

# محاسبات سرشکنی

تالیف

چارلز دی قیلانی

پاول آر ولف

ترجمه

دکتر محمد علی شریفی

گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

مهندس سید محمد حسن سید تفرشیها

مهندس سلیم معصومی

مهندس سعید فرزانه

ب □ محاسبات سرشکنی

تقديم به اسوه عدالت

حضرت امير المؤمنين علي (عليه السلام)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
فهرست مطالب

ع	پیشگفتار
ک	پیشگفتار مترجم
۱	۱ مقدمه
۱	۱.۱ مقدمه
۲	۲.۱ اندازه‌گیری‌های مستقیم و غیرمستقیم
۲	۳.۱ منابع خطای اندازه‌گیری
۳	۴.۱ تعاریف
۴	۵.۱ دقت در مقابل صحت
۶	۶.۱ اندازه‌گیری‌های اضافی در نقشه‌برداری و سرشکنی آنها
۸	۷.۱ مزایای سرشکنی به روش کمترین مربعات
۹	۸.۱ رئوس کلی کتاب
۱۰	مسائل
۱۳	۲ مشاهدات و تحلیل آنها
۱۳	۱.۲ مقدمه
۱۳	۲.۲ نمونه در مقابل جامعه
۱۴	۳.۲ دامنه و میانه
۱۵	۴.۲ نمایش گرافیکی داده‌ها
۱۸	۵.۲ روش‌های عددی توصیف داده‌ها
۱۹	۶.۲ شاخص‌های تمرکز
۱۹	۷.۲ چند تعریف دیگر
۲۲	۸.۲ فرمول دیگری برای محاسبه واریانس
۲۳	۹.۲ مثال‌های عددی
۲۸	۱۰.۲ محاسبه واریانس نمونه (تصحیح بسل)

۲۹	۱۱.۲ برنامه‌نویسی
۳۱	مسائل
۳۵	<b>۳ نظریه خطای اتفاقی</b>
۳۵	۱.۳ مقدمه
۳۵	۲.۳ نظریه احتمال
۳۸	۳.۳ ویژگی‌های منحنی توزیع نرمال
۴۰	۴.۳ تابع توزیع نرمال استاندارد
۴۲	۵.۳ احتمال خطای استاندارد
۴۳	۱.۵.۳ خطای احتمال ۵۰٪
۴۴	۲.۵.۳ خطای احتمال ۹۵٪
۴۴	۳.۵.۳ خطای احتمال دیگر درصدها
۴۵	۶.۳ کاربردهای خطاهای احتمال
۴۵	۷.۳ مثال‌های کاربردی
۴۹	مسائل
۵۳	<b>۴ فواصل اطمینان</b>
۵۳	۱.۴ مقدمه
۵۵	۲.۴ توزیع‌های مورد استفاده در نظریه نمونه‌برداری
۵۵	۱.۲.۴ توزیع $\chi^2$
۵۶	۲.۲.۴ توزیع <i>t-student</i>
۵۷	۳.۲.۴ توزیع <i>F</i>
۵۹	۳.۴ فاصله اطمینان میانگین: آماره <i>t</i>
۶۲	۴.۴ آزمون اعتبار فاصله اطمینان
۶۲	۵.۴ انتخاب اندازه نمونه
۶۴	۶.۴ فاصله اطمینان برای واریانس جامعه
۶۵	۷.۴ فاصله اطمینان برای نسبت دو واریانس جامعه
۶۸	مسائل

۷۱	<b>۵ آزمون‌های آماری</b>
۷۱	۱.۵ آزمون فرض
۷۴	۲.۵ اصول طراحی آزمون
۷۵	۳.۵ آزمون فرض میانگین جامعه
۷۷	۴.۵ آزمون فرض واریانس جامعه
۷۹	۵.۵ آزمون فرض برای نسبت دو واریانس جامعه
۸۳	مسائل
۸۷	<b>۶ انتشار خطاهای اتفاقی در کمیت‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم</b>
۸۷	۱.۶ معادله بنیادی انتشار خطا
۹۱	۱.۱.۶ مثال پارامتری
۹۲	۲.۶ توابع خاص رایج
۹۲	۱.۲.۶ انحراف معیار مجموع
۹۲	۲.۲.۶ انحراف معیار یک سری
۹۲	۳.۲.۶ انحراف معیار میانگین
۹۲	۳.۶ مثال‌های عددی
۹۲	۴.۶ نتیجه‌گیری
۹۸	مسائل
۱۰۳	<b>۷ انتشار خطا در مشاهدات زاویه و طول</b>
۱۰۳	۱.۷ مقدمه
۱۰۳	۲.۷ منابع خطا در زوایای افقی
۱۰۳	۳.۷ خطای قرائت
۱۰۴	۱.۳.۷ مشاهده زاویه به روش تکرار
۱۰۵	۲.۳.۷ مشاهده زاویه به روش امتدادی
۱۰۵	۴.۷ خطای نشانه‌روی
۱۰۶	۵.۷ برآورد خطای نشانه‌روی و قرائت با توتال استیشن
۱۰۷	۶.۷ خطای استقرار نشانه
۱۰۹	۷.۷ خطای استقرار دستگاه
۱۱۳	۸.۷ اثر خطای تراز کردن روی مشاهدات زاویه

