تحصیلات تکمیلی

**پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد**

**گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی**

عنوان:

# سنتز کامپوزیت آلومینا-کاربید سیلیسیم به روش سینترینگ اتصال واکنشی

استاد راهنما:

**دکتر مهدی شفیعی آفارانی**

تحقیق و نگارش:

**ابوالحسن خزاعی دلاکه**

**(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)**

**بهمن ۱۳۹۲**

# بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان سنتز کامپوزیت آلومینا-کاربید سیلیسیم به روش سینترینگ اتصال واکنشی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد توسط دانشجو ابوالحسن خزاعی دلاکه تحت راهنمایی استاد پایان نامه آقای دکتر مهدی شفیعی آفارانی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

ابوالحسن خزاعی دلاکه

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۹۲/۱۱/۱۸ توسط هیئت داوران بررسی و درجه عالی به آن تعلق گرفت.

| | **نام و نام خانوادگی** | **امضاء** | **تاریخ** |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما: | دکتر مهدی شفیعی آفارانی | | |
| داور ۱: | دکتر حسین آتشی | | |
| داور ۲: | دکتر قدرت الله رودینی | | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی: | دکتر علی اکبر دایا | | |

## تعهدنامه اصالت اثر

**اینجانب ابوالحسن خزاعی دلاکه تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.**

**کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.**

**ابوالحسن خزاعی دلاکه**

**امضاء**

تقدیم به

دو سوی چشمانم پدر و مادر عزیزم

و امید زندگیم همسر مهربان و فداکارم

# سپاسگزاری

خداوند منان را سپاسگزارم که توفیق علم‌آموزی به بنده‌اش عنایت فرمود و توانستم یک مرحله دیگر از زندگیم را با موفقیت سپری کنم.اکنون که با لطف و عنایت پروردگار متعال نگارش این پایان‌نامه به اتمام رسیده است، برخود لازم می‌دانم از همه‌ی عزیزانی که در به ثمر رسیدن آن مرا یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. در ابتدا برخود لازم می‌دانم از زحمات فراوان پدر فداکار و مادر صبورم، همسر مهربانم، برادر و خواهران عزیزم تشکر و قدردانی نمایم، آنان که گرمای وجودشان همواره امید بخش من بوده و با حمایت ها و دلگرمی های بی پایانشان توانستم این پژوهش را به سرانجام رسانم.

از خداوند منان سپاسگزارم که توفیق کار درکنار استاد بزرگ و فرهیخته جناب آقای دکتر مهدی شفیعی آفارانی را یافتم. امیدوارم بتوانم علم، اخلاق و منش این بزرگوار را سرلوحه‌ی تمام امورم در زندگی قرار دهم. از رهنمودها و مساعدت‌های بی‌دریغ ایشان صمیمانه تشکر می‌کنم.

در اینجا بر خود لازم می دانم که از آقایان مهندس اوکاتی، مهندس خمری و مهندس نورزایی مسئولین محترم کارگاه های آموزشی گروه مواد به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات و آماده سازی تجهیزات و انجام آزمون ها، که همیشه یار و همراهم بوده اند، کمال تشکر را داشته باشم.

در پایان لازم می دانم از همه ی دوستانی که در این راه از حمایت و یاری آنها بهره مند بودم خصوصا آقایان مهندس حسام سعیدی، مهندس محمد بخشایش اردستانی، مهندس کیوان پیری، مهندس حسین جیستان و مهندس سجاد احمدی شاهرخت قدردانی نماییم و برای آنها موفقیت روزافزون در تمامی مراحل زندگی را از خداوند متعال آرزومندم.

