

بسم الله الرحمن الرحيم

ریاضیات پیشرفته و کاربرد آن در

مهندسی روسازی

تألیف :

دکتر فریدون مقدس نژاد

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حمزه ذاکری

دانشجوی دکتری ژئوتکنیک (راه و ترابری) دانشگاه صنعتی امیرکبیر

علی فرشتیان

کارشناس ارشد ریاضیات کاربردی دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	مقدس‌نژاد، فریدون، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور	ریاضیات پیشرفته و کاربرد آن در مهندسی روسازی/ تألیف فریدون مقدس‌نژاد، حمزه ذاکری، علی فرشتیان.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۳۶۶ ص.
شابک	978-964-463-583-0
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	واژنامه.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	ریاضیات مهندسی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	ریاضیات مهندسی -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
شناسه افزوده	ذاکری، حمزه، ۱۳۴۰ -
شناسه افزوده	فرشتیان، علی، ۱۳۴۲ -
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ م/۵/۷۹ TA۳۲۲
رده بندی دیویی	۶۲۰/۰۰۱۵۱۰۷۶
شماره کتابخانه ملی	۳۷۲۹۶۴۵



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلد مورخ ۱۳۹۳/۳/۲۵ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	ریاضیات پیشرفته و کاربرد آن در مهندسی روسازی
تألیف	دکتر فریدون مقدس‌نژاد - حمزه ذاکری - علی فرشتیان
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	زمستان ۱۳۹۳
تیراژ	۱۰۰۰ نسخه
قیمت	۲۱۰۰۰ تومان
شماره	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۸۳-۰
شابک	ISBN: 978-964-463-583-0

آدرس: خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست

صفحه

عنوان

I.....پیشگفتار

۱.....فصل اول: معادله لاپلاس

۱.....۱.۱ دسته‌بندی معادلات دیفرانسیل

۱.....۱.۱.۱ معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی

۲.....۲.۱ معادلات دیفرانسیل مرتبه یک، مرتبه دو و مراتب بالاتر

۲.....۳.۱ معادله دیفرانسیل خطی و غیرخطی

۳.....۴.۱ حل معادلات دیفرانسیل

۳.....۵.۱ برخی معادلات دیفرانسیل مهم و کاربردی

۳.....۱.۵.۱ معادله خطی مرتبه اول

۴.....۲.۵.۱ معادله خطی مرتبه دوم با ضرایب ثابت

۵.....۶.۱ معادله لاپلاس

۶.....۷.۱ مشتق‌گیری از شکل قطبی معادله لاپلاس با استفاده از صورت دکارتی

۸.....۸.۱ معادله‌های مرتبط با معادله لاپلاس

۸.....۱.۸.۱ لاپلاسیان با ضرایب مختلف

۸.....۲.۸.۱ لاپلاسیان مضاعف

۸.....۳.۸.۱ لاپلاسیان پیشرفته

۹.....۹.۱ روش‌های حل معادله لاپلاس

۹.....۱.۹.۱ حل با روش جداسازی متغیرها

۱۱.....۲.۹.۱ حل با روش معادله مشخصه

۱۲.....۳.۹.۱ حل با روش معادله مشخصه

۱۴.....۱.۱۰ مسائل

۱۷.....فصل دوم: معادله موج

۱۷.....	۱.۲ نحوه پیدایش معادله موج
۱۷.....	۱.۱.۲ تار مرتعش
۱۸.....	۲.۱.۲ رویه مرتعش
۱۹.....	۳.۱.۲ امواج در مواد الاستیک
۲۰.....	۲.۲ حل معادله موج با روش جداسازی
۲۰.....	۱.۲.۲ حل معادله یک بعدی موج
۲۳.....	۲.۲.۲ معادله نیمه نامتناهی یک بعدی موج
۲۳.....	۳.۲.۲ معادله نامتناهی یک بعدی موج
۲۴.....	۴.۲.۲ معادله دوبعدی موج
۲۶.....	۵.۲.۲ معادله دوبعدی موج در داخل یک باریکه
۲۷.....	۶.۲.۲ معادله موج داخل یک قرص مدور
۲۷.....	۷.۲.۲ معادله سه بعدی موج
۳۱.....	۳.۲ مسائل
۳۳.....	فصل سوم: معادله گرما
۳۳.....	۱.۳ معادله گرمای یک بعدی
۳۵.....	۱.۱.۳ معادله گرمای یک بعدی حالت متناهی
۳۷.....	۲.۱.۳ معادله گرمای نیمه نامتناهی یک بعدی
۳۸.....	۳.۱.۳ معادله یک بعدی گرمای حالت نامتناهی
۳۹.....	۲.۳ معادله گرمای دوبعدی
۳۹.....	۱.۲.۳ معادله گرمای داخل یک مستطیل
۴۱.....	۲.۲.۳ معادله دوبعدی گرما در داخل یک باریکه
۴۲.....	۳.۲.۳ معادله گرمای دوبعدی داخل قرص مدور
۴۳.....	۳.۳ معادله گرمای سه بعدی
۴۳.....	۱.۳.۳ معادله گرمای سه بعدی داخل مکعب مستطیل
۴۵.....	۴.۳ مسائل

