

مکانیک سازه‌های کامپوزیتی

تألیف

ا. ی. کولار و جی. اس. اسپرینگر

ترجمه

مهندس میثم ربیعی - مهندس محمدحسین اکباتان

اعضا باشگاه پژوهشگران جوان واحد اراک



تابستان ۱۳۹۵

سرشناسه	: کولار، لاسلو پتر، ۱۹۲۶ - ۲۰۰۰م. Kollar J.L. Peter(Laszlo Peter)
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک سازه‌های کامپوزیتی/تألیف ال.پی. کولار و جی.اس. اسپرینگر؛ ترجمه میثم ربیعی - محمدحسین اکباتان.
مشخصات نشر	: اراک: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۶۲ ص: مصور، جنول.
فروست	: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اراک: ۳۰۴.
شابک	: 978-964-10-4120-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Mechanics of composite structures.
یادداشت	: کتابخانه
موضوع	: مؤلفان: سازه‌های مکانیکی
موضوع	: Composite material -- Mechanical properties
شناسه افزوده	: اسپرینگر، جورج اس.
شناسه افزوده	: Springer, George S.
شناسه افزوده	: ربیعی، میثم، ۱۳۶۴ - مترجم
شناسه افزوده	: اکباتان، محمدحسین، ۱۳۶۴ - مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ چ ۹/۹۵۹/۹ TA۴۱۸
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۲۸۷۹۹۷

مکانیک سازه‌های کامپوزیتی



مترجمان: میثم ربیعی - محمدحسین اکباتان

ناشر: انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی اراک

نوبت و سال چاپ: اول / ۱۳۹۵

طرح جلد: ظاهره مهرابی‌نسب

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۲۵۰۰۰۰ ریال

شابک: 978-964-10-4120-7

نشانی: اراک - میدان امام خمینی (ره) - شهرک دانشگاه آزاد اسلامی اراک

دفتر انتشارات علمی - تلفکس: ۳۴۱۳۲۲۷۰

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱. مقدمه	۱
فصل دوم- جابه‌جایی، کرنش‌ها و تنش‌ها	۵
۱-۲. روابط کرنش-جابه‌جایی	۷
۲-۲. معادلات تعادل	۱۰
۳-۲. روابط تنش کرنش	۱۲
۱-۳-۲. ماده ناهمسانگرد کلی	۱۲
۲-۳-۲. ماده مونوکلینیک	۱۵
۳-۳-۲. مواد ارتوتروپیک	۲۱
۴-۳-۲. ماده ایزوتروپیک عرض	۲۵
۵-۳-۲. ماده ایزوتروپیک	۲۷
۴-۲. شرط کرنش صفحه‌ای	۲۹
۱-۴-۲. ماده ناهمسانگرد کلی با انتهای آزاد	۳۷
۲-۴-۲. ماده مونوکلینیک با انتهای آزاد	۳۹
۳-۴-۲. ماده ارتوتروپیک، ایزوتروپیک عرضی، یا ایزوتروپیک با انتهای آزاد	۴۴
۴-۴-۲. ماده ناهمسانگرد کلی با انتهای گیردار	۴۴
۵-۴-۲. ماده مونوکلینیک با انتهای گیردار	۴۶
۶-۴-۲. ماده ارتوتروپیک، ایزوتروپیک عرضی، یا ایزوتروپیک که در انتهای گیردار هستند	۴۸
۵-۲. شرط تنش-صفحه‌ای	۴۸
۶-۲. کرنش‌ها و تنش‌های رطوبتی-حرارتی	۸۸
۱-۶-۲. شرط کرنش صفحه‌ای	۵۸
۲-۶-۲. شرط تنش صفحه‌ای	۵۹
۷-۲. شرایط مرزی	۵۹
۸-۲. شرایط پیوستگی	۶۰
۹-۲. تبدیلات تنش و کرنش	۶۱
۱-۹-۲. تبدیل تنش	۶۲
۲-۹-۲. تبدیل کرنش	۶۴
۳-۹-۲. تبدیل ماتریس‌های سختی و نرمی	۶۶
۱۰-۲. انرژی کرنشی	۶۷