## چکیده:

کامپوزیت های زمینه سرامیکی یکی از مواد شناخته شده مهندسی هستند که روز به روز کاربردهای وسیع تری در صنایع پیدا می کنند. از کاربردهای این نوع کامپوزیت ها می توان به صنایع هوافضا، قطعاتی چون مشعل ها، عایق ها و سپرهای حرارتی، صنایع پزشکی در ساخت اعضای مصنوعی بدن و تولید ابزارآلات، در عایق های حرارتی ابزار برش و قالب های کشش سیم اشاره کرد. این کامپوزیت ها به روش های مختلفی تولید می شوند. از جمله این روش ها می توان به واکنش حالت جامد، فرایند سل-ژل، تلقیح محلول، پرس گرم و سینترینگ اتصال واکنشی اشاره کرد. در این پژوهش کامپوزیت زمینه سرامیکی آلومینا -کاربید سیلیسیم توسط فرایند سینترینگ اتصال واکنشی به صورت موفقیت آمیزی تولید شد. این فرایند شامل مخلوط کردن پودرها، تحت فشار قرار دادن و پخت در دمای بالا می باشد. در این تحقیق به منظور ساخت کامپوزیت های ترکیبی ابتدا نمونه های با ترکیب های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی آلومینیم و با نسبت های ۱:۱، ۱:۲و ۲:۱ آلومینا به کاربید سیلیسیم ساخته شد. سپس نمونه ها به روش پرس تک محوره هیدرولیکی فشرده شدند و در دماهای ۱۳۰۰ و ۱۴۰۰ سانتی گراد پخت شدند. تاثیر دمای سینترینگ و مقدار آلومینیم بر خواص کامپوزیت حاصل مانند تخلخل، انقباض و استحکام فشاری مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی های مربوط به تشکیل فازها، توسط پراش اشعه ی ایکس(XRD) انجام شد. از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) برای بررسی سطح مقطع شکست پس از تست استحکام فشاری و همچنین بررسی فصل مشترک زمینه و تقویت کننده ها استفاده شد. با افزایش مقدار آلومینیم(تا ۳۰٪ وزنی) مشاهده شد که استحکام فشاری به صورت قابل توجهی افزایش یافته است.



