مقدمه

پیشرفت صنعت سرامیک در جهان کنونی و گسترش آن در تمامی شئونات زندگی ماشینی، اعم از مصارف خانگی و مصارف صنعتی به گونه‌ای اعجاب انگیز رو به فزونی است. اگر در گذشته نه چندان دور لفظ سرامیک بیانگر ظروف و سرویس بهداشتی بود، اما امروز با پیشرفت علم سرامیک از قطعات ظریف الکترونیکی چون ترانزیستور تا آجر نسوز، از کارد میوه‌خوری گرفته تا بدنۀ موتور اتومبیل، از قطعات حساس موشک و سفینه های فضایی تا فنرهای سرامیکی و هزاران قطعه کوچک و بزرگ در صنایع نساجی، شیمیایی، الکترونیکی، الکتریکی، ماشین‌سازی و بطور اعجاب‌انگیز در زمینه پزشکی خصوصاً ارتوپدی صنعت سرامیک حضور خود را می‌نمایاند. فرآیندهای مختلفی در ساخت یک قطعه سرامیکی دخیل می باشند که یکی از مهمترین مراحل فرآوری یک محصول سرامیکی خشک کردن آن می باشد. خشک کردن عبارت است از فرآیند گرفتن رطوبت به کمک انتقال حرارت و انتقال رطوبت. بعد از آنکه قطعه سرامیکی به طور کامل خشک شد آن را می توان به راحتی و بدون آسیب دیدگی و اعوجاج به درون کوره جهت پخت نهایی منتقل نمود. تحقیقات گسترده ای جهت بهینه و شبیه سازی عیوب خشک شدن صورت گرفته است. از آنجا که انجام آزمایشات عملی اصولا وقت گیر و هزینه بر است تمایل محققان به سمت روش های شبیه سازی عددی و یا مدل سازی اجزاء محدود می باشد تا بتوانند خشک شدن را مدل نمایند و با کنترل شرایط و بهینه نمودن پارامترهای تاثیر گذار بر فرآیند بتوانند عیوب ناشی از خشک شدن را به حداقل رسانند. این مسئله نیاز به تحلیل دقیق مکانیزم خشک کردن داشته و بررسی رفتار سرامیک ها نیز در این مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است. در طی خشک شدن، قطعه با از دست دادن رطوبت کاهش حجم پیدا کرده و منقبض می شود، در این حالت قسمت های مرکزی و داخلی دارای محتوای رطوبتی بالاتر نسبت به قسمت های سطحی هستند این پدیده منجر به ایجاد تنش کششی در سطح و تنش فشاری در مرکز سرامیک می شود که می تواند با ایجاد ترک در محصول مقاومت آن را در مقابل نیروهای خمشی و یا کششی کاهش دهد. البته این حالت معمولا در شرایطی اتفاق می افتد که نوسانات رطوبتی در قطعه یعنی دفع رطوبت با سرعت انجام گیرد. به عبارتی چنانچه پدیده های جذب و یا دفع رطوبت به آرامی انجام

شود، امکان ایجاد اعوجاج و ترک خوردگی کمتر خواهد بود. اشاره شد که عوامل نسبتا زیادی در این فرآیند دخیل می باشند. از آنجا که بررسی تمام این پارامترها از لحاظ زمانی و هزینه ای مقرون به صرفه نیست، محققان را بر آن داشته تا سعی نمایند به کمک شبیه سازی های عددی (numerical simulation) این فرآیند پیچیده را مدلسازی نموده و تغییر پارامترها و بررسی تاثیر هر کدام بر دیگری را با حداقل اتلاف هزینه و وقت پیدا نموده تا مقادیر بهینه هر یک مشخص شود.

در این تحقیق مدلی ساده با تعمیم رطوبت به درجه حرارت بیان شده تا بتوان خشک شدن یک قطعه سرامیکی را شبیه سازی و مدل کرد. در همین راستا آزمایشاتی تجربی جهت بدست آوردن ضریب نفوذ رطوبت نمونه انجام شد و شبیه سازی فرآیند به کمک نرم افزار اجزاء محدود صورت گرفت و نتایج حاصله با نتایج تجربی مقایسه گردید و نتایج بیان شد.