۱۱۵	۹.۷ یک مثال عددی از انتشار خطای کلی در یک زاویه افقی
۱۱۷	۱۰.۷ کاربرد برآورد خطا برای بررسی خطای بست زاویه‌ای در پیمایش
۱۱۹	۱۱.۷ خطا در مشاهدات نجومی برای یک آزیموت
۱۲۴	۱۲.۷ خطاهای مشاهدات الکترونیکی فاصله
۱۲۵	۱۳.۷ نرم‌افزار محاسباتی
۱۲۶	مسائل

### ۸ انتشار خطا در پیمایش‌های نقشه‌برداری

۱۳۱	۱.۸ مقدمه
۱۳۲	۲.۸ برآورد خطا در مؤلفه‌های مختصات
۱۳۳	۳.۸ برآورد خطای استاندارد در آزیموت امتداد
۱۳۴	۴.۸ محاسبه و تحلیل خطای بست کثیرالاضلاع پیمایش
۱۴۰	۵.۸ محاسبه و تحلیل خطاهای بست در پیمایش باز
۱۴۵	۶.۸ نتیجه‌گیری
۱۴۶	مسائل

### ۹ انتشار خطا در محاسبه ارتفاع

۱۵۱	۱.۹ مقدمه
۱۵۱	۲.۹ خطاهای سیستماتیک در تراز یابی مستقیم
۱۵۱	۱.۲.۹ خطای کلیماسیون
۱۵۲	۲.۲.۹ انحنای زمین و انکسار
۱۵۴	۳.۲.۹ اثر کلی خطاهای سیستماتیک روی اختلاف ارتفاعات
۱۵۴	۳.۹ خطاهای اتفاقی در تراز یابی مستقیم
۱۵۴	۱.۳.۹ خطای قرائت
۱۵۵	۲.۳.۹ خطای تراز کردن دستگاه
۱۵۵	۳.۳.۹ خطای تراز کردن شاخص
۱۵۶	۴.۳.۹ برآورد خطا در تراز یابی مستقیم
۱۵۸	۴.۹ انتشار خطا در تراز یابی مثلثاتی
۱۶۳	مسائل

۱۶۵	<b>۱۰ وزن‌های مشاهدات</b>
۱۶۵	۱.۱۰ مقدمه
۱۶۷	۲.۱۰ میانگین وزن‌دار
۱۶۹	۳.۱۰ ارتباط بین وزن‌ها و خطاهای استاندارد
۱۶۹	۴.۱۰ آماره‌های مشاهدات وزن‌دار
۱۶۹	۱.۴.۱۰ انحراف معیار
۱۷۰	۲.۴.۱۰ خطای استاندارد وزن ( $w$ ) و خطای استاندارد میانگین وزن‌دار
۱۷۱	۵.۱۰ وزن‌ها در مشاهدات زاویه
۱۷۲	۶.۱۰ وزن‌ها در تراز یابی مستقیم
۱۷۳	۷.۱۰ مثال‌های کاربردی
۱۷۷	مسائل
۱۷۹	<b>۱۱ اصول کمترین مربعات</b>
۱۷۹	۱.۱۱ مقدمه
۱۷۹	۲.۱۱ قاعده بنیادی کمترین مربعات
۱۸۲	۳.۱۱ قاعده بنیادی کمترین مربعات وزن‌دار
۱۸۳	۴.۱۱ مدل تصادفی (احتمالی)
۱۸۳	۵.۱۱ مدل تابعی
۱۸۴	۶.۱۱ معادلات مشاهدات
۱۸۵	۱.۶.۱۱ مثالی ساده از سرشکنی با استفاده از معادلات مشاهدات
۱۸۶	۷.۱۱ فرموله کردن نظام‌مند معادلات نرمال
۱۸۶	۱.۷.۱۱ نمونه هم‌وزن
۱۸۸	۲.۷.۱۱ نمونه وزن‌دار
۱۸۹	۳.۷.۱۱ مزایای روش نظام‌مند
۱۸۹	۸.۱۱ تشکیل جدول معادلات نرمال
۱۹۰	۹.۱۱ استفاده از ماتریس‌ها در تشکیل معادلات نرمال
۱۹۰	۱.۹.۱۱ نمونه هم‌وزن
۱۹۲	۲.۹.۱۱ نمونه وزن‌دار

۱۹۳	۱۰.۱۱ جواب کمترین مربعات دستگاه‌های غیرخطی
۱۹۶	۱۱.۱۱ برازش کمترین مربعات خط یا منحنی به نقاط
۱۹۷	۱.۱۱.۱۱ برازش یک خط مستقیم به داده‌ها
۱۹۹	۲.۱۱.۱۱ برازش یک سهمی به داده‌ها
۲۰۰	۱۲.۱۱ کالیبراسیون دستگاه EDM
۲۰۲	۱۳.۱۱ سرشکنی کمترین مربعات با استفاده از معادلات شرط
۲۰۴	۱۴.۱۱ مثال ۵.۱۱ با استفاده از معادلات مشاهدات
۲۰۷	مسائل
۲۱۳	<b>۱۲ سرشکنی شبکه‌های تراز یابی</b>
۲۱۳	۱.۱۲ مقدمه
۲۱۳	۲.۱۲ معادلات مشاهدات
۲۱۴	۳.۱۲ مثال حالت وزن یکسان
۲۱۷	۴.۱۲ حالت وزن دار
۲۲۰	۵.۱۲ انحراف معیار مبنا
۲۲۱	۱.۵.۱۲ مثال بدون وزن یا با وزن یکسان
۲۲۱	۲.۵.۱۲ مثال وزن دار
۲۲۲	۶.۱۲ یک سرشکنی وزن دار دیگر
۲۲۶	مسائل
۲۳۱	<b>۱۳ دقت کمیت‌های سرشکن شده</b>
۲۳۱	۱.۱۳ مقدمه
۲۳۱	۲.۱۳ تعیین ماتریس کوواریانس
۲۳۵	۳.۱۳ مثال‌های عددی
۲۳۶	۴.۱۳ انحراف معیارهای کمیت‌های محاسباتی
۲۴۱	مسائل
۲۴۵	<b>۱۴ سرشکنی شبکه‌های مسطحاتی: سه ضلع بندی</b>
۲۴۵	۱.۱۴ مقدمه