۶۸.....	۱-۱-۲. روش ریتز.....
۶۹.....	۱۱-۲. خلاصه.....
۶۹.....	۱-۱۱-۲. نکاتی در رابطه با ماتریس‌های نرمی و سختی.....
۷۷.....	فصل سوم.....
۷۷.....	کامپوزیت‌های لایه‌ای.....
۷۷.....	۱-۳. نشانه قراردادی لایه‌ها.....
۸۰.....	۲-۳. ماتریسهای سختی لمینیت‌های نازک.....
۸۸.....	۱-۲-۳. مفهوم ماتریس‌های سختی $[A]$, $[B]$, و $[D]$
۹۰.....	۲-۲-۳. ماتریس‌های سختی برای لمینیت‌های انتخاب شده.....
۱۰۹.....	فصل چهارم.....
۱۰۹.....	ورق‌های نازک.....
۱۱۱.....	۱-۴. معادلات حاکم.....
۱۱۲.....	۱-۱-۴. شرایط مرزی.....
۱۱۳.....	۲-۱-۴. انرژی کرنشی.....
۱۱۴.....	۲-۴. خیز ورق‌های مستطیلی.....
۱۱۴.....	۱-۲-۴. خمش خالص و بارهای صفحه‌ای.....
۱۱۵.....	۲-۲-۴. ورق‌های بلند.....
۱۲۲.....	۳-۲-۴. ورق‌های با تکیه‌گاه ساده-چیدمان متقارن.....
۱۳۰.....	۴-۲-۴. ورق‌های با لبه‌های گیردار- ارتوتروپیک و با چیدمان متقارن.....
۱۳۶.....	۳-۴. کمانش ورق‌های مستطیلی.....
۱۳۶.....	۱-۳-۴. ورق‌های برروی تکیه‌گاه ساده- با چیدمان متقارن.....
۱۴۳.....	۲-۳-۴. ورق‌های با لبه‌های گیردار و تکیه‌گاه ساده دارای چیدمان ارتوتروپیک و متقارن.....
۱۵۱.....	۳-۳-۴. ورق با یک لبه آزاد- چیدمان متقارن و ارتوتروپیک.....
۱۵۵.....	۴-۳-۴. ورق‌هایی که از چرخش لبه‌ها در آن‌ها جلوگیری شده است- با چیدمان متقارن و ارتوتروپیک.....
۱۶۰.....	۵-۳-۴. ورق‌های بلند.....
۱۷۱.....	۴-۴. ارتعاش آزاد ورق‌های مستطیلی.....
۱۷۱.....	۱-۴-۴. ورق‌های بلند.....
۱۷۴.....	۲-۴-۴. ورق‌های روی تکیه‌گاه ساده- چیدمان متقارن.....
۱۸۰.....	۳-۴-۴. ورق با لبه‌های گیردار و تکیه‌گاه ساده- چیدمان ارتوتروپیک و متقارن.....
۱۸۲.....	۵-۴. اثرات رطوبتی حرارتی.....
۱۹۳.....	۱-۵-۴. تغییر در ضخامت به‌خاطر اثرات رطوبتی حرارتی.....

