درآمدی بر پایش پروفایل‌های خطی

(نشر دوم)

نگارندگان:

دکتر رضا برادران کاظم‌زاده

(دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر مونا ایوبی

(استادیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران غرب)

مهندس بهنوش کوهستانی

(کارشناس ارشد – دانش‌آموخته دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر امیرحسین امیری

(دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد)

۱٤۰۰

عنوان و نام پدیدآور: درآمدی بر پایش پروفایل‌های خطی/ نگارندگان رضا برادران‌کاظم‌زاده ... [و دیگران].
مشخصات نشر: تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری: ٤٧٢ ص.: مصور، جدول.
فروست: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس؛ شماره انتشار ۲۳۰.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۶۳-۲
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: نگارندگان رضا برادران‌کاظم‌زاده، مونا ایوبی، بهنوش کوهستانی، امیرحسین امیری.
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه.
یادداشت: نمایه.
موضوع: کنترل فرایندها -- روش‌های آماری (Process control -- Statistical methods)
موضوع: کنترل کیفی -- روش‌های آماری (Quality control -- Statistical methods)
شناسه افزوده: برادران کاظم‌زاده، رضا، ۱۳۳۷ -
شناسه افزوده: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
شناسه افزوده: Tarbiat Modares University. TMU Press
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۷ ٤د/ ۱۵٦ TS
رده‌بندی دیویی: ۵٦۲۰۱۵۱۹۵/٦۵۸
شماره کتابشناسی ملی: ۵۲۷۰۲۷۷

درآمدی بر پایش پروفایل‌های خطی

نگارندگان: دکتر رضا برادران کاظم‌زاده، دکتر مونا ایوبی، مهندس بهنوش کوهستانی، دکتر امیرحسین امیری
ویراستار ادبی و فنی: لیلا نجفی زمان
طراح جلد: ترنج
صفحه‌آرایی: سمیه زهانی
شماره انتشار: ۲۳۰
شماره پیاپی: ٤٤٦
تاریخ انتشار: ۱٤۰۰
شمارگان: ۵۰۰
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۶۳-۲ **شابک الکترونیکی:** ۹۷۸-٦۲۲-۸۳۳۹-۷۳-۳
ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
نوبت نشر: دوم
کارشناس اجرایی: لیلا نجفی زمان
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران گرافیک
چاپ و صحافی: قشقایی
مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۱۸-۱٤۱۱۵
تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹٦
دورنگار: ۸۲۸۸۳۰۳۲
آدرس اینترنتی فروش: pub.Modares.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارندگان است.

تمام حقوق این اثر برای مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است و تکثیر کتاب به هر روشی بدون اجازه کتبی ناشر موجب پیگرد قانونی می‌شود.

فهرست مطالب

پیشگفتار نگارندگان ..... ط

۱- مباحث مقدماتی در پایش پروفایل‌ها ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ تعریف پروفایل ۱

