین و مقاومت بالا در برابر محیط‌های خوردنده شیمیایی در حوزه‌های مختلف بخصوص صنایع پیشرفته مورد توجه قرار دارد. در پروژه حاضر سنتز B4C به روش منیزوترمال و با استفاده از دو منبع کربنی CB و CMK-8 مورد بررسی قرار گرفت. در واقع با توجه به محدودیت‌های روش منیزوترمال در سنتز پودر B4C با ویژگی‌های مطلوب (نظیر عدم امکان حصول اندازه ذرات نانومتری با مورفولوژی یکنواخت و توزیع اندازه ذرات باریک) ارائه راهکارهایی که بتوان از طریق روش منیزوترمال محصولاتی با ویژگی‌های مذکور تهیه نمود بسیار حائز اهمیت است که در این راستا استفاده از مزومتخلخل کربنی CMK-8 بعنوان منبع کربنی جهت رفع این محدودیت‌ها مد نظر قرار گرفت.

نتایج بدست آمده نشان داد که در استفاده از مزومتخلخل کربنی بعنوان پیش ماده کربنی می توان با استفاده از فرآیند منیزوترمال در دمای پایین (۷۵۰ درجه سانتی گراد) کاربرد بور را سنتز نمود. اگرچه نتایج استفاده از منبع کربنی ارزان و در دسترس CB نیز امکان سنتز B4C با بازده بالا را تایید کردند، با این حال استفاده از CMK-8 در سنتز B4C و بهره گیری از حفرات نانومتری آن در فرآیند منیزوترمال، محصولی ریزدانه با ابعاد ۴۰ تا ۸۰ نانومتر و با توزیع اندازه ذرات باریک در مقایسه با محصول واکنش سیاه کربن و همچنین سطح ویژه ۶۰ مترمربع بر گرم در مقایسه با سطح ویژه ۲۳ متر مربع بر گرم برای سیاه کربن را منجر شد. استفاده از مزومتخلخل کربنی و نتایج موفق سنتز B4C از آن می تواند دریچه ای نو به استفاده از این روش در تهیه پودر B4C با ویژگی های بسیار مطلوب بوسیله روش های ارزان و با امکان تولید انبوه باشد.

## ساخت نانو ذرات سیلیکای متخلخل به منظور بررسی بارگذاری و رهایش داروهای پیتیدی



دانشجو: عبدالله ذاکری سیاوشانی

استادان راهنما: دکتر مهران صولتی هشجین، دکتر معصومه حق بین نظریاک

استاد مشاور: دکتر طیبه تولیت

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**چکیده:** در این پژوهش ذرات دو فاز مزومتخلخل سیلیکا به عنوان حامل هایی برای رهایش داروهای پیتیدی مورد مطالعه قرار گرفتند و توسط فرایندهای سل-ژل و هیدروترمال تهیه شدند. مورفولوژی و ساختار نانوذرت سیلیکا توسط روش های مختلفی نظیر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، آنالیز تفرق اشعه ای ایکس (XRD)، طیفسنجی فرسرخ تبدیل فوریه (FTIR) و آنالیز جذب و واجذب نیتروژن (BET) بررسی شد. میزان بارگذاری دارو در داخل نانوذرات سیلیکا و ویژگی های رهایش برون تنی توسط آنالیز طیفسنجی فرسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، آنالیز گرما وزن سنجی (TGA) و طیفسنجی نور مرئی-فرانقش در محیط شبیه سازی شده ی بدن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر ایجاد ساختار بی شکل در ذرات سیلیکای مزومتخلخل MCM-41 و SBA-15 بودند و هر دوی ذرات توزیع اندازه ی تخلخل باریکی داشتند. از طرفی ذرات MCM-41 به صورت کروی و ذرات SBA-15 به صورت گندمی شکل و دارای توزیع اندازه ی ذرات نسبتا یکنواختی بودند. علاوه بر این مشخص شد که ذرات SBA-15 دارای ظرفیت نسبتا بالایی برای بارگذاری و رهایش انسولین می باشند ولی بارگذاری انسولین در ذرات MCM-41 صورت نمی گیرد. با توجه به خصوصیات برجسته ی SBA-15 می توان این ذرات را به عنوان گزینه ای مناسب برای رهایش داروهای پیتیدی در نظر گرفت.