۱۹۶.....	۴-۶ ورق‌های با یک سوراخ دایره‌ای یا بیضوی
۲۰۰.....	۴-۷. تنش‌های بین لایه‌ای
۲۰۳.....	فصل پنجم
۲۰۳.....	ورق‌های ساندویچی
۲۰۴.....	۵-۱. معادلات حاکم
۲۰۷.....	۵-۱-۱. شرایط مرزی
۲۰۸.....	۵-۱-۲. انرژی کرنشی
۲۰۹.....	۵-۱-۳. ماتریس‌های سختی ورق‌های ساندویچی
۲۱۴.....	۵-۲. خیز مربوط به ورق‌های ساندویچی مستطیلی
۲۱۴.....	۵-۲-۱. ورق‌های بلند
۲۱۸.....	۵-۲-۲. ورق‌های بلند و نکیه‌گاه ساده با چیدمان لایه‌ها به صورت ارتوتروپیک و متقارن
۲۲۱.....	۵-۳. کماتش ورق‌های بلند و نکیه‌گاه مستطیلی
۲۲۱.....	۵-۳-۱. ورق‌های بلند
۲۲۴.....	۵-۳-۲. ورق‌های برروی نکیه‌گاه ساده - چیدمان ارتوتروپیک و متقارن
۲۲۸.....	۵-۳-۳. زاویه موج‌دار
۲۳۶.....	۵-۴. ارتعاش آزاد ورق‌های ساندویچی مستطیلی
۲۳۶.....	۵-۴-۱. ورق‌های بلند
۲۴۰.....	۵-۴-۲. ورق‌های با چیدمان ارتوتروپیک و متقارن برروی نکیه‌گاه ساده
۲۴۵.....	فصل ششم
۲۴۵.....	ورق‌های نازک
۲۴۵.....	۶-۱. معادلات حاکم
۲۴۸.....	۶-۱-۱. شرایط مرزی
۲۴۹.....	۶-۱-۲. ماتریس سختی
۲۵۳.....	۶-۱-۳. ماتریس نرمی
۲۵۴.....	۶-۱-۴. سختی‌های جایگزین
۲۵۵.....	۶-۲. تیرهای توپر و مستطیلی تحت خمش و بار محوری
۲۵۶.....	۶-۲-۱. جابه‌جایی‌ها - چیدمان متقارن
۲۵۸.....	۶-۲-۲. جابه‌جایی‌ها - چیدمان نامتقارن
۲۶۰.....	۶-۳. تنش‌ها و کرنش‌ها
۲۶۳.....	۶-۳-۳. تیرهای جدار نازک، مقطع باز ارتوتروپیک با مقطع عرضی متقارن تحت بار محوری و گشتاور
۲۶۳.....	۶-۳-۱. جابه‌جایی‌های تیرهای T - شکل

۳۶۷	۲-۳-۶. جابه‌جایی‌های تیرهای L-شکل
۳۷۳	۳-۳-۶. جابه‌جایی‌های تیرهای با مقطع عرضی دلخواه
۳۸۱	۴-۳-۶. تنش‌ها و کرنش‌ها
۳۹۲	۴-۶. تیرهای ارتوتروپیک جدار نازک با مقطع بسته تحت گشتاورهای خمشی و بار محوری
۳۹۸	۵-۶. پیچش تیرهای با دیواره نازک
۳۹۹	۱-۵-۶. مقطع عرض مستطیلی جدار نازک
۳۰۲	۲-۵-۶. تیرهای ارتوتروپیک با مقاطع باز
۳۰۴	۳-۵-۶. تیرهای ارتوتروپیک با مقاطع بسته-المان تنها
۳۱۳	۴-۵-۶. تیرهای ارتوتروپیک با مقاطع بسته-چند المانی (چند سلولی)
۳۱۵	۵-۵-۶. تیرهای ارتوتروپیک با مقطع باز با پیچیدگی محدود شده
۳۱۹	۶-۵-۶. تیرهای ارتوتروپیک با مقاطع بسته و با تاییدگی محدود
۳۲۰	۶-۶. تیرهای جدار نازک با چیدمان دلخواه تحت بار محوری، خمشی و پیچشی
۳۲۴	۱-۶-۶. جابه‌جایی‌های تیرهای با مقاطع باز بسته
۳۲۵	۲-۶-۶. تنش‌ها و کرنش‌ها در تیرهای با مقاطع باز بسته
۳۲۷	۳-۶-۶. مرکزوار
۳۲۸	۴-۶-۶. تاییدگی محدود شده
۳۳۲	۷-۶. تیرهای جدار نازک که به‌صورت عرضی بارگذاری شده‌اند
۳۳۴	۱-۷-۶. تیرهای با چیدمان ارتوتروپیک با مقطع عرضی متقارن
۳۳۹	۲-۷-۶. تیرهای با چیدمان دلخواه
۳۴۳	۳-۷-۶. مرکز برش
۳۴۹	۸-۶. تیرهای جدار نازک تقویت‌شده
۳۵۲	۹-۶. کماتش تیرها
۳۵۳	۱-۹-۶. تیرهای تحت بار محوری (کمانش موجی-پیچشی)
۳۵۸	۲-۹-۶. کمانش عرضی-پیچشی تیرهای ارتوتروپیک با مقطع عرضی متقارن
۳۶۳	۳-۹-۶. کمانش محلی
۳۷۰	۱۰-۹-۶. ارتعاش آزاد تیرها (ارتعاش موجی-پیچشی)
۳۷۱	۱-۱۰-۶. مقاطع عرضی با تقارن دوتایی
۳۷۳	۲-۱۰-۶. تیرهای با مقاطع عرضی متقارن
۳۷۴	۳-۱۰-۶. تیرهای با مقاطع عرضی غیرمتقارن
۳۷۶	۱۱-۶. خلاصه