مطالب این تحقیق در شش فصل تدوین شده است. که مطالب هر فصل مختصرا در زیر آورده شده است:

در فصل اول نگاهی گذرا به شناخت سرامیک ها داشته و بعد از بیان تاریخچه و قدمت پیدایش سرامیک ها ، تعریف سرامیک از دو منظر واژه ای و ترکیب شیمیایی آورده شده است. سپس سه ماده سازنده سرامیک (خاک رس ، فلدسپارها ، ماسه) بیان شده و درباره نقش و عملکرد آنها بر روی سرامیک ها بحث شده است. در این فصل بخشی را به ترکیبات ثانوی خاک رس و تاثیر آن بر سرامیکها اختصاص داده و در آن کانی های رسی توضیح داده شده است. بعد از آن انواع فرآورده‌های سرامیکی و تقسیم بندی آن به دو نوع مدرن و سنتی و نیز مزایای سرامیک ها نسبت به سایر مواد مطالبی ذکر شده است. در انتهای فصل کاربردهای رایج مواد سرامیکی به همراه چندنمونه از مواد رایج در هر مورد آورده شده‌است.

در فصل دوم راجع به مکانیزم خشک شدن سرامیک ها بحث شده و بعد از تعریف خشک شدن ضرورت وجوب آن در قطعات سرامیکی بیان شده است. سپس مطالبی درباره ترتیب جذب و دفع آب در درون سرامیک آورده شده و در ادامه روش های محاسبه درصد رطوبت (مبنای خشک، مبنای تر) و فرمول های آن ذکر شده است.

اصلی ترین عامل ایجاد ترک (انقباض خشک شدن) و نحوه ایجاد آن و راهکارهایی جهت یکنواخت بودن انقباض ارائه گردیده و در ادامه مکانیزم خشک شدن سرامیک و تقسیم آن به دو مرحله و سرعت خشک شدن آن بیان شده است. انتهای فصل به عیوب رایج در پدیده خشک شدن اختصاص داده شده و مراحل ایجاد ترک در قطعات خام سرامیکی و راه های مقابله با آن ذکر شده است.

در فصل سوم بعد از ذکر مقدمه ای درباره ترک های خشک شدن و ضرورت شبیه سازی عددی، بازنگری بر کارهای تجربی و تحلیلی و شبیه سازی هایی که توسط محققان انجام شده آورده شده است. در این فصل ده مقاله مورد بررسی قرارگرفته و مطالبی بسیار مهم درباره شبیه سازی عددی، خصوصیات ترک، عوامل موثر بر ترک، محاسبه ویژگی های ترک به کمک پردازش تصویر، شبیه سازی خشک کردن مقره های الکتریکی و قطعات سرامیکی آورده شده است.

فصل چهارم به شبیه سازی عددی مدل خشک شدن سرامیک ها به کمک المان محدود اختصاص یافته و در ابتدای فصل مروری بر المان محدود، نحوه پیدایش و تاریخچه آن، ویژگی المان محدود و مراحل حل به کمک المان محدود مطالبی ذکر شده است. در این قسمت تعاریفی نظیر: المان، ماتریس سختی، روش های عددی، روش های باقی مانده وزنی، توابع شکل و... آورده شده است. بعد از آن به مدل عددی ارائه شده ،پرداخته و نحوه حل آن به روش گالرگین که در همین فصل توضیح داده شده است ، بیان می شود. در این فصل گریزی نیز به مقاومت مصالح نیز زده شده تا اثرات حاصل از خشک شدن بر تنش و کرنش نیز به صورت عددی و برای هر المان مشخص شود.

در ادامه فصل بخشی مختصر به نحوه کارکرد نرم افزار المان محدود اختصاص داده شده است و مطالب گفته شده در طول کل فصل را به یکدیگر تعمیم می دهد. انتهای فصل با توضیحاتی درباره پدیده خطی یا غیر خطی بودن خشک شدن و ارائه مثال به پایان می رسد.

در فصل پنجم ابتدا شرایط فیزیکی آزمایشات عملی، نوع خشک کن ، سخت افزارهای مورد استفاده و خواص سرامیکی که قرار است آزمایشات روی آن انجام گیرد، آورده شده و جهت راحتی در مفهوم این مطالب تمام آنها به صورت تصویری ذکر شده است. سپس روند انجام کارهای عملی به صورت مرحله به مرحله و نیز مطالبی جهت ایجاد گل مرغوب آورده شده است . توضیحاتی کاربردی نیز درباره نحوه قالب گیری و خروج قطعه از قالب بیان شده است. مراحل ثبت داده ها و نحوه شروع خشک کردن سرامیک به طور کامل ذکر شده است. در ادامه استفاده از تکنیک های پردازش تصویر بر روی تصاویر حاصل از آزمایشات بیان شده و به کمک آن مقدار بردارهای کرنش محاسبه و ترسیم شده است، تا بتوان به درستی از نتایج حاصل از داده های عملی بهره برد. در بخش دوم همین فصل نتایج حاصل از آزمایشات عملی و شبیه سازی های حاصل از نرم افزار آورده شده است.

