

بسم الله الرحمن الرحيم

طراحی، سازه‌ت و مونتاژ سازه‌های کامپوزیتی

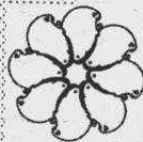
تألیف و ترجمه:

دکتر کرامت ملک‌زاده فرد

(استاد مجتمع هوافضا دانشگاه صنعتی مالک اشتر)

مهندس مهدی خواجه‌دهی کاونرودی

(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)



انتشارات شبازی



سرشناسه : ملک‌زاده فرد، کرامت، ۱۳۴۷ -
 عنوان و نام پدیدآور : طراحی، ساخت و مونتاژ سازه‌های کامپوزیتی / مولفین کرامت ملک‌زاده فرد، مهدی خواجه‌دهی کاونرودی.
 مشخصات نشر : تهران: انتشارات شهبازی، ۱۳۹۶.
 مشخصات ظاهری : ۱۰۴۴ ص: مصور، جدول، نمودار: ۲۹×۲۲ س.م.
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۸۱۵۵-۲۹-۴ : ۷۸۰۰۰۰ ریال
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا
 موضوع : مواد چندسازه -- طرح و ساختمان Composite materials-- Design and construction
 موضوع : مواد چندسازه Composite materials
 شناسه افزوده : خواجه‌دهی کاونرودی، مهدی، ۱۳۶۹ -
 رده بندی کنگره : ۴۱۸/۹/چ۹م۷ ۱۳۹۶ TA
 رده بندی دیویی : ۶۲۰/۱۱۸
 شماره کتابشناسی ملی : ۴۸۸۰۰۶۷

عنوان کتاب: طراحی، ساخت و مونتاژ سازه‌های کامپوزیتی
 مؤلفین: دکتر کرامت ملک‌زاده فرد، مهندس مهدی خواجه‌دهی کاونرودی
 ناشر: انتشارات شهبازی
 مدیر مسئول انتشارات: جواد شهبازی گرمی
 ناظر فنی: سید حمید سجادی
 حروفچینی و صفحه آرایی: قاسمی (رها)
 طراحی جلد: مجتبی فرهادی
 چاپ و صحافی: چاپ گنجینه نگار
 نوبت چاپ: اول ۱۳۹۶
 شمارگان: ۵۰۰
 قیمت: ۷۸۰۰۰۰ ریال
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۱۵۵-۲۹-۴ ISBN: 978-610-8155-29-4

تلفن: ۴۴۱۳۸۶۴۴ همراه: ۰۹۱۲۱۸۳۴۱۴۴

ایمیل: ShahbaziPub@gmail.com وب سایت: WWW.ShahbaziPub.ir

نماینده‌ی فروش تهران: پخش علوم پویا، میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت (منیری جاوید)، نیش کوچه نوروز، 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:

کامپوزیت‌های پیشرفته با عملکرد بالا از چندین جهت منحصر به فرد می‌باشند. توسط این کامپوزیت‌ها، می‌توان روند کلی طراحی و ساخت یک قطعه را پیش از ساخته شدن حقیقی آن قطعه انجام داد. ما کامپوزیت مورد نظر را با انتخاب صحیح اجزای ماده طراحی می‌کنیم تا نیازهای ویژه محصول را برآورده کرده و عملکرد قطعه را از طریق ابزارهای تحلیلی در محیط پیش‌بینی شده برای آن، از پیش بسنجیم. همچنین می‌توانیم روند ساخت را بعد از طراحی قطعه، طراحی کنیم. این روند طراحی و ساخت علاوه بر برآورد کردن الزامات کاربردی قطعه، احتمال شکست را به حداقل رسانده و نیاز به آزمایش را نیز کاهش می‌دهد. به همین علت، کامپوزیت‌های پیشرفته به‌طور گسترده‌ای در ساخت هواپیماها بکار می‌روند. هرچند که استفاده از آن‌ها در قسمت‌های دیگر، از قبیل ماشین ابزار، به این دلیل که قطعات به‌درستی در جهت به حداکثر رساندن عملکردشان طراحی نشده‌اند، محدود شده است. اما در ازای آن، هزینه بالای قطعات کامپوزیت به‌عنوان دلیل عدم استفاده از کامپوزیت‌های پیشرفته عنوان شده است.

هدف این کتاب ارائه یک رویکرد تلفیقی برای طراحی و ساخت محصولات با استفاده از کامپوزیت‌های پیشرفته است. این رویکرد نشان می‌دهد که چگونه رفتار اواکامپوزیت‌ها و روابط تشکیل دهنده آن‌ها می‌توانند در حین مرحله طراحی با یکدیگر ترکیب شوند که این ترکیب، پیچیدگی در ساخت قطعات کامپوزیت را به حداقل رسانده و سیکل تکراری «طراحی-ساخت-آزمایش» را کاهش می‌دهد. «طراحی صحیح برای بار اول»، رفتار پذیری شرکت، اعتبار بخش مربوطه، توانمندی روند ساخت و درنهایت هزینه و زمان تولید قطعات کامپوزیت را تعیین خواهد کرد. علاوه بر این راهکار باید استفاده از قطعات کامپوزیت پیشرفته را در زمینه‌هایی که در حال حاضر از کامپوزیت‌ها به‌طور محدود استفاده می‌کنند، افزایش دهد. برای دستیابی به این اهداف، این کتاب روش طراحی و ساخت قطعات کامپوزیتی جدیدی را که برای ماشین ابزار و سایر کاربردها استفاده شده‌اند، ارائه می‌دهد.

اگرچه کتاب‌هایی وجود دارند که موضوعات گوناگونی در کتاب حاضر مورد بررسی قرار گرفته‌اند- مواد کامپوزیتی، ساختارهای کامپوزیتی، علم مکانیک، ساخت کامپوزیت‌ها، طراحی اصولگرا- را به صورت جداگانه پوشش می‌دهند، اما هنوز یادگیری در مورد طراحی و ساخت قطعات کامپوزیتی پیشرفته برای اجزای ماشینی و دیگر کاربردها، برای افرادی که تاکنون وارد این زمینه نشده‌اند، دشوار است؛ زیرا کتاب‌های موجود، یک بررسی ادغامی از این موضوع چند رشته‌ای ارائه می‌دهند. این امر ممکن است یکی از دلایل عدم استفاده گسترده از کامپوزیت‌ها در زمینه‌هایی که می‌توانند از به کارگیری کامپوزیت‌های پیشرفته بهره‌مند شوند، باشد. در طراحی و مهندسی سنتی، طراحان قطعه برای طراحی از اطلاعات چاپ شده روی قسمت و ویژگی‌های ماده و روابط میان ساختار و ویژگی استفاده می‌کنند. این تصور که خود ساختار را می‌توان از ابتدا برای هر کاربرد مجزا طراحی نموده و ساخت، بخشی از فرهنگ مهندسی رایج امروز نیست. همچنین، این تصور که طراحی و ساخت این قطعات باید با الزامات کاربردی آغاز شود تا قطعات فیزیکی، غالب عمل نمایی.

