

**آشنایی با کامپوزیت های
زمینه فلزی، پلیمری و سرامیکی
و فرآیند های ساخت**

مؤلف : ن - سلطانی

عضو هیات علمی دانشکده شریعتی

سرشناسه:	سلطانی، نیره بی بی، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدیدآور:	آشنایی با کامپوزیت های زمینه فلزی، پلیمری و سرامیکی و فرآیندهای ساخت / مولف سلطانی
مشخصات نشر:	تهران: جهان جام جم، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری:	۱۸۴ ص.؛ مصور، جدول، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۸۶۲۵-۸۹-۹
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
یادداشت:	واژه نامه
یادداشت:	کتابنامه: ۱۷۹-۱۸۰
موضوع:	مواد چند سازه.
رده بندی کنگره:	۱۳۸۷ مس ۹ ج ۴۱۸/۹ TA
رده بندی دیویی:	۶۲۰/۱۱۸
شماره کتابشناسی ملی:	۱۲۱۳۷۴

آشنایی با کامپوزیت های زمینه فلزی، پلیمری و سرامیکی و فرآیندهای ساخت

مؤلف: ن - سلطانی

صفحه بندی: مهدی عالی

طراح جلد: حسین عالی

لیتوگرافی: بهنور پرداز

چاپ: نگرش

قیمت: ۴۰۰۰ تومان

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۵۰۰

سال انتشار: ۱۳۸۷

ناشر: موسسه انتشارات جهان جام جم

نشانی: تهران- خ جنت آباد شمالی- خ گلزار غربی- کوچه شهید محسنی بعد- پلاک ۱۳- تلفکس: ۴۴۸۲۹۲۳۱

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

تقدیم به

روح پاک مادرم

که کسب تواناییهایم را مدیون فداکاری های او هستم.

پیش گفتار

حمد و سپاس بیکران، خداوند یکتا را شایسته است که به انسان این قدرت را عطا فرمود که تا منتهای علم و معرفت پیش رود و به اسرار خلقت که در درون کائنات نهفته است پی ببرد و خدای متعال را شاکرم که توفیق نگارش کتاب حاضر را به من عطا فرمود. با پیشرفت صنایع مختلف، استفاده از مواد کامپوزیتی گسترش خاصی یافته و با ترکیب مواد ساده، موادی جدید با خواص مکانیکی و فیزیکی برتر را ایجاد نموده است. بنابراین آگاهی از نکات علمی و عملی در زمینه مواد جدید (کامپوزیت) نقش محوری آنها را در عرصه های مختلف علمی و صنعتی نشان می دهد. هم چنین تولید این مواد باعث کاهش در هزینه ها گردیده به طوری که تولید آنها از لحاظ اقتصادی کاملاً مقرون به صرفه است.

با توجه به اینکه در زمینه معرفی انواع کامپوزیت ها و فرایندهای ساخت آنها کتابی به زبان فارسی موجود نبود، تصمیم به نگارش کتاب حاضر نمودم در فصل اول این کتاب با کامپوزیتها و انواع آنها به لحاظ ساختاری و خواص مکانیکی آشنا می شویم در فصل دوم کامپوزیتهای زمینه فلزی و انواع تقویت کننده های آن همراه با فرایندهای ساخت مطرح گردیده است. در فصل سوم کامپوزیتهای زمینه پلیمری به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته و در فصل چهارم کامپوزیتهای زمینه سرامیکی همراه با مکانیزمهای افزایش چقرمگی و فرایندهای ساخت آنها معرفی گردیده است. این کتاب می تواند به عنوان کتاب کمک درسی مورد استفاده دانشجویان رشته های مهندسی مواد، ساخت و تولید، مکانیک، نقشه کشی و صنایع در مقطع کارشناسی قرار گیرد.