۴۶.....	فصل چهارم: تابع گاما
۴۷.....	۱.۴ تعریف تابع گاما
۴۹.....	مقادیر تابع گاما
۴۹.....	۲.۴ مقدارهای $\Gamma(1/2)$ و $\Gamma(-1/2)$
۵۰.....	۳.۴ مقدار $\Gamma(n)$ برای $n = 0, -1, -2, \dots$
۵۱.....	۴.۴ مشتق $\Gamma(n)$
۵۴.....	۵.۴ مسائل
۵۵.....	فصل پنجم: تابع بسل
۵۵.....	۱.۵ معادله بسل
۵۶.....	۱.۱ حل معادله بسل نوع اول
۵۹.....	۲.۱.۵ حل معادله بسل برای p صحیح (توابع بسل نوع دوم و سوم)
۶۱.....	۳.۱.۵ معادله بسل اصلاح شده
۶۳.....	۴.۱.۵ توابع ber و bei
۶۴.....	۵.۱.۵ توابع ker و kei
۶۵.....	۶.۱.۵ حل معادله $\nabla^2 \nabla^2 w + w = 0$
۶۶.....	۷.۱.۵ صورت اصلاح شده معادله بسل
۶۷.....	۲.۵ مشتقات توابع بسل
۶۷.....	۱.۲.۵ مشتق $(rt)^p J_p(rt)$
۶۷.....	۲.۲.۵ مشتق $(rt)^{-p} J_p(rt)$
۶۸.....	۳.۲.۵ مشتق $J_p(rt)$
۶۸.....	۳.۵ توابع بسل مرتبه نیم
۶۸.....	۱.۳.۵ مقادیر $J_{-3/2}(rt)$ و $J_{3/2}(rt)$ و $J_{1/2}(rt)$ و $J_{-1/2}(rt)$
۶۸.....	۲.۳.۵ مقادیر $I_{-1/2}(rt)$ و $I_{1/2}(rt)$
۶۹.....	۳.۳.۵ مقادیر $K_{-1/2}(rt)$ و $K_{1/2}(rt)$
۶۹.....	۴.۵ مقادیر $K_n(rt)$ و $K_0(rt)$

۷۰	.....	۵.۵	مقادیر مجانبی
۷۰	.....	۱.۵.۵	مقادیر مجانبی J_p و J_{-p}
۷۲	.....	۲.۵.۵	مقادیر مجانبی Y_p و Y_{-p}
۷۲	.....	۳.۵.۵	مقادیر مجانبی $H_p^{(2)}$ و $H_p^{(1)}$
۷۲	.....	۴.۵.۵	مقادیر مجانبی I_p و I_{-p}
۷۴	.....	۵.۵.۵	مقدار مجانبی k_n
۷۵	.....	۶.۵.۵	مقادیر مجانبی ber و bei
۷۶	.....	۷.۵.۵	مقادیر مجانبی ker و kei
۷۷	.....	۶.۵	انتگرال نامعین توابع بسل
۷۷	.....	۱.۶.۵	روابط مقدماتی
۷۷	.....	۲.۶.۵	انتگرال $\int r^p J_0(r) dr$
۷۷	.....	۷.۵	روابط انواع مختلف توابع بسل
۷۷	.....	۱.۷.۵	توابع بسل برای $-it$
۷۸	.....	۲.۷.۵	روابط سه نوع از توابع بسل
۸۰	.....	۳.۷.۵	توابع بسل مقادیر موهومی محض
۸۰	.....	۸.۵	تابع بتا
۸۰	.....	۱.۸.۵	تعریف تابع بتا
۸۱	.....	۲.۸.۵	رابطه توابع بتا و گاما
۸۲	.....	۳.۸.۵	رابطه بازگشتی برای توابع گاما
۸۲	.....	۹.۵	انتگرال معین توابع بسل
۸۲	.....	۱.۹.۵	انتگرال گگنهاور
۸۴	.....	۲.۹.۵	اولین انتگرال متناهی سوناین
۸۴	.....	۳.۹.۵	دومین انتگرال متناهی سوناین
۸۵	.....	۴.۹.۵	انتگرال پواسون
۸۷	.....	۱۰.۵	سری‌های شبه هندسی
۸۷	.....	۱.۱۰.۵	تعریف
۸۸	.....	۲.۱۰.۵	ویژگی‌های ضرب چندگانه $(\alpha)_m$

