

بسم اللہ الرحمن الرحیم

مهندسے ساخت و بنا لیل مواد مرکب پیشرفته هوا فضایی

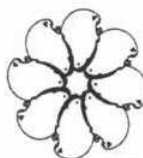
مؤلفین:

دکتر کرامت ملک زاده فرد

(استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر)

حسین ملک محمدی

(دانشجوی دکتری مکانیک)



انتشارات شهبازی



سرشناسه	ملک زاده فرد، کرامت، ۱۳۴۷ -
عنوان و نام پدیدآور	مهندسی ساخت و تحلیل مواد مرکب پیشرفته هوافضایی / مولفین کرامت ملک زاده فرد، حسین ملک محمدی.
مشخصات نشر	تهران: انتشارات شهبازی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۶۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۳۴۰۰۰۰ ریال 978-600-8155-04-1
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
موضوع	مواد چندسازه
موضوع	Composite Materials :
موضوع	مواد چندسازه پلیمری
موضوع	Polymeric Composites
موضوع	مواد چندسازه فلزی
موضوع	Metallic Composites :
موضوع	مواد چندسازه نانو
موضوع	Nanocomposites (Materials) :
موضوع	صنایع هوافضا
موضوع	Aerospace Industries :
شناسه افزوده	ملک محمدی، حسین، ۱۳۶۹ -
رده بندی کنگره	TA۹/۴۱۸/م۸م۹ ۱۳۹۵:
رده بندی دیویی	۱۱۸/۶۲۰:
شماره کتابشناسی ملی	۴۲۲۸۷۷۱:
شمارگان: ۵۰۰ جلد	تلفن: ۴۴۱۳۸۶۴۴
نوبت چاپ: اول	همراه: ۰۹۱۲۱۸۳۴۱۴۴
ایمیل: ShahbaziPub@gmail.com	وب سایت: WWW.ShahbaziPub.ir

نمایندگی فروش تهران: پخش علوم پویا، میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت (منیری جاوید)، نبش کوچه نوروژ، پلاک ۵۱، واحد ۱، تلفن: ۶۶۴۱۹۵۶۷-۶۶۹۶۰۷۷۳ تلفکس: ۶۶۹۶۰۷۷۲

توجه: کلیه حقوق مادی و معنوی چاپ و نشر، طرح روی جلد و عنوان کتاب با توجه به قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان، مصوب سال ۱۳۴۸ برای انتشارات شهبازی محفوظ است. هرگونه استفاده بدون مجوز کتبی از ناشر تخلف بوده و بر اساس بند (۵) ماده ۲۳ قانون قابل پیگیری در محاکم قضایی می باشد.

مقدمه مؤلفین:

این کتاب مناسب افرادی است که علاقمند به یادگیری در موضوع مواد پیشرفته و مرکب هستند. ویژگی‌های قابل توجه و سایل پیشرفته هوافضایی تا حد زیادی مرهون مواد و فناوری‌هایی است که در سازه و پیشرانه استفاده می‌شود.

خلاصه فصل‌های این کتاب به صورت زیر است:

فصل اول تحت عنوان "مبانی و مقدمه‌ای بر انواع مواد" نام گذاری گردیده است. در این فصل به توضیح مختصر درباره مواد فلزی، پلیمری، سرامیکی و مواد مرکب پرداخته شده است. همچنین در این فصل به فرآیندهای تولید قطعات مواد مرکب نیز اشاره شده است. فصل دوم تحت عنوان "کامپوزیت‌های زمینه پلیمری" نام گذاری گردیده است. در این فصل انواع سیستم‌های رزینی گرماسخت و گرمانرم، مزایا، معایب، کدام از آنها، انواع الیافت مورد استفاده در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری و فرآیندهای ساخت کامپوزیت‌های زمینه پلیمری مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده است. فصل سوم تحت عنوان "کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی" نام گذاری گردیده است. در این فصل انواع مواد زمینه، تقویت‌کننده‌ها، چقرمگی کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی و انواع فرآیندهای ساخت کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی توضیح داده شده است. فصل چهارم تحت عنوان "کامپوزیت‌های زمینه فلزی" نام گذاری گردیده است. در این فصل به انواع مواد زمینه فلزی، تقویت‌کننده‌ها و فرآیندهای ساخت توضیح داده شده است. فصل پنجم تحت عنوان "کامپوزیت‌های پیشرفته هدفمند" نام گذاری گردیده است. این گونه مواد با تغییرات تدریجی ترکیبات از سرامیک‌های نرم به سرامیک‌های مقاوم به شکست می‌باشد. در این فصل به انواع روش‌های مدل‌سازی مواد تابعی پرداخته شده است. فصل ششم تحت عنوان "سازه‌های ساندویچی و کاربردهای آنها" نام گذاری گردیده است. در این فصل به توضیح کامل درباره سازه‌های ساندویچی، انواع مواد رویه‌ها، هسته‌ها، صفحه ساندویچی FRC، انواع جاگذاری‌ها، تست‌های خستگی و کاربردهای آنها در صنایع هوانی پرداخته شده است.

فصل هفتم تحت عنوان "نانو کامپوزیت‌ها" نام گذاری گردیده است. در این فصل انواع نانو کامپوزیت‌های زمینه فلزی، پلیمری، سرامیکی، فلز-سرامیک و کاربردهای نانو کامپوزیت‌ها در صنایع هوابیمایی پرداخته شده است. فصل هشتم تحت عنوان "انواع روش‌های ساخت و شکل‌دهی قطعات

کامپوزیت‌ها و کاربرد آنها در صنایع هوافضا " نام گذاری گردیده است. در این فصل به انواع قالب گیری، روش‌های لمینت سازی، تکنیک‌های قالب گیری رزین‌های مایع، رشته پیچی، پالترژن، مدل کردن فرآیند تکنیک‌های ترموپلاستیک‌های ویژه پرداخته شده است. فصل نهم تحت عنوان " مدل سازی و مکانیک کامپوزیت‌های پلیمری و اصول آنها " نام گذاری گردیده است. در این فصل معادلات حاکم در کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف و انواع تئوری‌های لمینت مورد بررسی قرار گرفته شده است.