مواد کامپوزیت‌های پیشرفته، «سه قابلیت بالا» را دارند: سختی ویژه بالا، مقاومت ویژه بالا و میرایی بالا، که از ویژگی‌های مطلوب در علم مکانیک و سازه‌ها هستند. برای استفاده از کامپوزیت‌ها در کاربردهای ذکر شده، طراحی آن‌ها باید منطقی و با توجه به کارایی مورد نیاز و ویژگی‌های اساسی آن‌ها و همچنین قوانین حاکم و شیوه‌های ساخت باشد. علیرغم اهمیت ارتباط سه جانبه میان طراحی، ساخت و ویژگی‌های مواد، بسیاری از کتاب‌ها و مقالات تنها به علم مکانیک، ویژگی‌ها و نحوه تولید کامپوزیت‌ها پرداخته‌اند و اشاره‌ای به طراحی قطعات کامپوزیتی نکرده‌اند. قبلاً در مرحله ایجاد مواد کامپوزیتی، نیاز به تعیین ویژگی‌های مواد و شیوه‌های تولید، به‌طور طبیعی زمینه کامپوزیت‌ها را در اختیار می‌گرفت. اکنون، پس از چهار دهه استفاده از کامپوزیت‌ها، پیشرفت‌های قابل توجهی در تولید و درک روابط میان ساختار و ویژگی به وجود آمده‌اند. این پایه از دانش، برای در اختیار گرفتن پتانسیل عظیم کامپوزیت‌های پیشرفته، نیازمند ترکیب

شدن با شیوه‌های منطقی طراحی است که در این کتاب شرح داده می‌شوند. شیوه طراحی اتخاذ شده در این کتاب، تئوری طراحی اصولگرا می‌باشد.

کتاب حاضر شامل دو بخش است. بخش اول (فصل‌های ۱ تا ۱۵)، مواد اصلی برای طراحی اصولگرا را پوشش می‌دهند و پایه فصل‌های بعدی هستند. بخش دوم (فصل‌های ۱۶ تا ۲۰)، مباحث پیشرفته در مکانیک کامپوزیت، در ارتباط با ساخت بر پایه طراحی اصولگرا و موادی که در بخش اول آورده شدند را ارائه می‌کند. در هر فصل، ابتدا مباحث ساده و زمینه‌ای آورده شده‌اند. همچنین، برای تأکید بر تفاوت میان کامپوزیت‌ها و مواد ایزوتروپیک، گاهی در ابتدا در مورد مواد ایزوتروپیک بحث شده است.

این کتاب برای دو ترم متوالی در طراحی و ساخت سازه‌های کامپوزیت طراحی شده است. در ترم دوم، مدرسین ممکن است از نمونه‌های طراحی خود استفاده کنند یا به دانشجویان خود پروژه‌هایی در زمینه طراحی سازه‌های کامپوزیت بدهند. در فصل ۱ کتاب، مقدمه‌ای کوتاه در مورد طراحی اصولگرا آورده شده است و در فصل‌های بعدی اصول سازه‌های کامپوزیت- علم مکانیک، ساخت و اجزای کامپوزیت‌های تقویت شده توسط فیبر ارائه شده‌اند. در ابتدا مکانیک محیط پیوسته کامپوزیت‌ها بررسی می‌شوند و سپس میکرومکانیک کامپوزیت‌ها در فصل‌های بعد ارائه می‌گردند. این رویکرد نسبت به مکانیک کامپوزیت‌ها، در زمینه مسائل مهندسی در طراحی و تولید کامپوزیت‌ها، سودمند است. در این فصل‌ها، نمونه‌های طراحی بسیاری برای شرح چگونگی به‌کارگیری دانش پایه در طراحی ساختارهای کامپوزیت آورده شده‌اند. یک ویژگی ه‌حصریه در ساخت کامپوزیت، اتصال قطعات کامپوزیت است. این مبحث به‌طور کامل و با جزئیات در فصل‌های ۱۴ و ۱۷ بررسی می‌شود. طراحی و نظام‌مند قطعات کامپوزیت بر پایه طراحی اصولگرا باقی مباحث کتاب را تشکیل می‌دهند. در فصل ۱۶، مقدمه جامع‌تری ای طراحی اصولگرا ارائه می‌شود. طراحی قطعات پلیمری و کامپوزیت بر پایه طراحی اصولگرا با استفاده از شیوه طراحی و ساخت قطعات پلاستیکی ای رات‌ها، ماشین ابزار و ساختارها در صنعت خودروسازی، در فصل‌های ۱۷ تا ۲۰ آورده شده‌اند.

موضوعاتی که در فصل‌های ۱۷ تا ۲۰ کتاب ارائه شده‌اند بر اساس مقالات چاپ شده در مجلات بین‌المللی هستند که بسیاری از آن‌ها جایزه بهترین مقاله را نیز دریافت کرده‌اند. همچنین، بسیاری از این محصولات و رات‌ها، سورت تجاری در صنعت اقتباس شده‌اند.

همان‌طور که هزینه کامپوزیت‌ها با گسترش حجم آن‌ها در حال کاهش یافتن است و تکنیک‌های ساخت توسعه می‌یابند، زمینه کامپوزیت‌ها به رشد و پیشرفت خود ادامه خواهند داد. امید است که این کتاب در دهه‌های آینده، رای‌ارادی که در تلاش برای پیشرفت مهندسی در زمینه کامپوزیت پیشتاز هستند، مفید باشد.

بخش اعظم کتاب حاضر ترجمه یکی از معروفترین کتاب‌های نوشته شده توسط لی و سو با عنوان «طراحی، ساخت و مونتاژ سازه‌های کامپوزیتی به روش طراحی اصولگرا، کاربرد در رات‌ها، ماشین ابزار و اتومبیل‌ها»، در زمینه طراحی اصولگرا می‌باشد که در بسیاری از دانشگاه‌های معروف جهان تدریس می‌شود. امید است این کتاب خدمت کوچکی به جامعه علمی و صنعتی میهن اسلامی باشد. با وجود تلاشی که برای حفظ امانت در برگرداندن کتاب به فارسی رعایت شده است، احياناً ترجمه و مطالبی که توسط نویسندگان به این کتاب اضافه شده، خالی از لغزش نبوده است. لذا از کلیه همکاران گرامی، متخصصین ارجمند و دانشجویان عزیز که نکات اصلاحی را به مولفین منعکس خواهند نمود پیشاپیش تشکر و سپاسگزاری می‌نماییم و خواهشمندیم که ما را از پیشنهادات خود که راهنمای ما در اصلاح و تکمیل مطالب این کتاب خواهید بود، محروم نگردانید.

شما می‌توانید هرگونه پیشنهاد و انتقاد خود را از طریق پست الکترونیکی به آدرس 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.