۸۹.....	۳.۱۰.۵ قضیه وندرموند
۹۰.....	۴.۱۰.۵ حاصل ضرب دو تابع بسل با مقدارهای مشابه
۹۱.....	۱۱.۵ سری شبه هندسی گوسی $F[a, b; c; z]$
۹۲.....	۱.۱۱.۵ ویژگی‌های مقدماتی
۹۲.....	۲.۱۱.۵ نمایش انتگرالی توابع شبه هندسی
۹۳.....	۳.۱۱.۵ مقدار $F[a, b; c; z]$ برای $z = 1$
۹۴.....	۴.۱۱.۵ همگرایی سری $F[a, b; c; z]$
۹۴.....	۵.۱۱.۵ حاصل ضرب دو تابع بسل با مقدارهای متفاوت
۹۵.....	۱۲.۵ انتگرال‌های نامتناهی توابع بسل
۹۵.....	۱.۱۲.۵ انتگرال $\int e^{-at} \sin(bt) J_\nu(bt) t^{\mu-1} dt$
۱۰۰.....	۲.۱۲.۵ انتگرال $\int e^{-at} \sin(bt) J_\nu(bt) J_\nu(ct) t^{\mu-1} dt$
۱۰۴.....	۱۳.۵ انتگرال $\int e^{-at} J_\mu(bt) J_\nu(ct) t^{\lambda-1} dt$
۱۰۴.....	۱.۱۳.۵ انتگرال ناپیوسته $\int J_\nu(at) J_\nu(bt) t^{-\lambda} dt$
۱۱۲.....	۱۴.۵ توابع بسل در صفحه مختلط
۱۱۲.....	۱.۱۴.۵ اثبات $\Gamma(z)\Gamma(1-z) = \pi/\sin(\pi z)$
۱۱۴.....	۲.۱۴.۵ انتگرال کانتور هنکل برای $1/\Gamma(z)$
۱۱۶.....	۳.۱۴.۵ نمایش انتگرالی $J_\nu(z)$
۱۱۸.....	۴.۱۴.۵ نمایش انتگرالی $I_\nu(z)$
۱۱۸.....	۵.۱۴.۵ نمایش انتگرالی $K_\nu(z)$
۱۱۹.....	۶.۱۴.۵ نمایش انتگرالی $K_\nu(xz)$
۱۲۱.....	۷.۱۴.۵ حل $\int x^{v+1} J_\nu(ax)/(x^2 + k^2) dx$
۱۲۴.....	۸.۱۴.۵ مقدار $\int x^{\rho-1} J_\mu(bx)/(x^2 + k^2) dx$
۱۲۶.....	۹.۱۴.۵ حل $\int \sin(bx) \cos(ax)/x(x^4 + k^4) dx$
۱۲۸.....	۱۵.۵ مسائل
۱۲۹.....	فصل ششم: معادله لاپلاس در مهندسی روسازی
۱۲۹.....	۱.۶ معادله تعادل تیرها در خمش خالص

۱۳۰	۱.۱.۶ علائم قراردادی
۱۳۱	۲.۱.۶ مفروضات
۱۳۲	۳.۱.۶ گشتاور خمش و نیروی خمش
۱۳۳	۴.۱.۶ شعاع انحنا
۱۳۳	۱.۵.۶ تعادل
۱۳۴	۲.۶ معادله تعادل برای صفحه خرم
۱۳۴	۱.۲.۶ خمش گشتاورها و نیروی برشی
۱۳۶	۲.۲.۶ تعادل
۱۳۷	۳.۶ سازگاری معادله برای حالت‌های همگن، الاستیک و بدنه همگن
۱۳۸	۱.۳.۶ ویژگی‌های تعادل
۱۳۸	۲.۳.۶ اصل پیوستگی
۱۳۹	۳.۳.۶ اصل الاستیسیته
۱۳۹	۴.۳.۶ پتانسیل تنش
۱۴۰	۴.۶ سازگاری معادله برای حالت‌های همگن، الاستیک و بدنه غیر همگن
۱۴۱	۵.۶ معادله‌های اساسی مکانیک پیوسته در دستگاه‌های مختصات دوبعدی
۱۴۱	۱.۵.۶ صفحه قطبی دوبعدی
۱۴۲	۲.۵.۶ دستگاه دوبعدی متقارن استوانه‌ای
۱۴۳	۳.۵.۶ دستگاه دوبعدی استوانه‌ای نامتقارن
۱۴۵	۴.۵.۶ صورت دکارتی سه‌بعدی
۱۴۶	۵.۵.۶ دستگاه استوانه‌ای متقارن برای جسم عمودی
۱۴۹	فصل هفتم: تبدیل انتگرال
۱۵۰	۱.۷ بسط فوریه (اشپیگل، ۱۹۷۱)
۱۵۰	۱.۱.۷ تعاریف
۱۵۱	۲.۱.۷ اثبات بسط فوریه
۱۵۳	۲.۷ انتگرال فوریه
۱۵۳	۱.۲.۷ تعریف