**کلمات کلیدی:** کامپوزیت زمینه سرامیکی- استحکام فشاری- سینترینگ واکنشی- ریز ساختار

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول..... ۱**

۱-۱- مقدمه..... ۲

**فصل دوم ..... ۴**

۲-۱- مقدمه..... ۵

۲-۲- کامپوزیت ها ..... ۵

۲-۳- تاریخچه کامپوزیت ها..... ۵

۲-۴- تقسیم بندی کامپوزیت ها..... ۶

۲-۴-۱- فاز تقویت کننده ..... ۶

۲-۴-۲- فاز زمینه ..... ۸

۲-۵- آلومینا، خواص و ساختار آن..... ۱۴

۲-۶- کاربیدسیلیسیم، خواص و ساختار آن .....۱۶

۲-۷- ساخت کامپوزیتهای آلومینا- کاربید سیلیسیم ..... ۱۷

۲-۸- واکنش حالت جامد..... ۲۰

۲-۸-۱- آماده سازی پودر ..... ۲۰

۲-۸-۲- پرس تک محوره ..... ۲۰

۲-۸-۳- سینترینگ حالت جامد ..... ۲۳

۲-۹- مراحل فرایند سینترینگ حالت جامد ..... ۲۴

۲-۹-۱- مرحله نخست سینترینگ ..... ۲۴

۲-۹-۲- مرحله میانی سینترینگ ..... ۲۶

۲-۹-۳- مرحله نهایی سینترینگ ..... ۲۶

۲-۱۰-عوامل موثر در سینترینگ حالت جامد ..... ۲۶

۲-۱۰-۱- توزیع اندازه ذرات ..... ۲۷

۲-۱۰-۲-اثر ناخالصی ها و فاز دوم ..... ۲۹

۲-۱۰-۳-اتمسفر کوره ..... ۲۹

۲-۱۰-۴-دمای سینترینگ و سرعت گرم و سردکردن ..... ۲۹

۲-۱۰-۵-اثر فشار بر رفتار سینترینگ ..... ۳۰

۲-۱۱-سینترینگ با واکنش شیمیایی(سینترینگ واکنشی) ..... ۳۱

۲-۱۲-اثر متغیرها(پارامتر) ..... ۳۴

۲-۱۲-۱-اندازه ذرات پودرهای واکنش دهنده ..... ۳۴

۲-۱۲-۲-دمای سینترینگ ..... ۳۴

۲-۱۲-۳-فشاراعمالی ..... ۳۵

۲-۱۲-۴- تغییرات پارامترهای مختلف سینترینگ واکنشی ..... ۳۵

**فصل سوم..... ..... ۳۶**

۳-۱- مقدمه ..... ۳۷

۳-۲- مواد اولیه ..... ۳۷

۳-۳- ساخت کامپوزیتهای آلومینا- کاربیدسیلیسیم ..... ۳۸

۳-۳-۱- آماده سازی مخلوط پودر ..... ۳۸
۳-۳-۲- ساخت نمونه ها ..... ۳۸
۳-۳-۳- سینترینگ نمونه ها ..... ۳۹
۳-۴- آزمایش های انجام شده ..... ۴۰
۳-۴-۱- اندازه گیری چگالی ..... ۴۰
۳-۴-۲- اندازه گیری درصد انقباض ..... ۴۰
۳-۴-۳- تعیین استحکام فشاری ..... ۴۱
۳-۴-۴- بررسی ریزساختار نمونه های سینتر شده ..... ۴۲
۳-۴-۵- آزمایش XRD ..... ۴۲
**فصل چهارم ..... ۴۳**
۴-۱- مقدمه ..... ۴۴
۴-۲- نتایج به دست آمده از تعیین چگالی ..... ۴۴
۴-۲-۱- چگالی تئوری و چگالی تجربی ..... ۴۴
۴-۲-۲- تاثیر دمای سینترینگ و مقدار آلومینیم بر چگالی ..... ۴۵
۴-۳- تاثیر دمای سینترینگ و مقدار آلومینیم بر انقباض ..... ۴۸
۴-۴- استحکام فشاری ..... ۵۱
۴-۵- آنالیز فازی ..... ۵۴
۴-۶- بررسی ریز ساختار کامپوزیت های تولید شده ..... ۵۷
**فصل پنجم ..... ۶۵**
۵-۱- نتیجه گیری ..... ۶۶
۵-۲- پیشنهادها ..... ۶۷

**مراجع ..... ۶۸**

**پیوست ها ..... ۷۱**

۶-۱- پیوست (الف): مشخصات پودرهای آلومینا ..... ۷۲

۶-۲- پیوست (ب): کارت‌های استاندارد الگوهای پراش آلومینا و مولایت و کریستوبالیت ..... ۷۳

۶-۳- پیوست (ب)نمونه محاسبات انجام شده.... ..... ۸۴

# فهرست جدول ها

**عنوان جدول** **صفحه**


جدول ۲-۱ خواص فیزیکی و مکانیکی آلومینا.....۱۵

جدول ۲-۲ خواص فیزیکی و مکانیکی کاربید سیلیسیم.....۱۶

جدول ۲-۳ مسیر های انتقال اتم و نتایج حاصل در سینترینگ حالت جامد .....۲۳

جدول ۳-۱ ترکیب شیمیایی پودر کاربید سیلیسیم.....۳۷

جدول ۳-۲ خواص فیزیکی و شیمیایی پودر آلومینا .....۳۸

جدول ۴-۱ چگالی تئوری، چگالی اندازه گیری شده و درصد تخلخل نمونه های سینترشده در دمای ۱۳۰۰ سانتی گرد.....۴۴

جدول ۴-۲ چگالی تئوری، چگالی اندازه گیری شده و درصد تخلخل نمونه های سینترشده در دمای ۱۴۰۰ سانتی گرد.....۴۵

جدول ۴-۳ نتایج درصد انقباض نمونه های سینتر شده .....۴۸

جدول ۴-۴ نتایج استحکام نمونه های سینتر شده در دماهای ۱۳۰۰ و ۱۴۰۰ سانتی گراد .....۵۱

# فهرست شکل ها

**عنوان شکل** **صفحه**


شکل ۲-۱ اشکال هندسی مختلف برای فاز های تقویت کننده ..... ۷

شکل ۲-۲ طرح شماتیکی از روش ریخته گری گردابی.....۱۷

شکل ۲-۳ فلز خورانی تحت فشار مستقیم.....۱۸

شکل ۲-۴ (الف) تصویرشماتیک از مراحل تولید ورق پیش فرم از طریق فرایند ARB .....۱۹

شکل ۲-۵ مراحل پرس تک محوره.....۲۱

شکل ۲-۶ اثر شکل ذره بر چگالی پودر فشرده شده .....۲۲

شکل ۲-۷ مسیر های انتقال اتم طی سینترینگ حالت جامد.....۲۳

شکل ۲-۸ اثر اندازه ذره بر روند متراکم سازی و واکنش بین ذرات پودر .....۲۸

شکل ۲-۹ اثر دما بر روند متراکم سازی و واکنش بین ذرات.....۳۰

شکل ۲-۱۰ اثر فشار بر چگالی نمونه سینتر شده .....۳۱

شکل ۲-۱۱ تصویر شماتیک از محصولات سینترینگ واکنشی.....۳۲

شکل ۲-۱۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کلسیم هگزا-آلومینات.....۳۳