۱-۲-۱ پروفایل خطی ساده ٤

۱-۲-۲ پروفایل‌های خطی عمومی ٥

۱-۲-۳ پروفایل چندمتغیره ٦

۱-۲-٤ پروفایل غیرخطی ۷

۱-۲-٥ پروفایل اسپیلاین ۸

۱-۲-٦ پروفایل موجی‌شکل ۸

۱-۳ فاز ۱ ..... ۹

۱-۳-۱ معیار احتمال تشخیص یک انحراف با دلیل ۱٤

۱-٤ فاز ۲ ..... ۱٥

۱-٤-۱ متوسط طول دنباله (ARL) ۱٥

۱-٤-۲ متوسط زمان تا هشدار (ATS) ۱٦

۱-٤-۳ شاخص میانگین نسبی (RMI) ۱۷

۱-٥ جمع‌بندی ۱۸

۲- نمودارهای کنترل ۱۹

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ مفاهیم اولیهٔ نمودارهای کنترل ۱۹
۲-۳ نمودارهای کنترل شوهارت برای پایش مشخصه‌های کیفی تک‌متغیره ۲٤
۲-۳-۱ نمودارهای کنترل $\bar{X}$ و R ۲٤
۲-٤ نمودارهای کنترل نوع شوهارت برای پایش مشخصه‌های کیفی چندمتغیره ۲۸
۲-٤-۱ نمودار کنترل T^2 - هتلینگ ۲۸
۲-۵ نمودارهای کنترل جمع تجمعی و میانگین متحرک موزون‌نمایی برای پایش مشخصه‌های کیفی تک‌متغیره ۳۳
۲-۵-۱ نمودارکنترل جمع تجمعی برای پایش میانگین فرایند ۳۳
۲-۵-۲ جمع تجمعی برای پایش تغییرپذیری فرایند ۳۸
۲-۵-۳ نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی برای پایش میانگین فرایند ۳۹
۲-۵-٤ نمودارهای کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی برای پایش واریانس فرایند ٤۰
۲-٦ نمودارهای کنترل جمع تجمعی و میانگین متحرک موزون‌نمایی برای پایش مشخصه‌های کیفی چندمتغیره ٤۲
۲-٦-۱ نمودار کنترل جمع تجمعی چندمتغیرهٔ هیلی برای پایش میانگین ٤۲
۲-٦-۲ نمودار کنترل میانگین متحرک موزون‌نمایی چندمتغیره برای پایش میانگین ٤٤
۲-۷ جمع‌بندی ٤۵

۳- مروری بر مفاهیم پایه‌ای مدل‌های رگرسیون ٤۷
۳-۱ مقدمه ٤۷
۳-۲ مدل رگرسیون خطی ساده ٤۸
۳-۲-۱ تفسیر پارامترها در مدل رگرسیون خطی ساده ٤۹
۳-۲-۲ تخمین ضرایب مدل رگرسیون ٤۹
۳-۲-۳ باقی‌مانده‌ها در مدل رگرسیون ساده ۵۱
۳-۲-٤ برآورد واریانس ۵۲
۳-۲-۵ فرض نرمال بودن خطاها ۵۳
۳-۲-٦ میانگین و واریانس برآوردکننده‌های β_0 و β_1 در شرایط نرمال بودن خطاها .. ۵٤

۳-۲-۷ مدل رگرسیون خطی سادهٔ تصحیح از میانگین شده ۵۵
۳-۳ رگرسیون خطی عمومی ۵۶
۳-۳-۱ رگرسیون خطی چندگانه ۵۷
۳-۳-۲ رگرسیون چندجمله‌ای ۵۹
۳-۳-۳ رگرسیون چندجمله‌ای متعامد ۶۰
۳-۳-٤ اثرات متقابل میان متغیرهای مستقل ۶۲
۳-٤ مدل ماتریسی رگرسیون خطی عمومی ۶۳
۳-٤-۱ برآورد پارامترهای مدل و واریانس خطا ٦٤
۳-٤-۲ ویژگی‌های برآوردکننده‌ها ۶۵
۳-۵ رگرسیون چندمتغیره ٦٦
۳-۵-۱ مدل رگرسیون خطی چندمتغیره ۶۷
۳-۵-۲ مفروضات مدل ۶۹
۳-۵-۳ تخمین‌زنندهٔ حداقل مربعات خطا ۷۰
۳-۵-٤ مدل رگرسیون چندمتغیرهٔ تصحیح شده از میانگین ۷۲
۳-٦ جمع‌بندی ۷۳

٤- پروفایل‌های خطی ساده ۷۵
٤-۱ مقدمه ۷۵
٤-۲ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ۱ ..... ۷۸
٤-۲-۱ روش مبتنی بر آماره T^2 مستک و همکاران ۷۸
٤-۲-۲ روش مؤلفه‌های اصلی مستک و همکاران ۸۰
٤-۲-۳ روش مبتنی بر آمارهٔ T^2 استور و بریل ۸۱
٤-۲-٤ روش مؤلفه‌های اصلی استور و بریل ۸۲
٤-۲-۵ روش مبتنی بر آمارهٔ T^2 کنگ و آلباین ۸۲
٤-۲-۵ روش استفاده از نمودارهای کنترل EWMA-R کنگ و آلباین ۸٤
٤-۲-٦ روش تصحیح از میانگین شدهٔ کیم و همکاران (روش کدشده) ۸۵