۱۵۴	۲.۲.۷ اثبات فرمول انتگرال فوریه
۱۵۶	۳.۷ تبدیل هنکل
۱۵۶	۱.۳.۷ تعریف
۱۵۷	۲.۳.۷ کاربرد انتگرال نایبوسته وبر - اسکافیتلین
۱۵۹	فصل هشتم: کاربرد مختصر تیر و صفحه بتنی در یک بستر الاستیک
۱۵۹	۱.۸ بستر الاستیک
۱۶۲	۲.۸ تیر روی زیرسازی الاستیک با بارگذاری مجزا: $\partial^4 w / \partial^4 x + Cw = 0$
۱۶۳	۳.۸ تیر روی زیرسازی الاستیک با بارگذاری گسترده: $\partial^4 w / \partial^4 x + Cw = 0$
۱۶۴	۴.۸ صفحه نامحدود با بارگذاری مجزا: $\nabla^2 \nabla^2 w + Cw = 0$
۱۶۷	فصل نهم: تیر با تکیه گاه پاشنه‌ناک تحت بارگذاری گسترده
۱۶۷	۱.۹ معادلات دیفرانسیل اولیه
۱۶۸	۲.۹ تیر با طول نامحدود
۱۶۸	۱.۲.۹ جواب معادله دیفرانسیل
۱۷۱	۲.۲.۹ کاربرد
۱۷۲	۳.۹ تیر محدود با لبه‌های آزاد
۱۷۲	۱.۳.۹ راه‌حل اول
۱۷۴	۲.۳.۹ کاربرد
۱۷۵	۳.۳.۹ راه‌حل دوم
۱۷۶	۴.۳.۹ کاربرد
۱۷۷	۴.۹ تیر محدود با یک اتصال
۱۷۷	۱.۴.۹ راه‌حل اول
۱۷۸	۲.۴.۹ کاربرد
۱۸۰	۳.۴.۹ راه‌حل دوم
۱۸۱	۴.۴.۹ کاربرد
۱۸۲	۵.۴.۹ اثبات برای حالت پایه وینکлер در اتصال $Q = \gamma T$

فصل دهم: صفحه مدور روی پایه پاسترناک و بارگذاری گسترده ۱۸۵

۱.۱۰ معادلات دیفرانسیل اولیه ۱۸۵

۲.۱۰ صفحه نامحدود گسترده ۱۸۷

۱.۲.۱۰ حل معادله دیفرانسیل ۱۸۷

۲.۲.۱۰ کاربرد ۱ ۱۸۸

۳.۲.۱۰ کاربرد ۲ ۱۸۸

۳.۱۰ صفحه محدود گسترده با لبه آزاد ۱۸۹

۱.۳.۱۰ راه حل اول ۱۸۹

۲.۳.۱۰ راه حل دوم ۱۹۲

۳.۳.۱۰ کاربرد راه حل دوم ۱۹۲

۴.۱۰ صفحه محدود گسترش یافته با اتصال ۱۹۳

۱.۴.۱۰ راه حل اول ۱۹۳

۲.۴.۱۰ راه حل دوم ۱۹۴

۳.۴.۱۰ کاربرد راه حل دوم ۱۹۴

فصل یازدهم: صفحه مستطیلی روی پایه پاسترناک و بارگذاری گسترده ۱۹۷

۱.۱۱ معادلات دیفرانسیل اولیه ۱۹۷

۲.۱۱ حل معادله انحنا ۱۹۸

۳.۱۱ شرایط مرزی ۲۰۰

۴.۱۱ صفحه گسترده محدود با لبه آزاد ۲۰۱

۱.۴.۱۱ راه حل اول ۲۰۱

۲.۴.۱۱ راه حل دوم ۲۰۲

۵.۱۱ صفحه محدود گسترده با اتصال ۲۰۲

۱.۵.۱۱ راه حل اول ۲۰۲

۲.۵.۱۱ راه حل دوم ۲۰۳

۲۰۴	۳.۵.۱۱ کاربرد
۲۰۷	فصل دوازدهم: صفحه چندلایه
۲۰۷	۱.۱۲ تئوری
۲۰۷	۲.۱۲ نمونه کلی
۲۰۸	۳.۱۲ جابه‌جایی صفحه‌ها
۲۰۸	۴.۱۲ اصطکاک کامل در سطح مشترک اول، جابه‌جایی کامل در سطح مشترک دوم
۲۱۰	۵.۱۲ اصطکاک در دو سطح مشترک
۲۱۱	۶.۱۲ اصطکاک جزئی
۲۱۲	۱.۶.۱۲ کاربرد
۲۱۵	فصل سیزدهم: محاسبه بازگشتی صفحه‌های بتنی
۲۱۵	۱.۱۳ محاسبات بازگشتی مدولی
۲۱۵	۲.۱۳ بارگذاری نقطه‌ای
۲۱۶	۳.۱۳ محاسبات
۲۱۷	۴.۱۳ بارگذاری گسترده
۲۱۹	۵.۱۳ مقایسه دو روش
۲۲۰	۶.۱۳ تأثیر مبدأ انحنا
۲۲۰	۷.۱۳ تجزیه و تحلیل داده‌های کارگاه
۲۲۲	۸.۱۳ مثال محاسبات بازگشتی
۲۲۳	فصل چهاردهم: تنش حرارتی در صفحه بتنی
۲۲۳	۱.۱۴ تنش حرارتی
۲۲۴	۲.۱۴ صفحه با طول بلند
۲۲۴	۱.۲.۱۴ معادله دیفرانسیل تعادل
۲۲۴	۲.۲.۱۴ جواب معادله تعادل برای $g < 1$
۲۲۴	۳.۲.۱۴ جواب معادله تعادل برای $g = 1$