کرامت ملک‌زاده فرد - مهدی خواجه‌دهی کاونرودی

پاییز ۱۳۹۶

www.ketab.ir

بخش اول: اصول

فصل اول: مقدمه‌ای بر طراحی مواد کامپوزیتی

۲۷	۱-۱- مقدمه
۲۸	۲-۱- چشم‌انداز تاریخی دنیای مواد
۳۰	۳-۱- مقدمه‌ای بر طراحی سازه‌های کامپوزیتی به روش اصولگرا
۳۰	۱-۳-۱- مفاهیم کلیدی در تئوری طراحی اصولگرا
۳۴	۲-۳-۱- نمونه‌هایی از: طراحی کامپوزیت‌ها
۳۷	۴-۱- نتایج
۳۸	مراجع

فصل دوم: مقدمه‌ای بر مواد کامپوزیتی

۳۹	۱-۲- مقدمه‌ای بر کامپوزیت‌های مدرن
۴۴	۲-۲- تقویت کامپوزیت‌ها
۴۸	۱-۲-۲- فیبرهای شیشه‌ای
۵۰	۲-۲-۲- فیبرهای کربن و گرافیت
۵۲	۳-۲-۲- فیبرهای برون
۵۲	۴-۲-۲- فیبرهای سرامیکی
۵۳	۵-۲-۲- فیبرهای ارگانیک
۵۴	۳-۲-۲- ماتریس‌ها
۵۶	۱-۳-۲- پلیمرهای قابل سخت شدن در مقابل حرارت (ترموست‌ها)
۶۲	۲-۳-۲- ترموپلاستیک‌ها
۶۳	۳-۳-۲- فلزات
۶۳	۴-۳-۲- مواد ماتریسی سرامیکی
۶۳	۴-۲- اثر متقابل تقویت کننده ماتریس
۶۴	۱-۴-۲- مرطوب کردن ماتریس و تبدیل آن به فیبرها
۶۶	۵-۲- مرطوب سازی ماتریس پلیمری و تبدیل آن به فیبرهای تقویت کننده

۶۶	۱-۵-۲- پیش آغشته‌ها
۶۶	۲-۵-۲- ترکیب قالب‌زنی ورقه‌ای (SMC)
۷۱	۶-۲- خواص مواد کامپوزیتی خاص
۷۱	۱-۶-۲- کسرهای فیبر و منفذ
۷۱	۲-۶-۲- خواص تقریبی مواد کامپوزیت
۷۶	۳-۶-۲- خواص کامپوزیتی
۷۶	۷-۲- مزایا و معایب مواد کامپوزیتی
۷۹	۸-۲- نگاهی کلی بر روش‌ها، تولید کامپوزیت
۷۹	۱-۸-۲- قالب رنی، فشار
۸۰	۲-۸-۲- روش خالی‌کردن، بسته‌بندی، اتوکلاو
۸۲	۳-۸-۲- رشته سیم‌پیچ
۸۴	۴-۸-۲- پالترژن
۸۵	۵-۸-۲- قالب‌زنی کامپوزیت مایع
۹۱	۹-۲- نتایج
۹۱	مسئله‌ها
۹۳	مراجع
فصل سوم: کامپوزیت‌های زمینه سرامیک	
۹۵	۱-۳- مقدمه
۹۵	۲-۳- مواد زمینه
۹۶	۱-۲-۳- مواد زمینه با سرامیک غیر اکسیدی
۹۶	۱-۱-۲-۳- کاربید سیلیسیم SiC
۹۷	۲-۱-۲-۳- نیتريد سیلیسیم Si_3N_4
۹۷	۳-۱-۲-۳- نیتريد بور BN
۹۷	۴-۱-۲-۳- کاربید بور B_4C
۹۷	۲-۲-۳- مواد زمینه با سرامیک اکسیدی
۹۷	۱-۲-۲-۳- آلومینا Al_2O_3
۹۷	۲-۲-۲-۳- مولیت $3Al_2O_3, 2SiO_2$

۹۸	۳-۲-۲-۳- زیر کونیا ZrO_2
۹۸	۳-۳- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه سرامیکی
۹۹	۳-۳-۱- الیاف اکسیدی
۹۹	۳-۳-۱-۱- الیاف اکسیدی آلومینا α
۹۹	۳-۳-۲- الیاف غیر اکسیدی
۱۰۰	۳-۳-۳- الیاف بور
۱۰۲	۴-۳- چقرمگی کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی
۱۰۳	۴-۳-۱- چقرمگی و منحنی‌های R
۱۰۳	۴-۳-۲- مکانیزم‌های افزایش چقرمگی
۱۰۵	۵-۳- فرایندهای ساخت کامپوزیت زمینه سرامیکی
۱۰۵	۵-۳-۱- فرایندهای سنتی
۱۰۵	۵-۳-۲- فرایندهای جدید
۱۰۷	۵-۳-۳- فرایندهای تراوش فاز گازی
۱۱۰	۵-۳-۴- فرایندهای تراوش فاز مایع
۱۱۰	۵-۳-۴-۱- فرایند تراوش پلیمر مایع
۱۱۱	۵-۳-۴-۲- فرایند تراوش سیلیسیم مایع
۱۱۲	۵-۳-۵- روش ساخت کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی با ترکیب فرایند
۱۱۲	۶-۳- مقایسه خواص کامپوزیت زمینه سرامیکی بر اساس روش ساخت
۱۱۴	۷-۳- کاربرد کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی
۱۱۴	۸-۳- مثال‌هایی از کاربردهای کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی
۱۱۶	مراجع

فصل چهارم: کامپوزیت‌های زمینه فلزی

۱۱۷	۴-۱- مقدمه
۱۱۸	۴-۲- مواد زمینه در کامپوزیت زمینه فلزی
۱۱۸	۴-۲-۱- زمینه آلومینیوم
۱۱۸	۴-۲-۱-۱- خواص کامپوزیت زمینه آلومینیوم
۱۱۸	۴-۲-۱-۲- روش‌های ساخت کامپوزیت زمینه آلومینیوم

۱۱۸	۳-۱-۲-۴- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه آلومینیوم
۱۱۹	۲-۲-۴- زمینه منیزیم
۱۱۹	۱-۲-۲-۴- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه منیزیم
۱۱۹	۲-۲-۲-۴- خواص کامپوزیت زمینه منیزیم تقویت شده با ذرات SiC
۱۱۹	۳-۲-۲-۴- کاربرد کامپوزیت‌های زمینه منیزیمی
۱۱۹	۳-۲-۴- زمینه تیتانیوم
۱۱۹	۱-۳-۲-۴- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه تیتانیوم
۱۱۹	۲-۳-۲-۴- خواص کامپوزیت زمینه تیتانیوم
۱۲۰	۳-۳-۲-۴- کاربرد کامپوزیت‌های زمینه تیتانیوم
۱۲۰	۴-۲-۴- زمینه مس
۱۲۰	۱-۴-۲-۴- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه مس
۱۲۰	۲-۴-۲-۴- خواص کامپوزیت‌های زمینه مس
۱۲۰	۳-۴-۲-۴- کاربرد کامپوزیت‌های زمینه مس
۱۲۰	۵-۲-۴- کامپوزیت‌های زمینه سوپر آلیاژی
۱۲۱	۳-۴- تقویت کننده‌های کامپوزیت زمینه فلزی
۱۲۱	۱-۳-۴- تقویت کننده الیاف پیوسته و ناپیوسته
۱۲۲	۲-۳-۴- ویسکرها
۱۲۳	۳-۳-۴- ذرات
۱۲۳	۴-۳-۴- سیم‌ها
۱۲۴	۴-۴- فرایندهای ساخت کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۱۲۵	۱-۴-۴- پیش‌فرآیند
۱۲۵	۲-۴-۴- فرایند اولیه
۱۲۵	۳-۴-۴- فرایند ثانویه
۱۲۵	۵-۴- فرایندهای حالت جامد
۱۲۵	۱-۵-۴- اتصال دیفیوژنی
۱۲۵	۲-۵-۴- روش متالورژی پودر
۱۲۶	۳-۵-۴- روش پیچی
۱۲۶	۴-۵-۴- روش پوشش پودری