۳۷۷.....	فصل هفتم.....
۳۷۷.....	تیرهای با تغییر شکل برشی.....
۳۷۹.....	۱-۷. معادلات حاکم.....
۳۷۹.....	۱-۱-۷. روابط کرنش - جابه‌جایی.....
۳۸۰.....	۲-۱-۷. روابط نیرو-کرنش.....
۳۸۵.....	۳-۱-۷. معادلات تعادل.....
۳۸۶.....	۴-۱-۷. خلاصه معادلات.....
۳۸۶.....	۵-۱-۷. شرایط مرزی.....
۳۸۷.....	۲-۷. سختی و انعطاف پذیری تیر.....
۳۸۸.....	۱-۲-۷. سختی‌ها و نرمی‌ها، برشی تیرهای جدار نازک با مقاطع باز.....
۳۹۲.....	۲-۲-۷. سختی‌ها و نرمی‌های تیرهای جدار نازک با مقطع بسته.....
۳۹۲.....	۳-۲-۷. سختی‌های مربوط به تیرهای اندویشی.....
۳۹۶.....	۳-۷. تیرهای بارگذاری شده به صورت عرضی.....
۴۰۳.....	۴-۷. کماتش تیرها.....
۴۰۳.....	۱-۴-۷. تیرهای بارگذاری شده محوری با مقاطع عرضی متقارن دو تایی (کمانش موجی و پیچشی).....
۴۱۱.....	۲-۴-۷. تیرهای بارگذاری شده به صورت محوری با مقاطع عرضی متقارن یا نامتقارن (کمانش موجی-پیچشی).....
۴۱۵.....	۳-۴-۷. کمانش جانبی-پیچشی تیرهای با مقطع عرضی متقارن.....
۴۱۸.....	۴-۴-۷. خلاصه.....
۴۱۸.....	۵-۷. ارتعاش آزاد تیرها.....
۴۱۹.....	۱-۵-۷. تیرهای دارای مقاطع عرضی با تقارن دوتایی.....
۴۲۹.....	۲-۵-۷. تیرهای با مقطع عرضی متقارن یا نامتقارن.....
۴۳۲.....	۳-۵-۷. خلاصه.....
۴۳۳.....	۶-۷. اثر تغییر شکل برشی.....
۴۴۱.....	فصل هشتم.....
۴۴۱.....	پوسته‌ها.....
۴۴۴.....	۱-۸. پوسته‌های دوار با بارگذاری متقارن محوری.....
۴۴۵.....	۲-۸. پوسته‌های استوانه‌ای.....
۴۴۶.....	۱-۲-۸. تئوری غشایی.....
۴۴۷.....	۲-۲-۸. انتهای گیردار.....
۴۵۹.....	۳-۲-۸. انتهای گیردار تحت دما.....