۲۲۴	.....	۴.۲.۱۴ جواب معادله تعادل برای $g > 1$
۲۲۵	.....	۵.۲.۱۴ شرایط مرزی
۲۲۵	.....	۶.۲.۱۴ گشتاور برای $g < 1$
۲۲۶	.....	۷.۲.۱۴ گشتاور برای $g = 1$
۲۲۷	.....	۸.۲.۱۴ گشتاور برای $g > 1$
۲۲۸	.....	۹.۲.۱۴ بررسی بیشینه گشتاور برای $g = 1$
۲۲۸	.....	۱۰.۲.۱۴ معادله تنش گرمایی
۲۲۹	.....	۳.۱۴ صفحه مستطیلی
۲۲۹	.....	۱.۳.۱۴ معادله دیفرانسیل تعادل
۲۲۹	.....	۲.۳.۱۴ شرایط مرزی
۲۳۰	.....	مثال‌ها
۲۳۳	.....	۴.۱۴ صفحه دایره‌ای (مغور)
۲۳۳	.....	۱.۴.۱۴ معادله تعادل
۲۳۳	.....	۲.۴.۱۴ جواب معادله تعادل
۲۳۳	.....	۳.۴.۱۴ شرایط مرزی
۲۳۴	.....	۴.۴.۱۴ گشتاور به دست آمده
۲۳۴	.....	۵.۴.۱۴ مقایسه مدل صفحه مستطیلی و دایره‌ای
۲۳۵	.....	۵.۱۴ انبساط یک صفحه چندلایه
۲۳۷	.....	فصل پانزدهم: تعیین مشخصه‌های سازه صلب
۲۳۷	.....	۱.۱۵ تعیین مدول یانگ صفحه بتنی
۲۳۷	.....	۱.۱.۱۵ جواب معادله سازگار
۲۳۷	.....	۱.۲.۱۵ معادلات تنش‌ها
۲۳۸	.....	۲.۱.۱۵ شرایط مرزی
۲۳۹	.....	۴.۱.۱۵ تنش‌ها و جابه‌جا شدن‌ها
۲۳۹	.....	۵.۱.۱۵ تنش مماسی عمودی در امتداد قطر عمودی
۲۴۰	.....	۲.۱۵ تعیین مشخصه g و k بستر

۲۴۰.....	۱.۲.۱۵ معادله تعادل برای بستر پاسترناک.....
۲۴۱.....	۲.۲.۱۵ بارگذاری خارج از مرکز آزمون صفحه برابر.....
۲۴۲.....	۳.۲.۱۵ بارگذاری عمودی.....
۲۴۴.....	۴.۲.۱۵ گشتاور.....
۲۴۶.....	۵.۲.۱۵ تعیین G و k

۲۴۷.....	فصل شانزدهم: بارگذاری عمودی بر جسم نیمه نامحدود.....
۲۴۷.....	۱.۱۶ جسم نیمه نامحدود تحت فشار مدور یکنواخت عمودی.....
۲۵۱.....	۲.۱۶ بارگذاری مجرای عمودی بر جسم نیمه نامحدود.....
۲۵۱.....	۳.۱۶ بارگذاری عمودی مدور جسم صلب بر جسم نیمه نامحدود.....
۲۵۴.....	۴.۱۶ فشار یکنواخت عمودی مستطیلی بر جسم نیمه نامتناهی.....
۲۵۶.....	۵.۱۶ مقایسه تنش های عمودی: اطل سیستم و نانت.....
۲۵۷.....	۶.۱۶ فشار مدور یکنواخت عمودی بر جسم ارتوتروپیک.....
۲۶۱.....	۷.۱۶ فشار یکنواخت عمودی مستطیلی بر یک جسم ارتوتروپیک.....

۲۶۳.....	فصل هفدهم: نیروی برشی بر جسم نیمه نامحدود.....
۲۶۳.....	۱.۱۷ نیروی برشی شعاعی بر جسم نیمه نامحدود.....
۲۶۵.....	۲.۱۷ بار برشی نامتقارن در یک جهت بر جسم نیمه نامتناهی.....
۲۶۸.....	۳.۱۷ بار برشی با یک محور نامتقارن بر جسم نیمه نامتناهی.....
۲۷۱.....	فصل هجدهم: سازه چندلایه.....
۲۷۱.....	۱.۱۸ سازه چندلایه.....
۲۷۲.....	۲.۱۸ جواب معادله های پیوسته.....
۲۷۳.....	۳.۱۸ شرایط مرزی.....
۲۷۵.....	۴.۱۸ تعیین مقادیر ثابت مرزی.....
۲۷۸.....	۵.۱۸ شرط کف ثابت.....
۲۷۹.....	۶.۱۸ بستر ارتوتروپیک.....