فصل ششم به بحث و نتیجه گیری اختصاص یافته است.

فصل اول سرامیک و اجزای سازنده آن 8

1 - 1 – **تاریخچه سرامیک** 9

1 - 2 – **تعریف سرامیک** 9

1 -3 - **اجزای تشکیل دهنده سرامیکها** 10

1 – 4 - **کانی های رس** 11

1 - 5 - **ترکیبات ثانوی خاک رس و تاثیر آن بر سرامیکها** 12

1 - 6 – **فرآورده‌های سرامیکی** 13

1 - 6 – 1 - سرامیکهای سنتی 14

1 – 6 –2 - سرامیک های مدرن یا نوین (سرامیک های مهندسی) 14

1 - 7 – **کاربرد سرامیک ها** 17

فصل دوم مکانیزم خشک شدن در سیستم های ذره ای 20

2– 1 - **مقدمه** 21

2 - 2 - **مکانیزم خشک شدن** 21

2 – 2 - 1 - افزودن آب به یک پودر سرامیکی کاملا خشک و سپس زدودن رطوبت 22

2 – 2 –2 - آب مقید در سیستم های ذره ای (آب هایگروسکوپی) 25

2 – 2 –3 – آب مقید در سیستم های ذره ای (آب موئینگی) 26

2 –2 - 4- آب غیر مقید در سیستم های ذره ای(آب تخلخل و آب شکل دادن) 28

2 – 3 – **سرعت و مراحل خشک شدن** 29

2 – 3 – 1 – مرحله 1 (خشک شدن با سرعت ثابت) 32

2 – 3– 2 – مرحله 2 34

2 – 4 – **مقدمه ای بر انقباض خشک** 36

2 – 5 - **فرآیندهای تبخیر و کنوکسیون** 39

2 – 6 - **آنتالپی** 40

2 – 7 – **سیکل کارنو** 42

2 – 8 - معادله کلازیوس – کلاپیرون 43

2 – 9 – عیوب و انقباض خشک کردن 43

2 – 10 – 1 - ترک های خشک شدن ناشی از آماده سازی ماده 44
2 – 10 – 1 – ترک های ناشی از گرادیان انقباضی 44
2 – 10 – 2 - ناهمگنی در ساختار 45
2 – 10 –3 - گرادیان آب در مواد غیر یکنواخت 46
2 – 10 – 4 - گرادیان آب ناشی از گرادیان خشک شدن.....47
2 – 10 – 5 - ترک های شکل دادن 48
2 – 10 – 6 - گرادیان های ضخامت 48

2 – 11 – دلایل ترک خوردن و تاب برداشتن 50
2 - 11 – 1- اشتباهات رایج در خشک کردن.....50

2 – 12 – عملیات تئوری انقباض خشک 50

فصل سوم بازنگری شبیه سازی ها و مدل های انجام شده 54

3 - 1 – مقدمه 55

3 – 2 – مدل کردن گسترش ترک در خشک شدن خاک 55

3-3 – مطالعه دینامیک ترک خاک 56

3-4 - مدل کردن انقباض وترک خشک شدن خاک به کمک المان های مجزا 56

3 - 5 – شکل گیری ترک و تحلیل آن به کمک مکانیک شکست الاستیک- پلاستیک.....57

3- 6 – بررسی عددی فرآیند خشک شدن خاک 58

3 – 7 - بررسی فاکتورهای تاثیر گذار بر ترک های انقباضی خشک شدن خاک ها 59

3-8 – خطر ایجاد ترک در خشک شدن خاک.....61

3 – 9 - شبیه سازی اجزاء محدود فرآیند خشک شدن سرامیک ها 63

3 – 10 - شبیه سازی اجزاء محدود فرآیند خشک شدن سرامیک ها با در نظر گیری تخلخل و منافذ قطعه خام سرامیکی ..64

فصل چهارم شبیه سازی عددی مدل خشک شدن سرامیک ها به کمک المان محدود 68

4 – 1 – معرفی المان محدود 69
4 -2- ویژگی المان محدود..... 70
4 -3 – محاسبه ماتریس سختی یک المان مثلثی(حالت تنش صفحه ای) 72
4 - 1 - نرم افزار المان محدود چه کمکی می کند؟ 78
4 -5 – روش های باقیمانده وزنی در تحلیل مسائل المان محدود 79
4 – 6 – روش گالرکین در تحلیل خشک شدن سرامیک ها 81
4 – 7 - خشک شدن پدیده ای خطی یا غیر خطی 84