فصل دهم تحت عنوان " نگاهی گذرا به رفتار پایداری پوسته‌های کامپوزیتی " نام گذاری گردیده است. در این فصل تاریخچه‌ای از گمانش پوسته‌ها، مسائل بنیادی در طراحی پوسته‌ها و چالش‌ها و جهت گیری‌های آین برای تحلیل پایداری پوسته‌ها مورد بررسی قرار گرفته شده است. فصل یازدهم تحت عنوان " بهینه سازی نسبه استحکام به وزن سازه‌های کامپوزیتی به کمک نانو فیلرهای کربنی " نام گذاری گردیده است. نانو کامپوزیت‌های پایه اپوکسی به دلیل داشتن خواصی از قبیل سبکی و استحکام بالا نقش بسیار مهمی در سازه‌های هوایی از قبیل بالگردها و هواپیماها ایفا می‌کنند. در این فصل مطالعه آزمایشگاهی و تئوری نانو کامپوزیت‌های اپوکسی حاوی نانوموادهای کربنی صفر بعدی (فولرن)، یک بعدی (نانولوله کربن) و دو بعدی (گرافین) را به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته شده است. امید است این کتاب خدمت کوچکی به جامعه علمی و صنعتی میهن اسلامی باشد. با توجه به اینکه مطالب این کتاب خالی از اشکال نیست از شما خوانندگان محترم خواهشمندیم که ما را از پیشنهادات خود که راهنمای ما در اصلاح و تکمیل مطالب این کتاب خواهد بود محروم نگردانید. شما می‌توانید هرگونه پیشنهاد و انتقاد خود را از طریق پست الکترونیکی به آدرس www.k.malekzadeh@gmail.com ارسال فرمائید. در پایان لازم است از تمامی کسانی که ما را در تهیه این کتاب یاری دادند تشکر و قدردانی نمائیم. امید است اجر معنوی این کار شامل همه عزیزانی باشد که ما را با راهنمایی‌ها و کمک‌های خویش مرهون عنایت خود نمودند.

کریمت ملکزاده-حسین ملکزاده

بهار ۱۳۹۵

فصل اول: مبانی و مقدمه‌ای بر انواع مواد

۲۵	مقدمه
۲۷	۱-۱- مواد فلزی
۲۷	۲-۱- مواد پلیمری
۲۷	۳-۱- مواد سرامیکی
۲۸	۴-۱- مواد مرکب
۲۹	۱-۴-۱- ویژگی‌های مواد مرکب
۳۱	۲-۴-۱- کاربرد مواد مرکب
۳۴	۳-۴-۱- تقسیم‌بندی مواد مرکب
۴۰	۴-۴-۱- رفتار مکانیکی مواد مرکب
۴۱	۵-۴-۱- فرآیند تولید قطعات مواد مرکب
۴۱	۱-۵-۴-۱- فرآیند لایه چینی دستی
۴۲	۲-۵-۴-۱- فرآیند الیاف پیچی
۴۴	۳-۵-۴-۱- فرآیند پولتراسیون
۴۵	۴-۵-۴-۱- فرآیند تزریق رزین به قالب
۴۶	۵-۵-۴-۱- فرآیند قالب‌گیری فشاری
۴۷	۶-۵-۴-۱- فرآیند قالب‌گیری تزریقی
۴۸	۷-۵-۴-۱- فرآیند شکل‌دهی با قالب
۵۰	۸-۵-۴-۱- فرآیند شکل‌دهی با دیافراگم

منابع ۵۲

فصل دوم: کامپوزیت های زمینه پلیمری

.....	مقدمه	۵۳
.....	۱-۲- خواص کامپوزیت های زمینه پلیمری	۵۴
.....	۲-۲- ساختار پلیمرها	۵۶
.....	۳-۲- ماتریس های پلیمری گرماسخت (ترموست) و گرمانرم (ترموپلاستیک)	۶۰
.....	۴-۲- سیستم های رزینی گرماسخت (ترموست)	۶۳
.....	۴-۲-۱- رزین های اپوکسی	۶۶
.....	۴-۲-۱-۱- پخت رزین های اپوکسی	۶۸
.....	۴-۲-۲- خواص ماتریس اپوکسی	۶۹
.....	۴-۲-۳- فرمولاسیون رزین های اپوکسی	۷۰
.....	۴-۲-۴-۱- چگونگی سازی رزین اپوکسی	۷۱
.....	۴-۲-۵- حساسیت به رطوبت در رزین های اپوکسی و دیگر ترموست ها	۷۳
.....	۴-۲-۶- مقاومت حرارتی و آتش پیرد یافته	۷۴
.....	۴-۲-۷- مزایا و معایب رزین های اپوکسی	۷۴
.....	۴-۲-۲- رزین های پلی استر	۷۴
.....	۴-۲-۱- انواع پلی استر	۷۵
.....	۴-۲-۲- پخت پلی استرها	۷۶
.....	۴-۲-۳- مزایا و معایب پلی استرها	۷۷
.....	۴-۲-۳- رزین های وینیل استر	۷۸
.....	۴-۲-۴- رزین های فنولیک	۷۹
.....	۴-۲-۴-۱- مزایا و معایب رزین های فنولیک	۸۰
.....	۴-۲-۵- رزین های بیسمال ایمید	۸۰
.....	۴-۲-۶- رزین های پلی ایمید	۸۱
.....	۴-۲-۶-۱- مزایا و معایب رزین های پلی ایمید	۸۴
.....	۴-۲-۷- رزین های سیانات	۸۴

۸۴	۱-۷-۴-۲ شیمی پخت
۸۵	۲-۷-۴-۲ خواص رزین های سیانات
۸۵	۵-۲ سیستم های ترموپلاستیک (گرمانرم)
۸۶	۱-۵-۲- ترموپلاستیک های آمورف (بی نظم)
۸۶	۲-۵-۲- ترموپلاستیک های نیمه بلورینه
۸۷	۳-۵-۲ پلی کتون ها
۸۷	۴-۵-۲ پلی فتیلن سولفید (PPS)
۸۸	۵-۵-۲ پلی سولفون ها
۸۸	۶-۵-۲ پلی ارایمید (PEI)
۸۹	الیاف مورد استفاده در کامپوزیت های زمینه پلیمری
۸۹	۶-۲ الیاف شیشه
۸۹	۱-۶-۲ ساخت و تولید
۹۱	۲-۶-۲ تأثیر نقص ها (ذرات)
۹۲	۳-۶-۲ انواع الیاف شیشه
۹۲	۴-۶-۲ پوشش های لیف شیشه
۹۳	۷-۲ الیاف کربن
۹۳	۱-۷-۲ ساخت و تولید
۹۴	۲-۷-۲ الیاف بر پایه پلی اکریلونیتریل (PAN)
۹۶	۳-۷-۲ الیاف بر پایه قیر
۹۸	۸-۲ الیاف بورو
۱۰۰	۹-۲ سیلیکون کاربید
۱۰۰	۱-۹-۲ الیاف سیلیکون کاربید تهیه شده به روش CVD
۱۰۱	۲-۹-۲ الیاف سیلیکون کاربید بر پایه یک پیش ماده پلیمری
۱۰۲	۱۰-۲ الیاف آرامید
۱۰۴	۱۱-۲ الیاف جهت دار پلی اتیلن
۱۰۵	۱۲-۲ الیاف خشک
۱۰۵	۱-۱۲-۲ نخ های تابیده (Rovings) و (دسته های) الیاف (ریسمان) (Tows)
۱۰۶	۲-۱۲-۲ الیاف بافته نشده
۱۰۶	۳-۱۲-۲ الیاف بافته شده