۲۴۶	۲.۱۴ معادله مشاهده فاصله
۲۴۸	۳.۱۴ مثالی از سرشکنی سه ضلع بندی
۲۵۴	۴.۱۴ فرمول یک ماتریس ضرایب کلی برای شبکه ای پیچیده تر
۲۵۵	۵.۱۴ حل رایانه ای یک سه ضلع بندی چهار ضلعی
۲۶۰	۶.۱۴ خاتمه تکرار
۲۶۰	۱.۶.۱۴ روش حداکثر تکرار
۲۶۰	۲.۶.۱۴ حداکثر تصحیح
۲۶۰	۳.۶.۱۴ کنترل واریانس مبنای سرشکنی
۲۶۲	مسائل

**۱۵ سرشکنی شبکه های مسطحاتی: مثلث بندی**

۲۶۹	۱.۱۵ مقدمه
۲۶۹	۲.۱۵ معادله مشاهده آزیموت
۲۷۰	۱.۲.۱۵ خطی سازی معادله مشاهده آزیموت
۲۷۲	۳.۱۵ معادله مشاهده زاویه
۲۷۳	۴.۱۵ سرشکنی تقاطع
۲۷۸	۵.۱۵ سرشکنی ترفیع
۲۷۹	۱.۵.۱۵ محاسبه مقادیر تقریبی اولیه در مسئله ترفیع
۲۸۴	۶.۱۵ سرشکنی چهار ضلعی های مثلث بندی شده
۲۸۹	مسائل

**۱۶ سرشکنی شبکه های مسطحاتی: پیمایش ها و شبکه ها**

۲۹۷	۱.۱۶ مقدمه ای بر سرشکنی پیمایش ها
۲۹۷	۲.۱۶ معادلات مشاهدات
۲۹۸	۳.۱۶ معادلات اضافی
۲۹۹	۴.۱۶ مثال عددی
۳۰۶	۵.۱۶ حداقل تعداد قیود
۳۰۶	۶.۱۶ سرشکنی شبکه ها
۳۱۵	۷.۱۶ آزمون $\chi^2$ : آزمون خوبی برازش
۳۱۷	مسائل

۳۲۷	<b>۱۷ سرشکنی شبکه‌های GPS</b>
۳۲۷	۱.۱۷ مقدمه
۳۲۸	۲.۱۷ مشاهدات GPS
۳۳۰	۳.۱۷ خطاهای GPS و نیاز به سرشکنی
۳۳۱	۴.۱۷ سیستم‌های مختصات مرجع برای مشاهدات GPS
۳۳۳	۵.۱۷ تبدیل بین سیستم‌های مختصات زمینی و ژئودتیک
۳۳۷	۶.۱۷ کاربرد کمترین مربعات در پردازش داده‌های GPS
۳۳۸	۷.۱۷ تحلیل پیش از سرشکنی داده‌های شبکه
۳۳۸	۱.۷.۱۷ تحلیل اندازه‌گیری‌های خط مبنای معلوم
۳۴۱	۲.۷.۱۷ تحلیل اندازه‌گیری‌های تکراری خط مبنا
۳۴۲	۳.۷.۱۷ تحلیل بست حلقه‌ها
۳۴۳	۴.۷.۱۷ سرشکنی با حداقل قیود
۳۴۳	۸.۱۷ سرشکنی کمترین مربعات شبکه‌های GPS
۳۵۰	مسائل
۳۶۳	<b>۱۸ تبدیل سیستم‌های مختصات</b>
۳۶۳	۱.۱۸ مقدمه
۳۶۳	۲.۱۸ تبدیل مختصات دوبعدی متشابه (کانفورمال چهارپارامتری)
۳۶۴	۳.۱۸ معادلات تبدیل
۳۶۵	۴.۱۸ کاربرد کمترین مربعات
۳۶۸	۵.۱۸ تبدیل مختصات دوبعدی شش‌پارامتری (افاین)
۳۷۰	۶.۱۸ تبدیل مختصات دوبعدی پروژکتیو
۳۷۳	۷.۱۸ تبدیل مختصات سه‌بعدی متشابه (کانفورمال هفت‌پارامتری)
۳۸۰	۸.۱۸ پارامترهای معتبر از لحاظ آماری
۳۸۳	مسائل
۳۸۹	<b>۱۹ بیضی خطا</b>
۳۸۹	۱.۱۹ مقدمه