# واژه‌گزینی سرامیک با همکاری فرهنگستان زبان و ادب فارسی

## واژه‌گزینی سرامیک با همکاری فرهنگستان زبان و ادب فارسی

به‌منظور بررسی واژه‌های مربوط به علم و صنعت سرامیک، کارگروه واژه‌گزینی سرامیک با حضور کارشناسان انجمن سرامیک ایران و فرهنگستان زبان فارسی تشکیل شد، که اعضای این کارگروه به شرح زیر تقسیم شدند:

۱- دکتر واهاک کاسپاری مارقوسیان - دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دکتر حسین سرپولکی - دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دکتر مهران صولتی هاشجین - دانشگاه امیرکبیر

۴- دکتر مسعود محبی - دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

۵- دکتر محمود ربیعی - دانشگاه بابل

۶- مهندس مهران غفاری - پژوهشگاه مواد و انرژی

۷- خانم فحام زاده - فرهنگستان زبان فارسی

۸- آقای صباغی - فرهنگستان زبان فارسی

هدف از تشکیل این کارگروه تصویب واژه‌های فارسی و استفاده از این واژگان در رساله‌های دانشگاهی و مقاله‌ها بوده است. در این حوزه گروه‌های مهندسی مواد و متالورژی، مهندسی بسپار، کارگروه خوردگی، کارگروه آهن و فولاد، جوشکاری و آزمایش‌های مخرب نیز فعالیت می‌کنند.

سرانجام با تشکیل ۲۲ جلسه مشترک کارگروه واژه‌گزینی مصوبات به شورای واژه‌گزینی معرفی شد و پس از چهار جلسه پیاپی در تاریخ ۹۳/۲/۱ واژگان زیر به تصویب نهایی فرهنگستان رسیده است.

انجمن سرامیک ایران وظیفه خود می‌داند در راستای رواج واژگان ارایه شده در مجله‌ها و مقاله‌ها، همایش‌ها و سمینارها اقدام کنند. به‌همین جهت از کلیه متخصصان، دانشجویان، استادان و کارشناسان علم و صنعت سرامیک ایران دعوت می‌شود در کاربرد و رواج واژگان سرامیک همکاری کنند.

لازم به اشاره است که فایل pdf واژگان در سایت انجمن سرامیک ایران قابل دانلود است.

### لغات مصوب:

واژه بیگانه	معادل پیشنهادی	ردیف	
ceramic	سرامیک	۱	-۱
advanced ceramic	سرامیک پیشرفته	۱-۱	-۲
engineering ceramic	سرامیک مهندسی	۱-۲	-۳
magnetic ceramic	مغناطیسرامیک	۱-۳	-۴
structural ceramic	سرامیک سازه‌ای	۱-۴	-۵
ceramic whiteware	سپیدافزار سرامیکی	۲	-۶
fine ceramic	سرامیک ظریف	۳	-۷
ceramic process	فرایند ساخت سرامیک	۴	-۸

ceramics	سرامیک‌شناسی	۵	-۹
electroceramic	الکتروسرامیک	۶	-۱۰
optical ceramic	سرامیک اپتیکی	۷	-۱۱
china clay syn. kaolin	خاک چینی مت. کائولن	۸	-۱۲
fireclay syn. fireclay refractory	رُس دیرگداز	۹	-۱۳
ball clay	سیاه‌رُس	۱۰	-۱۴
whiteware	سپیدافزار، سپیدینه	۱۱	-۱۵
alumina whiteware	سپیدینه آلومینی	۱۱-۱	-۱۶
stoneware	سنگینه*، داشخال	۱۳	-۱۷
chemical stoneware	سنگینه شیمیایی / داشخال شیمیایی	۱۳-۱	-۱۸
earthenware	رُسینه	۱۴	-۱۹
sanitary earthenware	رُسینه بهداشتی	۱۴-۱	-۲۰
vitreous china	چینی شیشه‌ای، چینی زجاجی	۱۶	-۲۱
vitreous china sanitaryware	چینی شیشه‌ای بهداشتی، چینی زجاجی بهداشتی	۱۶-۱	-۲۲
slip	دوغاب	۱۷	-۲۳
slip casting	ریخته‌گری دوغابی	۱۷-۱	-۲۴
drain casting	ریخته‌گری توخالی	۱۸	-۲۵
solid casting	ریخته‌گری توپُر	۱۹	-۲۶
pressure casting	ریخته‌گری فشاری	۲۰	-۲۷
centrifugal casting	ریخته‌گری مرکزگریز	۲۱	-۲۸
plastic forming	شکل‌دهی موم‌سان	۲۲	-۲۹
deflocculation	لخته‌زدایی، روان‌سازی	۲۳	-۳۰
deflocculant	لخته‌زدا، روان‌ساز	۲۳-۱	-۳۱
glaze	لعاب	۲۴	-۳۲
glazing	لعاب‌دهی	۲۴-۱	-۳۳
mat glaze	لعاب مات	۲۴-۲	-۳۴
opaque glaze	لعاب کدر	۲۴-۳	-۳۵
raw glaze	لعاب خام	۲۴-۴	-۳۶
glaze firing	پخت لعاب	۲۴-۵	-۳۷
crackle glaze	لعاب ترک	۲۴-۶	-۳۸
on-glaze decoration	تزیین رولعابی	۲۵	-۳۹
in-glaze decoration	تزیین تولعابی	۲۶	-۴۰