۱۲۶	۴-۵-۵- تحکیم پودر
۱۲۶	۴-۵-۶- زینتر کردن
۱۲۶	۴-۵-۷- پرس گرم
۱۲۶	۴-۵-۸- پرس سرد
۱۲۶	۴-۵-۹- پرس ایزواستاتیک گرم
۱۲۷	۴-۵-۱۰- پرس ایزواستاتیک سرد
۱۲۷	۴-۵-۱۱- نورد پودر
۱۲۷	۴-۵-۱۲- اکستروژن پودر
۱۲۷	۴-۵-۱۳- فورجینگ پود
۱۲۷	۴-۶- فرایندهای حالت مایع
۱۲۷	۴-۶-۱- درون تراوری فلز مایع
۱۲۸	۴-۶-۲- ریخته‌گری فشاری
۱۲۸	۴-۶-۳- روش هم نشست پاششی
۱۲۸	۴-۶-۴- ریخته‌گری تالاطمی
۱۲۹	۴-۶-۵- ریخته‌گری ترکیبی
۱۲۹	۴-۶-۶- فرایندهای رسوبی
۱۲۹	۴-۶-۷- فرایندهای دوفازی (جامد/ مایع)
۱۳۰	۴-۷- مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۱۳۱	مراجع

فصل پنجم: رفتار ماکرو مکانیکی در کامپوزیت‌های تک‌جهت

۱۳۳	۵-۱- مقدمه
۱۳۵	۵-۲- نام گذاری
۱۳۶	۵-۳- تنسور کارتزین و قانون کلی هوک
۱۳۸	۵-۳-۱- معادله تعادل
۱۳۹	۵-۳-۲- سازگاری هندسی
۱۴۰	۵-۳-۳- معادلات تشکیل دهنده- قانون بسط یافته هوک
۱۴۵	۵-۳-۴- ماده مونو کلینیک

۱۴۷	۵-۳-۵- مواد ارتوتروپیک
۱۴۸	۶-۳-۵- ماده ایزوتروپیک متقاطع
۱۴۹	۷-۳-۵- ماده ایزوتروپیک
۱۵۰	۸-۳-۵- خلاصه‌ای از تقارن‌ها در مواد
۱۵۱	۴-۵- ثابت‌های مهندسی مواد کامپوزیتی
۱۵۴	۵-۵- محدودیت‌های ثوابت الاستیک
۱۵۴	۱-۵-۵- مواد ایزوتروپیک
۱۵۵	۲-۵-۵- مواد ارتوتروپیک
۱۵۷	۶-۵- تبدیل تنش، کرنش، سختی و انطباق در محور Z
۱۵۷	۱-۶-۵- تبدیل تنش و کرنش
۱۶۰	۲-۶-۵- تبدیل سختی
۱۶۲	۳-۶-۵- تبدیل انطباق
۱۶۳	۷-۵- روابط تشکیل دهنده تنش صفحه‌ای
۱۶۹	۸-۵- ثابت‌های مهندسی لایه نازک
۱۷۳	۹-۵- نتایج
۱۷۴	مسئله‌ها
۱۷۷	مراجع

فصل ششم: تئوری لایه‌چینی کامپوزیتی

۱۷۹	۱-۶- مقدمه
۱۸۰	۲-۶- تئوری لمینت سازی کلاسیک
۱۸۳	۳-۶- نیروها در واحد طول
۱۸۶	۴-۶- ممان‌ها در واحد طول
۱۸۸	۵-۶- معادلات لمینت وقتی که $\Delta T = \Delta C = 0$
۱۸۹	۶-۶- لمینت متقارن تحت N وقتی که $M = \Delta T = \Delta C = 0$
۱۹۱	۱-۶-۶- لمینت متقارن متوازن تحت N وقتی که $M = \Delta T = \Delta C = 0$
۱۹۶	۲-۶-۶- لمینت شبه ایزوتروپیک تحت N وقتی که $M = \Delta T = \Delta C = 0$
۱۹۷	۷-۶- خمش خالص در لمینت‌های متقارن تحت M وقتی که $N = \Delta T = \Delta C = 0$

۲۰۱	۸-۶- خمش و کشش لمینت‌ها تحت M و N وقتی که $\Delta T = \Delta C = 0$
۲۰۲	۹-۶- خمش و کشش لمینت‌ها تحت ΔT وقتی $M = N = \Delta C = 0$
۲۰۸	۱۰-۶- خواص لمینت‌ها با توجه جهت ضخامت.....
۲۱۰	۱۱-۶- نتایج.....
۲۱۰	مسئله‌ها.....
۲۱۳	مراجع.....

فصل هفتم: سازه‌های کامپوزیتی، سازوچکی و کاربردهای آنها

۲۱۵	۱-۷- مقدمه.....
۲۱۶	۲-۷- لایه‌ها.....
۲۱۶	۱-۲-۷- تک لایه‌ها.....
۲۱۸	۲-۲-۷- چند لایه‌ها.....
۲۱۹	۳-۷- هسته (Core).....
۲۱۹	۱-۳-۷- هسته‌های گسترده (چوب‌ها).....
۲۱۹	۱-۱-۳-۷- بالسا.....
۲۲۰	۲-۱-۳-۷- بیدار.....
۲۲۰	۳-۱-۳-۷- تخته چندلایه.....
۲۲۰	۴-۷- فوم‌ها.....
۲۲۰	۱-۴-۷- فوم‌های ترموست.....
۲۲۱	۲-۴-۷- فوم‌های پی‌وی سی.....
۲۲۱	۳-۴-۷- پی‌ایم‌ای‌ها.....
۲۲۱	۴-۴-۷- اِس‌ای‌ان‌ها.....
۲۲۱	۵-۴-۷- فوم‌های ترموپلاستیک.....
۲۲۲	۵-۷- هسته‌ها.....
۲۲۲	۱-۵-۷- هسته‌های توده‌ای (لانه‌زنبوری‌ها).....
۲۲۴	۲-۵-۷- لانه‌زنبوری‌های مقوایی و کاغذی.....
۲۲۴	۳-۵-۷- لانه‌زنبوری‌های آلومینیومی.....
۲۲۴	۴-۵-۷- لانه‌زنبوری‌های ساخته شده از پلاستیک‌های تقویت شده توسط الیاف شیشه.....