۱۰۷.....	۲-۱۲-۴- پارچه های توری (Braided Fabrics)
۱۰۸.....	۲-۱۲-۵- پارچه های بدون اعوجاج (Non-crimp Fabrics)
۱۰۸.....	۲-۱۲-۶- نوار
۱۰۸.....	۲-۱۲-۷- پیش فرم های نساجی سه بعدی
۱۰۹.....	۲-۱۳- فرآیندهای ساخت کامپوزیت زمینه پلیمری
۱۰۹.....	۲-۱۳-۱- انواع فرآیند قالب گیری باز
۱۱۴.....	۲-۱۳-۲- فرآیند قالب گیری بسته
۱۱۵.....	۲-۱۳-۳- قالب گیری فشاری
۱۲۵.....	۲-۱۳-۴- مقایسه روشهای شکل دهی
۱۲۶.....	ادامه جدول ۱۱- مزایا و معایب فرآیندهای مختلف شکل دهی کامپوزیتهای پلیمری
۱۲۷.....	۲-۱۴- مثالهایی از کاربرد کامپوزیت زمینه پلیمری

فصل ۱۱- کامپوزیت های زیرسرامیکی

۱۳۱.....	مقدمه
۱۳۲.....	۳-۱- مواد زمینه
۱۳۳.....	۳-۱-۱- مواد زمینه با سرامیک غیراکسیدی
۱۳۳.....	۳-۱-۱-۱- کاربید سیلیسیم SiC
۱۳۴.....	۳-۱-۱-۲- نیتريد سيلسيم Si_3N_4
۱۳۴.....	۳-۱-۱-۳- نیتريد بور BN
۱۳۵.....	۳-۱-۱-۴- کاربید بور B_4C
۱۳۵.....	۳-۱-۲- مواد زمینه با سرامیک اکسیدی
۱۳۵.....	۳-۱-۲-۱- آلومینا Al_2O_3
۱۳۵.....	۳-۱-۲-۲- مولیت $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
۱۳۶.....	۳-۱-۲-۳- زیرکونیا ZrO_2
۱۳۶.....	۳-۲- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه سرامیکی
۱۳۷.....	۳-۲-۱- الیاف اکسیدی
۱۳۷.....	۳-۲-۱-۱- الیاف اکسیدی آلومینا α

۱۳۹	۲-۲-۳- الیاف غیراکسیدی
۱۴۰	۳-۲-۳- الیاف بور
۱۴۱	۳-۳- چقرمگی کامپوزیت های زمینه سرامیکی
۱۴۳	۱-۳-۳- چقرمگی و منحنی های R
۱۴۴	۲-۳-۳- مکانیزم های افزایش چقرمگی
۱۴۷	۴-۳- فرآیندهای ساخت کامپوزیت زمینه سرامیکی
۱۴۷	۱-۴-۳- فرآیندهای سنتی
۱۴۸	۲-۴-۳- آئندهای جدید
۱۵۱	۳-۴-۳- فرآیندهای تراوش فاز گازی
۱۵۳	۳-۲-۴-۳- فرآیند اکسیداسیون مستقیم
۱۵۶	۴-۴-۳- فرآیندهای تراوش فاز مایع
۱۵۶	۱-۴-۴-۳- فرآیند تراوش پدیده مایع
۱۵۸	۲-۴-۴-۳- فرآیند تراوش سیالیم مایع
۱۵۹	۵-۴-۳- روش ساخت کامپوزیت های زمینه سرامیکی با ترکیب فرآیند
۱۵۹	۵-۳- مقایسه خواص کامپوزیت زمینه سرامیکی برای روش ساخت
۱۶۱	۶-۳- کاربرد کامپوزیت های زمینه سرامیکی
۱۶۲	۷-۳- مثالهایی از کاربردهای کامپوزیتهای زمینه سرامیکی
۱۶۴	منابع

فصل چهارم: کامپوزیت های زمینه فلزی

۱۶۵	مقدمه
۱۶۷	۱-۴- مواد زمینه در کامپوزیت زمینه فلزی
۱۶۷	۱-۱-۴- زمینه آلومینیم
۱۶۷	۱-۱-۱-۴- خواص کامپوزیت زمینه آلومینیم
۱۶۸	۲-۱-۱-۴- روشهای ساخت کامپوزیت زمینه آلومینیم
۱۶۸	۳-۱-۱-۴- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه آلومینیم
۱۶۸	۲-۱-۴- زمینه منیزیم
۱۶۹	۱-۲-۱-۴- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه منیزیم

- ۱۶۹..... ۴-۲-۱-۲- خواص کامپوزیت زمینه منیزیم تقویت شده با ذرات SiC
- ۱۶۹..... ۴-۲-۱-۳- کاربرد کامپوزیتهای زمینه منیزیمی
- ۱۶۹..... ۴-۱-۳- زمینه تیتانیوم
- ۱۶۹..... ۴-۱-۳-۱- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه تیتانیوم
- ۱۷۰..... ۴-۲-۱-۳- خواص کامپوزیت زمینه تیتانیوم
- ۱۷۰..... ۴-۳-۱-۳- کاربرد کامپوزیتهای زمینه تیتانیوم
- ۱۷۰..... ۴-۱-۴- زمینه مس
- ۱۷۰..... ۴-۱-۴-۱- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه مس
- ۱۷۱..... ۴-۲-۴- خواص کامپوزیت های زمینه مس
- ۱۷۱..... ۴-۱-۴-۲- کاربرد کامپوزیتهای زمینه مس
- ۱۷۱..... ۴-۱-۵- کامپوزیتهای زمینه سوپر آلیاژی
- ۱۷۱..... ۴-۲- تقویت کننده های کامپوزیت زمینه فلزی
- ۱۷۲..... ۴-۱-۲- تقویت کننده آلیاژ پیریت رابوسته
- ۱۷۴..... ۴-۲-۲- ویسکرها
- ۱۷۵..... ۴-۳-۲- ذرات
- ۱۷۵..... ۴-۲-۴- سیمها
- ۱۷۶..... ۴-۳- فرآیندهای ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی
- ۱۷۸..... ۴-۲-۳- فرآیند اولیه
- ۱۷۸..... ۴-۳-۳- فرآیند ثانویه
- ۱۷۹..... ۴-۴- فرآیندهای حالت جامد
- ۱۷۹..... ۴-۱-۴- اتصال دیفوزیونی
- ۱۷۹..... ۴-۲-۴- روش متالورژی پودر
- ۱۸۰..... ۴-۳-۴- روش پیچی
- ۱۸۰..... ۴-۴-۴- روش پوشش پودری
- ۱۸۰..... ۴-۵-۴- تحکیم پودر
- ۱۸۰..... ۴-۶-۴- زینتر کردن
- ۱۸۰..... ۴-۷-۴- پرس گرم
- ۱۸۰..... ۴-۸-۴- پرس سرد