underglaze decoration	تزئین زیرلعابی	۲۷	-۴۱
enamel	لعاب، لعاب‌فلز	۲۸	-۴۲
glass enamel	مینای شیشه	۲۸-۱	-۴۳
enamel firing	پخت تزئین	۲۸-۲	-۴۴
frit <sup>1</sup>	فریت	۲۹	-۴۵
frit <sup>2</sup>	فریت‌سازی	۳۰	-۴۶
fritted glaze	لعاب فریت‌شده	۳۱	-۴۷
biscuit	بیسکویت	۳۲	-۴۸
biscuit firing	پخت بیسکویت	۳۲-۱	-۴۹
furnace	کوره	۳۳	-۵۰
annealing furnace	کوره تاب‌کاری	۳۳-۱	-۵۱
electric furnace	کوره برقی	۳۳-۲	-۵۲
glass furnace	کوره شیشه	۳۳-۳	-۵۳
tank furnace	کوره محفظه‌ای	۳۳-۴	-۵۴
box furnace	کوره اتاقکی	۳۳-۵	-۵۵
kiln	کوره پخت، پزاوه	۳۴	-۵۶
kiln furniture	پخت‌اسباب	۳۴-۱	-۵۷
sagger (sagger)	جعبه کوره	۳۵	-۵۸
sagger clay	رس جعبه کوره	۳۵-۱	-۵۹
refractory	دیرگداز	۳۶	-۶۰
refractoriness	دیرگدازی	۳۶-۱	-۶۱
refractory cement	سیمان دیرگداز، سیمان نسوز	۳۶-۲	-۶۲
refractory concrete	بتن دیرگداز، بتن نسوز	۳۶-۳	-۶۳
refractory ceramic	سرامیک دیرگداز	۳۶-۴	-۶۴
refractory oxide	اکسید دیرگداز	۳۶-۵	-۶۵
refractory sand	ماسه دیرگداز	۳۶-۶	-۶۶
refractory lining	آستری دیرگداز، جداره دیرگداز	۳۶-۷	-۶۷
refractory coating	پوشش دیرگداز	۳۶-۸	-۶۸
castable refractory	دیرگداز ریختنی	۳۶-۹	-۶۹
fused cast refractory	دیرگداز ذوبی-ریختگی	۳۶-۱۰	-۷۰
bulk volume	حجم کلی	۳۷	-۷۱
apparent volume	حجم ظاهری	۳۸	-۷۲
true volume	حجم واقعی	۳۹	-۷۳