۴۶۰	۳-۸. بازگشت فنری
۴۶۰	۱-۳-۸. بازگشت فنری پوسته‌های استوانه‌ای
۴۶۴	۲-۳-۸. پوسته‌های دارای دو انحنا
۴۶۵	۴-۸. کماتش پوسته‌ها
۴۶۸	۱-۴-۸. کماتش استوانه‌ها
۴۷۷	فصل نهم
۴۷۵	تحلیل اجزا محدود
۴۷۷	۱-۹. المان سه بعدي
۴۷۷	۲-۹. المان ورق
۴۷۸	۳-۹. المان تیر
۴۷۹	۴-۹. لمینیت داخلی
۴۸۱	۱-۴-۹. مرحله ۱- درایه‌های ماتریس $[J]$ ناشی از تنش‌های صفحه‌ای
۴۸۴	۲-۴-۹. مرحله ۲. درایه‌های ماتریس $[J]$ ناشی از تنش‌های عمودی خارج صفحه‌ای
۴۸۷	۳-۴-۹. مرحله ۳: درایه‌های ماتریس $[J]$ ناشی از تنش‌های برشی خارج صفحه‌ای
۴۸۹	۴-۴-۹. مرحله ۴: ماتریس سختی
۴۹۵	فصل دهم
۴۹۵	معیار شکست
۴۹۸	۱-۱۰. معیار شکست مرتبه دوم
۴۹۹	۱-۱۰-۱. ماده ارتو تروپیک
۵۰۶	۲-۱۰-۱. مواد ایزوتروپیک عرضی
۵۰۸	۳-۱۰-۱. مواد ایزوتروپیک
۵۰۹	۴-۱۰-۱. شرایط کرنش صفحه‌ای و تنش صفحه‌ای
۵۱۰	۵-۱۰-۱. نسبت بارگذاری-تنش متناسب
۵۱۲	۲-۱۰. معیار شکست تنش ماکزیمم
۵۱۳	۳-۱۰. معیار شکست کرنش ماکزیمم
۵۱۹	۴-۱۰. ورق با یک سوراخ یا یک شکاف
۵۲۰	۱-۴-۱۰. ورق با یک سوراخ دایره‌ای
۵۲۴	۲-۴-۱۰. ورق با یک شکاف
۵۲۵	فصل یازدهم
۵۲۵	میکرو مکانیک

۵۲۶.....	۱-۱۱. قانون مخلوطها.....
۵۲۷.....	۱-۱-۱۱. مدول یانگ E_1 در جهت طولی.....
۵۲۸.....	۲-۱-۱۱. مدول یانگ E_2 در جهت عرضی.....
۵۲۹.....	۳-۱-۱۱. مدول برشی G_{12} در جهت طولی.....
۵۳۰.....	۴-۱-۱۱. مدول برشی G_{23} در جهت عرضی.....
۵۳۰.....	۵-۱-۱۱. نسبت پواسون ν_{12} در جهت طولی.....
۵۳۲.....	۶-۱-۱۱. نسبت پواسون ν_{23} در جهت عرضی.....
۵۳۳.....	۷-۱-۱۱. ضرایب انبساط حرارتی.....
۵۳۵.....	۸-۱-۱۱. ضرایب انبساط رطوبتی.....
۵۳۶.....	۹-۱-۱۱. قابلیت هدایت حرارتی.....
۵۳۷.....	۱۰-۱-۱۱. انتشار رطوبت.....
۵۳۸.....	۱۱-۱-۱۱. حرارت مخصوص.....
۵۳۹.....	۲-۱۱. قانون اصلاح شده مخلوطها.....
۵۴۰.....	۳-۱۱. نکاتی بر روی مدل های میکرومکانیکی.....
۵۴۵.....	ضمائم.....
۵۴۵.....	ضمیمه A.....
۵۴۵.....	خواص مقطع عرضی تیرهای کامپوزیتی جدار نازک.....
۵۵۴.....	ضمیمه B.....
۵۵۴.....	بارهای کماتش و فرکانس های طبیعی تیرهای ارتونروپیک با تغییر شکل برشی با کماتش $\widehat{N}$ مربوط به تیرها
۵۵۴.....	با مقطع عرضی متقارن دوتایی در جدول B.1 ارائه شده است.....
۵۵۷.....	ضمیمه C.....
۵۵۷.....	خواص مادی نمونه.....
۵۵۷.....	فیبر.....