۱۸۱	۹-۴-۴ پرس ایزواستاتیک گرم
۱۸۱	۱۰-۴-۴ پرس ایزواستاتیک سرد
۱۸۱	۱۱-۴-۴ نورد پودر
۱۸۱	۱۲-۴-۴ اکستروژن پودر
۱۸۱	۱۳-۴-۴ فورجینگ پودر
۱۸۱	۵-۴ فرآیندهای حالت مایع
۱۸۲	۱-۵-۴ درون تراوری فلز مایع
۱۸۳	۲-۵-۴ ریخته گری فشاری
۱۸۳	۳-۵-۴ روش مم تشست پاششی
۱۸۴	۴-۵-۴ ریخته گری لاطمی
۱۸۴	۵-۵-۴ ریخته گری ترکیبی
۱۸۵	۶-۵-۴ فرآیندهای رسوب
۱۸۵	۷-۵-۴ فرآیندهای دوفاز (امد/ج)
۱۸۶	۶-۴ مثالهایی از کاربرد کامپوزیتهای زمینه فلزی
۱۸۸	منابع

فصل پنجم: کامپوزیت های مشرفه فند (ایمی) کاربرد و روش های ساخت

۱۸۹	مقدمه
۱۹۱	۱-۵ کاربردهای مواد FGM
۱۹۲	۲-۵ مدل سازی و طراحی ماده FGM
۱۹۴	۳-۵ روشهای مدل سازی خواص یک ماده FGM
۱۹۶	۱-۳-۵ قوانین اختلاط
۱۹۶	۲-۳-۵ روش متغیر
۱۹۷	۳-۳-۵ روشهای مکانیک میکروسکوپی
۱۹۷	۱-۳-۳-۵ روشهای استاندارد
۲۰۰	۲-۳-۳-۵ روشهای مرتبه بالاتر
۲۰۰	۳-۳-۳-۵ حل عددی
۲۰۰	۴-۳-۵ روشهای تجربی

۲۰۱.....	۵-۳-۵- تکنیک های منطقی فیزی
۲۰۳.....	منابع

فصل ششم: سازه های کامپوزیتی، ساندویچی و کاربردهای آنها

۲۰۵.....	مقدمه
۲۰۷.....	۱-۶-۱- لایه ها
۲۰۷.....	۱-۶-۱- تک لایه ها
۲۰۹.....	۱-۶-۲- چند لایه ها
۲۱۰.....	۱-۶-۲- هسته (Core)
۲۱۱.....	۱-۶-۲-۱- هسته ها- گسترده (چوب ها)
۲۱۱.....	۱-۶-۲-۱-۱- بال
۲۱۲.....	۱-۶-۲-۲- سیدار
۲۱۲.....	۱-۶-۲-۳- تخته چندلایه
۲۱۳.....	۱-۶-۳- فوم ها
۲۱۳.....	۱-۶-۳-۱- فوم های ترموست
۲۱۳.....	۱-۶-۳-۲- فوم های پی وی سی
۲۱۴.....	۱-۶-۳-۳- پی ام آی ها
۲۱۴.....	۱-۶-۳-۴- اِس ای اِن ها
۲۱۴.....	۱-۶-۳-۵- فوم های ترموپلاستیک
۲۱۵.....	۱-۶-۴- هسته ها
۲۱۵.....	۱-۶-۴-۱- هسته های توده ای (لانه زنبوری ها)
۲۱۷.....	۱-۶-۴-۲- لانه زنبوری های مقوایی و کاغذی
۲۱۸.....	۱-۶-۴-۳- لانه زنبوری های آلومینیومی
۲۱۸.....	۱-۶-۴-۴- لانه زنبوری های ساخته شده از پلاستیک های تقویت شده توسط الیاف شیشه
۲۱۸.....	۱-۶-۴-۵- لانه زنبوری های ساخته شده از پلاستیک های تقویت شده توسط الیاف آرامیدی
۲۱۹.....	۱-۶-۴-۶- لانه زنبوری های ساخته شده از پلاستیک های تقویت شده توسط الیاف کربن

۵-۶	مقایسه بین خواص مواد مورد استفاده در هسته	۲۱۹
۶-۶	هسته های با کارایی بالا و تزریق کم هزینه برای صفحات ساندویچی ساختاری	۲۲۲
۶-۶-۱	تکنولوژی صفحه ساندویچی FRC	۲۲۲
۶-۶-۱-۱	تولید هسته های FRC با ساختار لوله ای	۲۲۲
۶-۶-۱-۲	قابلیگری صفحه ساندویچی FRC	۲۲۳
۶-۶-۱-۳	توسعه های تکنولوژی صفحه ساندویچی FRC اضافی	۲۲۴
۶-۶-۲	کارایی ساختاری طرح های استاندارد	۲۲۵
۶-۶-۱-۲	طرح های صفحه تست	۲۲۵
۶-۶-۲	مقایسات خصوصیات	۲۲۵
۶-۶-۳	مقاومت در برابر آسیب ضربه	۲۲۷
۶-۶-۲-۲	وزن	۲۲۸
۶-۶-۳	روش شناسایی طراحی صفحه ساندویچی FRC	۲۲۹
۶-۷	نحوه ی جاگذاری ها و راه های ساندویچ پل	۲۳۱
۶-۷-۱	انواع جاگذاری	۲۳۲
۶-۷-۲	حالت فنی در مدل سازی انفجار ساندویچی	۲۳۳
۶-۷-۳	مدل سازی ساختاری و حل معادلات	۲۳۴
۶-۷-۳-۱	تعریف های مدل	۲۳۴
۶-۷-۳-۲	مدل سازی ماده هسته	۲۳۵
۶-۷-۳-۳	مدل سازی صفحات سطحی	۲۳۵
۶-۷-۳-۴	مشتق گیری مجموعه کامل معادلات حاکم	۲۳۵
۶-۷-۳-۵	تعیین شرایط کرانی	۲۳۶
۶-۷-۳-۶	جاگذاری های کاملاً جامد سازی شده	۲۳۷
۶-۷-۳-۷	روش راه حل عددی	۲۳۷
۶-۸	تست خستگی در ساندویچ پل ها	۲۴۳
۶-۸-۱	مقدمه	۲۴۳
۶-۸-۲	مواد و تکنیک های آزمایشی	۲۴۴
۶-۸-۳	نتایج و توضیح	۲۴۵
۶-۹	کاربرد ساندویچ پانل ها در صنایع هوانی	۲۴۶
۶-۹-۱	مواد مرکب لایه ای الیافی بکار گرفته شده	۲۴۷