٤-٢-٧ روش F محمود و وودال ٨٧
٤-٢-٨ روش آزمون نسبت درست‌نمایی محمود و همکاران ٨٩
٤-٢-٩ روش پایش شیب ژو و لین ٩٣
٤-٣ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ٢ ..... ٩٤
٤-٣-١ نمودار کنترل چندمتغیرهٔ T^2 ..... ٩٥
٤-٣-٢ روش EWMA-R ٩٦
٤-٣-٣ روش EWMA-3 ..... ٩٨
٤-٣-٤ روش CUSUM-3 ..... ١٠٣
٤-٣-٥ روش پایش شیب ژو و لین ١٠٥
٤-٣-٦ رویکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی ١٠٦
٤-٣-٧ روش مبتنی بر مدل نقطهٔ تغییر ١٠٩
٤-٣-٨ رویکرد آزمون نسبت درست‌نمایی ١١٦
٤-٤ روش‌های پایش در حالت نقض مفروضات ١١٩
٤-٤-١ روش پایش با تعداد مشاهدات محدود ١١٩
٤-٤-٢ وجود خودهمبستگی میان پروفایل‌ها ١٢٢
٤-٤-٣ وجود خودهمسبتگی میان مشاهدات داخل هر پروفایل ١٢٧
٤-٤-٤ اثر نقض نرمال بودن ١٣٣
٤-٥ ارزیابی عملکرد پروفایل‌های خطی ساده ١٣٤
٤-٥-١ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ١ ..... ١٣٤
٤-٥-٢ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ٢ ..... ١٤٥
٤-٦ جمع‌بندی ١٥٨

٥ - پروفایل‌های خطی عمومی ١٦١
٥-١ مقدمه ١٦١
٥-٢ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی چندگانه در فاز ١ ..... ١٦١
٥-٢-١ نمودار کنترل T^2 کنگ و آلباین ١٦٣

۵-۲-۲ نمودار کنترل T^2 براساس اختلافات متوالی..... ۱۶۵
۵-۲-۳ رویکرد مبتنی بر آزمون F..... ۱۶۶
۵-۲-۴ روش مبتنی بر نقطهٔ تغییر..... ۱۶۸
۵-۲-۵ روش مبتنی بر کاهش بعد..... ۱۶۹
۵-۳ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی چندگانه در فاز ۲..... ۱۷۵
۵-۳-۱ روش MEWMA..... ۱۷۶
۵-۳-۲ تعمیم رویکرد آماره نسبت درست‌نمایی..... ۱۸۰
۵-۳-۳ تعمیم روش LEWMA..... ۱۸۱
۵-۳-۴ رویکرد کاهش بعد..... ۱۸۲
۵-۴ روش‌های پایش پروفایل‌های چندجمله‌ای در فاز ۱..... ۱۸۵
۵-۴-۱ روش مبتنی بر نقطه تغییر..... ۱۸۵
۵-۴-۲ روش F..... ۱۹۱
۵-۴-۳ روش T^2..... ۱۹۴
۵-۴-۴ تشخیص نقطه تغییر در پروفایل‌های چندجمله‌ای در فاز ۱..... ۱۹۶
۵-۵ روش‌های پایش پروفایل‌های چندجمله‌ای در فاز ۲..... ۱۹۶
۵-۵-۱ روش چندجمله‌ای‌های متعامد..... ۱۹۷
۵-۵-۲ استفاده از نمودار کنترل T^2 - هتلینگ..... ۲۰۳
۵-۵-۳ روش MEWMA..... ۲۰۳
۵-۵-۴ روش $MCUSUM / \chi^2$..... ۲۰۴
۵-۶ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های خطی عمومی..... ۲۰۶
۵-۶-۱ مقایسه عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانه در فاز۱..... ۲۰۶
۵-۶-۲ مقایسه عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانه در فاز۲..... ۲۱۶
۵-۶-۳ مقایسه عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندجمله‌ای در فاز۱..... ۲۱۹
۵-۶-۴ مقایسه عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندجمله‌ای در فاز۲..... ۲۳۱
۵-۷ جمع‌بندی..... ۲۳۵