فصل پنجم کارهای تجربی و شبیه سازی 88

5 – 1 - تجهیزات آزمایش 89
5 – 2 – جنس سرامیک 92
5 – 3 – روند انجام کار 92

فصل ششم بررسی نتایج و پیشنهادات 115

6 – 1 – مقدمه 116
6 – 2 - نوع المان 116
6 – 3- مقایسه رفتار تجربی و شبیه سازی 117
6 – 3- 1- عوامل عدم تطابق منحنی های عملی و شبیه سازی 119
6 – 4 – بررسی تغییر شکل ها..... 122
6 – 5 – بررسی تنش 125
6 – 6 – پیشنهادات..... 131

منابع 132

فصل اول

سرامیک و اجزای سازنده آن

1 - 1 –تاریخچه سرامیک

تاریخچه آشنایی انسان با مواد سرامیکی و استفاده از آنها ، قدمتی بطول تاریخ دارد. سفالینه‌های کشف شده در مناطق باستانی دنیا نشان می‌دهد که انسان در دوران باستان، با گل رس و چگونگی کار با آن و پخت و مقاوم سازی آن آشنا بوده است. سرامیک مشتق از کلمه keramos یونانی است که به معنی سفالینه یا شئ پخت شده است. در واقع منشا پیدایش این علم همان سفالینه‌های ساخته شده توسط انسانهای اولیه هستند. در واقع قبل از کشف و استفاده از فلزات، بشر از گل های رس به علت وفور و فراوانی آنها و همچنین شکل‌گیری بسیار خوب آنها در در صورت مخلوط شدن با آب و درجه حرارت نسبتاً پایین پخت آنها استفاده می‌کرد. برخی آغاز استفاده و ساخت سرامیک ها را در حدود 7000 سال ق.م. می دانند در حالی که برخی دیگر قدمت آن را تا 15000 سال ق.م نیز دانسته اند. ولی در کل اکثریت تاریخ نگاران بر 10000 سال ق.م اتفاق نظر دارند (بدیهی است که این تاریخ مربوط به سرامیک های سنتی است) .

1 - 2 –تعریف سرامیک

سرامیکها معمولا به استثنای فلزات و آلیاژهای فلزی و مواد آلی ، شامل تمام مواد مهندسی می‌شوند که از نظر شیمیایی جزء مواد معدنی هستند و بعد از قرار گرفتن در دمای بسیار بالا ، شکل اولیه خود را حفظ کرده و مقاوم‌تر می‌شوند. خواص سرامیک‌ها بسته به نوع و درجه خلوص هر یک از اجزای اصلی، مواد افزودنی ، لعاب ، زمان حرارت دادن ، مواد اکسنده و کاهنده های موجود در محیط، تغییر می‌کند. می توان خواصی چون دیرگدازی بالا، سختی زیاد و مقاومت به خوردگی بالای سرامیک‌ها را نسبت به مواد دیگراشاره نمود. در قرن حاضر صنعت سرامیک سازی توسعه و تنوع شگرفی یافته و اهمیت و کاربردهای آن نیز وسعت پیدا کرده است. اکنون، سرامیک را به طور کلی به عنوان هنر و علم ساختن و به کار بردن اشیاء جامدی که اجزاء تشکیل دهنده اصلی و عمده ی آنها مواد غیرآلی و غیرفلزی می‌باشند، تعریف می‌کنند و بررسی ساختمان و خواص اینگونه مواد نیز جزء این علم است.

در زیر دو تعریف برای سرامیک ارائه شده است.

تعریف کلمه ای سرامیک: [20]

" سرامیک به کلیه جامدات غیر آلی و غیر فلزی گفته می‌شود ".

تعریف سرامیک از نظر ساختار شیمیایی: [20]

" کلیه موادی که از مخلوط خاک رس با ماسه و فلدسپار در دمای بالا بدست می‌آیند و توسط توده شیشه مانندی انسجام یافته و بسیار سخت و غیر قابل حل در حلال‌ها و تقریبا گداز ناپذیر می‌باشند ". سرامیک ها از نظر ساختار به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

- *سرامیک های سنتی (سیلیکاتی)*
- *سرامیک های مدرن (مهندسی)*
- *ا کسیدی*
- *غیر اکسیدی*

1 -3 - اجزای تشکیل دهنده سرامیکها

سرامیکها از سه ماده اولیه خاک رس ، فلدسپارها و ماسه تهیه می‌شوند. که نقش اجزای سه‌گانه در سرامیک به شرح زیر می باشد:

- **Ø** خاک رس: موجب نرمی ، انعطاف و تشکیل ذرات بلوری سرامیک می‌شود.