۳۹۱	۲.۱۹ محاسبه توجیه و نیم‌قطرهای بیضی
۳۹۵	۳.۱۹ مثالی از محاسبات بیضی خطای استاندارد
۳۹۶	۱.۳.۱۹ بیضی خطای ایستگاه ویسکانسین
۳۹۷	۲.۳.۱۹ بیضی خطای ایستگاه کمپس
۳۹۷	۳.۳.۱۹ ترسیم بیضی خطای استاندارد
۳۹۸	۴.۱۹ مثالی دیگر
۳۹۹	۵.۱۹ سطح اطمینان بیضی خطا
۴۰۱	۶.۱۹ مزایای بیضی خطا
۴۰۱	۱.۶.۱۹ طراحی شبکه نقشه‌برداری
۴۰۲	۲.۶.۱۹ مثالی از طراحی شبکه
۴۰۴	۷.۱۹ دیگر شاخص‌های خطای ایستگاهی
۴۰۶	مسائل
۴۰۹	<b>۲۰ معادلات قید</b>
۴۰۹	۱.۲۰ مقدمه
۴۰۹	۲.۲۰ سرشکنی مختصات ایستگاه نقاط کنترل
۴۱۷	۳.۲۰ ثابت نگاه داشتن مختصات ایستگاه‌های کنترل و امتدادهای خطوط در سرشکنی یک شبکه سه‌ضلع‌بندی
۴۱۸	۱.۳.۲۰ ثابت نگاه داشتن امتداد یک خط با حذف قیود
۴۲۰	۴.۲۰ روش هلمرت
۴۲۸	۵.۲۰ درجه آزادی در سرشکنی مقید
۴۲۸	۶.۲۰ اعمال قیود به صورت وزن‌دار
۴۳۳	مسائل
۴۳۷	<b>۲۱ کشف اشتباه در شبکه‌های مسطحاتی</b>
۴۳۷	۱.۲۱ مقدمه
۴۳۷	۲.۲۱ روش‌های کشف اشتباه در مشاهدات قبل از سرشکنی
۴۳۸	۱.۲.۲۱ به‌کارگیری ماتریس $K$
۴۳۸	۲.۲.۲۱ بررسی بست پیمایش

فهرست □ ش

۴۳۹	۳.۲۱ روش کشف اشتباه (بعد از سرشکنی مشاهدات)
۴۴۱	۴.۲۱ ایجاد ماتریس کوواریانس برای باقیمانده‌ها
۴۴۳	۵.۲۱ کشف خطاهای بزرگ در مشاهدات
۴۴۵	۶.۲۱ شیوه‌های مورد استفاده در سرشکنی نقاط کنترل
۴۴۷	۷.۲۱ مجموعه داده‌های شامل اشتباه
۴۵۶	۸.۲۱ برخی ملاحظات دیگر
۴۵۷	۱.۸.۲۱ قابلیت اطمینان داخلی
۴۵۷	۲.۸.۲۱ قابلیت اطمینان خارجی
۴۵۸	۹.۲۱ طراحی نقشه‌برداری
۴۶۰	مسائل

۲۲ روش کمترین مربعات مدل ترکیبی و کاربرد آن در برازش منحنی و

تبدیلات مختصات

۴۶۵	۱.۲۲ مقدمه‌ای بر کمترین مربعات
۴۶۵	۲.۲۲ کاربرد معادلات کمترین مربعات مدل ترکیبی در برازش خط مستقیم
۴۶۷	۳.۲۲ حل کمترین مربعات مدل ترکیبی
۴۷۳	۴.۲۲ تبدیل مختصات دوبعدی با استفاده از کمترین مربعات مدل ترکیبی
۴۷۳	۱.۴.۲۲ تبدیل مختصات دوبعدی متشابه
۴۷۷	۲.۴.۲۲ تبدیل مختصات دوبعدی شش‌پارامتری (افاین)
۴۷۸	۳.۴.۲۲ تبدیل مختصات دوبعدی پروژکتیو
۴۷۹	۵.۲۲ تبدیل مختصات سه‌بعدی مشابه با استفاده از مدل ترکیبی
۴۸۲	مسائل

۲۳ سرشکنی شبکه‌های ژئودتیک سه‌بعدی

۴۸۵	۱.۲۳ مقدمه
۴۸۷	۲.۲۳ خطی‌سازی معادلات
۴۸۷	۱.۲.۲۳ مشاهدات طول مایل
۴۸۹	۲.۲.۲۳ مشاهدات آزیموت
۴۸۹	۳.۲.۲۳ مشاهدات زاویه قائم