در پایان از تمامی اساتید و دانشجویان عزیز استدعا دارم با ارائه نظرات، انتقادات و اصلاحات خود اینجانب را در جهت رفع نقایص و کاستی های موجود در این کتاب یاری دهند و بر خود لازم می دانم از زحمات دانشجوی محترم مریم نجفی و حمایت بی دریغ خانواده ام در تالیف این کتاب تشکر نمایم.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: معرفی مواد کامپوزیتی	۱
مقدمه	۱
۱-۱ تعریف کامپوزیت	۲
۲-۱ اجزا یک ماده کامپوزیتی	۳
۳-۱ زمینه	۴
۱-۳-۱ ازمینه های فلزی	۵
۲-۳-۱ زمین های پلیمری	۶
۳-۳-۱ زمینه های سرامیکی	۸
۴-۱ تقویت کننده	۸
۵-۱ فصل مشترک	۹
۶-۱ تقسیم بندی کامپوزیت ها بر اساس ساختار	۱۰
۱-۶-۱ کامپوزیت های ذره ای	۱۰
۲-۶-۱ کامپوزیت های الیافی	۱۲
۳-۶-۱ کامپوزیت های ساختاری	۱۶
۱-۳-۶-۱ کامپوزیت لایه ای	۱۶
۲-۳-۶-۱ کامپوزیت با صفحات ساندویچی	۱۷
۷-۱ خواص کامپوزیت ها	۱۸
۸-۱ مکانیک تقویت کننده الیاف	۲۱
۹-۱ منحنی تنش-کرنش کامپوزیت با الیاف پیوسته	۲۴
۱۰-۱ مدول کشسانی در کامپوزیت با الیاف کوتاه	۲۸
فصل دوم: کامپوزیت های زمینه فلزی	۲۹
مقدمه	۲۹
۱-۲ مواد زمینه در کامپوزیت زمینه فلزی	۳۱
۱-۲-۱ ازمینه آلومینیوم	۳۳
۱-۲-۲ ازمینه منیزیم	۳۵
۱-۲-۳ ازمینه تیتانیوم	۳۶

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۳۷	۲-۱-۴ زمینه مس
۳۸	۲-۱-۵ زمینه سوپر الیازی
۳۸	۲-۲ تقویت کننده کامپوزیت زمینه فلزی
۳۹	۲-۲-۱ تقویت کننده الیاف پیوسته و ناپیوسته
۴۲	۲-۲-۲ ویسکرها
۴۳	۲-۲-۳ ذرات
۴۳	۲-۲-۴ سیمها
۴۵	۲-۳ فرایند های ساخت کامپوزیت زمینه فلزی
۴۵	۲-۳-۱ پیش فرایند
۴۷	۲-۳-۲ فرایند اولیه تولید کامپوزیت زمینه فلزی
۴۷	۲-۳-۳ فرایند ثانویه
۴۷	۲-۴ فرایند های حالت جامد
۴۸	۲-۴-۱ اتصال دیفوزیونی
۵۰	۲-۴-۲ روش متالورژی پودر
۵۰	۲-۴-۳ روش پیچی
۵۰	۲-۴-۴ روش پوشش پودری
۵۰	۲-۴-۵ تحکیم پودر
۵۱	۲-۴-۶ زیتر کردن
۵۱	۲-۴-۷ پرس گرم
۵۱	۲-۴-۸ پرس سرد
۵۱	۲-۴-۹ پرس ایزواستاتیک گرم
۵۱	۲-۴-۱۰ پرس ایزواستاتیک سرد
۵۱	۲-۴-۱۱ انورد پودر کامپوزیت زمینه فلزی
۵۲	۲-۴-۱۲ اکستروژن پودر کامپوزیت زمینه فلزی
۵۳	۲-۴-۱۳ فورجینگ پودر کامپوزیت زمینه فلزی
۵۴	۲-۵ فرایند های حالت مایع
۵۴	۲-۵-۱ درون تراوری فلز مایع
۵۵	۲-۵-۲ ریخته گری فشاری
۵۶	۲-۵-۳ روش هم نشست پاششی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۷.....	۲-۵-۴ ریخته گری تلاطمی.....
۵۸.....	۲-۵-۵ ریخته گری ترکیبی.....
۶۰.....	۲-۵-۶ فرایند های رسوبی.....
۶۰.....	۲-۵-۷ فرایند های دو فازی.....
۶۲.....	۲-۶ مثال هایی از کاربرد کامپوزیت زمینه فلزی.....
۶۵.....	فصل سوم : کامپوزیت های زمینه پلیمری.....
۶۵.....	مقدمه.....
۶۶.....	۳-۱ خواص کامپوزیت زمینه پلیمری.....
۷۱.....	۳-۲ مواد زمینه در کامپوزیت زمینه پلیمری.....
۷۳.....	۳-۲-۱ رزین پلی استر.....
۷۳.....	۳-۲-۲ رزین اپوکسی.....
۷۴.....	۳-۲-۳ رزین وینیل استر.....
۷۴.....	۳-۲-۴ رزین فنولیک.....
۷۵.....	۳-۲-۵ پلی ایمیدها.....
۷۶.....	۳-۲-۶ پلی اترترکتون PEEK.....
۷۶.....	۳-۳ تقویت کننده های کامپوزیت زمینه پلیمری.....
۷۷.....	۳-۳-۱ تقویت کننده فایبرگلاس.....
۷۹.....	۳-۳-۱-۱ فرایند الیاف شیشه.....
۸۰.....	۳-۳-۲ تقویت کننده الیاف کربن.....
۸۳.....	۳-۳-۳ آرامید.....
۸۵.....	۳-۴ فرایند های ساخت کامپوزیت زمینه پلیمری.....
۸۶.....	۳-۵ فرایندهای قالب گیری باز.....
۸۶.....	۳-۵-۱ لایه گذاری دستی.....
۸۹.....	۳-۵-۲ پاشش رزین.....
۹۰.....	۳-۵-۳ رشته پیچی.....
۹۳.....	۳-۶ فرایند های قالب گیری بسته.....
۹۳.....	۳-۶-۱ قالب گیری فشاری.....
۹۵.....	۳-۶-۲ امیزه قالب گیری ورقه ای.....
۹۶.....	۳-۶-۳ ترکیب قالب گیری BMC و DMC.....