شکل ۲-۱۳ اثر پیش بینی اندازه ذرات بر روی نرخ فشرده سازی و واکنش .....۳۴

شکل ۲-۱۴ شرح ارائه سه منحنی مختلف در سینترینگ واکنشی. .....۳۵

شکل ۳-۱ پروفیل دمایی سینترینگ نمونه ها.....۳۹

شکل ۴-۱ نمودار اثر تغییر دمای سینترینگ بر چگالی.....۴۶

شکل ۴-۲ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر چگالی برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۳۰۰ سانتی گراد .....۴۶

شکل ۴-۳ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر چگالی برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۴۰۰ سانتی گراد .....۴۷

شکل ۴-۴ نمودار تاثیر دمای سینترینگ بر انقباض.....۴۹
شکل ۴-۵ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر انقباض برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۳۰۰ سانتی گراد .....۵۰
شکل ۴-۶ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر انقباض برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۴۰۰ سانتی گراد .....۵۰
شکل ۴-۷ اثر دمای سینترینگ بر استحکام فشاری .....۵۲
شکل ۴-۸ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر استحکام فشاری برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۳۰۰ سانتی گراد .....۵۳
شکل ۴-۹ نمودار اثر تغییر مقدار آلومینیم بر استحکام فشاری برای نمونه های سینتر شده در دمای ۱۴۰۰ سانتی گراد .....۵۳
شکل ۴-۱۰ الگوی پراش اشعه X و تشکیل فاز مولایت .....۵۴
شکل ۴-۱۱ طیف تفرق اشعه ایکس و فازهای تشکیل شده.....۵۵
شکل ۴-۱۲ طیف های XRD از نمونه های سینتر شده در دمای ۱۴۰۰ سانتی گراد .....۵۶
شکل ۴-۱۳ ریز ساختار کامپوزیت هیبریدی آلومینیم- آلومینا- کاربیدسیلیسیم.....۵۷
شکل ۴-۱۴ اثر آلومینیم بر ریز ساختار(دمای سینترینگ ۱۴۰۰ سانتی گراد).....۵۹
شکل ۴-۱۵اثر نسبت آلومینا به کاربید سیلیسیم بر ریزساختار .....۶۱
شکل ۴-۱۶ اثر دمای سینترینگ بر ریز ساختار .....۶۴

## فهرست علائم

| علامت | نشانه |
|---|---|
| $A(mm^2)$ | سطح مقطع |
| $D(mm)$ | قطر |
| $E(GPa)$ | مدول یانگ |
| $F(N)$ | نیرو |
| $h(mm)$ | ارتفاع |
| $K_c(MPa.m^{-0.5.})$ | تافنس |
| $L(mm)$ | طول |
| $m(gr)$ | جرم |
| $P(\%)$ | درصد تخلخل |
| $P(atm)$ | فشار |
| $r(nm)$ | شعاع |
| $S(\%)$ | درصد انقباض |
| $t(nm)$ | ضخامت |
| $t(s)$ | زمان |
| $T(°C)$ | دما |
| $V(Cm^3)$ | حجم |
| $V_m(\frac{m^3}{gr.mol})$ | حجم مولی |
| $W(mm)$ | عرض |
| $\sigma_C(MPa)$ | استحکام فشاری |
| $\rho(\frac{gr}{cm^3})$ | چگالی |

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

نیازهای روز افزون انسان و منابع رو به پایان موادخام طبیعی مانند فلزات او را وا داشته تا با استفاده از تکنولوژی مدرن، موادی تولید نماید که با به کار گرفتن آنها، بیشتر نیازهای خود را با حداقل هزینه تأمین نماید. کامپوزیت های زمینه سرامیکی از جمله این مواد هستند. سرامیک ها به عنوان مواد جامدی که پیوند های یونی بسیار قوی و در برخی موارد پیوند های کوالانسی دارند، شناخته می شوند. نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر خوردگی مناسب، پایداری در دمای بالا و استحکام فشاری خوب، باعث شده است که کامپوزیت های زمینه سرامیکی در ساختار قطعاتی که در دمای بالاتر از ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد کار می کنند، مورد استفاده قرار بگیرند[۲-۱].

کامپوزیت های زمینه سرامیکی یکی از مواد شناخته شده مهندسی هستند که روز به روز کاربردهای وسیع تری در صنایع پیدا می کنند. از کاربردهای این نوع کامپوزیت ها می توان به صنایع هوافضا، قطعاتی چون مشعل ها، عایق ها و سپرهای حرارتی، صنایع پزشکی در ساخت اعضای مصنوعی بدن و تولید ابزارآلات، در عایق های حرارتی ابزار برش و قالب های کشش سیم اشاره کرد. این کامپوزیت ها به روش های مختلفی تولید می شوند از جمله این روش ها می توان به واکنش حالت جامد، ریخته گری دوغابی، فرایند سل-ژل، تلقیح محلول، پرس گرم و سینترینگ واکنشی اشاره کرد[۴-۳].