٦ – پروفایل‌های چندمتغیره ۲۳۷
٦–١ مقدمه ۲۳۷
٦–٢ روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانهٔ چندمتغیره در فاز ١ ..... ۲۳۸
٦–٢–١ رویکرد T^2 مبتنی بر تخمین‌زنندهٔ تفاضل متوالی ۲٤۰
٦–٢–٢ رویکرد آزمون نسبت درست‌نمایی ۲٤۱
٦–٢–٣ رویکرد لاندای ویلکس ۲٤۳
٦–٢–٤ رویکرد تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۲٤۷
٦–٣ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی سادهٔ چندمتغیره در فاز ١ ..... ۲٤۹
٦–٣–١ روش مبتنی بر آمارهٔ T^2 با مقادیر تصحیح از میانگین شدهٔ متغیر مستقل ۲٥۰
٦–٤ روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانهٔ چندمتغیره در فاز ٢ ..... ۲٥۲
٦–٤–١ روش MEWMA ۲٥۲
٦–٤–٢ روش MEWMA در فضایی با بعد کمتر ۲٥٤
٦–٤–٣ رویکرد آزمون نسبت درست‌نمایی ۲٥۷
٦–٤–٥ روش LASSO ۲٦١
٦–٥ روش‌های پایش پروفایل‌های خطی سادهٔ چندمتغیره در فاز ٢ ..... ۲٦٤
٦–٥–١ رویکرد نمودار کنترل تکی MEWMA ۲٦٦
٦–٥–٢ رویکرد نمودارهای کنترل ترکیبی MEWMA و مربع‌کای ۲٦۷
٦–٥–٣ رویکرد سه نمودار کنترل MEWMA ۲٦۹
٦–٥–٤ نمودار کنترل $\boldsymbol{T^2}$ ۲۷۲
٦–٦ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندمتغیره ۲۷۳
٦–٦–١ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانهٔ چندمتغیره در فاز ١.. ۲۷۳
٦–٦–٢ ارزیابی عملکرد روش‌های پایش پروفایل‌های چندگانهٔ چندمتغیره در فاز ٢.. ۲۸۰
٦–۷ جمع‌بندی ۲۹۰

۷– کاربرد نمودارهای تطبیقی در پایش پروفایل‌ها ۲۹۳
۷–١ مقدمه ۲۹۳

۷-۲ نمودارهای کنترل تطبیقی ۲۹۳
۷-۲-۱ ساختار نمودارهای کنترل تطبیقی ۲۹۶
۷-۲-۲ معرفی شاخص‌های عملکرد ۳۰۰
۷-۳ کاربرد نمودارهای تطبیقی در پایش پروفایل‌های خطی ۳۰۰
۷-۳-۱ نمودارهای کنترل VSS/ VSI MEWMA ۳۰۱
۷-۳-۲ رویکرد VSI ELR ۳۰۷
۷-۳-۳ نمودارهای کنترل VSI/VSS EWMA-3 ..... ۳۰۸
۷-۳-٤ رویکرد AEWMA-3 ..... ۳۱۵
۷-۳-۵ نمودارهای کنترل تطبیقی T^2 ..... ۳۱۸
۷-٤ ارزیابی عملکرد روش‌های تطبیقی ۳۳۵
۷-۵ جمع‌بندی ۳٤٦