۴۹۰	۴.۲.۲۳ مشاهدات زاویه‌ای افقی
۴۹۱	۵.۲.۲۳ مشاهدات ترازبایی مستقیم
۴۹۱	۶.۲.۲۳ مشاهدات طول افقی
۴۹۲	۳.۲۳ حداقل تعداد قیود
۴۹۳	۴.۲۳ مثال از سرشکنی سه‌بعدی
۴۹۵	۱.۴.۲۳ افزودن طول‌های مایل
۴۹۵	۲.۴.۲۳ افزودن زوایای افقی
۴۹۶	۳.۴.۲۳ افزودن زوایای زنبیتی
۴۹۷	۴.۴.۲۳ افزودن آزمون‌های مشاهداتی
۴۹۸	۵.۴.۲۳ افزودن اختلاف ارتفاع‌ها
۴۹۸	۶.۴.۲۳ سرشکنی ایستگاه‌هایکنترل
۴۹۹	۷.۴.۲۳ نتایج سرشکنی
۴۹۹	۸.۴.۲۳ بهنگام کردن مختصات ژئودتیک
۵۰۲	۵.۲۳ انجام سرشکنی
۵۰۲	۶.۲۳ نکاتی در مورد خطاهای سیستماتیک
۵۰۶	مسائل
۵۱۱	<b>۲۴ ترکیب مشاهدات GPS و زمینی</b>
۵۱۱	۱.۲۴ مقدمه
۵۱۳	۲.۲۴ تبدیل هلمرت
۵۱۷	۳.۲۴ دوران‌های بین سیستم‌های مختصات
۵۱۸	۴.۲۴ ترکیب بردارهای خط مبنای GPS با مشاهدات سنتی
۵۲۲	۵.۲۴ ملاحظات دیگر
۵۲۳	مسائل
۵۲۵	<b>۲۵ تحلیل نتایج سرشکنی</b>
۵۲۵	۱.۲۵ مقدمه
۵۲۵	۲.۲۵ مفاهیم پایه، باقیمانده‌ها و توزیع نرمال
۵۲۹	۳.۲۵ آزمون خوبی برازش

فهرست □ ض

۵۳۱	۴.۲۵	مقایسه نمودار باقیمانده‌ها
۵۳۴	۵.۲۵	کاربرد کشف آماری اشتباه
۵۳۵		مسائل

۵۳۷	۲۶	بهینه‌سازی رایانه‌ای
۵۳۷	۱.۲۶	مقدمه
۵۳۷	۲.۲۶	بهینه‌سازی حافظه
۵۴۰	۳.۲۶	تشکیل مستقیم معادلات نرمال
۵۴۱	۴.۲۶	تجزیه چولسکی
۵۴۲	۵.۲۶	راه‌حل‌های مستقیم و معکوس
۵۴۶	۶.۲۶	استفاده از فاکتور چولسکی برای یافتن معکوس ماتریس نرمال
۵۴۶	۷.۲۶	تنکی و بهینه‌سازی ماتریس نرمال
۵۵۳		مسائل

۵۵۵		پیوست A آشنایی با ماتریس‌ها
۵۵۵	۱.A	مقدمه
۵۵۵	۲.A	تعریف ماتریس
۵۵۶	۳.A	اندازه یا ابعاد ماتریس
۵۵۷	۴.A	انواع ماتریس
۵۵۸	۵.A	تساوی ماتریسی
۵۵۹	۶.A	جمع یا تفریق ماتریس‌ها
۵۵۹	۷.A	ضرب اسکالر در ماتریس
۵۶۰	۸.A	ضرب ماتریسی
۵۶۳	۹.A	الگوریتم‌های رایانه‌ای برای عملیات ماتریسی
۵۶۳	۱.۹.A	جمع یا تفریق دو ماتریس
۵۶۴	۲.۹.A	ضرب ماتریسی
۵۶۵	۱۰.A	کاربرد نرم‌افزار MATRIX
۵۶۷		مسائل

۵۷۱	پیوست B حل معادلات با روش‌های ماتریسی
۵۷۱	۱.B مقدمه
۵۷۱	۲.B ماتریس معکوس
۵۷۲	۳.B معکوس ماتریس $2 \times 2$
۵۷۳	۴.B معکوس ماتریس‌ها با استفاده از ماتریس الحاقی
۵۷۵	۵.B معکوس ماتریس‌ها با استفاده از تبدیلات سطری
۵۷۹	۶.B مثال
۵۸۲	مسائل

۵۸۵	پیوست C معادلات غیرخطی و قضیه تیلور
۵۸۵	۱.C مقدمه
۵۸۵	۲.C خطی کردن معادلات غیرخطی با استفاده از سری تیلور
۵۸۶	۳.C مثال عددی
۵۸۸	۴.C استفاده از ماتریس‌ها در حل معادلات غیرخطی
۵۸۸	۵.C مثال ماتریسی ساده
۵۹۰	۶.C مثال کاربردی
۵۹۳	مسائل

۵۹۵	پیوست D منحنی توزیع خطای نرمال و دیگر جداول آماری
۵۹۵	۱.D تشکیل معادله منحنی توزیع نرمال
۶۰۳	۲.D دیگر جداول آماری
۶۰۳	۱.۲.D توزیع $\chi^2$
۶۰۵	۲.۲.D توزیع $t$
۶۰۷	۳.۲.D توزیع $F$

۶۱۵	پیوست E فواصل اطمینان برای میانگین
-----	------------------------------------

۶۲۱	پیوست F سیستم‌های مختصات تصویر نقشه
-----	-------------------------------------