- **Ø** ماسه: قابلیت چین خوردن پس از گرم و خشک شدن و تشکیل ذرات بلوری سرامیک را کاهش می‌دهد. و یا به عبارتی باعث کم شدن حالت پلاستیسیته و کاهش قدرت چسبندگی می شود .

- فلدسپار: فلدسپارها خاصیت سیال‌کنندگی دارند و امروزه نیز از این ترکیبات در صنعت سرامیک استفاده می‌کنند. نقش این ترکیبات در سرامیک سازی ، ایجاد فاز شیشه‌ای در توده اولیه است و در کاهش دادن دمای پخت و تشکیل توده شیشه‌ای و چسباننده ذرات بلوری سرامیک موثر است. انواع فلدسپارها در سرامیک ها عبارتند از:
  - فلدسپار پتاسیم $KO , Al2O3 , 6SiO2$
  - فلدسپار سدیم $Na2O , Al2O3 , 6SiO2$
  - فلدسپار کلسیم $CaO , Al2O3 , 6SiO2$

از بین اینها فلدسپار پتاسیم از همه مهمتر است، ولی در عمل موادی که به عنوان سیال کننده بکار می‌روند، مخلوطی از فلدسپارهای مختلف هستند.

1 – 4 - کانی های رس

مهم ترین عناصر پوسته زمین عبارتند از: اکسیژن 50%، سیلیسیم 26% و آلومینیم 8%. بنابراین می توان حدس زد که مواد اولیه سرامیکی پوسته زمین در واقع همان ترکیبات اکسیدی سیلیسم و آلومینیم هستند، لذا به آنها آلومینو سیلیکات گفته می شود. کانی آشنای رس نیز در واقع نوعی آلومینو سیلیکات آب دار می باشد. و خاک رس همان سیلیکاتهای آلومینیوم هیدراته است که به صورت کانی‌های مختلفی یافت می‌شوند.

کانی های رس درسرامیکها دو عملکرد مهم دارند:

- مخلوط آب و رس (گل رس) دارای خاصیت شکل پذیری فوق العاده است (پلاستیک) و حتی بعد از شکل گیری آن به صورت پایدار باقی می ماند.
- ذرات تشکیل دهنده این مواد در محدوده ای از حرارت (قبل از آنکه ذوب شوند) دچار ذوب سطحی شده و پدیده هم جوشی اتفاق می افتد، که در آن قطعه ای یکپارچه و مستحکم تشکیل می شود. (زینتر شدن)

1 - 5 - ترکیبات ثانوی خاک رس و تاثیر آن بر سرامیکها

ترکیبات ثانوی ، شامل ترکیبات آهن ، ماسه ، کربناتهای کلسیم و منیزیم ، میکا و مواد آلی است که مقادیر آنها در انواع خاک رس متغیر می باشد. ترکیبات آهن موجود در خاک رس مثل پیریتها و هیدروکسیدهای آهن و ... ، باعث پایین آمدن نقطه ذوب و تغییر رنگ سرامیک قبل از پخت به زرد متمایل به قهوه ای و بعد از پخت به صورتی متمایل به قرمز تیره می شوند کربناتهای کلسیم و منیزیم به عنوان ناخالصی باعث آسیب دیدگی محصول شده و بعد از پخت ، باعث افزایش خلل و فرج و کاهش قدرت مکانیکی و خواص نسوزی محصول می شوند. نمکهای سولفات و کربنات و کلریدهای فلزات قلیایی خاک رس و وانادیوم ، قابل حل در خاکهای رس هستند و موجب پخش مواد در توده خاک رس می شوند. ترکیبات وانادیوم لکه های زرد متمایل به سبز ، روی محصول ایجاد می کنند. ترکیبات آلی موجود در خاک رس ، باعث ایجاد رنگ خاکستری می شوند. خاکها در مناطق گرم و شرایط آب و هوایی مرطوب جایی که زهکشی مناسبی ندارد، دارای میزان بالایی از کانیهای اولیه حل شده می باشند که به کانیهای رسی تبدیل شده اند. خاکهای موجود در مناطق گرم و مرطوب، میزان بالایی از رس حتی در اعماق 5 تا 20 متری دارند. در حالت زهکشی مناسب ، کانیهای رسی از درون سیستم خاک خارج می شوند. بعضی کانیهای رسی در اثر تجزیه و دگرسانی کانیهای اولیه نظیر میکاها تشکیل می شوند.