true density	چگالی واقعی	۴۰	-۷۴
theoretical density	چگالی نظری	۴۱	-۷۵
tap density	چگالی تفه‌ای	۴۲	-۷۶
green density	چگالی خام	۴۳	-۷۷
green body	بدنه خام	۴۴	-۷۸
green strength	استحکام خام	۴۵	-۷۹
glass annealing	تاب‌کاری شیشه	۴۷	-۸۰
glass-ceramic	شیشه-سرامیک	۴۸	-۸۱
glass softening point	نقطه نرم‌شوندگی شیشه	۴۹	-۸۲
glass refining/ fining	حباب‌زدایی شیشه	۵۰	-۸۳
sheet glass	شیشه جام	۵۱	-۸۴
container glass	شیشه ظرف	۵۲	-۸۵
glass container	ظرف شیشه‌ای	۵۳	-۸۶
sodalime glass	شیشه سداهکی	۵۴	-۸۷
network former	شبکه‌ساز	۵۵	-۸۸
network modifier	دگرگون‌ساز شبکه	۵۶	-۸۹
bridging oxygen	اکسیژن پل‌زن	۵۷	-۹۰
non-bridging oxygen	اکسیژن غیرپل‌زن	۵۷-۱	-۹۱

# اعضای حقوقی انجمن سرمایه‌های ایران

## آبادانا سرام

مدیر عامل: مهندس هنرکار

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، روبروی بیمارستان

بقیه‌الله، کوچه گلدشت، گلدشت یکم، پلاک ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۴۳۱۰۰۰۰

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

## آریا تهران سرام

مدیر عامل: مهندس سلیمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی،

کوچه اتحاد، پلاک ۴، طبقه ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۹۶۱۰

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

## ایران ایمدی

مدیر عامل: مهندس مطلب لو

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان شیراز شمالی، نبش کوچه

شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱

نشانی سایت: [www.imdco.net](http://www.imdco.net)

## اشکان پارت آفرین

مدیر عامل: مهندس غفاری

آدرس دفتر مرکزی: کرج، گلشهر ویلا رودکی

غربی، پلاک ۲۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۶۳-۶۶۷۰۸۳۶



## پارس کائولن

مدیر عامل: مهندس صمدی

آدرس: طیس، نرسیده به جو خواه، معدن کائولن پارس

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۵۵۷۳

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

## پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

مدیریت: دکتر پورمهیدیان

آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه

صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان

وفامنش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۹

تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴

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



## پژوهشگاه مواد و انرژی

مدیریت: دکتر توفیق

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین،

انتهای خیابان الوند، کوچه جوبین، پلاک ۱۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷

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



## پیشرو ذوب اتور

مدیر عامل: مهندس ملایی داریانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

احمد قصیر، کوچه یکم، پلاک ۶ واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۴۹۸۸۴

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



## پیشگامان سرمایه‌های برسام

مدیر عامل: مهندس نعمتی

آدرس دفتر مرکزی: شیراز، بلوار امیرکبیر برج صنعت ورودی ۳،

طبقه ۴، واحد ۴۱۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱۱-۸۳۸۵۴۴۴

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

## ترمه سرمایه‌های

مدیر عامل: مهندس سلطانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ونک، خیابان آفتاب، برج آفتاب،

طبقه اول اداری، واحد ۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۱۲۹۳۹

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

**تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده**

مدیرعامل: مهندس فدایی  
آدرس دفتر مرکزی: آباده، چهارراه جوادیه  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۵۱-۳۳۳۵۸۳۳

**تهیه و تولید مواد اولیه آریاکانی اسپادانا**

مدیرعامل: دکتر پویامهر  
آدرس دفتر مرکزی: خیابان ملاصدرا، خیابان پانزدهم، پلاک ۳۴، واحد ۳  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۱۷۵۳۷-۸

**تهیه و تولید مواد نسوز کشور**

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

**تولیدی و صنعتی سامان کاشی**

مدیرعامل: 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)

**تولیدی و مهندسی نسوزین**

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

**چینی اصفهان**

مدیرعامل: مهندس جهانبانی  
آدرس: اصفهان، جاده دولت‌آباد، خیابان بهارستان، اولین فرعی سمت چپ، خیابان خوبوشانی  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱-۲۵۸۳۶۲۰۰

**چینی بهداشتی ارس**

مدیرعامل: مهندس حسین پور  
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی، میدان شیخ بهایی، برج صدف، طبقه ۴، واحد ۴۶  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۰۶۵۰۸  
نشانی سایت: [www.arasind.com](http://www.arasind.com)

**چینی زرین ایران**

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

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول**

مدیریت: دکتر سراج  
آدرس: دزفول، کوی آزادگان، دانشگاه آزاد اسلامی  
تلفن: ۰۶۴۱-۶۲۶۲۰۹۰  
نشانی سایت: [www.iaud.ac.ir](http://www.iaud.ac.ir)