فهرست □ ظ

۶۲۱	۱.F مقدمه
۶۲۲	۲.F روابط ریاضی سیستم تصویر متشابه مخروطی لامبرت
۶۲۳	۱.۲.F ثوابت قاچ
۶۲۴	۲.۲.F مسئله مستقیم
۶۲۴	۳.۲.F مسئله معکوس
۶۲۵	۳.F روابط ریاضی سیستم تصویر مرکاتور معکوس
۶۲۶	۱.۳.F ثوابت قاچ
۶۲۶	۲.۳.F مسئله مستقیم
۶۲۷	۳.۳.F مسئله معکوس
۶۲۸	۴.F تبدیل مشاهدات
۶۲۸	۱.۴.F تصحیح طول
۶۳۰	۲.۴.F تبدیل آزیموت ژئودتیک
۶۳۳	<b>پیوست CD G همراه کتاب</b>
۶۳۳	۱.G مقدمه
۶۳۳	۲.G فرمت فایل‌ها و مسائل مربوط به حافظه
۶۳۴	۳.G نرم‌افزارها
۶۳۴	ADJUST ۱.۳.G
۶۳۵	STATS ۲.۳.G
۶۳۵	MATRIX ۳.۳.G
۶۳۶	۴.۳.G صفحات کاری Mathcad
۶۳۷	۴.G استفاده از نرم‌افزارها به عنوان کمک آموزشی
۶۳۹	<b>فهرست لغات انگلیسی به فارسی</b>
۶۴۹	<b>فهرست لغات فارسی به انگلیسی</b>
۶۵۹	<b>فهرست منابع</b>

## پیشگفتار

هیچ اندازه‌گیری‌ای کاملاً دقیق نیست. بنابراین تمام اندازه‌گیری‌ها با خطا همراهند. این عبارات بنیادی بوده و در جهان پذیرفته شده است. از این رو، کاملاً منطقی به نظر می‌رسد که نقشه‌برداران متخصص در امور اندازه‌گیری، فهم کاملی از خطاها داشته باشند. آنها باید با انواع خطاها، منابع آنها و اندازه احتمالی آنها آشنا باشند. با دانستن این مطالب آنها قادر خواهند بود:

۱- هنگام اندازه‌گیری‌ها روندی را برای کاهش اندازه خطاها اتخاذ کنند؛

۲- در تحلیل و سرشکنی داده‌های اندازه‌گیری‌شده، خطاها را به درستی محاسبه کنند.

هدف این کتاب ایجاد فهمی بهتر در این مسائل است.

در سال‌های اخیر، روش سرشکنی کمترین مربعات داده‌های مکانی با سرعت زیادی به روش رایج تحلیل و سرشکنی داده‌های نقشه‌برداری تبدیل شده است. این مسئله، خیلی شگفت‌انگیز نیست، زیرا این روش دقیق‌ترین روش موجود برای سرشکنی است. این روش به‌طور منطقی بر پایه نظریه ریاضی احتمال بنا شده است، همچنین امکان اعمال وزن‌های مناسب به همه مشاهدات بر مبنای دقت‌هایی که از آنها انتظار می‌رود، وجود دارد و امکان انجام کامل تحلیل‌های آماری کامل را پس از سرشکنی فراهم می‌کند، به طوری که دقت‌های خواسته‌شده برای کمیت‌های سرشکن‌شده تعیین شود. روند به‌کارگیری روش کمترین مربعات و پس از آن انجام تحلیل‌های آماری بر روی نتایج، از موضوعات اصلی این کتاب است.

در سال‌های گذشته، از روش کمترین مربعات به‌ندرت در سرشکنی استفاده می‌شد، چرا که تشکیل معادلات و حل آنها با دست خیلی مشکل بود. امروزه، رایانه این مشکلات را حل کرده است. در کنار پیشرفت‌های فناوری رایانه، برخی توسعه‌های اخیر نیز ما را به استفاده از روش کمترین مربعات ترغیب می‌کند که از آن جمله می‌توان به سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، و سیستم‌های اطلاعات مکانی و سیستم‌های اطلاعات زمینی (GIS, LIS) اشاره کرد. این سیستم‌ها به‌طور جدی بر سرشکنی همه-جانبه داده‌ها و تحلیل‌های آماری نتایج متکی‌اند. اما شاید مهم‌ترین دلیل افزایش علاقه به استفاده از کمترین مربعات در سرشکنی، توسعه معیارهای جدید صحت در نقشه‌برداری است که بر پایه کمیت‌های حاصل از سرشکنی کمترین مربعات است، بنابراین نقشه‌برداران آینده، قادر به آزمایش اندازه‌گیری‌های خود بر اساس این معیارها نخواهند بود، مگر اینکه داده‌های خود را با روش کمترین

پیشگفتار □ غ

مربعات سرشکن کنند. بی‌شک نقشه‌برداران جدید باید قادر به استفاده از روش کمترین مربعات در سرشکنی داده‌های اندازه‌گیری و همچنین انجام محاسبات آماری روی نتایج بعد از سرشکنی باشند. این کتاب در سال ۱۹۶۸ به‌صورت جزوه‌های آموزشی برای نقشه‌برداران تجربی در منطقهٔ سانفرانسیسکوپی و توسط پروفیسور پائول آر. ولف تهیه شد. این جزوه‌ها متعاقباً به‌عنوان مطالب رسمی در تدریس محاسبات سرشکنی در دو دانشگاه کالیفرنیا- برکلی و ویسکانسین- مادیسن استفاده شدند. در سال ۱۹۸۰، ویرایش دوم این جزوه‌ها با تغییرات زیادی از جانب دانشجویان و دیگر کسانی که از آنها استفاده می‌کردند، تهیه شد. دومین ویرایش، که توسط *Landmark Enterprises* منتشر شد، به‌طور گسترده‌ای در میان نقشه‌برداران تجربی و مدیران *GIS* توزیع شد، همچنین به‌عنوان کتاب درسی در تدریس محاسبات سرشکنی در چند دانشگاه مورد استفاده قرار گرفت.