۲۴۹.....	۶-۹-۲- هواپیماهای نظامی.....
۲۵۱.....	۶-۹-۳- هواپیماهای مسافربری.....
۲۵۴.....	۶-۹-۴- مواد مرکب ساندویچی بکار گرفته شده در ساختمان هواپیما.....
۲۵۹.....	منابع.....

فصل هفتم: نانوکامپوزیت‌ها و کاربردها

۲۶۱.....	مقدمه.....
۲۶۳.....	۷-۱-۱- نانوکامپوزیت.....
۲۶۴.....	۷-۱-۱- پور نانوکامپوزیت.....
۲۶۴.....	۷-۱-۴- فاز نانوکامپوزیت.....
۲۶۴.....	۷-۲- مزایا و معایب نانوکامپوزیتها.....
۲۶۵.....	۷-۳- انواع مواد نانوکامپوزیت.....
۲۶۶.....	۷-۴- پرکننده‌های با ابعاد نانو.....
۲۶۹.....	۷-۴-۲- مورفولوژی و کریستالوگرافی.....
۲۷۰.....	۷-۴-۳- ریز ساختار سیلیکات‌های لایه‌ای.....
۲۷۱.....	۷-۴-۴- نانولوله‌های کربنی.....
۲۷۲.....	۷-۵- نانوکامپوزیت‌های پلیمری.....
۲۷۴.....	۷-۵-۱- روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمر-خاک رس.....
۲۷۶.....	۷-۵-۱-۱- پلیمریزاسیون درجا.....
۲۸۲.....	۷-۵-۲- تحلیل نانوکامپوزیت‌های پلیمری.....
۲۸۵.....	۷-۵-۳- کاربردهای نانوکامپوزیت‌های پلیمری.....
۲۸۶.....	۷-۵-۳-۱- خودروسازی.....
۲۸۷.....	۷-۵-۳-۲- صنایع بسته‌بندی.....
۲۸۸.....	۷-۵-۳-۳- ضد حریق کردن پلاستیکها.....
۲۸۸.....	۷-۵-۳-۴- تهیه الیاف و فیلمها.....
۲۸۸.....	۷-۵-۳-۵- کاربردهای الکتریکی.....
۲۸۹.....	۷-۵-۳-۶- دیگر کاربردها.....

۶-۷- نانوکامپوزیتهای زمینه فلزی	۲۹۰
۶-۷-۱- روش های ساخت نانو کامپوزیت های زمینه فلزی	۲۹۰
۶-۷-۱-۱- آسیاب مکانیکی	۲۹۲
۶-۷-۱-۴- روش ریخته گری با امواج اولتراسونیک	۲۹۴
۶-۷-۱-۶- فرآوری ثانویه	۲۹۶
۷-۷- نانو کامپوزیت های فلز- سرامیک	۲۹۶
۷-۷-۱- نانوکامپوزیت های تولید شده به شیوه سل - ژل	۲۹۸
۷-۷-۱-۱- کامپوزیت های کربن - آنروژل سیلیکا	۲۹۸
۷-۷-۲- کامپوزیت های سیلیکون - آنروژل سیلیکا	۲۹۸
۷-۷-۲-۱- نانوکامپوزیت های فلز واسط - آنروژل سیلیکا	۲۹۹
۸-۷- نانو کامپوزیتهای سرامیک	۲۹۹
۸-۷- کاربرد نانوکامپوزیت ها در صنایع هوایی	۳۰۵
۸-۷-۱- کاربردهای نانوکامپوزیت در صنعت هوایی	۳۰۶
۸-۷-۱-۱- بدنه و اجزاء هواپیما	۳۰۶
۸-۷-۲- پوشش های نانوکامپوزیتی در صنایع هوایی	۳۱۳
۸-۷-۳- موتور و اجزاء موتور هواپیما	۳۱۷
۸-۷-۴- تجهیزات و تزئینات داخلی هواپیما	۳۱۸
۸-۷-۳- فلزات نانو ساختار در صنایع هوایی	۳۱۸
منابع	۳۲۱

فصل ششم: انواع روش های ساخت، شکل دهی قطعات کامپوزیتی و کاربردهای مواد کامپوزیتی

مقدمه	۳۲۳
۸-۱- روش های مرتبط به روش لایه گذاری	۳۲۶
۸-۱-۱- قالب گیری دای باز (Open Die Molding)	۳۲۶
۸-۱-۲- قالب گیری فشاری (Compression Molding)	۳۲۷
۸-۱-۳- پیچاندن (Wrapping)	۳۲۸
۸-۲- روش های لمینت سازی برای کامپوزیت های مورد استفاده در هواپیما	۳۲۸
۸-۲-۱- تولید پیش آغشته (Pre-Preg)	۳۲۸