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا**

معاون پژوهشی: دکتر فقیهیان  
آدرس: شهرضا، کیلومتر ۲ جاده بروجن  
تلفن: ۰۳۲۱-۳۲۴۳۰۰۱-۵

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان**

مدیریت: دکتر لک  
آدرس: اهواز، سه‌راه فرودگاه، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱۱-۴۴۵۷۱۷۴  
نشانی سایت: [www.khouzestan.srbiau.ac.ir](http://www.khouzestan.srbiau.ac.ir)

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد**

مدیر گروه سرامیک: دکتر میرجلیلی  
آدرس: میبد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد  
تلفن: ۰۳۵۲-۷۷۸۰۱۶۱-۴  
نشانی سایت: [www.iaumaybod.ir](http://www.iaumaybod.ir)



### رنگدانه‌های سرامیکی گهرfam

مدیر عامل: مهندس مهینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضرآباد، بلوار افاقیا،  
خیابان زیتون  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۱-۷۲۷۲۴۴۸

### دورسا سرام ایساتیس

مدیر عامل: مهندس پوراژدری

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)

### سارا لعاب میبد

مدیر عامل: مهندس جعفری پور میبدی

آدرس دفتر مرکزی: میبد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن،  
انتهای بلوار سمت راست

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۷۷۷۲۲۲۸

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

### سارا کاشی سپاهان

مدیر عامل: مهندس مجنون

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان سجاده، ابتدای خیابان ارباب،  
جنب بانک صادرات، مجتمع کسری، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۲۷۱۱۷

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

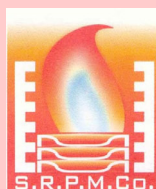
### سرامیک البرز

مدیر عامل: مهندس نظیفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی،  
کوچه اتحاد، شماره ۱۹/۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۵۸۹۰-۳

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



### ساگار و قطعات نسوز

مدیر عامل: مهندس معرفتی

آدرس: مرند، کیلومتر ۵ جاده قدیم جلفا،  
شهرک صنعتی سرامیکی

تلفن: ۰۴۹۱۲۲۶۵۷۰۷

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

### سیماب رزین

مدیر عامل: مهندس اخوین

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی،  
کوچه فلاحی، پلاک ۲۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۲۱۱۲۱۶-۸

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

### سرامیک‌های 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: ۰۳۱۱-۶۶۸۷۷۷۲

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

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

مدیر عامل: مهندس محسنی طارمسری



آدرس دفتر مرکزی: تهران،  
تهرانپارس، خیابان رشید، نبش خیابان

۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر، طبقه ۲،

واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸

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

### شرکت بین‌المللی سارنگ تدارک

مدیر عامل: مهندس اتحادی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ظفر، پلاک ۱۷۸، طبقه ۱، واحد  
۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۶۵۱۸۰

نشانی سایت: [www.sis-company.com](http://www.sis-company.com)

### شرکت صنایع سرام آرا

مدیر عامل: مهندس آهنی‌ها

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان سپهبد قرنی، بالاتر از چهارراه  
طالقانی، خیابان شاداب غربی، پلاک ۳۳، طبقه ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۹۱۰۴۵

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

### شرکت سرمایه گذاری صدرتامین

مدیر عامل: دکتر آیت‌اللهی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان احمد قصیر،  
خیابان شهید احمدیان (پانزدهم)، پلاک ۱۶، ساختمان صدر تامین

تلفن: ۰۲۱-۸۸۷۲۷۶۶۴

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

**شرکت صنایع کاشی نگار**

مدیرعامل: مهندس لاجوردی  
 آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهارباغ خواجو، جنب بانک ملی، ساختمان چاپ اندیشه، طبقه سوم  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۲۲۱۵۷۳۳  
 نشانی سایت: [www.negartile.com](http://www.negartile.com)

**شرکت فیبرونا**

مدیرعامل: 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)

**شرکت کاشی یزد**

مدیرعامل: مهندس شیرازی  
 آدرس دفتر مرکزی: یزد، بعد از دروازه قرآن، شرکت کاشی یزد  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۱-۵۲۱۰۱۰۱-۴  
 نشانی سایت: [www.yazdtileco.com](http://www.yazdtileco.com)