۸- برآورد نقطهٔ تغییر در پروفایل‌ها ۳٤۷
۸-۱ مقدمه ۳٤۷
۸-۲ مفهوم نقطهٔ تغییر ۳٤۸
۸-۳ مدل پروفایل چندگانهٔ چندمتغیره در فاز ۲ و مفروضات آن ۳۵۱
۸-٤ مدل تغییر پله‌ای و تخمین‌زنندهٔ حداکثر درست‌نمایی نقطهٔ تغییر پله‌ای برای پارامترهای پروفایل‌های خطی چندمتغیره ۳۵۲
۸-۵ مدل تغییر تدریجی خطی و تخمین‌زنندهٔ حداکثر درست‌نمایی نقطهٔ تغییر تدریجی برای پارامترهای پروفایل‌های خطی چندمتغیره ۳۵۵
۸-٦ مدل تغییر یکنوای افزایشی و محاسبهٔ تخمین‌زنندهٔ نقطهٔ تغییر یکنوای افزایشی برای میانگین متغیرهای پاسخ پروفایل‌های خطی چندمتغیره ۳۵۹
۸-۷ تخمین انواع نقطهٔ تغییر در میانگین پروفایل‌های خطی چندمتغیره ۳٦۳
۸-۷-۱ مدل خطی پویا (DLM) ۳٦٤
۸-۷-۲ تطبیق مدل پروفایل‌های خطی چندمتغیره با مدل خطی پویا ۳۷٤

۸-۷-۳ محاسبهٔ تخمین‌زنندهٔ حداکثر درست‌نمایی مبتنی بر تخمین‌های فیلترینگ و هموارسازی برای پروفایل‌های خطی چندمتغیرهٔ پویا ۳۷۹
۸-۸ ارزیابی عملکرد تخمین‌زننده‌های حداکثر درست‌نمایی نقاط تغییر در پروفایل‌های خطی چندمتغیره ۳۸۱
۸-۹ جمع‌بندی ۴۰۱

۹- مطالعات موردی ۴۰۳
۹-۱ مقدمه ۴۰۳
۹-۲ مطالعه موردی پروفایل خطی ساده (رابطهٔ میان میزان رنگ برجای مانده و دما در تولید کفش‌های چرمی) ۴۰۳
۹-۳ مطالعه موردی پروفایل خطی ساده (رابطهٔ فشار و جریان در صنعت تولید نیمه‌هادی) ۴۰۹
۹-۴ مطالعه موردی پروفایل چندگانه (ساخت سیستم میکروالکترومکانیکی در صنعت تولید نیمه‌هادی) ۴۱۰
۹-۵ مطالعه موردی پروفایل چندجمله‌ای (پایش رابطهٔ گشتاور- دور موتور در سالن موتورسازی ایران خودرو) ۴۱۵
۹-۶ مطالعه موردی پروفایل چندمتغیرهٔ ساده (کالیبراسیون در بخش تولید بدنهٔ سمند در شرکت ایران خودرو) ۴۲۰
۹-۷ مطالعه موردی پروفایل چندمتغیرهٔ چندگانه (کالیبراسیون در مرکز تحقیقات ناسا) ۴۲۵
۹-۸ جمع‌بندی ۴۲۷

پیوست‌ها ۴۲۹
پیوست ۱ ..... ۴۲۹
پیوست ۲ ..... ۴۳۰

مراجع ۴۳۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۴۴۳
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۴۴۷
نمایه ۴۵۱