۲۲۴	۵-۵-۷- لانه‌زنبوری‌های ساخته شده از پلاستیک‌های تقویت شده توسط الیاف آرامیدی
۲۲۵	۶-۵-۷- لانه‌زنبوری‌های ساخته شده از پلاستیک‌های تقویت شده توسط الیاف کربن
۲۲۵	۶-۷- مقایسه بین خواص مواد مورد استفاده در هسته
۲۲۷	۷-۷- هسته‌های با کارایی بالا و تزریق کم هزینه برای صفحات ساندویچی ساختاری
۲۲۷	۱-۷-۷- تکنولوژی صفحه ساندویچی FRC
۲۲۷	۱-۱-۷-۷- تولید هسته‌های FRC با ساختار لوله‌ای
۲۲۸	۲-۱-۷-۷- قالب‌گیری صفحه ساندویچی FRC
۲۲۹	۳-۱-۷-۷- توسعه‌ها، تکنولوژی صفحه ساندویچی FRC اضافی
۲۲۹	۲-۷-۷- کارایی ساختاری طرح‌های استاندارد
۲۲۹	۱-۲-۷-۷- طرح‌های ساخته شده
۲۲۹	۲-۲-۷-۷- مقایسات خصوصیات
۲۳۱	۳-۲-۷-۷- مقاومت در برابر آسیب ضربه
۲۳۱	۴-۲-۷-۷- اثر وزن فیبر
۲۳۲	۳-۷-۷- روش شناسی طراحی صفحه ساندویچی FRC
۲۳۴	۸-۷- نحوه جاگذاری‌ها در سازه‌های ساندویچ پنل
۲۳۴	۱-۸-۷- انواع جاگذاری
۲۳۵	۲-۸-۷- حالت فنی در مدل‌سازی صفحات ساندویچی
۲۳۵	۳-۸-۷- مدل‌سازی ساختاری و حل معادلات میدان
۲۳۵	۱-۳-۸-۷- تعریف‌های مدل
۲۳۶	۲-۳-۸-۷- مدل‌سازی ماده هسته
۲۳۶	۳-۳-۸-۷- مدل‌سازی صفحات سطحی
۲۳۶	۴-۳-۸-۷- مشتق‌گیری مجموعه کامل معادلات حاکم
۲۳۷	۵-۳-۸-۷- تعیین شرایط کرانی
۲۳۷	۶-۳-۸-۷- جاگذاری‌های کاملاً جاسازی شده
۲۳۸	۷-۳-۸-۷- روش راه‌حل عددی
۲۴۱	۹-۷- تست خستگی در ساندویچ پنل‌ها
۲۴۱	۱-۹-۷- مقدمه
۲۴۲	۲-۹-۷- مواد و تکنیک‌های آزمایشی

۲۴۲	۷-۹-۳- نتایج و توضیح
۲۴۳	۷-۱۰- کاربرد ساندویچ پنلها در صنایع هوایی
۲۴۳	۷-۱۰-۱- مواد مرکب لایه‌ای الیافی بکار گرفته شده
۲۴۵	۷-۱۰-۲- هواپیماهای نظامی
۲۴۷	۷-۱۰-۳- هواپیماهای مسافربری
۲۵۰	۷-۱۰-۴- مواد مرکب ساندویچی بکار گرفته شده در ساختمان هواپیما
۲۵۵	مراجع

فصل هشتم: معیارهای شکست در مواد کامپوزیتی

۲۵۷	۸-۱- مقدمه
۲۵۸	۸-۲- تنش‌های لایه‌ای
۲۶۰	۸-۳- تنش‌های لمینت کامپوزیتی در اطراف یک حفره
۲۶۴	۸-۴- معیارهای شکست در مواد کامپوزیتی
۲۶۴	۸-۴-۱- معیار حداکثر تنش
۲۶۹	۸-۴-۲- معیار حداکثر کرنش
۲۷۱	۸-۴-۳- معیار تسای هیل
۲۷۳	۸-۴-۴- معیار شکست تنسور تسای وو
۲۷۵	۸-۴-۵- قابلیت اجرای تئوری‌های شکست
۲۷۷	۸-۵- شکست جدا شدن لایه‌ها در اثر تنش‌های میان لایه‌ای
۲۷۷	۸-۵-۱- تنش میان لایه‌ای
۲۸۴	۸-۵-۲- شکست جدا شدن لایه‌ها
۲۸۸	۸-۶- شکست در اثر ترک
۲۸۹	۸-۶-۱- رویکرد شدت تنش
۲۹۴	۸-۶-۲- معیارهای شکست ویتنی نویرمر برای کامپوزیت‌های ترک خورده
۳۰۰	۸-۶-۴- ترک میان لایه‌ای
۳۰۲	۸-۷- نتایج
۳۰۲	مسئله‌ها
۳۰۶	مراجع

فصل نهم: رفتار تیرها و صفحات لمینت شده کامپوزیتی

۳۰۹	۱-۹- مقدمه
۳۰۹	۲-۹- معادله تعادل
۳۱۴	۳-۹- معادله تشکیل دهنده برای تئوری لمینت سازی کلاسیک
۳۱۶	۴-۹- شرایط مرزی برای تئوری لمینت سازی کلاسیک
۳۱۶	۱-۴-۹- لبه دارای تکیه‌گاه ساده
۳۱۶	۲-۴-۹- لبه نگه داشته شده
۳۱۷	۳-۴-۹- لبه آزاد
۳۱۷	۵-۹- راه حل‌های تئوری لمینت سازی کلاسیک
۳۱۷	۱-۵-۹- راه حل ناویر برای صفحات مستطیلی
۳۱۹	۲-۵-۹- راه حل لوی برای صفحات مستطیلی
۳۲۲	۶-۹- کماتش صفحات مستطیلی دارای تکیه‌گاه ساده - فشار واحد
۳۲۳	۷-۹- ارتعاشات آزاد در صفحات متقارن مستطیلی کمره ۴ ساده
۳۲۴	۸-۹- تحلیل لمینت‌های کامپوزیتی با تغییر شکل برشی عرضی
۳۲۴	۱-۸-۹- فاکتور اصلاح برشی
۳۲۵	۲-۸-۹- تحلیل استاتیک لمینت‌های کامپوزیتی با تغییر شکل برشی عرضی
۳۲۷	۳-۸-۹- تحلیل دینامیکی لمینت‌های کامپوزیتی با تغییر شکل برشی عرضی
۳۲۸	۹-۹- ارتعاشات اجباری یک لمینت کامپوزیتی در معرض یک نیروی عرضی دینامیکی
۳۲۸	۱-۹-۹- واکنش دینامیکی یک جرم
۳۳۱	۲-۹-۹- واکنش دینامیکی یک لمینت کامپوزیتی تحت یک نیروی دینامیکی عرضی
۳۳۲	۱۰-۹- خمش صفحات لمینت مستطیلی گیردار
۳۳۲	۱-۱۰-۹- متد ریتز
۳۳۹	۱۱-۹- رفتار سازه‌های ساندویچی
۳۳۹	۱-۱۱-۹- ماتریس‌های سختی برای سازه‌های ساندویچی
۳۴۳	۲-۱۱-۹- صفحه ساندویچی روی یک پایه الاستیک
۳۴۵	۱۲-۹- سازه‌ها (تیرهای) تک پدیی از مواد کامپوزیتی
۳۴۷	۱-۱۲-۹- تیرهای باریک

۳۵۰	۹-۱۲-۲- تیرهای عریض
۳۵۳	۹-۱۲-۳- تیرهای کامپوزیتی جعبه‌ای
۳۵۸	۹-۱۳- نتایج
۳۵۸	مسئله‌ها
۳۶۱	مراجع