- ۳۳۰..... ۸-۲-۲- نگه داری و جایجایی مواد پیش آغشته
- ۳۳۰..... ۸-۲-۳- برش و بسته بندی
- ۳۳۱..... ۸-۲-۴- لایه گذاری
- ۳۳۲..... ۸-۲-۵- شکل دهی اتوماتیک دسته های پیش آغشته
- ۳۳۳..... ۸-۲-۶- لایه گذاری اتوماتیک
- ۳۳۴..... ۸-۲-۷- روش استفاده از کیسه (Bagging)
- ۳۳۶..... ۸-۲-۸- پخت
- ۳۳۸..... ۸-۲-۹- پخت همزمان (Cocuring) اجزاء پیچیده
- ۳۳۹..... ۸-۲-۱۰- مشکلات فرآیندی
- ۳۴۱..... ۸-۲-۱۱- از کیسه - ای سازی، پرداخت کاری و رنگ آمیزی
- ۳۴۲..... ۸-۲-۱۲- تراشیدن و زدن
- ۳۴۲..... ۸-۳-۳- تکنیک های قالب گیری رزین های مایع
- ۳۴۲..... ۸-۳-۱- قالب گیری انتقال رزین (RTM)
- ۳۴۳..... ۸-۳-۲- مواد
- ۳۴۴..... ۸-۳-۳- سیستم های ایزاری
- ۳۴۶..... ۸-۳-۴- کاربردها
- ۳۴۷..... ۸-۳-۵- نفوذ فیلمی رزین (RFI)
- ۳۴۸..... ۸-۳-۶- قالب گیری انتقال رزین به همراه خلأ (RTM)
- ۳۵۰..... ۸-۴-۱- رشته پیچی
- ۳۵۰..... ۸-۴-۱- توضیحات عمومی
- ۳۵۱..... ۸-۴-۲- فرآیند پیچش
- ۳۵۲..... ۸-۴-۳- الگوهای پیچشی
- ۳۵۳..... ۸-۴-۴- مواد
- ۳۵۳..... ۸-۴-۵- طراحی و خواص
- ۳۵۴..... ۸-۴-۶- کاربردها
- ۳۵۵..... ۸-۵-۵- پالتروژن
- ۳۵۶..... ۸-۵-۱- تقویت کننده ها
- ۳۵۶..... ۸-۵-۲- رزین ها

۳۵۷	۸-۵-۳- فرآیند پالتروژن
۳۵۷	۸-۵-۴- سیستم تغذیه
۳۵۸	۸-۵-۵- سیستم های ابزاری
۳۵۸	۸-۵-۶- سیستم های کشش
۳۵۸	۸-۵-۷- کاربردهای هوافضا
۳۵۹	۸-۶-۶- مدل کردن فرآیند
۳۶۰	۸-۶-۱- شکل دهی دسته های تقویت کننده
۳۶۱	۸-۶-۲- انتقال حرارت و پخت رزین
۳۶۳	۸-۶-۳- بریان رزین درون تقویت کننده های لیفی
۳۶۴	۸-۶-۴- سخت شدن تقویت کننده ها
۳۶۵	۸-۶-۵- اعوجاج و تغییر شکل القا شده توسط فرآیند و تنش باقی مانده
۳۶۶	۸-۶-۶- تصدیق و تولید ترمیمی
۳۶۶	۸-۷-۷- تجهیز (ابزار)
۳۶۷	۸-۷-۱- مواد تجهیزات فلزی
۳۶۸	۸-۷-۲- تجهیزات ساخته شده از مواد کامپوزیتی
۳۷۰	۸-۷-۳- مندرل
۳۷۱	۸-۸-۸- تکنیک های ترموپلاستیک های ویژه
۳۷۱	۸-۸-۱- فرم های میانی (حد واسط)
۳۷۲	۸-۸-۲- تکنولوژی فرآیند کامپوزیت های ترموپلاستیک
۳۷۲	۸-۸-۲-۱- رول فرمینگ (شکل دهی به کمک غلتک) (Roll-Forming)
۳۷۳	۸-۸-۲-۲- رشته پیچی
۳۷۳	۸-۸-۳-۳- پالتروژن
۳۷۴	۸-۸-۲-۴- شکل دهی توسط دیافراگم
۳۷۵	۸-۸-۲-۵- قالب گیری فشاری
۳۷۶	۸-۸-۲-۶- شکل دهی با مهر، مهرزنی (Stamp-Forming)

منابع ۳۷۸

فصل نهم: مدل سازی، مکانیک کامپوزیت های پلیمری و اصول آنها

- الف. قواعد بنیادین و معادلات حاکم در کامپوزیت های تقویت شده با الیافت ۳۸۱
- ۱-۹- مقدمه ای بر سیستم های کامپوزیتی ليفی ۳۸۱
- ۲-۹- جنبه های میکرومکانیکی و ماکرومکانیکی کامپوزیت ها ۳۸۱
- ۳-۹- تحلیل های میکرومکانیک ۳۸۲
- ۴-۹- ثوابت الاستیک ۳۸۳
- ۴-۹-۱- مکانیک مواد ۳۸۳
- ۴-۹-۱-۱- مارل در جهت طولی ($E1$) ۳۸۴
- ۴-۹-۲-۱- مدول عرضی ($F2$) ۳۸۶
- ۴-۹-۳-۱- نسبت بواسطه اصل ۳۸۷
- ۴-۹-۴-۱- مدول برشی درون صفحه ($G12$) ۳۸۸
- ۴-۹-۲- اصلاح تئوری مکانیک مواد با $E2$ و $E1$ ۳۸۸
- ۴-۹-۱-۲- پیش بینی $E1$ ۳۸۸
- ۴-۹-۲-۲- پیش بینی $E2$ ۳۸۹
- ۴-۹-۱-۳- تئوری انرژی ۳۸۹
- ۴-۹-۲-۳- روش مستقیم ۳۹۰
- ۴-۹-۴-۲- ثوابت انبساطی $\alpha1$ و $\alpha2$ ۳۹۲
- ۴-۹-۱-۴- ضریب انبساط طولی ($\alpha1$) ۳۹۲
- ۴-۹-۲-۴- ضریب انبساط عرضی $\alpha2$ ۳۹۲
- ۴-۹-۱-۵- تخمین ساده ای برای محاسبه استحکام کششی ۳۹۳
- ۴-۹-۲-۵- آنالیز آماری استحکام کششی ۳۹۵
- ۴-۹-۳-۵- مدل تجمع آسیب "روزن" ۳۹۸