در ویرایش چهارم، فصل‌های جدیدی دربارهٔ سرشکنی شبکه‌های ژئودتیک سه‌بعدی، ترکیب بردارهای خط مینای *GPS* و مشاهدات زمینی در سرشکنی، تبدیل هلمرت، تحلیل سرشکنی و محاسبات مختصات پوششی ایالتی اضافه شده است. این فصول برای همگامی با نقشه‌برداری نوین که داده‌ها را به‌صورت سه‌بعدی جمع‌آوری می‌کند و نیازمند تحلیل مجموعهٔ داده‌های حجیم است، اضافه شده‌اند. علاوه بر این، فصل چهارم از ویرایش سوم به دو فصل جدید دربارهٔ فواصل اطمینان و آزمون‌های آماری تقسیم شده است. در این ویرایش، تعداد مسائل هر فصل افزایش یافته و اصلاح شده است تا مسائل کاربردی فراوانی را در اختیار خوانندگان کتاب قرار دهد (برای استنادی که از این کتاب در کلاس‌هایشان استفاده می‌کنند، کتاب «راهنمای حل مسائل محاسبات سرشکنی» نیز از همین ناشر چاپ شده است).

دو پیوست جدید نیز اضافه شده که یکی دربارهٔ سیستم‌های مختصات تصویر نقشه و دیگری دربارهٔ *CD* همراه این کتاب است. نرم‌افزار روی *CD* کتاب نیز توسعه یافته و به‌نگام شده است. یک کتاب الکترونیک *Mathcad* به *CD* اضافه شده که محاسبات مربوط به بسیاری از مسائل نمونهٔ موجود در متن را نشان می‌دهد. این کتاب الکترونیک به خواننده در فهم مطالب کتاب و جزئیات محاسبات موجود در آن کمک می‌کند. برای خوانندگانی که نرم‌افزار *Mathcad* را ندارند، فایل *html* کتاب الکترونیک روی *CD* قرار داده شده است.

نرم‌افزارهای *STATS*، *ADJUST* و *MATRIX* تحت ویندوز هستند و در رایانه‌های شخصی اجرا می‌شوند. اولین نرم‌افزار که *STATS* نام دارد، تحلیل‌های آماری را انجام می‌دهد. این نرم‌افزار برای هر مجموعهٔ داده‌های اندازه‌گیری شده، میانگین، میانه، مد و انحراف معیار را به‌دست می‌آورد و هیستوگرام و منحنی توزیع نرمال را رسم می‌کند. دومین نرم‌افزار که *ADJUST* نام دارد، شامل برنامه‌هایی برای انجام سرشکنی کمترین مربعات است. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان سرشکنی را روی شبکه‌های ترازبایی،

نقشه‌برداری‌های مسطحاتی (سه‌ضلع‌بندی، مثلث‌بندی، پیمایش و نقشه‌برداری شبکه‌های مسطحاتی)، شبکه‌های *GPS* و نقشه‌برداری‌های سنتی انجام داد. این نرم‌افزار همچنین شامل برنامه‌هایی برای انجام محاسبات کمترین مربعات برای تبدیلات مختلف مختصات و پردازش کمترین مربعات خط، سهمی و دایره به یک مجموعه از نقاط است. این برنامه‌ها باقیمانده‌ها و انحراف معیارهایی را که از سرشکنی به دست می‌آیند محاسبه می‌کنند. سومین نرم‌افزار که *MATRIX* نام دارد، عملیات ماتریسی همچون جمع، تفریق، ترانپوز، ضرب، وارون و غیره را انجام می‌دهد. با استفاده از این برنامه می‌توان معادلات خطی همزمان را به سرعت و به راحتی حل کرد و می‌توان الگوریتم‌های اساسی سرشکنی کمترین مربعات را به صورت مرحله به مرحله انجام داد.

برای کسانی که می‌خواهند خودشان برنامه‌نویسی کنند، الگوریتم‌های برنامه‌نویسی مفید و متعددی با استفاده از زبان‌های *FORTRAN, C, BASIC* و *PASCAL* در کتاب آمده است. علاوه بر این، کتاب الکترونیکی *Mathcad* استفاده از توابع در نوشتن برنامه‌های پیمان‌های را نمایش می‌دهد. این ویرایش شامل بیست‌وشش فصل و چند پیوست است. فصل‌های کتاب به ترتیبی که برای تدریس درس محاسبات سرشکنی در دانشگاه، مناسب باشد، تنظیم شده است.

این ترتیب برای نقشه‌برداران تجربی که از این کتاب به عنوان خودآموز استفاده می‌کنند، مناسب است. در فصول اولیه، اصطلاحات تعریف شده است و دانشجویان با مبانی خطاها و روش‌های تحلیل آنها آشنا می‌شوند. چند فصل بعد به موضوع انتشار خطا در انواع مختلف اندازه‌گیری‌های نقشه‌برداری سنتی اختصاص دارد. در فصل‌های بعد وزن مشاهدات شرح داده شده و روش کمترین مربعات برای سرشکنی مشاهدات معرفی می‌شود. سپس کاربردهای کمترین مربعات در سرشکنی انواع مشاهدات پایه نقشه‌برداری در فصول جداگانه‌ای با عناوین سرشکنی شبکه‌های ترازایی، سه‌ضلع‌بندی، مثلث‌بندی، پیمایش، شبکه‌های مسطحاتی، شبکه‌های *GPS* و نقشه‌برداری‌های سه‌بعدی سنتی ارائه شده است. موضوع بیضی‌های خطا و روش‌های به‌کارگیری کمترین مربعات برای برازش منحنی و محاسبه تبدیلات مختصات نیز در فصل‌های جداگانه بیان شده‌اند. مفاهیم کشف اشتباه، روش عمومی کمترین مربعات و بهینه‌سازی رایانه‌ای در فصول انتهایی کتاب آورده شده است.