فصل نوزدهم: بررسی سازه چندلایه	۲۸۱
۱.۱۹ انتخاب فرمول انتگرال	۲۸۱
۲.۱۹ مقدار در مبدأ	۳۸۲
۳.۱۹ مقیاس هندسی سازه	۲۸۳
۴.۱۹ طول گام‌های انتگرال	۲۸۴
۱.۴.۱۹ تاثیر مدولی بر گام‌های انتگرال	۲۸۴
۲.۴.۱۹ تاثیر شعاع بارگذاری بر گام‌های انتگرال‌گیری	۲۸۴
۳.۴.۱۹ تاثیر فاصله از مرکز بر گام‌های انتگرال‌گیری	۲۸۵
۴.۴.۱۹ طول گام اصلاح شده	۲۸۵
۵.۱۹ تنش‌ها و جابه‌جایی‌ها در سطح	۲۸۶
۶.۱۹ تنش‌ها و جابه‌جایی‌ها در اولین لایه	۲۸۷

فصل بیستم: محاسبات بازگشتی سازه‌های چندلایه	۲۸۹
۱.۲۰ مدل سطح	۲۸۹
۲.۲۰ لایه‌های معادل	۲۹۱
۳.۲۰ جسم نیمه نامتناهی معادل	۲۹۱
۴.۲۰ بررسی حوزه انحنای	۲۹۲
۱.۴.۲۰ بررسی سه لایه بر بستر الاستیک خطی	۲۹۲
۲.۴.۲۰ بررسی سه لایه با پایه بسیار سخت	۲۹۳
۳.۴.۲۰ بررسی سه لایه با یک لایه پایه ضعیف	۲۹۴
۴.۴.۲۰ بررسی دو لایه بر یک بستر که با افزایش عمق سختی آن افزایش می‌یابد	۲۹۵
۵.۲۰ الگوریتم بوش III	۲۹۶

فصل بیست و یکم: روش عددی محاسبات بازگشتی برای سازه چندلایه	۲۹۷
۱.۲۱ بررسی برنامه محاسبات بازگشتی برای سازه سه لایه	۲۹۷
۲.۲۱ بررسی حساسیت محاسبات بازگشتی برای سازه سه لایه	۲۹۹
۱.۲.۲۱ حساسیت گرد کردن مقادیر انحناهای اندازه‌گیری شده	۳۰۰

۲.۲.۲۱ حساسیت وجود لایه نرم میانی.....	۳۰۱
۳.۲.۲۱ تاثیر تثبيت مقدار یک مدول.....	۳۰۱
۳.۲۱ حساسیت روش محاسبات بازگشتی برای سازه چهار لایه.....	۳۰۳
۱.۳.۲۱ مقدار اطلاعات گرفته شده از مدول های سطح.....	۳۰۴
۲.۳.۲۱ تاثیر ثابت نگه داشتن یکی از مقادیر مدول ها.....	۳۰۶
۴.۲۱ تاثیر درجه ناهمسانگردی و نسبت پواسون بر نتایج روش محاسبات بازگشتی در حالت بستر نیمه نامتناهی.....	۳۰۸
۱.۴.۲۱ تاثیر درجه ناهمسانگردی بر مدول محاسبات بازگشتی.....	۳۰۸
۲.۴.۲۱ تاثیر نسبت پواسون بستر بر انحنایها ($n = 1$).....	۳۰۹
۵.۲۱ تاثیر درجه ناهمسانگردی و نسبت پواسون بر نتایج روش محاسبات بازگشتی در حالت بستر ضخامت محدود.....	۳۰۹
۱.۵.۲۱ تاثیر درجه ناهمسانگردی بر مدول محاسبات بازگشتی.....	۳۰۹
۲.۵.۲۱ تاثیر نسبت پواسون بستر بر انحنایها ($n = 1$).....	۳۱۰
فصل بیست و دو: آزمون اولیژیشن.....	۳۱۱
۱.۲۲ شرح آزمون اولیژیشن.....	۳۱۱
۲.۲۲ تفسیر نتایج آزمون اولیژیشن.....	۳۱۲
۳.۲۲ صفحه با یک حفره بر یک بستر الاستیک تحت بارگذاری متقارن.....	۳۱۲
۱.۳.۲۲ جواب در حالت صفحه ساده.....	۳۱۲
۲.۳.۲۲ جواب در حالت صفحه دارای حفره.....	۳۱۳
۴.۲۲ کرنش ها در حالت بارگذاری نامتقارن.....	۳۱۵
۱.۴.۲۲ تنش ها در یک استوانه توخالی تحت فشار خارجی یکنواخت.....	۳۱۵
۲.۴.۲۲ تنش ها در صفحه توخالی.....	۳۱۷
۳.۴.۲۲ کاربرد آزمون اولیژیشن.....	۳۲۲
فصل بیست و سوم: پیوست.....	۳۲۳
۱.۲۳ تابع گاما.....	۳۲۳