پیشگفتار نگارندگان

در دنیای رقابتی امروز، کیفیت نقش مهمی در سودآوری و حتی بقای سازمان‌ها ایفا می‌کند. بی‌شک سازمان‌هایی که به کیفیت اهمیت نمی‌دهند و ابزارها و روش‌های بهبود کیفیت را در سازمان‌های خود جاری نمی‌کنند، به مرور سهم بازار خود را از دست داده و رو به نابودی خواهند رفت. یکی از روش‌هایی که برای بهبود کیفیت و کاهش ضایعات وجود دارد، کنترل فرایند آماری است. این روش با استفاده از هفت ابزار، سعی در کاهش پراکندگی و در نتیجه بهبود کیفیت دارد. یکی از مهم‌ترین ابزارها و یا قلب کنترل فرایند آماری نمودارهای کنترل هستند. تاکنون نمودارهای کنترل متفاوتی از سوی محققان مختلف برای کنترل فرایندها با ویژگی‌های متنوع توسعه داده شده است. در یک دسته‌بندی، نمودارهای کنترل به دو نوع تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند و به‌ترتیب برای کنترل مشخصه‌های کیفی تک‌متغیره و چندمتغیره استفاده می‌شوند. اما نوعی دیگری از مشخصه‌های کیفی وجود دارد که در آن‌ها، رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ با یک یا چند متغیر مستقل کیفیت محصول یا عملکرد فرایند توصیف می‌شود و باید این رابطه در طول زمان پایش شود. محققان این رابطه را در ادبیات *کنترل فرایند آماری پروفایل* می‌نامند. کاربردهای بی‌شماری از پروفایل‌ها از سوی محققان مختلف ارائه شده است و از این‌رو موضوع پایش پروفایل‌ها در تقریباً دو دهه اخیر به موضوعی جذاب و کاربردی تبدیل شده و توجه محققان مختلفی را به خود جلب کرده است.

نگارندگان در این کتاب در صدد هستند که با نگارشی ساده خوانندگان و محققان علاقه‌مند به علم کنترل فرایند آماری را با ادبیات و روش‌های پایه‌ای پایش پروفایل‌ها آشنا کنند. برای این‌که خوانندگان بهتر بتوانند با مدل‌ها و نمودارهای کنترل در پایش پروفایل‌ها آشنا شوند، در این کتاب یک فصل مباحث مقدماتی و دو فصل نمودارهای کنترل و رگرسیون پیش از فصول مرتبط با پایش پروفایل‌ها تألیف شده است. در فصل مباحث مقدماتی دربارهٔ مفاهیم پایش پروفایل‌ها و نمودارهای کنترل و معیارهای ارزیابی نمودارهای کنترل بحث شده است. از آنجایی‌که پروفایل‌ها معمولاً براساس مدل‌های رگرسیونی مدل می‌شوند، فصل رگرسیون کتاب کمک شایانی در درک مدل‌ها و تخمین پارامترها در بحث پایش پروفایل‌ها خواهد کرد. همچنین در فصل نمودارهای کنترل دربارهٔ نمودارهای کنترل تک‌متغیره و به‌ویژه چندمتغیره به اختصار توضیح داده شده است که از جمله می‌توان به نمودارهای کنترل T^2، میانگین متحرک موزون‌نمایی چندمتغیره و جمع تجمعی چندمتغیره اشاره کرد. در بسیاری از روش‌های پایش پروفایل‌ها از این نمودارهای کنترل چندمتغیره برای پایش پروفایل‌ها استفاده شده است. در ادامه در فصول ٤ تا ٦، مدل‌ها و نمودارهای کنترل برای پایش انواع مختلف پروفایل‌های خطی شامل پروفایل خطی ساده، پروفایل‌های خطی عمومی (خطی چندگانه و چندجمله‌ای) و پروفایل‌های خطی چندمتغیره توضیح داده شده است. سپس در فصل ۷، نمودارهای کنترل تطبیقی برای پایش پروفایل‌ها تشریح شده است. در نمودارهای کنترل تطبیقی پارامترهای نمودارهای کنترل ثابت نیستند و یک یا بیش از یکی از پارامترها مانند اندازه نمونه، فاصله بین دوبار نمونه‌گیری و ضریب حدود کنترل متغیر هستند. در فصل ۸ دربارهٔ تخمین‌زننده‌های نقطهٔ تغییر در پایش پروفایل‌ها بحث شده است. گفتنی است زمانی‌که نمودار کنترل حالت خارج از کنترل را نشان می‌دهد، لزوماً نقطهٔ واقعی تغییر نیست و ممکن است پیش از آن فرایند از کنترل خارج شده باشد و نمودار کنترل نتوانسته باشد این حالت را کشف کند و مرتکب خطای نوع ۲ شده باشد. به زمانی‌که فرایند واقعاً از حالت کنترل خارج شده است، *نقطهٔ تغییر* گفته