**شرکت مهندسی بازرگانی**

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

**صنایع سرمایه‌یک بهرنگ (سرهامی خاص)**

مدیر عامل: مهندس پوربابایی  
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان دولت، بین چهارراه کاوه و قنات، پلاک ۲۸۹، طبقه ۴  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۵۶۸۸۲۸  
 نشانی سایت: [www.behrangco.com](http://www.behrangco.com)

**صنایع کاشی خزر**

مدیر عامل: مهندس برازجانی  
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، ضلع شمال غربی میدان فردوسی، ساختمان شهید، طبقه ۲  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۰۸۹۴۵-۷  
 نشانی سایت: [www.khazar-Tile.com](http://www.khazar-Tile.com)

**صنایع کاشی زرین خراسان**

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

**صنایع کاشی نیلوفر**

مدیر عامل: مهندس ناصری  
 آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فردوسی، مجتمع تجاری اسکان، طبقه ۱، واحد ۲  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۲۳۳۳۶  
 نشانی سایت: [www.niloofartile.com](http://www.niloofartile.com)

**صنایع کاشی و سرامیک الوند**

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

**صنایع کاشی و سرامیک سینا**

مدیر عامل: مهندس عزیزیان  
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بعد از میدان مادر، پلاک ۲۳  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۷۲۳۰۱  
 نشانی سایت: [www.Sinatile.ir](http://www.Sinatile.ir)

**صنعت سرام**

مدیرعامل: مهندس غفاری  
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۶۲۰ واحد ۱۱  
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹  
 فرآورده‌های 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: ۰۴۱۱-۵۵۱۲۹۱۰  
 نشانی سایت: [www.azarshahab.com](http://www.azarshahab.com)

**فرآورده‌های نسوز ایران**

مدیر عامل: مهندس شایگان نیا



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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۴۳۴۰۸

نشانی سایت: www.irefco.ir

**فرآورده‌های نسوز پارس**

مدیر عامل: مهندس حیدرپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، برج آیین

ونک، طبقه ۷، واحد ۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۶۹۲

نشانی سایت: www.pars-ref.ir

**فرآورده‌های نسوز سومین هزاره**

مدیر عامل: مهندس ترابی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهارباغ بالا، مجتمع تجاری

پارک اصفهان، ورودی ۴، طبقه ۲، پلاک ۵۳۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۶۷۰۷۱۷

**فصلنامه کاشی و سرامیک**

مدیریت: دکتر دین محمدی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ملاصدرا، نبش

شیراز جنوبی و کوی بهار، پلاک ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۲۱۲۶۷۸

نشانی سایت: www.tileandceramic.ir

**کائولین و خاک‌های نسوز خراسان**

مدیر عامل: مهندس زیارت نیا

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۷۳۰۳۴-۵

نشانی سایت: www.kaolin-co.com

**کاشی ایرانا**

مدیر عامل: مهندس طلوعی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، کیلومتر

۱۳ جاده مخصوص کرج، روبروی ایران

خودرو

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۴۹۰۵۰۰۱-۵

نشانی سایت: www.irana-tile.com

**کاشی تیما**

مدیر عامل: دکتر ناصری

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی

توس، فاز ۲، اندیشه ۲، انتهای دانش ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۵۴۱۳۹۹۰

نشانی سایت: www.tima-tile.com

**کاشی ستاره میبد**

مدیر عامل: مهندس خالقیه

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیراز جنوبی، گرمسار

غربی، کوچه بهار، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۴۷۴۴

نشانی سایت: www.setarehtile.com

**کاشی طوس**

مدیر عامل: مهندس توکلی فرد

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، خیابان سناباد، جنب داروخانه سناباد،

ساختمان ۴۶۵، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۸۴۱۶۴۱۸

نشانی سایت: www.toostileco.com

**کاشی فیروزه مشهد**

مدیر عامل: مهندس سقاء رضوی

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

تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶

صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۷۶۷۰۰۰۱

نشانی سایت: www.firoozehtile.com

**کاشی کرد**

مدیر عامل: مهندس مرادی

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

۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۳۵۲۳۳۳۳

نشانی سایت: www.cordgroup.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



### کاشی مرجان

مدیر عامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه کاویان، پلاک ۴۱  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۶۲۴۸۰۱۹