کانی های رسی را در دو نوع زیر طبقه بندی می کنند:

Ø *کانی‌های سیلیکاتی دو لایه‌ای*

- کائولینیت : بررسی پراش اشعه ایکس ، وجود دو لایه را در کائولینیت نشان می‌دهد. لایه اول شامل واحدهای Si_2O_5 چهار وجهی است و لایه دوم از واحدهای هشت وجهی $Al_2(OH)_4$ تشکیل شده است. از اتصال دو لایه ، یک لایه واحد بوجود می‌آید که تکرار آن ، لایه کائولینیت را می‌سازد.
- هالوی‌سیت : کانی دیگر ، هالوی‌سیت است که در مقایسه با کائولینیت کاربرد کمتری دارد .

Ø *کانیهای سیلیکاتی سه لایه‌ای*

- مونت موری لونیت **:** مونت موری لونیت دارای سه لایه ، دو لایه به صورت چهاروجهی‌های سیلیکاتی و لایه وسط به صورت گروه‌های هیدروکسی آلومینات است. به علت توانایی گیر انداختن سیستمهای مولکولی مختلف ، اغلب به عنوان کاتالیست مصرف دارند.
- ایلیت **:** ساختمان ایلیت ، تقریبا شبیه مونت موری لونیت می‌باشد و چون همیشه همراه با مخلوط کانیهای دیگر است فرمول دقیقی نمی‌توان برای آن در نظر گرفت .

1 - 6 –فرآورده‌های سرامیکی

فرآورده‌ها سرامیکی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد:

Ø سرامیکهای سنتی

Ø سرامیک های مدرن یا نوین (سرامیک های مهندسی)

1 - 6 – 1 - سرامیکهای سنتی

اساساً مواد تشکیل دهنده آنها صنایع سیلیکاتی یعنی محصولات رسی، سیمان و شیشه‌های سیلیکاتی و چینی‌ها هستند. فرآورده‌های شیشه‌ای بزرگترین بخش صنعت سرامیک محسوب می‌شوند.

1 – 6 –2 - سرامیک های مدرن یا نوین (سرامیک های مهندسی)

در ساخت این سرامیک ها به سه نکته خلوص در مواد، روش های ویژه تولید و کنترل دقیق بر فرآیند تولید اهمیت می دهند. سرامیک های مدرن امروزه کاربرد وسیعی در صنایع و پزشکی پیدا کرده اند، مانند: فرآورده های ویژه و سرامیک های تکنیکی، دیرگدازها، فرآورده های زمخت، فرآورده های ظریف. این فرآورده ها عمدتاً از مواد اولیه خالص و سنتزی ساخته می شوند. این نوع سرامیک ها اکثراً در ارتباط با صنایع دیگر مطرح شده اند انواع سرامیک های مهندسی در ادامه آورده شده اند.

- سفال: از قدیمی ترین دست ساخته های بشر است که رس به عنوان ماده اصلی آن مطرح می باشد. (حاوی اکسید آهن قرمز رنگ می باشد). بدنه سفال ها متخلخل بوده لذا هر مایعی را به سرعت جذب کرده و از خود عبور می دهد. لعاب کاری بر روی سفال به منظور زیبایی، افزایش استحکام و بهداشتی نمودن آن صورت می گیرد. پخت سفال در دو مرحله صورت می گیرد. مرحله اول که پس از خشک شدن صورت می گیرد و در آن سفال به بیسکویت تبدیل می شود و در مرحله دوم پس از لعاب کاری برروی بیسکویت و جهت تثبیت لعاب برروی آن پخت دوم صورت می پذیرد. حرارت لازم برای پخت سفال 900 تا 1000 درجه سانتی گراد می باشد.
- آجر: از مهم ترین مصالح ساختمانی است که در قدیم به روش دستی تولید می شد، یعنی گل را داخل قالب می ریختند و خشت خام را پخت می کردند. اما امروزه آجر با استفاده از دستگاه های میکسر، اکسترود و فیلتر پرس ساخته می شود. آجرهای تولید شده در روش مدرن هم استحکام بیشتر و هم ابعاد دقیق تر و هم صافی سطوح بیشتر دارند. پخت این آجرها در سه نوع کوره صورت می گیرد:

کوره اتاقکی (سنتی)، کوره هفمن که در آن محصولات ثابت و شعله در حرکت است و کوره تونلی که کوره ای طویل است که با توجه به تغییرات دما، کوره به سه ناحیه تقسیم می شود؛ ناحیه اول: دما در آن به تدریج بالا می رود. ناحیه میانی: موسوم به جهنم کوره و ناحیه سوم: دما بتدریج پایین می آید.