۶-۹	تخمین ساده ای برای استحکام فشاری	۳۹۹
۷-۹	استحکام خارج از محور در تنش	۴۰۲
۸-۹	چقرمگی شکست کامپوزیت های تک جهته	۴۰۴
۱-۸-۹	انرژی سطحی شکست	۴۰۴
۲-۸-۹	مکانیک های شکست	۴۰۷
ب. تحلیل ساختاری		۴۰۹
۹-۹	تئوری لمینت	۴۱۰
۱-۹-۹	تئوری تنش-کرنش برای لامینا (یک لایه تک) در محورهای ماده: لمینت های تک جهته	
		۴۱۱
۳-۹-۹	ماتریس مربوط به تنش صفحه ای برای لمینت های متقارن	۴۱۵
۱-۳-۹-۹	ماتریس برای لمینت	۴۱۶
۲-۳-۹-۹	قانون برش در لمینت	۴۱۸
۳-۳-۹-۹	لمینت ها از ارتروپیک	۴۱۸
۴-۳-۹-۹	مدول در لمینت های ارتروپیک	۴۱۹
۵-۳-۹-۹	لمینت های نیمه ایزوتروپیک	۴۲۱
۶-۳-۹-۹	آنالیز تنش لمینت های ارتروپیک	۴۲۲
۷-۳-۹-۹	کدهای لمینت	۴۲۴
۴-۹-۹	لمینت های در معرض تنش صفحه ای و بارگذاری خمشی	۴۲۵
۱-۴-۹-۹	تئوری کلی	۴۲۵
۲-۴-۹-۹	جداسازی ماتریس سفتی	۴۲۷
۳-۴-۹-۹	خمش لمینت های متقارن	۴۲۸
۱۰-۹	تمرکز تنش و تأثیر لبه ها	۴۳۰
۱-۱۰-۹	تمرکز تنش حول یک منفذ (حفره) در لمینت های ارتروپیک	۴۳۱
۲-۱۰-۹	اثر لبه ها	۴۳۲
۱۱-۹	تئوری های شکست	۴۳۳
۱-۱۱-۹	مقدمه ای بر ترک خوردن ماتریس، شکست لایه اول و بارگذاری های نهایی	۴۳۳
۲-۱۱-۹	تئوری شکست بر پایه تنش	۴۳۵
۱-۲-۱۱-۹	تئوری های بر پایه تنش: در نظر گرفتن حالت های واقعی شکست	۴۳۷
۲-۲-۱۱-۹	روش های بر پایه تنش	۴۳۸

۴۳۹	۳-۱۱-۹- تئوری های شکست بر پایه کرنش
۴۴۰	۱-۳-۱۱-۹- تئوری شکست ثابت (نامتغیر) کرنش (SIFT)
۴۴۱	۲-۳-۱۱-۹- ثابت اولیه کرنش برای شکست ماتریس (رزین)
۴۴۲	۳-۳-۱۱-۹- ضابطه کرنش انحرافی دوم
۴۴۲	۴-۳-۱۱-۹- تئوری شکست ثابت کرنش (SIFT) برای لمینت ها
۴۴۳	۴-۱۱-۹- محدوده شکست ماتریس
۴۴۴	۵-۱-۹- مقایسه مدل های پیش بینی شکست
۴۴۴	۱۲-۹- مکانیک های شکست
۴۴۵	۱۳-۹- پیش بینی شکست نزدیک به آستانه تحمل تخریب
۴۴۸	۱۴-۹- خمش buckling
۴۴۸	۱-۱۴-۹- خمش در لمینت
۴۴۹	۲-۱۴-۹- خمش الیف
۴۵۰	منابع

فصل دهم: معرفی به تولیدیاری پوستهای کامپوزیتی

۴۵۵	۱-۱۰- کلیات تحقیقات بر روی کمانش پوسته ها
۴۵۵	۱-۱-۱۰- تاریخچه
۴۵۷	۲-۱-۱۰- توسعه تئوری پوسته
۴۵۹	۳-۱۰- مسائل بنیادی در طراحی پوسته ها
۴۶۰	۱-۲-۱۰- پوسته های استوانه ای تقویت نشده
۴۶۰	۱-۱-۲-۱۰- فرضیات
۴۶۱	۲-۱-۲-۱۰- فشار محوری یکنواخت
۴۶۵	۳-۱-۲-۱۰- ممان خمشی
۴۶۸	۴-۱-۲-۱۰- فشار داخلی
۴۶۹	۵-۱-۲-۱۰- فشار خارجی
۴۷۷	۶-۱-۲-۱۰- ممان پیچشی
۴۸۰	۷-۱-۲-۱۰- نیروی برشی عرضی

۴۸۱.....	۱۰-۲-۱-۸- موارد ترکیب نیروها
۴۸۳.....	۱۰-۲-۲- پوستهای استوانه‌ای با رینگ‌های تقویتی دایروی
۴۸۴.....	۱۰-۲-۲-۱- فرضیات
۴۸۵.....	۱۰-۲-۲-۲- آنالیز طراحی رینگ
۴۹۱.....	۱۰-۲-۳- تقویت کننده‌های استرینگر در پوستهای استوانه‌ای
۴۹۲.....	۱۰-۳-۲-۱- فرضیات
۴۹۴.....	۱۰-۳-۲-۲- بارگذاری محوری
۴۹۸.....	۱۰-۳-۳- ممان خمشی
۴۹۹.....	۱۰-۳-۴- فشار خارجی
۵۰۰.....	۱۰-۳-۱- چالش‌ها و جهت‌گیریهای آینده برای تحلیل پایداری پوستهای
۵۰۰.....	۱۰-۳-۱- مقدمه
۵۰۲.....	۱۰-۳-۲- فرایندهای طراحی حتم‌الی و قطعی
۵۰۳.....	۱۰-۳-۲-۱- پراکندگی شناسایی انحراف
۵۰۵.....	۱۰-۳-۲-۲- تحلیل پایداری براساس مدل تصادفی
۵۰۹.....	۱۰-۳-۲-۳- نتایج عددی تصادفی
۵۰۹.....	۱۰-۳-۲-۴- اثرات شرایط مرزی
۵۱۲.....	۱۰-۳-۳- پوستهای کامپوزیتی گرافیت-اپوکسی
۵۱۳.....	۱۰-۳-۳-۱- نمونه‌های تست
۵۱۳.....	۱۰-۳-۳-۲- اندازه‌گیری انحراف
۵۱۵.....	۱۰-۳-۳-۳- تستها
۵۱۶.....	۱۰-۳-۴- مدلسازی و تحلیل غیر خطی
۵۱۶.....	۱۰-۳-۴-۱- روش آنالیز غیر خطی
۵۱۶.....	۱۰-۳-۴-۲- مدلسازی غیر خطی
۵۱۷.....	۱۰-۳-۴-۳- پیشگویی و مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده
۵۱۸.....	۱۰-۳-۵- مفاهیم طراحی و پیشرفتهای آینده
۵۱۸.....	۱۰-۳-۵-۱- طراحی بر اساس قابلیت اطمینان و طراحی براساس داده‌های انحرافات
۵۱۹.....	۱۰-۳-۵-۲- پوستهای کامپوزیتی

فصل یازدهم: بینہ سازی نسبت استحکام بہ وزن سازوہای کامپوزیتی بہ کمک نانوفیلرہای کربنی