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

### کاشی گرانبیت 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: ۰۵۳۲۸۵۸۳۵۹۰

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



### کاشی نوآوران

مدیر عامل: مهندس کهدوئی

آدرس: یزد، میبد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲۷۷۷۲۱۹۳

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)

### گروه پژوهشی سرامیک - پژوهشکده مواد - پژوهشگاه

#### علوم و فنون هسته‌ای

مدیر عامل: دکتر نوزاد

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی، منطقه هسته‌ای پژوهشکده مواد

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۱-۸۹۱۲۰۸۲

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

### کاشی نیلو

مدیر عامل: مهندس بلوچی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان حکیم نظامی، ابتدای محترم کاشانی، ساختمان کاشی نیلو

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۳۱-۶۲۵۴۱۲۶

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

### لعاب مشهد

مدیر عامل: دکتر یوسفی

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۳۶۹۶



شرکت گلسار فارس

### گلسار فارس

مدیر عامل: مهندس تازش

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۰۸۰۴۴

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



### لعابیران

مدیر عامل: مهندس رجایی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، 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)

### 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

تلفنکس: ۰۷۱۱-۸۳۰۱۹۹۰

### مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی استان یزد

مدیریت: مهندس میرحسینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، خیابان مهدی، جهاد دانشگاهی استان یزد  
تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۸۲۱۲۷۳۰

### 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: ۰۵۱۱۷۲۷۶۰۳۳

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



**مجتمع صنعتی اردکان (چینی رز)**

مدیر عامل: مهندس رزمجو

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۱-۵۲۲۹۷۶۰

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

مدیر عامل: مهندس گلکار

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

نبش کوچه ۳۴، پلاک ۱۱۵۹، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۸۶۹۸۵

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

مدیر عامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

سعادت آباد، خیابان علامه شمالی،

انتهای کوچه اقبال ملی، پلاک ۱،

واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳

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

Suravajin Aghigh Mining & Industrial  
شرکت معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق

**مجتمع کارخانجات تولیدی توس چینی**

مدیر عامل: مهدی کامران نجار

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

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۱-۸۴۱۶۸۸۰

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

مدیر عامل: دکتر معاذی

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)**مفید شیشه**

مدیر عامل: مهندس موسوی کریمی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، پایین تر از میدان ونک،

شماره ۲۵۴۰، طبقه ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۶۴۸۱۱

نشانی سایت: [www.mofidglass.com](http://www.mofidglass.com)**مهندسین مشاور کاوشگران**

مدیر عامل: مهندس رفیعا

آدرس دفتر مرکزی: تهران، انتهای اشرفی اصفهانی، خیابان زیتون،

نبش خیابان چمران، کوچه ارغوان یکم، پلاک ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۴۸۰۶۰۷۰

نشانی سایت: [www.kavoshgaranmine.com](http://www.kavoshgaranmine.com)**مهفام جام**

مدیر عامل: مهندس دهقان

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

کوچه چهاردهم غربی، پلاک ۲۶، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۱۵۰۱۵

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

# تقویم رویدادهای سرامیک

پنجمین دوره مسابقات سراسری سرامیک‌های متخلخل

گروه سرامیک دانشگاه ملایر

۳ اردیبهشت ۱۳۹۴

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

سمپوزیوم فولاد ۹۳

مجتمع معدنی و صنعتی اردکان

۵-۶ اسفند ۱۳۹۳

دومین همایش و نمایشگاه صنعت دیرگداز ایران

تهران

۳ اردیبهشت ۱۳۹۴

<http://conf-refractory.org>

**10th Biennial Congress of the Iranian Ceramic Society**

May, 4-5 2015

[www.icers2015.ir](http://www.icers2015.ir)

**2015 6th International Conference on Material and Manufacturing Technology  
(ICMMT 2015)**

Bali, Indonesia

May, 9-10 2015

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

**UniTecr 2015**

**14<sup>th</sup> Biennial worldwide congress**

**Unified international Technical conference on refractories**

Sep, 15-18 2015

[www.unitecr2015.org](http://www.unitecr2015.org)