سرامیک های مهندسی به دلیل خواص منحصر به فرد خود مانند: نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر خوردگی، استحکام و سختی بالای آنان به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. از بین سرامیک های مهندسی، آلومینا به دلیل خواص سایشی، مقاومت بالا در برابر خوردگی، استحکام و سختی بالای آن، به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار گرفته است. آلومینا از سرامیک‌های مهم مهندسی است که ترکیب منحصر به فردی از خواص مفید فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی را داراست. آلومینا دارای دو فاز اصلی آلفا[۱] و گاما[۲] است. پایدارترین فاز آن آلفا است که به دلیل داشتن ویژگی‌هایی همچون سختی بالا، مقاومت در برابر سایش و خراش و عوامل شیمیایی، خواص الکتریکی قابل توجه، مقاومت مکانیکی زیاد در دماهای بالا دارای کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف است. اما چقرمگی شکست پایین آن استفاده از این ماده را تا حدودی محدود می‌سازد[۶-۵].

[۱] α-alumina

[۲] γ-alumina

هدف از انجام این پروژه ، تولید کامپوزیت های $Al_2O_3$-SiC به روش سینترینگ واکنشی با استحکام مطلوب و همچنین بررسی تاثیر دمای سینترینگ، درصد آلومینیم و تغییر نسبت های آلومینا به کاربید سیلیسیم بر خواص فیزیکی و مکانیکی این دسته از کامپوزیت ها، نظیر چگالی، درصد انقباض و استحکام هست.

**مراحل انجام پروژه**

۱ـ مطالعه پژوهش‌های انجام شده قبلی

۲ـ آماده‌سازی مخلوط پودری

۳ـ شکل‌دهی پودرتوسط پرس تک محوره

۴- سینتر کردن

۵ـ تعیین خواص فیزیکی از قبیل میزان انقباض، بررسی‌های ساختاری و ریزساختاری نمونه‌ها و خواص مکانیکی از قبیل استحکام فشاری و استحکام خمشی نمونه‌ها توسط انجام آزمایش های مختلف

۶ـ بررسی نتایج به‌دست آمده از آزمایشات و بحث و نتیجه‌گیری

در نگارش حاضر تلاش شده است که ضمن بیان اصول و فعالیت‌های انجام گرفته در طول تحقیق، نتایج به صورت کامل مورد بحث و بررسی قرار گیرد. این پایان‌نامه از ۵ فصل تشکیل شده است. در فصل اول مقدمه‌ای از پروژه و اهمیت انجام آن به طور مختصر بیان شده است. در فصل دوم مروری بر پژوهش‌های گذشته در زمینه کامپوزیت های زمینه فلزی و فرآیند سینترینگ صورت گرفته است. مواد مورد استفاده در این پروژه و روش انجام کار و نیز دستگاه‌ها و روش‌های بررسی خواص به تفصیل در فصل سوم پایان‌نامه آورده شده است. در فصل چهارم یافته‌های آزمایش‌ها توسط نمودارها و تصاویر میکروسکوپی به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادهای مربوط به پایان‌نامه در فصل پنجم گنجانده شده است.

# فصل دوم

# مروری بر منابع مطالعاتی

## ۲-۱- مقدمه

پیشرفت چشمگیر دنیای صنعتی در قرن اخیر نیازمند موادی قوی تر، مستحکم تر، سفت تر و در عین حال سبک تر بوده که هم دارای خواص فیزیکی مناسب مانند هدایت حرارتی، هدایت الکتریکی، خواص مغناطیسی و... باشد. اکثر مواد صنعتی مانند سرامیک ها، پلیمرها و فلزات تعدادی از این خواص را داشته ولی فاقد برخی خواص دیگر می باشند. مثلا سرامیک ها سبک بوده و استحکام فشاری و سختی خوبی دارند ولی ترد و شکننده می باشند. پلیمرها انعطاف پذیری و مقاومت شیمیایی خوبی دارند، ولی استحکام مکانیکی و سختی چندان بالایی ندارند و نمی توانند در دمای بالا بکار روند. با توجه به این مسائل نیاز به مواد کامپوزیتی است که ترکیبی از این خواص مفید را داشته باشد. امروزه کامپوزیت ها به عنوان یکی از مهمترین مواد مهندسی شناخته شده اند. خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و قابل انطباق با نیازها و ارائه توانایی های ویژه، باعث افزایش سرمایه گذاری در این راستا شده است.[۸-۷]