عنوان	صفحه
۳-۶-۴ قالب گیری تزریقی.....	۹۷
۳-۶-۵ قالب گیری انتقالی.....	۹۸
۳-۶-۶ پالتروژن.....	۱۰۱
۳-۶-۷ پالتروژن در ایران و کاربرد های آن.....	۱۰۴
۳-۷ مقایسه روش های شکل دهی.....	۱۰۵
۳-۸ مثالهایی از کاربرد کامپوزیت زمینه پلیمری.....	۱۰۸
فصل چهارم : کامپوزیت های زمینه سرامیکی.....	۱۱۱
مقدمه.....	۱۱۱
۴-۱ مواد زمینه.....	۱۱۴
۴-۲ مواد زمینه با سرامیک غیر اکسیدی.....	۱۱۵
۴-۲-۱ کاربید سیلیسیم SiC	۱۱۵
۴-۲-۲ نیتريد سیلیسیم Si_3N_4	۱۱۶
۴-۲-۳ نیتريد بر BN	۱۱۶
۴-۲-۴ کاربید بر B_4C	۱۱۷
۴-۳ مواد زمینه با سرامیک اکسیدی.....	۱۱۷
۴-۳-۱ الومینا Al_2O_3	۱۱۷
۴-۳-۲ مولیت $3Al_2O_3.2SiO_2$	۱۱۸
۴-۳-۳ زیر کونیا ZrO_2	۱۱۸
۴-۴ تقویت کننده های کامپوزیت زمینه سرامیکی.....	۱۱۸
۴-۵ الیاف اکسیدی.....	۱۲۰
۴-۵-۱ الیاف اکسیدی الومینا.....	۱۲۰
۴-۶ الیاف غیر اکسیدی.....	۱۲۱
۴-۶-۱ الیاف بر.....	۱۲۳
۴-۷ چقرمگی کامپوزیت های زمینه سرامیکی.....	۱۲۵
۴-۸ چقرمگی ومنحنی های R	۱۲۷
۴-۹ مکانیزم های افزایش چقرمگی.....	۱۲۸
۴-۹-۱ مکانیزم پل زنی.....	۱۲۸
۴-۹-۲ مکانیزم انحراف ترک.....	۱۲۹
۴-۹-۳ مکانیزم تغییر فاز.....	۱۲۹