مقدمه مترجمان

خداوند را شاکریم توانستیم ترجمه این اثر را به پایان برسانیم. این کتاب ترجمه کتاب مکانیک سازه‌های کامپوزیتی اثر پروفسور کولار و اسپرینگر است. تا کنون کتاب‌های زیادی در زمینه تحلیل سازه‌های کامپوزیتی تالیف شده است. مزیت نسبی این کتاب بر کتاب‌های دیگر در متن روان و بیان شیوا و راه‌حل‌هایی است که نویسنده در کتابش استفاده کرده است. مطالب این کتاب با سرفصل درسی مربوط به کوری، ورق‌ها و پوسته‌ها و درس مواد مرکب، همخوانی دارد و می‌تواند مرجع خوبی برای این درس در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک و دیگر رشته‌هایی که با مواد کامپوزیتی در ارتباط هستند، باشد؛ همچنین، این کتاب برای دانشجویانی که قصد ادامه تحصیل در مقاطع تحصیلی بالاتر را دارند، و برای کلیه مهندسين شاغل در مکان‌های صنعتی که بر روی انواع مخازن و سازه‌های فولادی و کامپوزیتی کار می‌کنند و نیز دانشجویانی که قصد انجام رساله‌های خود جهت فارغ‌التحصیلی دارند، بسیار راهگشا است.

در طی ترجمه این اثر، از راهنمایی‌ها و حمایت‌های اسفند دوستان زیادی بهره برده‌ایم. بر خود لازم می‌دانیم از حمایت‌های ایشان، به خصوص خانم زهرا کریمی‌پاشی تشکر و قدردانی شود. برای تایپ و آماده‌سازی این اثر تلاش‌های فراوانی انجام شده است که در اینجا لازم می‌دانیم از زحمات آقای مهندس محمد بیات و مهندس مهدی ملکی که بازگویی روابط این اثر را برعهده داشتند، تشکر کنیم. از همه عزیزانی که این کتاب را مطالعه می‌کنند، ممنانه تقاضا می‌شود هرگونه اشکال تایپی را که در کتاب مشاهده کردند، در اختیار مترجمان قرار دهند تا در چاپ‌های بعدی، اصلاحات و اشکالات را مدنظر قرار دهیم.

در پایان از زحمات رییس محترم انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، آقای دکتر زارعی و همچنین سرکار خانم صمیمی کمال تشکر و قدردانی را دارم. به‌منظور ارتباط به‌روز و بیشتر با مخاطبین، وبلاگی با آدرس زیر ایجاد شده است تا تمامی نکات و اصلاحات تایپی و ایرادات احتمالی را در آن منعکس کنیم.

[Http://plates-shells-kollar.blogfa.com](http://plates-shells-kollar.blogfa.com)

میشم ربیعی - محمدحسین اکباتان

تابستان ۹۵

Email: meisamrabiei@gmail.com
m_hosein_ekbatan@yahoo.com