۳۲۳	.....	۲.۲۳ انتگرال پسل
۳۲۴	.....	۳.۲۳ تابع پتا
۳۲۴	.....	۴.۲۳ سری شبه هندسی
۳۲۵	.....	۵.۲۳ تابع پسل در صفحه مختلط
۳۲۶	.....	۶.۲۳ معادله پسل
۳۲۷	.....	۷.۲۳ معادله پسل اصلاح شده
۳۲۹	.....	۸.۲۳ "انتگرال" نامتناهی توابع پسل
۳۳۱	.....	۹.۲۳ تبدیل انتگرال
۳۳۳	.....	مراجع
۳۳۵	.....	واژه نامه

www.ketab.ir

فهرست اشکال

شکل ۱-۲	تار مرتعش	۱۷
شکل ۲-۲	رویه مرتعش	۱۹
شکل ۳-۲	تنش در جسم الاستیک	۲۰
شکل ۱-۵	توابع بسل نوع اول مرتبه‌های یک و دو	۵۸
شکل ۵-۵	توابع بسل نوع دوم مرتبه‌های یک و دو	۶۱
شکل ۳-۵	توابع بسل اصلاح شده نوع اول از مرتبه‌های صفر و یک	۶۳
شکل ۵-۵	توابع بسل اصلاح شده نوع دوم از مرتبه‌های صفر و یک	۶۳
شکل ۵-۵	توابع BER و BEI	۶۴
شکل ۶-۵	توابع KER و KEI	۶۵
شکل ۷-۵	منحنی ساده بسته در صفحه مختلط	۱۱۳
شکل ۸-۵	انتگرال کانتور هنکل	۱۱۵
شکل ۹-۵	ترکیب اطراف کانتور	۱۱۷
شکل ۱۰-۵	انتگرال روی صفحه مختلط	۱۲۲
شکل ۱۱-۵	درک شهودی $\sin \theta \geq 2\theta / \pi$	۱۲۴
شکل ۱-۶	انتقال تیر بارگذاری شده	۱۲۹
شکل ۲-۶	علائم قراردادی	۱۳۰
شکل ۳-۶	A و B نیروهای برشی مثبت و منفی	۱۳۰
شکل ۴-۶	تساوی تنش‌های مرکب	۱۳۱
شکل ۵-۶	گشتاور خمش و نیروی خمش	۱۳۲
شکل ۶-۶	تعداد گشاورها	۱۳۴
شکل ۷-۶	تعداد برای صفحه‌های خرب	۱۳۴
شکل ۸-۶	خمش گشاورها و نیروی برشی	۱۳۵
شکل ۹-۶	مکعب مستطیل	۱۳۶
شکل ۱۰-۶	مستطیلی با ضخامت واحد	۱۳۷
شکل ۱۱-۶	اصل پیوستگی	۱۳۹

- شکل ۶-۱۲ مستطبی به مدول افقی و عمودی - تک ۱۴۰
- شکل ۷-۱ مثل برای سری فوریه ۱۴۳
- شکل ۷-۲ مثال انتگرال فوریه ۱۴۵
- شکل ۸-۱ تیر در یک بستر لاستیک ۱۴۹
- شکل ۸-۲ صفحه مدل پاسترناک ۱۵۰
- شکل ۸-۳ تعادل عمودی در لایه برشی پاسترناک ۱۶۱
- شکل ۸-۴ نیروی برشی که متناسب با انحناست ۱۶۱
- شکل ۸-۵ تیر با ضوابط محدود بر بستر لاستیک ۱۶۳
- شکل ۹-۱ تیر با تکیه گاه پاسترناک ۱۶۷
- شکل ۹-۲ تیر نامحدود روی پایه پاسترناک ۱۷۱
- شکل ۹-۳ تیر یک طرف نامحدود با تکیه آزاد بر پایه پاسترناک ۱۷۲
- شکل ۹-۴ مثال تیر یک طرف محدود با تکیه آزاد روی پایه پاسترناک ۱۷۵
- شکل ۹-۵ تیر با یک طرف نامحدود بر پایه پاسترناک ۱۷۷
- شکل ۱۰-۱ صفحه مدور بر پایه پاسترناک ۱۸۵
- شکل ۱۰-۲ صفحه نامحدود بر یک پایه پاسترناک ۱۸۸
- شکل ۱۰-۳ مثال صفحه مدور بر پایه پاسترناک ۱۸۹
- شکل ۱۰-۴ صفحه دایره ای محدود روی پایه پاسترناک ۱۹۰
- شکل ۱۰-۵ مثال برای یک صفحه محدود بر پایه پاسترناک ۱۹۲
- شکل ۱۰-۶ مثال برای صفحه منتهی گسترده بر پایه پاسترناک ۱۹۴
- شکل ۱۱-۱ صفحه روی پایه پاسترناک ۱۹۷
- شکل ۱۱-۲ مثال برای صفحه بر پایه پاسترناک ۲۰۴
- شکل ۱۱-۳ صفحه چندلایه ۲۰۷
- شکل ۱۲-۲ صفحه چندلایه با اصطکاک در صفحه مشترک و و وجه جایی در صفحه مشترک ۲۰۹
- شکل ۱۲-۳ صفحه های چندلایه با اصطکاک در سطوح مشترک ۲۱۰
- شکل ۱۲-۴ اصطکاک جزئی در سطح مشترک ۲۱۱
- شکل ۱۲-۵ مثال برای صفحه چندگانه دولایه ۲۱۲
- شکل ۱۲-۶ تنش ها در بتن دولایه و تابع اصطکاک در سطوح مشترک ۲۱۳