عنوان	صفحه
۴-۹-۴ مکانیزم تغییر فاز در میدان تنش راس ترک.....	۱۲۹
۴-۹-۵ مکانیزم ریز ترک ها.....	۱۳۲
۴-۹-۶ مکانیزم پاره شدن.....	۱۳۲
۴-۱۰-۱ فرایندهای ساخت کامپوزیت زمینه سرامیکی.....	۱۳۳
۴-۱۱-۱ فرایند های سنتی.....	۱۳۳
۴-۱۲-۱ فرایند های جدید.....	۱۳۳
۴-۱۲-۱-۱ فرایند درون تراوری.....	۱۳۳
۴-۱۲-۲ فرایند درون تراوری SIP.....	۱۳۵
۴-۱۲-۳ فرایند درون تراوری مذاب واکنش پذیر (RMI).....	۱۳۵
۴-۱۲-۴ فرایند درون تراوری پلیمر وپرولیز (PIP).....	۱۳۶
۴-۱۳-۱ فرایندهای تراوش فاز گازی.....	۱۳۷
۴-۱۳-۱-۱ فرایند رسوب بخار شیمیایی (CVD).....	۱۳۷
۴-۱۳-۲ فرایند تراوش بخار شیمیایی (CVI).....	۱۳۸
۴-۱۳-۳ فرایند اکسیداسیون مستقیم Dimox.....	۱۴۰
۴-۱۳-۴ فرایند سل -ژل.....	۱۴۲
۴-۱۳-۵ ساخت کامپوزیت های CVI Sic/Sic.....	۱۴۳
۴-۱۴-۱ فرایندهای تراوش فاز مایع.....	۱۴۵
۴-۱۴-۱-۱ تراوش پلیمر مایع (LPI).....	۱۴۵
۴-۱۴-۲ فرایند تراوش سلیسیم مایع (LSI).....	۱۴۷
۴-۱۵-۱ ساخت کامپوزیت زمینه سرامیکی با ترکیب فرایند ها.....	۱۴۹
۴-۱۶-۱ مقایسه خواص کامپوزیت زمینه سرامیکی بر اساس روش ساخت.....	۱۴۹
۴-۱۷-۱ کاربرد کامپوزیت زمینه سرامیکی.....	۱۵۱
۴-۱۸-۱ مثال هایی از کاربرد کامپوزیت های زمینه سرامیکی.....	۱۵۲
واژه نامه.....	۱۵۵
فهرست مراجع.....	۱۶۵

شکل ۱-۱	شماتیکی از یک کامپوزیت.....	۴
شکل ۲-۱	انواع کامپوزیت ها.....	۵
شکل ۳-۱	اثر افزایش تقویت کننده بر انواع کامپوزیت ها.....	۸
شکل ۴-۱	شماتیکی از مشخصات تقویت کننده موثر بر خواص کامپوزیت ها.....	۹
شکل ۵-۱	تقسیم بندی کامپوزیت ها بر اساس ساختار.....	۱۰
شکل ۶-۱	اثر اندازه ذرات در استحکام دهی کامپوزیت ها.....	۱۱
شکل ۷-۱	کامپوزیت زمینه مس با ذرات تنگستن.....	۱۲
شکل ۸-۱	نمونه تغییر شکل در زمینه اطراف الیاف تحت بار کششی.....	۱۳
شکل ۹-۱	مقاطع تنش - مکان طول الیاف.....	۱۴
شکل ۱۰-۱	اجزاء کامپوزیت های لایه ای.....	۱۶
شکل ۱۱-۱	کامپوزیت های ساندویچی با هسته لانه زنبوری.....	۱۷
شکل ۱۲-۱	نحوه ساخت هسته لانه زنبور عسل.....	۱۸
شکل ۱۳-۱	قانون مخلوط های چگالی کامپوزیت اپوکسی / شیشه.....	۱۹
شکل ۱۴-۱	الیاف پیوسته در جهت یک.....	۲۱
شکل ۱۵-۱	منحنی تنش - کرنش کامپوزیت با الیاف ترد.....	۲۵
شکل ۱۶-۱	منحنی تنش - کرنش با ϕ_L و ϕ_H	۲۵
شکل ۱۷-۱	استحکام کششی کامپوزیت ها.....	۲۶
شکل ۱۸-۱	منحنی تنش کرنش کامپوزیت با الیاف نرم.....	۲۷
شکل ۱۹-۱	استحکام کششی کامپوزیت با زمینه ترد.....	۲۷
شکل ۱-۲	زمینه آلومینیم با الیاف بر.....	۳۴
شکل ۲-۲	زمینه آلومینیم با الیاف کوتاه کربن.....	۳۴
شکل ۳-۲	زمینه منیزیم با الیاف کربن.....	۳۵
شکل ۴-۲	زمینه مس با الیاف کربن.....	۳۸
شکل ۵-۲	زمینه مس با الیاف کاربید سیلیسیم.....	۳۸
شکل ۶-۲	فرآیندهای ساخت کامپوزیت زمینه فلزی.....	۴۶
شکل ۷-۲	فرآیندهای ریخته گری با یک ماشین عمودی.....	۵۶
شکل ۸-۲	تجهیزات هم نشست پاششی.....	۵۷
شکل ۹-۲	ساخت MMC به روش ریخته گری تلاطمی.....	۵۸