فصل دهم: تئوری و استخراج معادلات حاکم بر صفحات و پوسته‌ها

۳۶۳	۱۰-۱- مقدمه
۳۶۳	۱۰-۲- تئوری‌های تک‌لایه‌ای معادل
۳۶۳	۱۰-۲-۱- تئوری کلاسیک ورق‌ها
۳۶۴	۱۰-۲-۲- تئوری مرتبه اول برشی (FSR)
۳۶۵	۱۰-۲-۳- تئوری برشی مرتبه اول Love
۳۶۷	۱۰-۲-۴- تئوری برشی مرتبه اول Donnell
۳۶۸	۱۰-۲-۵- تئوری مرتبه سوم برشی (Reissner)
۳۶۹	۱۰-۱-۶- تئوری کانت
۳۷۱	۱۰-۳- تئوری مرتبه اول زیگ زاک
۳۷۸	۱۰-۴- تئوری Layerwise
۳۷۹	۱۰-۴-۱- میدان جابجایی
۳۸۲	۱۰-۵- استخراج معادلات حاکم بر پوسته‌ها، ورق‌ها و تیرهای کامپوزیتی
۳۸۲	۱۰-۵-۱- پوسته‌های کامپوزیتی دو انحنایی
۴۲۴	۱۰-۵-۲- پوسته‌های کامپوزیتی یک انحنایی
۴۲۶	۱۰-۵-۳- پوسته‌های کامپوزیتی استوانه‌ای
۴۴۹	۱۰-۵-۴- پوسته‌های مخروطی کامپوزیتی
۴۵۱	۱۰-۵-۵- ورق‌های کامپوزیتی
۴۵۳	۱۰-۵-۶- تیرهای کامپوزیتی
۴۵۵	۱۰-۶- نتیجه‌گیری کلی
۴۵۵	۱۰-۷- پرسش
۴۵۵	مسئله‌ها

مراجع ۴۵۷

فصل یازدهم: تئوری باوا استخراج معادلات حاکم بر سازه های ساندویچی

۱-۱-۱- مقدمه.....	۴۶۱
۲-۱-۱- تئوری مرتبه بالای سازه های ساندویچی (تئوری Frostig).....	۴۶۱
۱-۲-۱-۱- مدل اول فروستینگ.....	۴۶۲
۲-۲-۱-۱- مدل دوم فروستینگ.....	۴۶۳
۳-۱-۱- استخراج معادلات حاکم بر سازه های ساندویچی.....	۴۶۵
۱-۳-۱-۱- پیل ساندویچی دو انحنایی.....	۴۶۵
۲-۳-۱-۱- پیل ساندویچی یک انحنایی.....	۵۰۵
۳-۳-۱-۱- پیل های ساندویچی با توانهای مختلف.....	۵۲۶
۴-۳-۱-۱- صفحات ساندویچی.....	۵۴۱
۵-۳-۱-۱- تیرهای ساندویچی.....	۵۴۸
۴-۱-۱- استخراج معادلات حرکت ورق ساندویچی با استفاده از معادلات حاکم بر سازه های ساندویچی.....	۵۵۷
۱-۴-۱-۱- مقدمه.....	۵۵۷
۲-۴-۱-۱- استخراج معادلات حرکت.....	۵۵۷
۳-۴-۱-۱- مدل کردن میرایی سازه های در معادلات سازه.....	۵۶۶
۴-۴-۱-۱- محاسبه سهم نیروهای اولیه صفحه ای خارجی وارد شده روی رویه های بالایی و پایینی.....	۵۶۷
۵-۱-۱- استخراج معادلات حرکت ورق ساندویچی با هسته انعطاف پذیر از جنس روغن هوشمند MR.....	۵۷۰
۱-۵-۱-۱- مقدمه.....	۵۷۰
۲-۵-۱-۱- روابط پایه ای.....	۵۷۱
۳-۵-۱-۱- استخراج روابط.....	۵۷۵
۶-۱-۱- استخراج معادلات حرکت ورق ساندویچی با لایه های MR در رویه ها و هسته انعطاف پذیر.....	۵۷۷
۱-۶-۱-۱- هندسه ورق ساندویچی.....	۵۷۷
۲-۶-۱-۱- روابط مولفه های تغییر مکان و کرنش رویه های کامپوزیتی.....	۵۷۸
۳-۶-۱-۱- روابط مولفه های تغییر مکان و کرنش هسته.....	۵۷۸
۴-۶-۱-۱- شرایط سازگاری.....	۵۷۹

۵۸۰	۱۱-۶-۵- روابط تنش - کرنش لایه روغن هوشمند.....
۵۸۲	۱۱-۶-۶- بدست آوردن معادلات حاکم با استفاده از روش انرژی و اصل همپلتون.....
۵۹۲	۱۱-۶-۷- روابط بنیادی نیرو در رویه‌ها.....
۵۹۳	۱۱-۶-۸- روابط بنیانی نیروها در هسته.....
۵۹۵	۱۱-۷- نتیجه‌گیری کلی.....
۵۹۵	پرسش.....
۵۹۶	مسائل.....
۵۹۷	مراجع.....

فصل دوازدهم: میکرو مکانیک برای مواد کامپوزیتی

۶۰۳	۱۲-۱- مقدمه.....
۶۰۴	۱۲-۲- توزیعات احتمال.....
۶۰۷	۱۲-۲-۱- توزیع گاوسی (نرمال).....
۶۰۷	۱۲-۲-۲- توزیع وایبل.....
۶۱۵	۱۲-۳- انتقال نیرو بین فیبرها.....
۶۱۵	۱۲-۳-۱- مدل کاکس.....
۶۲۱	۱۲-۳-۲- مدل کلی- تاپسون.....
۶۲۳	۱۲-۴- مدل‌های مقاومت.....
۶۲۳	۱۲-۴-۱- مقاومت کششی طولی.....
۶۲۴	۱۲-۴-۲- مقاومت فشاری طولی.....
۶۳۲	۱۲-۵- معادله هالپین- تسای.....
۶۳۳	۱۲-۶- کامپوزیت‌های فیبری ناپیوسته قرار گرفته به صورت تصادفی.....
۶۳۳	۱۲-۷- کامپوزیت‌های فیبری پیوسته قرار گرفته به صورت تصادفی.....
۶۳۴	۱۲-۸- نتایج.....
۶۳۴	مسئله‌ها.....
۶۳۷	مراجع.....

فصل سیزدهم: پدیده‌های انتقال در مواد کامپوزیتی

۶۳۹	۱۳-۱- مقدمه.....
-----	------------------

۶۴۰	۲-۱۳- جریان رزین از طریق بستر فیبر
۶۴۰	۱-۲-۱۳- تقویت فیبر
۶۴۶	۲-۲-۱۳- فرآیند بهبود رزین
۶۴۹	۳-۲-۱۳- رسانش دمایی کامپوزیت
۶۵۳	۳-۱۳- نظارت بهبود در حین پردازش مواد کامپوزیتی
۶۵۹	۴-۱۳- هدایت گرما و انتشار رطوبت در مواد کامپوزیتی
۶۶۲	۵-۱۳- فرآیندهای قالب‌زنی کامپوزیت مایع (LCM)
۶۶۴	۱-۵-۱۳- جریان رزین و مل‌های بهبود در حین قالب‌ریزی کامپوزیت مایع
۶۶۷	۶-۱۳- قالب‌زنی با فشار
۶۷۳	۷-۱۳- فرآیند قالب‌زنی پیوسته
۶۷۳	۱-۷-۱۳- فرآیند رشته سیم‌پیچ
۶۷۷	۲-۷-۱۳- فرآیند پالتروژن
۶۸۰	۸-۱۳- قالب‌ریزی اتوکلاو با چرخه‌های خنک کردن و گرم کردن مجدد
۶۸۰	۱-۸-۱۳- مرحله خنک کردن
۶۸۲	۲-۸-۱۳- مرحله گرم کردن مجدد
۶۸۵	۹-۱۳- نتایج
۶۸۶	مسئله‌ها
۶۸۷	مراجع