- شکل ۱-۱۳ نمونه محاسبات بازگشتی بر اساس E ۲۱۷
- شکل ۲-۱۳ مدل محاسبات بازگشتی بر اساس طول الاستیک ۲۱۹
- شکل ۱-۱۴ ساختار معادل دال مرکب ۲۳۵
- شکل ۲-۱۴ معادله تعادل ۲۳۶
- شکل ۱-۱۵ توزیع تنش در یک بستر پاسترناک ۲۴۰
- شکل ۲-۱۵ صفحه بارگذاری شده خارج از مرکز ۲۴۱
- شکل ۳-۱۵ برآیند عمودی و گشتاور ۲۴۲
- شکل ۴-۱۵ صفحه بارگذاری شده ۲۴۲
- شکل ۵-۱۵ انحنا در زیر صفحه ۲۴۳
- شکل ۶-۱۵ انحنا در خارج صفحه ۲۴۳
- شکل ۷-۱۵ انحنای ناشی از گشتاور ۲۴۴
- شکل ۸-۱۵ توزیع تنش ناشی از گشتاور ۲۴۵
- شکل ۱-۱۶ فشار عمودی p بر یک جسم نیمه محدود ۲۴۸
- شکل ۲-۱۶ فشار گسترده عمودی بر جسم ریزش یک ۲۵۷
- شکل ۱-۱۸ سازه چندلایه ۲۷۱
- شکل ۱-۲۰ مدول سطح ۲۹۰
- شکل ۲-۲۰ جسم نیمه نامتناهی معادل ۲۹۱
- شکل ۳-۲۰ مدول سطح سازه سه لایه عمودی ۲۹۳
- شکل ۴-۲۰ مدول سطح یک سازه با یک لایه پایه سخت ۲۹۴
- شکل ۵-۲۰ مدول سطح یک سازه سه لایه با لایه میانی نرم ۲۹۵
- شکل ۶-۲۰ مدول سطح سازه چندلایه بر یک بستر که با افزایش عمق سختی آن افزایش می یابد ۲۹۶
- شکل ۱-۲۲ تغییرات قطر در مرکز هسته بارگذاری ۳۱۱
- شکل ۲-۲۲ صفحه با یک حفره بر یک بستر الاستیک ۳۱۲
- شکل ۳-۲۲ استوانه توخالی تحت یک تنش کششی یکنواخت ۳۱۶
- شکل ۴-۲۲ تنش ها در یک صفحه توخالی ۳۱۷
- شکل ۵-۲۲ اصل کرنش های نسبی ۳۲۱

روسازی یکی از ارزشمندترین سرمایه‌های ملی هر کشور به شمار می‌رود. محققان همواره به دلیل پیچیدگی و ناشناختگی رفتار، مواد چسبنده و ترکیب آنها به مواد مصالح همواره توجه داشته‌اند. پیچیدگی کلی مواد و ترکیب بارگذاری‌های مختلف تاکنون مدل‌سازی مشخص و پیش‌بینی رفتار دقیق روسازی را غیرممکن کرده است. همواره پژوهشگران در تلاش‌اند از روابط ریاضی برای محدودسازی این رفتار پیچیده استفاده کنند.

کتاب حاضر با هدف جمع‌آوری و یک‌پارچه‌سازی بین روابط نگاشته شده است و بدیهی است که علی‌رغم تلاشی که شده نمی‌تواند خالی از اشکال باشد، لذا از خوانندگان تقاضا می‌شود ایرادات و پیشنهاد‌های اصلاحی را برای ارتقای کیفی آن برای ناشر ارسال کنند تا انشاءً در چاپ‌های آتی اصلاح شود. مؤلفان امیدوارند با آرایه این کتاب و جمع‌بندی مطالب به شکل حاضر قدیمی موثر برای کاهش ابهام در زمینه کمی‌سازی رفتار روسازی و مشخصه‌های موثر بر آن برداشته شده باشد. این کتاب در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری قابل استفاده است و امید است برای محققان و پژوهشگران مفید باشد.

فریدون مقدس‌نژاد

حمزه ذاکری

علی فرستیان