می‌شود. تخمین درست نقطهٔ تغییر از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، زیرا بازهٔ زمانی برای پیدا کردن علت ریشه‌ای حالت خارج از کنترل را محدود و باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. همچنین باعث می‌شود سریع‌تر بتوان علت ریشه‌ای را برطرف کرد و فرایند را به حالت تحت کنترل درآورد. در فصل آخر نیز کاربردهایی از پایش پروفایل‌ها در قالب مطالعه موردی معرفی شده است. در این فصل تنها به اختصار به کاربردها پرداخته شده و از ذکر مدل و روش‌های پایش خودداری شده است.

مخاطبان این کتاب، دانشجویان ارشد و دکتری علاقه‌مند به تحقیق در حوزه کنترل کیفیت آماری و به‌ویژه پایش پروفایل‌ها هستند. همچنین با توجه به نگارش سادهٔ این کتاب و کاربردهای بحث شده در فصل مطالعه موردی، این کتاب می‌تواند مرجع مناسبی برای کارشناسان، مهندسان و مدیران کنترل کیفیت در سازمان‌های تولیدی و خدماتی باشد. این کتاب می‌تواند مرجع مناسبی برای درس کنترل فرایند آماری پیشرفته در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری نیز محسوب شود.

از ویژگی‌های بارز این کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

– نگارش ساده و قابل فهم کتاب که به محققان اجازه می‌دهد تا سریع‌تر با ادبیات پایش پروفایل‌ها آشنا شوند. همچنین مهندسان و مدیران کیفیت می‌توانند به‌راحتی از مدل‌ها و روش‌های نامبرده در این کتاب برای پایش پروفایل‌ها در سازمان‌های خود استفاده نمایند.

– تألیف فصل‌های مقدماتی دربارهٔ رگرسیون و نمودارهای کنترل به‌عنوان پیش‌نیاز مدل‌ها و روش‌های پایش پروفایل‌ها که موجب می‌شود خوانندگان راحت‌تر بتوانند با فصل‌های بعدی کتاب ارتباط برقرار نمایند.

– ارائهٔ فصل مطالعه موردی که به صنعتگران اجازه می‌دهد تا راحت‌تر بتوانند با کاربردهای پایش پروفایل‌ها آشنا شده و مصادیق پروفایل‌ها را در سازمان خود پیدا و نسبت به کنترل و پایش آن‌ها اقدام نمایند.

گفتنی است که مراجع تمام مطالب و شکل‌ها و جداول در این کتاب ذکر شده و مطالبی که بدون مرجع است حاصل دیدگاه‌ها و نگارش نگارندگان کتاب است که برای اولین بار چاپ شده است.

نگارندگان این کتاب بر خود لازم می‌دانند که از داوران محترم کتاب به‌دلیل نظریات سازنده که باعث بهبود کیفیت کتاب شد، صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند. همچنین از زحمات سرکار خانم نجفی زمان در نگارش ادبی و فنی کتاب تشکر و قدردانی می‌شود.

با تمام تلاشی که نگارندگان برای تألیف بی‌عیب این کتاب کشیده‌اند، بی‌شک این کتاب عاری از خطا نخواهد بود. بنابراین از تمامی دانشجویان، اساتید، محققان، مهندسان و مدیران کیفیت و خوانندگان درخواست می‌شود نظریات و پیشنهادهای سازندهٔ خود را از طریق آدرس الکترونیکی زیر برای بهبود کتاب در اختیار نگارندگان قرار دهند:

دکتر رضا برادران کاظم‌زاده، دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس rkazem@modares.ac.ir

دکتر مونا ایوبی، استادیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران غرب ayoubi.m@wtiau.ac.ir

مهندس بهنوش کوهستانی، دانش‌آموخته دانشگاه تربیت مدرس و کارشناس کنترل و پایش، شرکت مهندسین مشاور مونتکو ایران koohestani_85@yahoo.com

دکتر امیرحسین امیری، دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه شاهد amiri@shahed.ac.ir