- کاشی: قطعاتی مسطح از سفال می باشند که تنها یک روی آنها لعاب داده می شود (ضدآب کردن کاشی) و طرف دیگر را با دوغاب سیمان به دیوار می چسبانند. کاشی در دو نوع دیواری و زمینی (موسوم به سرامیک) تولید می گردد. کاشی های زمینی می بایست قطورتر و محکم تر بوده و ضریب استحکام سطحی آن مناسب باشد. لذا کاشی کف می بایست از مواد زودگدازتر ساخته شود تا عمل هم جوشی بیشتری در آن اتفاق افتد. جذب آب کاشی های دیواری به طور معمول 12-15% در استاندارد جهانی و 12-18% در استاندارد ایرانی بوده و این رقم درکاشی های کف که به 2-5% در استاندارد جهانی و 0-2% دراستاندارد ایرانی می رسد.
- چینی: به قطعاتی سفید، محکم و مقاوم دربرابر جذب آب گفته می شود که فلدسپات، کوارتز و رس سه جزء اصلی آن می باشند. هر چه دمای پخت چینی بیشتر باشد آن چینی مرغوب تر بوده و صدای زنگ ناشی از آن نیز بیشتر است. بر اساس دمای پخت چینی ها به دو گروه چینی نرم (1250°) و چینی سخت (1250° -1450°) تقسیم می شود.
- دیرگدازها: به طور کلی دیرگدازها محصولاتی هستند که خمش آنها در دمای بالاتر از 580° سانتی گراد انجام می شود. مصرف این فرآورده ها در ساختمان کوره ها می باشد. که به صورت آجر، انواع ملات ها و پوشش های مختلف و فرآورده های ویژه، کلیه صنایعی که در مراحلی از روند تولید خود نیاز به درجه حرارت بالا دارد مثل صنایع ذوب فلز، ذوب شیشه، سیمان، صنایع شیمیایی و صنایع هسته ای مجبور به استفاده از این فرآورده ها می باشد. دیرگدازهای سنتی می توانند تا 1900° سانتی گراد را تحمل کنند در صورتی که دیر گدازهای نوین می توانند تا 3000° سانتیگراد را تحمل کنند.

- ساینده ها و سنباده ها: از مواد سرامیکی طبیعی که در طبیعت یافت می شود، می توان استفاده نمود. (الماس و کوارتز) و این مواد دارای سختی فوق العاده می باشند که جهت تهیه ساینده و سنباده کاربرد دارند. برای ساخت ساینده ها این ذرات را ابتدا توسط قالب شکل می دهند سپس با اعمال حرارت آن را زینتر می کنند، که در نتیجه آن به قطعه ای فوق العاده سخت و محکم تبدیل می گردد. جهت تولید سنباده ها ابتدا ذرات را دانه بندی نموده و توسط چسبهایی مقاوم برروی مقوا یا پارچه می چسبانند.
- لعاب: لعابها طیف وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی را در بر می‌گیرند. پوششی است شیشه ای زودگداز که با ضخامت کم برروی قطعه قرار گرفته و توسط حرارت ذوب و تثبیت می گردد، باید توجه نمود که لعاب علاوه بر ظروف سرامیکی برروی قطعات فلزی نیز کاربرد دارند. (کتری لعابی، سینک لعابی و بخاری). لعاب مربوط به سرامیک معمولا مخلوط شیشه مانندی متشکل از کوارتز ، فلدسپار و اکسید سرب (PbO) است. این اجزا را پس از آسیاب و نرم کردن به صورت خمیری رقیق در می‌آورند. آنگاه وسیله سرامیکی مورد نظر را در این خمیر غوطه‌ور کرده و پس از سرد و خشک شدن ، آن را در کوره تا دمای معین حرارت می‌دهند. پس از لعاب دادن روی چینی ، روی آن مطالب مورد نظر را می‌نویسند و یا طرح مورد نظر را نقاشی می‌کنند و دوباره روی آن را لعاب داده و یک بار دیگر حرارت می‌دهند. در این صورت وسیله مورد نظر پرارزش‌تر و نوشته و طرح روی آن بادوام‌تر می‌شود.