۵۹.....	شکل ۱۰-۲ ریخته گری ترکیبی الیاف یا ذرات مخلوط با فلز.....
۶۲.....	شکل ۱۱-۲ پروانه ساخته شده از Ti/SiC
۶۲.....	شکل ۱۲-۲ چند راهی اتصال.....
۶۳.....	شکل ۱۳-۲ قطعات کامپوزیت فلزی مورد استفاده در صنایع الکترونیک.....
۶۶.....	شکل ۱-۳ اثر افزایش تقویت کننده روی مدول کشسانی رزین.....
۶۷.....	شکل ۲-۳ بار اعمالی کششی به کامپوزیت.....
۶۸.....	شکل ۳-۳ بار اعمالی فشاری به کامپوزیت.....
۶۸.....	شکل ۴-۳ بار اعمالی برشی به کامپوزیت.....
۶۸.....	شکل ۵-۳ بار اعمالی خمشی به کامپوزیت.....
۶۹.....	شکل ۶-۳ استحکام کششی مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها.....
۷۰.....	شکل ۷-۳ مدول کشسانی مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها.....
۷۰.....	شکل ۸-۳ استحکام کشسانی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها.....
۷۱.....	شکل ۹-۳ مدول کشسانی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها.....
۷۸.....	شکل ۱۰-۳ تقویت کننده های الیاف شیشه.....
۷۹.....	شکل ۱۱-۳ فرآیند تولید الیاف شیشه.....
۸۱.....	شکل ۱۲-۳ تقویت کننده های الیاف کربن.....
۸۲.....	شکل ۱۳-۳ فرآیندهای PAN و Pitch.....
۸۳.....	شکل ۱۴-۳ تقویت کننده های الیاف آرامید.....
۸۵.....	شکل ۱۵-۳ الیاف ترکیبی آرامید و کربن.....
۸۷.....	شکل ۱۶-۳ فرآیند لایه گذاری دستی.....
۸۹.....	شکل ۱۷-۳ فرآیند پاشش رزین.....
۹۱.....	شکل ۱۸-۳ فرآیند رشته پیچی.....
۹۴.....	شکل ۱۹-۳ فرآیند قالبگیری فشاری.....
۹۵.....	شکل ۲۰-۳ قالبگیری صفحه ای SMC.....
۹۸.....	شکل ۲۱-۳ فرآیند قالب گیری تزریقی.....
۹۹.....	شکل ۲۲-۳ فرآیند قالب گیری انتقالی.....
۱۰۱.....	شکل ۲۳-۳ فرآیند پالتروژن.....
۱۰۵.....	شکل ۲۴-۳ انواع کاربردهای قطعات پالتروژنی.....
۱۰۸.....	شکل ۲۵-۳ پره های گردان ساخته شده از پلاستیک تقویت شده با الیاف شیشه.....
۱۰۸.....	شکل ۲۶-۳ قطعات کامپوزیتی به کار رفته در Dornier 328.....

شکل ۳-۲۷ قطعات به کار رفته در هواپیما.....	۱۰۹
شکل ۳-۲۸ کاربرد قطعات کامپوزیتی در ساخت هواپیما.....	۱۰۹
شکل ۳-۲۹ قطعات کامپوزیتی به کار رفته در هواپیمای A340-600.....	۱۱۰
شکل ۳-۳۰ لوله های انتقال گاز.....	۱۱۰
شکل ۳-۳۱ تابلو برق کامپوزیتی.....	۱۱۰
شکل ۴-۱ ساختار کریستالی آلومینا.....	۱۱۷
شکل ۴-۲ فرآیند ساخت الیاف sic.....	۱۲۲
شکل ۴-۳ فرآیند تولید الیاف بر.....	۱۲۴
شکل ۴-۴ انواع مکانیزم های موثر در جلو و عقبه ترک.....	۱۲۶
شکل ۴-۵ منحنی های چقرمگی - شکست R.....	۱۲۷
شکل ۴-۶ مکانیزم پل زنی ترک.....	۱۳۱
شکل ۴-۷ مکانیزم انحراف ترک و تغییر فاز.....	۱۳۱
شکل ۴-۸ مکانیزم انحراف ترک و پاره شدن.....	۱۳۲
شکل ۴-۹ شمایکی از فرآیند درون تراوری.....	۱۳۴
شکل ۴-۱۰ راکتور فرآیند CVD.....	۱۳۷
شکل ۴-۱۱ فرآیند درون تراوری فاز بخار.....	۱۳۹
شکل ۴-۱۲ فرآیند اکسیداسیون مستقیم.....	۱۴۱
شکل ۴-۱۳ میکرواستراکچر ذرات Sic در زمینه سرامیکی الومینا.....	۱۴۲
شکل ۴-۱۴ روش ساخت کامپوزیت های C/Sic به وسیله تراوش پلیمر مایع (LPI).....	۱۴۶
شکل ۴-۱۵ فرآیند تراوش سیلیسیم مایع.....	۱۴۸
شکل ۴-۱۶ طراحی اتصالات و متعلقات X-38 nose cap (ساخته شده از C/C-SiC).....	۱۵۲
شکل ۴-۱۷ قطعات موتور توربین گاز cFec با زمینه Sic ساخته شده به روش CVI و درون تراوری ذوب.....	۱۵۲
شکل ۴-۱۸ فن گردان با cFec با زمینه Sic ساخته شده به روش CVI.....	۱۵۳
شکل ۴-۱۹ مبدل های حرارتی از cfec با زمینه آلومینا.....	۱۵۳
شکل ۴-۲۰ ابزار برشی sic/Al ₂ O ₃	۱۵۴