فصل چهاردهم: ماشین‌کاری و اتصال مواد کامپوزیتی

۶۸۹	۱-۱۴- مقدمه
۶۹۰	۲-۱۴- ماشین‌کاری مواد کامپوزیتی
۶۹۰	۱-۲-۱۴- برشکاری
۶۹۰	۲-۲-۱۴- تراشکاری
۶۹۱	۳-۲-۱۴- مته‌زنی
۶۹۲	۴-۲-۱۴- سنگ‌زنی
۶۹۵	۵-۲-۱۴- ماشین‌کاری ویژه مواد کامپوزیتی
۶۹۸	۳-۱۴- اتصال مکانیکی

۷۰۰	۱۴-۳-۱- طراحی اتصال دهنده
۷۰۳	۱۴-۳-۲- طراحی عضو کامپوزیتی
۷۰۴	۱۴-۴- اتصال چسبنده
۷۰۵	۱۴-۴-۱- خواص ماده چسبنده
۷۰۶	۱۴-۴-۲- بتونه‌ها
۷۰۶	۱۴-۴-۳- معادله سازنده چسبنده
۷۰۹	۱۴-۴-۴- رفتار اتصال تک لپه لوله مانند تحت گشتاور
۷۱۹	۱۴-۴-۵- اثرات ضخامت ماده چسبنده
۷۲۵	۱۴-۴-۶- رفتار اتصال د لپه استوانه‌ای تحت گشتاور
۷۲۵	۱۴-۴-۷- رفتار اتصال د لپه تحت بار گشتاور
۷۲۸	۱۴-۴-۸- رفتار سطحی برای اتصال چسبنده
۷۵۱	۱۴-۵- نتایج
۷۵۱	مسئله‌ها
۷۵۳	مراجع

فصل پانزدهم: عملکردهای دینامیکی و مخش در مواد کامپوزیتی

۷۵۵	۱۵-۱- مقدمه
۷۵۶	۱۵-۲- ویژگی‌های ضربه در سازه‌های کامپوزیتی
۷۵۶	۱۵-۲-۱- انتشار موج در اثر ضربه
۷۵۸	۱۵-۲-۲- ضربه با سرعت کم در ماده ایزوتروپیک
۷۶۱	۱۵-۲-۳- ضربه کم سرعت روی ماده غیر ایزوتروپیک
۷۶۴	۱۵-۲-۴- اثرات انعطاف‌پذیری هدف روی واکنش ضربه
۷۶۶	۱۵-۲-۵- تنش‌های داخلی ایجاد شده توسط فشار ضربه
۷۶۷	۱۵-۲-۶- متدهای تست ضربه
۷۷۳	۱۵-۲-۷- مکانیزم جذب انرژی ضربه
۷۷۸	۱۵-۲-۸- ویژگی‌های جذب انرژی ضربه در مواد کامپوزیتی
۷۸۱	۱۵-۳- ویژگی‌های خستگی مواد کامپوزیتی
۷۸۲	۱۵-۳-۱- مد کنترل خستگی

۷۸۳	 ۱۵-۳-۲- رشد ترک خستگی
۷۸۵	 ۱۵-۳-۳- عملکرد خستگی در کامپوزیت‌ها
۷۹۳	 ۱۵-۳-۴- مکانیزم‌های آسیب خستگی
۷۹۶	 ۱۵-۳-۵- نمودارهای عمر خستگی
۸۰۱	 ۱۵-۳-۶- عملکرد تحت شرایط گرم و مرطوب (دمایی- رطوبتی)
۸۰۳	 ۱۵-۴- نتایج
۸۰۳	 مسئله‌ها
۸۰۵	 مراجع

بخش دوم: کاربرد

فصل شانزدهم: اصول طراحی اصولگرا

۸۰۷	 ۱۶-۱- مقدمه
۸۰۷	 ۱۶-۲- وضعیت فعلی عملیات طراحی
۸۰۸	 ۱۶-۳- طراحی چیست؟
۸۰۹	 ۱۶-۳-۱- تعریف طراحی
۸۱۱	 ۱۶-۴- هدف نهایی طراحی اصولگرا
۸۱۲	 ۱۶-۵- چارچوب طراحی اصولگرا
۸۱۲	 ۱۶-۵-۱- مفهوم حوزه‌ها
۸۱۳	 ۱۶-۵-۲- تعاریف
۸۱۴	 ۱۶-۵-۳- نگاشت و اصول
۸۱۵	 ۱۶-۵-۴- اصل اول: اصل استقلال
۸۲۰	 ۱۶-۵-۵- طراحی ایده آل، طراحی اضافه، و طراحی کوپل شده، ماده‌ای با تعداد نسبی از FRs و DPs
۸۲۱	 ۱۶-۵-۶- مثال شامل جداسازی طراحی‌های کوپل شده
۸۲۴	 ۱۶-۵-۷- تجزیه، ماریج رفتن و سلسله‌مراتب
۸۲۶	 ۱۶-۵-۸- الزامات مهندسی همزمان
۸۲۷	 ۱۶-۵-۹- اصل دوم: اصل اطلاعات
۸۳۳	 ۱۶-۵-۱۰- کاهش محتوای اطلاعات: طراحی قوی
۸۳۷	 ۱۶-۵-۱۱- کاهش محتوای اطلاعات از طریق ادغام DPs

۸۳۷	۱۶-۶- قدرت تحمل مجاز در طراحی با چند FR
۸۳۹	۱۶-۷- پیچیدگی و طراحی اصولگرا
۸۳۹	۱۶-۸- نتایج
۸۴۰	مسئله‌ها
۸۴۱	پیوست: نتایج فرعی و قضیه‌ها
۸۴۱	نتایج فرعی
۸۴۲	قضایای طراحی کلی
۸۴۵	مراجع

فصل هفتم: طراحی اصولگرا و تکنیک‌های پردازش مواد

۸۴۷	۱۷-۱- مقدمه
۸۴۸	۱۷-۲- پلاستیک میکروسلولی
۸۴۸	۱۷-۲-۱- مقدمه‌ای بر پلاستیک‌های میکروسلولی
۸۵۰	۱۷-۲-۲- طراحی یک فرآیند دسته‌ای
۸۵۱	۱۷-۲-۳- طراحی فرآیند پیوسته
۸۶۴	۱۷-۲-۴- مزایای پلاستیک‌های میکروسلولی
۸۶۵	۱۷-۳- کامپوزیت‌های سبک SMC
۸۶۷	۱۷-۴- فرآیندهای ساخت لایه‌ای برای نمونه‌سازی سریع
۸۶۷	۱۷-۴-۱- طراحی فرآیند ساخت لایه‌ای
۸۶۹	۱۷-۴-۲- محتوای اطلاعات فرآیند ساخت لایه‌ای
۸۶۹	۱۷-۵- فرآیند قالب‌زنی فوم USM
۸۶۹	۱۷-۵-۱- بیان مسئله
۸۷۰	۱۷-۵-۲- راه‌حل
۸۷۳	۱۷-۶- نتایج
۸۷۳	مسئله‌ها
۸۷۵	مراجع