مقدمه..... ۵۲۵

۱-۱-۱۱- مروری بر مطالعات گذشته..... ۵۲۸

۲-۱۱- خواص کششی..... ۵۳۲

۱-۱-۱۱- مدول یانگ..... ۵۳۳

۲-۱-۱۱- کرنش قبل از شکست..... ۵۳۷

۱-۱-۳-۲-۱۱- حاک کشی..... ۵۳۸

۴-۲-۱۱- چقرمگی..... ۵۳۸

۳-۱۱- مکانیک شکست..... ۵۳۸

۱-۳-۱۱- چقرمگی شکست..... ۵۳۹

۱-۱-۳-۱۱- اندازه گیری چقرمگی شکست با استفاده از نمونه سی-تی..... ۵۴۰

۲-۳-۱۱- مقاومت به خستگی..... ۵۴۱

۱-۲-۳-۱۱- نرخ رشد ترک خستگی..... ۵۴۱

۲-۲-۳-۱۱- دیاگرام عمر خستگی..... ۵۴۲

۴-۱۱- مکانیزم های چقرمگی شکست..... ۵۴۳

۱-۴-۱۱- انحراف ترک..... ۵۴۳

۲-۴-۱۱- پین شدن ترک..... ۵۴۵

۳-۴-۱۱- جداسدن نانوفیلرها از زمینه و رشد حفره ها..... ۵۴۷

۴-۴-۱۱- پل زدن نانوفیلرها و خارج شدن آنها از زمینه پلیمر..... ۵۴۸

۵-۴-۱۱- میکروتک ها..... ۵۴۹

۶-۴-۱۱- شاخه دار شدن محدوده پلاستیک مجاور فیلرها..... ۵۴۹

۵-۱۱- نانوکامپوزیت های زمینه اپوکسی..... ۵۵۰

۱-۵-۱۱- رزین اپوکسی..... ۵۵۰

۲-۵-۱۱- عامل سخت کننده..... ۵۵۰

۳-۵-۱۱- خواص اپوکسی و نانوکامپوزیت های آن..... ۵۵۱

۵۵۲	۱۱-۵-۴- فیلرهای میکرو در برابر فیلرهای نانو
۵۵۳	۱۱-۵-۵- انواع نانوکامپوزیت‌های زمینه اپوکسی
۵۵۳	۱۱-۵-۱- الاستومر/اپوکسی
۵۵۳	۱۱-۵-۲- سرامیک/اپوکسی
۵۵۴	۱۱-۵-۳- نانوصفحات خاکرس/اپوکسی
۵۵۵	۱۱-۵-۴- نانولوله کربن/اپوکسی
۵۵۵	۱۱-۵-۵- گرافین/اپوکسی
۵۵۶	۱۱-۶- نانوکامپوزیت‌های اپوکسی/نانولوله‌های کربن چندلایه عامل‌دار با گروه آمین
۵۶۰	۱۱-۶-۱- ساخت نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربن/اپوکسی
۵۶۲	۱۱-۶-۲- خواص کششی نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربن/اپوکسی
۵۶۲	۱۱-۶-۳- چقرمگی شکست نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربن/اپوکسی
۵۶۴	۱۱-۶-۴- مقاومت به خستگی در نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربن/اپوکسی
۵۶۴	۱۱-۶-۵- مکانیزم مقاومت به شکست در نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربن/اپوکسی
۵۶۶	۱۱-۶-۶- کاربرد مدل اردوغان و جوزف در نانوکامپوزیت‌های اپوکسی
۵۶۸	۱۱-۷- نانوکامپوزیت‌های اپوکسی تقویت شده با نانوصفحات گرافین
۵۶۹	۱۱-۷-۱- ساخت نانوکامپوزیت‌های نانوصفحات گرافین/اپوکسی
۵۷۲	۱۱-۷-۲- خواص کششی نانوکامپوزیت‌های نانوصفحات گرافین/اپوکسی
۵۷۳	۱۱-۷-۳- گرافین در برابر نانولوله‌های کربن تک و چندلایه
۵۷۵	۱۱-۷-۴- مدل هالپین-تسای برای مقایسه گرافین در برابر نانولوله‌های کربن تک و چندلایه
	۱۱-۷-۵- چقرمگی شکست و مقاومت به خستگی نانوکامپوزیت‌های اپوکسی حاوی نانوصفحات گرافین
۵۷۸	
	۱۱-۷-۶- مقایسه چقرمگی شکست نانوکامپوزیت‌های حاوی گرافین در برابر نانوکامپوزیت‌های حاوی نانولوله‌های کربن تک و چندجداره
۵۷۹	
۵۸۱	۱۱-۷-۷- مقاومت به خستگی: گرافین در برابر نانولوله‌های کربن
۵۸۲	۱۱-۷-۸- مکانیزم‌های مقاومت به شکست در نانوکامپوزیت‌های نانوصفحات گرافین/اپوکسی
۵۸۴	۱۱-۷-۹- کاربرد مدل تئوری فیبر-ایوانز در مکانیزم انحراف ترک در نانوکامپوزیت‌های گرافینی
۵۸۶	۱۱-۸- نانوکامپوزیت‌های اپوکسی تقویت شده با نانوتسمه‌های گرافین
۵۸۷	۱۱-۸-۱- ساخت نانوتسمه‌های گرافین
۵۸۸	۱۱-۸-۲- ساخت نانوکامپوزیت‌های اپوکسی حاوی نانوتسمه‌های گرافین

۵۸۸.....	۱۱-۸-۳- خواص کششی نانوکامپوزیتهای اپوکسی / نانوتسمههای گرافین
۵۹۱.....	۱۱-۸-۴- نانوتسمههای گرافین در برابر نانولولههای کربن چندجداره
۵۹۲.....	۱۱-۸-۵- مدل هالپین-تسای: مقایسه مدول الاستیک نانوتسمهها در برابر نانولولهها
۵۹۴.....	۱۱-۹-۹- نانوکامپوزیتهای اپوکسی/فولرین
۵۹۵.....	۱۱-۹-۱- ساخت نانوکامپوزیتهای اپوکسی حاوی نانوذرات فولرین
۵۹۵.....	۱۱-۹-۲- خواص کششی نانوکامپوزیتهای اپوکسی / فولرین
۵۹۷.....	۱۱-۹-۳- مقاومت به شکست و خستگی در نانوکامپوزیتهای اپوکسی / فولرین
۵۹۸.....	۱۱-۱۰- نتیجه گیری
۶۰۰.....	منابع ..