لعابها در انواع زیر وجود دارند :

- لعاب بی‌رنگ: این نوع لعاب که برای پوشش سطح چینی‌های بدلی ظریف بکار می‌رود، بی رنگ و شفاف است و از مخلوط کلسیم و سیلیس و خاک چینی سفید تهیه می‌شود .

- لعاب رنگی: برای رنگ آبی از اکسید مس (Cu2O) ، برای رنگ زرد از اکسید آهن (FeO)و برای رنگ سبز از اکسید کروم (Cr2O3) ، برای رنگ زرد از کرومات سرب و برای رنگ ارغوانی از ارغوانی کاسیوس استفاده می‌شود .

- لعاب کدر: این نوع لعاب که برای پوشش چینی‌های بدلی معمولی بکار می‌رود و از مخلوط SnO2 , PbO , SiO2 , Pb3O4 ، نمک و کربنات سدیم تهیه می‌شود که آن را پس از ذوب کردن ، سرد کردن و پودر کردن ، در آب به صورت حمام شیر در می‌آورند و شئی لعاب دادنی را در آن غوطه‌ور می‌کنند .

1 - 7 –کاربرد سرامیک ها

در زیر کاربردهای رایج مواد سرامیکی به همراه چندنمونه از مواد رایج در هر کاربرد آورده شده‌است:

- **Ø** الکتریکی و مغناطیسی
  - o عایق های ولتاژ بالا (AlN- Al_2O_3)
  - o دی الکتریک ($BaTiO_3$)
  - o پیزوالکتریک (ZnO- SiO_2)
  - o پیروالکتریک ($Pb(ZrxTi-x)O_3$))
  - o مغناطیس نرم ($Zn1-xMnxFe_2O_4$)
  - o مغناطیس سخت ($SrO.{}_6Fe_2O_3$)
  - o نیمه رسانا (ZnO- GaN-SnO_2)
  - o رسانای یونی (β-Al_2O_3)

- تاباننده الکترون (LaB_6)
- ابررسانا ($Ba_2LaCu_3O_{7-\delta}$)

Ø سختی بالا

- ابزار ساینده، ابزار برشی و ابزار سنگ زنی (O_3TiN-Al)
- مقاومت مکانیکی (SiC- Si_3N_4)

Ø نوری

- فلورسانس (Y_2O_3)
- ترانسلوسانس (نیمه شفاف (SnO_2)
- منحرف کننده نوری (PLZT)
- بازتاب نوری (TiN)
- بازتاب مادون قرمز (SnO_2)
- انتقال دهنده نور (SiO_2)

Ø حرارتی

- پایداری حرارتی (ThO_2)
- عایق حرارتی ($CaO.nSiO_2$)
- رسانای حرارتی (AlN - C)

Ø شیمیایی و بیوشیمیایی

- پروتزهای استخوانی ($P_3O_{12}(Al_2O_3.Ca_5FCl)$)
- سابستریت (TiO_2- SiO_2)
- کاتالیزور ($KO_2.mnAl_2O_3$)

- فناوری هسته ای
  - سوخت های هسته ای سرامیکی
  - مواد کاهش دهنده ی انرژی نوترون
  - مواد کنترل کننده ی فعالیت راکتور
  - مواد محافظت کننده از راکتور

از بین موارد فوق موارد زیر جزء *سرامیک‌های ویژه* محسوب می شوند:

- *مقره‌های برق* : که عایقهای خوبی برای گرما و برق هستند و در آنها از Al_2O_3 ، Zr_2O_3 استفاده می‌شود .

- *سرامیک‌های مغناطیسی* : در این نوع سرامیک از اکسیدهای آهن استفاده می‌شود. مهمترین کاربرد آنها در تهیه عنصرهای حافظه در کامپیوتر است .

- *سرامیک‌های شیشه‌ای* : وقتی شیشه معمولی پس از تهیه در دمای بالایی قرار گیرد، تعداد قابل توجهی از ذرات بلور در آن تشکیل می‌شود و خاصیت شکنندگی آن کم می‌گردد و بر خلاف شیشه‌های معمولی دیگر ، ایجاد یا پیدایش شکاف کوچک در آنها ساری نمی‌باشد، یعنی این شکافها خود به خود پیشرفت نمی‌کنند. از این نوع سرامیک‌ها برای تهیه ظروف آشپزخانه یا ظروفی که برای حرارت دادن لازم باشند، استفاده می‌شود که آن را اصطلاحا پیروسرام می‌نامند .

فصل دوم

مکانیزم خشک شدن سیستم های ذره ای