فصل هشتم: طراحی اصولگرای سازه‌های ربانی کامپوزیتی

۸۷۷	۱۸-۱- مقدمه
-----	-------------

۸۷۸	۲-۱۸- دست‌ها و میچ‌های ربات دو بازوی کامپوزیتی برای کنترل پنل LCD
۸۷۹	۱-۲-۱۸- تعریف مسئله
۸۸۲	۲-۲-۱۸- طراحی دست‌ها و میچ‌های ربات
۸۸۶	۳-۲-۱۸- ساخت دست‌ها و میچ‌های ربات کامپوزیتی
۸۸۸	۳-۱۸- طراحی ربات محرک مستقیم کامپوزیت کربنی از نوع SCARA
۸۸۹	۱-۳-۱۸- پیگیربندی ربات محرک مستقیم نوع SCARA
۸۹۱	۲-۳-۱۸- انحراف استاتیک بازوی ربات در اثر بارگذاری در میچ
۸۹۵	۳-۳-۱۸- ابعاد ربات - لایه - بنی بهینه بازوهای ربات کامپوزیتی فیبر کربن
۸۹۷	۴-۳-۱۸- ساخت ربات
۹۰۱	۵-۳-۱۸- عملکرد دینامیک، استاتیکی سازه‌های ربات
۹۰۲	۴-۱۸- ربات کامپوزیتی انسان‌نما
۹۰۲	۱-۴-۱۸- مشخصات ربات
۹۰۵	۲-۴-۱۸- انحراف بازوی ربات توسط نیروهای استاتیکی
۹۰۸	۳-۴-۱۸- خواص کامپوزیت اپوکسی فیبر کربن
۹۰۹	۴-۴-۱۸- طراحی و ساخت بازوی کامپوزیتی
۹۰۹	۵-۴-۱۸- طراحی و ساخت شفت‌های انتقال کامپوزیتی
۹۱۱	۶-۴-۱۸- طراحی و ساخت اتصالات
۹۱۲	۷-۴-۱۸- مقایسه‌های ساعد کامپوزیتی و ساعد فولادی
۹۱۴	۵-۱۸- کامپوزیت نوار باریک انعطاف‌پذیر برای یک محرک هارمونیک
۹۱۸	۱-۵-۱۸- طراحی و ساخت نوار باریک انعطاف‌پذیر
۹۲۶	۶-۱۸- نتایج
۹۲۸	نکته
۹۲۹	مراجع

فصل نوزدهم: طراحی اصولگرایی سازه‌های ماشین ابزار کامپوزیتی

۹۳۱	۱-۱۹- مقدمه
۹۳۳	۲-۱۹- سیستم کامپوزیتی اسپیندل یاتاقان هوایی
۹۳۴	۱-۲-۱۹- ویژگی‌های عملیاتی یاتاقان هوایی

۹۳۸	۱۹-۲-۲- ویژگی‌های ارتعاشی شفت اسپیندل کامپوزیتی فیبر کربن
۹۴۳	۱۹-۲-۳- تغییر شکل‌های شفت اسپیندل کامپوزیتی فیبر کربن
۹۴۹	۱۹-۲-۴- ابعاد شفت اسپیندل کامپوزیتی کربنی
۹۵۰	۱۹-۳- روتور کامپوزیتی برای موتورهای القایی با سرعت بالا
۹۵۱	۱۹-۳-۱- خواص اپوکسی پودر مغناطیسی
۹۵۴	۱۹-۳-۲- طراحی روتور کامپوزیتی
۹۶۱	۱۹-۳-۳- تغییر شکل روتور کامپوزیتی در اثر نیروی گریز از مرکز و افزایش دما
۹۶۲	۱۹-۳-۴- ساخت روتور کامپوزیتی
۹۶۲	۱۹-۳-۵- ویژگی‌های روتور کامپوزیتی
۹۶۶	۱۹-۴- مته چرخشی کامپوزیتی
۹۶۷	۱۹-۴-۱- طراحی مته کار و رزیت
۹۶۹	۱۹-۴-۲- ویژگی‌های دینامیکی مته کامپوزیتی
۹۷۴	۱۹-۴-۳- ساخت مته کامپوزیتی
۹۷۵	۱۹-۴-۴- تست‌های عملکرد مته کامپوزیتی
۹۷۷	۱۹-۵- سازه‌های ماشین ابزار فرز کامپوزیتی با سرعت بالا
۹۷۹	۱۹-۵-۱- طراحی فریم‌های ماشین ابزار کامپوزیتی سبک
۹۸۱	۱۹-۵-۲- ساخت سازه ماشین ابزار هیبرید
۹۸۲	۱۹-۵-۳- ویژگی‌های دینامیکی و کاهش وزن
۹۸۳	۱۹-۶- نتایج
۹۸۳	پیوست الف: چتر در برش فلز
۹۸۵	پیوست ب: تعاریف پارامترهای میرایی
۹۸۷	مراجع

فصل بیستم: طراحی اصولی قطعات کامپوزیتی خودرو و زیرساخت‌ها

۹۹۱	۲۰-۱- مقدمه
۹۹۲	۲۰-۲- میل‌گاردان کامپوزیتی تک قطعه‌ای خودرو با پیش بارگذاری محوری
۹۹۴	۲۰-۲-۱- طراحی میل‌گاردان هیبرید
۹۹۷	۲۰-۲-۲- متد حذف تنش‌های دمایی پسماند در ساخت

۱۰۰۱	.....	۳-۲-۲۰- ساخت اتصال هیبریدی
۱۰۰۲	.....	۴-۲-۲۰- نتایج تجربی
۱۰۰۲	.....	۳-۳-۲۰- طراحی تیرهای ضربه گیر کامپوزیتی برای ماشین های سواری
۱۰۰۳	.....	۱-۳-۲۰- طراحی تیرهای سپر کامپوزیتی هیبریدی
۱۰۰۳	.....	۲-۳-۲۰- تست تصادف از روبه رو در تیرهای سپر فولادی
۱۰۰۵	.....	۳-۳-۲۰- طراحی تیر سپر کامپوزیتی
۱۰۰۹	.....	۴-۳-۲۰- ساخت تیر سپر کامپوزیتی
۱۰۱۲	.....	۴-۲-۲۰- تیرهای ضربه گیر درب بغل کامپوزیتی برای ماشین های سواری
۱۰۱۲	.....	۱-۴-۲۰- طراحی تیرهای ضربه گیر کامپوزیتی
۱۰۱۹	.....	۲-۴-۲۰- طراحی اتصال کامپوزیتی
۱۰۲۶	.....	۳-۴-۲۰- تست خمشی استیک در
۱۰۲۷	.....	۵-۲۰- تعمیر لوله فاضلاب بدون حفاری با قلا ریزی انتقال رزین
۱۰۲۸	.....	۱-۵-۲۰- ایجاد فرآیند تعمیر بدون حفاری و طریق اصول طراحی
۱۰۴۰	.....	۲-۵-۲۰- کاربرد فرآیند توسعه یافته
۱۰۴۰	.....	۶-۲۰- نتایج
۱۰۴۲	.....	مراجع