همچون ویرایش‌های قبلی، روش‌های ماتریسی که برای محاسبات سرشکنی بسیار مناسب‌اند، در این ویرایش نیز استفاده شده‌اند. برای دانشجویانی که تاکنون درباره ماتریس‌ها مطالعه نکرده‌اند یا کسانی که می‌خواهند مروری بر این مطلب داشته باشند، مقدمه‌ای بر روش‌های ماتریسی در پیوست‌های *A* و *B* آمده است. دانشجویانی که از قبل با ماتریس‌ها آشنایی دارند، می‌توانند بدون مطالعه از این پیوست‌ها عبور کنند.

## پیشگفتار □ ق

سرشکنی کمترین مربعات نیازمند تشکیل و حل معادلات غیرخطی است. بنابراین، روش‌های خطی‌سازی معادلات غیرخطی با استفاده از نظریهٔ تیلور در محاسبات سرشکنی حائز اهمیت بوده و این مطلب در پیوست C ارائه شده است. پیوست D شامل چند جدول آماری است که عبارتند از توزیع خطای نرمال استاندارد، توزیع  $\chi^2$ ، توزیع *t-student* و مجموعه‌ای از جداول توزیع *F*. این جداول در بخش‌های مناسبی از متن تشریح شده و کاربرد آنها با مسائل نمونه نشان داده شده است.

دروس مقدماتی آمار و حساب دیفرانسیل و انتگرال، پیش‌نیازهای ضروری برای فهم برخی از مفاهیم نظری و اثبات روابط موجود در کتاب هستند. به هر حال، کسانی که این دروس را نگذارند اولی به یادگیری چگونگی به کار بردن کمترین مربعات در سرشکنی مشاهدات نقشه‌برداری علاقه‌مندند، می‌توانند فصول اول تا سوم را مطالعه کنند، از فصول چهارم الی هشتم عبور کنند و سپس فصول باقی‌مانده را مطالعه کنند.

این کتاب هم به‌عنوان کتاب درسی در کلاس‌های دانشگاهی مناسب است و هم برای نقشه‌برداران تجربی و مدیران اطلاعات مکانی. نویسندگان امید دارند که با انتشار این کتاب، از سرشکنی کمترین مربعات و تحلیل‌های آماری داده‌های نقشه‌برداری، همان‌طور که باید، استفاده شود.

## پیشگفتار مترجمان

مهندسی نقشه‌برداری شاخه‌ای از علوم مهندسی است که هدف آن طراحی فرآیند جمع‌آوری و پردازش داده‌های مکانی و تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از آنها است. آموزش مفاهیم مرتبط با پردازش داده‌های مکانی و تجزیه و تحلیل آماری نتایج، سرفصل دروس تئوری خطا، محاسبات سرشکنی و نقشه‌برداری ژئودتیک است.

تجربه مترجمین در آموزش این دروس در دانشگاه‌های مختلف نشان داده است که آموزش این دروس بصورت ارائه مثال‌های عددی به همراه مفاهیم تئوری می‌تواند کارایی بسیار بالایی داشته، به همین منظور کتاب‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفت از بین آنها کتاب محاسبات سرشکنی تالیف آقایان قیلانی و ولف مناسب‌تر از سایر کتاب‌ها چاپ شده به زبان انگلیسی تشخیص داده شد. آنچه پیش رو دارید ترجمه کتاب فوق است که در یک جلد به همراه لوح فشرده نرم‌افزارهای مورد استفاده تقدیم می‌گردد.

این کتاب در ۲۶ فصل و ۷ پیوست تنظیم گردیده است که با توجه به سرفصل‌های مصوب وزارت علوم، تحقیقات فناوری ۱۰ فصل اول برای آموزش درس تئوری خطاها، فصل‌های ۱۱ الی ۲۲ برای آموزش درس سرشکنی و فصل‌های ۲۳ الی ۲۶ برای آموزش مطالب درس نقشه‌برداری ژئودتیک مناسب به نظر می‌رسند.

بیان این نکته ضروری است که از نظر مترجمین مطالب این کتاب را برای آموزش دروس فوق لازم بوده اما کافی نیست و لازم است در مباحث تئوری کتاب‌های دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرند. سعی مترجمین این کتاب بر این است که در آینده نزدیک بتوانند کتاب جامعی را که از نظر تئوری غنی‌تر از نوشته حاضر باشد در اختیار خوانندگان عزیز قرار دهند.

در ترجمه کتاب سعی شده است امانت‌داری بصورت کامل رعایت شود بطوریکه هیچگونه دخل و تصرفی در تغییر مفاهیم صورت نگرفته است و فقط ابعاد به سیستم متریک تبدیل شده است. امید است این کتاب بتواند شروع خوبی برای نوشته‌های بهتر از سایر همکاران باشد.