جدول ۱-۱	مزایا و محدودیت های مواد زمینه پلیمری.....	۶
جدول ۲-۱	درجه حرارت های کاربردی بعضی مواد زمینه.....	۷
جدول ۳-۱	مقایسه کاربرد درجه حرارت و چگالی کامپوزیت ها.....	۷
نمودار ۱-۲	مواد کامپوزیت زمینه فلزی.....	۳۲
جدول ۲-۲	استحکام کششی نهایی کامپوزیت های کاربید سیلیسیم - آلومینیم.....	۳۹
جدول ۳-۲	مدول کشسانی و استحکام کششی کامپوزیت های آلومینیم / بر.....	۴۱
جدول ۴-۲	مدول کشسانی و چگالی کامپوزیت های آلومینیم ۶۰۶۱ / گرافیت.....	۴۱
جدول ۵-۲	مدول کشسانی و استحکام تسلیم آلومینیم تقویت شده با ویکر SiC.....	۴۲
جدول ۶-۲	خواص چند نمونه از کامپوزیت های زمینه فلزی.....	۴۴
نمودار ۷-۲	مراحل فرآیند اتصال دیفوزیونی.....	۴۹
نمودار ۸-۲	مراحل فرآیند ساخت کامپوزیت به روش متالورژی پودر.....	۵۳
نمودار ۹-۲	درصد استفاده از فرآیندهای اولیه و ثانویه.....	۶۱
نمودار ۱۰-۲	فرآیندهای ساخت مواد در کاربردهای مختلف.....	۶۱
جدول ۱-۳	مقایسه پلیمرهای گرما سخت.....	۷۲
جدول ۲-۳	مقایسه پلیمرهای گرمانرم.....	۷۲
نمودار ۳-۳	انواع تقویت کننده کامپوزیت های زمینه پلیمری.....	۷۷
جدول ۴-۳	خواص چند نمونه از کامپوزیت های زمینه پلیمری.....	۸۵
جدول ۵-۳	مقایسه مواد مورد استفاده در فرآیندهای شکل دهی مختلف.....	۱۰۶
جدول ۶-۳	مقایسه فاکتورهای هزینه ای در فرآیندهای مختلف.....	۱۰۶
جدول ۷-۳	مزایا و معایب فرآیندهای مختلف شکل دهی کامپوزیت های پلیمری.....	۱۰۷
جدول ۱-۴	مقایسه ضریب انبساط حرارتی مواد مختلف.....	۱۱۲
جدول ۲-۴	مقایسه چگالی سرامیک ها و مواد مختلف.....	۱۱۳
جدول ۳-۴	مقایسه چقرمگی سرامیکها و مواد مختلف.....	۱۱۳
جدول ۴-۴	خواص فیزیکی و مکانیکی مواد سرامیکی.....	۱۱۴
جدول ۵-۴	انواع تقویت کننده های مواد سرامیکی.....	۱۱۹
جدول ۶-۴	خواص تعدادی از الیاف اکسیدی.....	۱۲۱
جدول ۷-۴	مقایسه خواص انواع تقویت کننده های سرامیکی.....	۱۲۴
جدول ۸-۴	خواص چند نمونه از کامپوزیت های زمینه سرامیکی.....	۱۲۵
جدول ۹-۴	خواص مکانیکی سرامیک های کاربید سیلیسیم با الیاف کربن دوبعدی و فرآیندهای مختلف تولید.....	۱۵۰