## ۲-۲- کامپوزیت ها

کامپوزیت ها به طور مداوم در حال جایگزینی مواد با ساختارهای سنتی هستند. مواد کامپوزیتی شامل حداقل دو فاز متفاوت از لحاظ خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی هستند که به منظور فراهم کردن خصوصیاتی که بوسیله ی هیچ یک از فازها به طور مستقل ایجاد نمی شود، در هم توزیع شده اند. زمینه کامپوزیت ها می تواند فلز، پلیمر و یا سرامیک باشد. فاز دوم ممکن است به صورت پیوسته یا نا پیوسته باشد که فاز پیوسته به صورت الیافی یا لایه ای و فاز نا پیوسته به صورت الیاف کوتاه، ویسکرز و یا ذرات می باشد.[۹]

## ۲-۳- تاریخچه کامپوزیت ها

کامپوزیت‌ها از جمله مواد مهندسی جدیدی هستند که در توسعه و کاربرد آن‌ها متخصصان فراوانی از رشته‌های مختلف مانند متالورژی، سرامیک، پلیمر و غیره سهم بسزایی دارند. استفاده از این مواد، ایده جدیدی نیست، به عنوان مثال چینی‌ها و مصریان قدیم از جمله تمدن‌های باستانی بوده‌اند که برای اولین بار از مخلوط کاه و گل و شن برای بناسازی استفاده کرده اند تا اینکه استحکام گل افزایش پیدا کند، ارگ بم که شاهکار معماری ایرانیان بوده است، نمونه بارزی از استفاده از تکنولوژی کامپوزیت‌ها در قرون گذشته است. مصریان با چسباندن لایه‌های نازک چوب و پارچه به یکدیگر و با استفاده از طناب، قایق‌های خود را در برابر متورم شدن

در آب تقویت می‌کرده‌اند. استفاده از کامپوزیت‌های مدرن، در حقیقت از اوائل ۱۹۴۰ شروع شد که برای اولین بار از الیاف شیشه جهت تقویت پلاستیک‌های مصرفی در ساخت پوشش پلاستیکی آنتن رادار هواپیما استفاده شد. در پی آن اولین کامپوزیت فایبرگلاس-پلاستیک در سال ۱۹۴۲ ساخته شد. طی جنگ جهانی دوم و بلافاصله پس ازکاربرد پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف در هواپیماسازی، کامپوزیت‌ها موارد استفاده بیشتری یافتند. در آن زمان ارتش‌های آمریکا و شوروی سابق در رقابتی تنگاتنگ با یکدیگر، موفق به ساخت کامپوزیت پایه پلیمری الیاف بور- رزین اپوکسی برای استفاده در صنعت هوا فضا شدند و از سال ۱۹۵۶ صنایع فضایی نیز استفاده وسیع از آن‌ها را آغاز کردند. مثال دیگر تقویت بتن توسط میله‌های فولادی می‌باشد که قدمت آن به سال ۱۹۸۱ میلادی باز می‌گردد. در بتن مسلح یا تقویت شده، میله‌های فلزی استحکام کششی لازم را در بتن ایجاد می‌نمایند چرا که بتن یک ماده ترد می‌باشد و مقاومت اندکی در برابر بارهای کششی دارد. بدین ترتیب بتن وظیفه تحمل بارهای فشاری و میله‌های فولادی وظیفه تحمل بارهای کششی را بر عهده دارند.[۱۱-۱۰]

### ۲-۴- تقسیم بندی کامپوزیت ها

کامپوزیت ها را به چندین روش تقسیم بندی می کنند که اصلی ترین این روشهای طبقه بندی براساس تقویت کننده و نوع زمینه می باشد.

### ۲-۴-۱- فاز تقویت کننده[۱]

در همه کامپوزیت های زمینه فلزی، فاز زمینه از جنس فلز یا آلیاژ می باشد که معمولا ذرات تقویت کننده سرامیکی در آن توزیع شده اند. شکل هندسی فاز تقویت کننده به سه گروه پیوسته یا لایه ای، الیاف کوتاه یا ویسکرها و ذرات تقسیم می شوند(شکل ۲-۱)[۱۲].

[۱] Reinforcement