به نام خدا

مجموعه کاربردهای مبانی و اصول نظریهٔ فازی در مهندسی صنایع

مجموعه کاربردهای مبانی و اصول نظریهٔ فازی در مهندسی صنایع

دکتر فریبرز موسوی مدنی
عضو هیأت علمی دانشگاه الزهرا(س)

ستاره بهزادی پیشکناری
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه الزهرا(س)

دانشگاه الزهرا

سرشناسه: موسوی‌مدنی، فریبرز عنوان و نام پدیدآور: مجموعه کاربردهای مبانی و اصول نظریه فازی در مهندسی صنایع/ فریبرز موسوی‌مدنی، ستاره بهزادی‌پیشکناری.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه الزهرا (س)، انتشارات، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۵۶۵ص.: مصور. شابک: ۲-٤٦-٦١١٤-٦٢٢-٩٧٨
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا یادداشت: کتابنامه.
موضوع: منطق فازی موضوع: Fuzzy logic
موضوع: مجموعه‌های فازی موضوع: Fuzzy sets
موضوع: تصمیم‌گیری -- داده‌پردازی موضوع: Decision making -- Data prossesing
موضوع: تجزیه و تحلیل سیستم‌ها موضوع: System analysis
شناسه افزوده: دانشگاه الزهراء (س). انتشارات
شناسه افزوده: Alzahra University press
رده‌بندی کنگره: QA۹/۶۴
رده‌بندی دیویی: ۵۱۱/۳۱۳
شماره کتابشناسی ملی: ۵۹۷۹۸۵۳

مجموعه کاربردهای مبانی و اصول نظریـهٔ فـازی در مهندسی صنایع

دکتر فریبرز موسوی مدنی
عضو هیأت علمی دانشگاه الزهرا(س)

ستاره بهزادی پیشکناری
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه الزهرا(س)

ناشـر:
انتشـارات دانشـگاه الـزهـرا(س)

طـراحی صـفحـات:
کـارگاه گـرافیـک فرگاهی
نـوبت چاپ: یـکم، ۱۳۹۸
شـمارگان: ۱۰۰۰نسخه
شـابک: ۲-٤٦-٦١١٤-٦٢٢-٩٧٨
قـیـمـت: ۹۸۰۰۰ تومان

مراکز پخش:
- ونک، دانشگاه الزهراء(س) / تلفن: ۸۸۰۴۸۹۳۳-۸۵۶۹۲۷۶۹
- میـدان انقـلاب، پاساژ ایـران، طبقـه اول، پلاک ٦١، نشر دانا تلفن: ۰۹۱۲۱۶۲۶۲۷۷-۶۶۵۷۴۷۸۱

وبگـــــاه فـــروش اینترنتـی: http://research.alzahra.ac.ir

کلیه ی حقوق برای دانشگاه الزهـــــــــــرا(س) محفوظ است.

فهرست مطالب

پیش‌گفتار ۱
سخنی با خوانندهٔ گرامی ۳

مقدمه ۱۷
عملیات روی اعداد فازی ۲۲
عملیات روی بازه فازی ۲۲
بازه برش آلفا ۲۳
عملیات حسابی، حداقل و حداکثرفازی ۲۵
عدد فازی مثلثی ۲۹
عملیات روی عدد فازی مثلثی ۳۰
انواع دیگر اعداد فازی ۳۲
عدد فازی ذوزنقه‌ای ۳۲
عدد فازی زنگوله‌ای ۳۳
معادلات فازی و روش‌های حل آن‌ها ۳۴
معادله فازی جمع و ضرب ۳۴
حل معادلات بازه‌ای حاصل از برش α ۳۵

دفازی‌سازی مجموعهٔ فازی به اسکالر ۳۶
ماکزیمم عضویت ۳۷
مرکز ثقل ۳۸
میانگین موزون ۳۸
میانگین ماکزیمم عضویت ۳۹
مرکز مجموع‌ها ۴۰
مرکز بزرگ‌ترین ناحیه ۴۱
اولین یا آخرین ماکزیمم ۴۲

فصل اول : تصمیم‌گیری فازی ۴۵
۱-۱ نظریهٔ فازی در برنامه‌ریزی خطی ۴۷
۱-۱-۱ مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی ۴۹
۱-۲ نظریهٔ فازی در برنامه‌ریزی خطی چند هدفه ۵۹
۱-۲-۱ معرفی مسائل خطی چند هدفه فازی ۵۹
۱-۲-۲ برنامه‌ریزی فازی آرمانی (FGP) ۶۴
۱-۳ روش‌های فازی تصمیم‌گیری چند معیاره ۷۱
۱-۳-۱ تکنیک بهبودیافته برای تصمیم‌گیری فازی بر پایهٔ مجموعه‌های مبهم ۷۲
۱-۳-۲ نظریهٔ مجموعه‌های مبهم و عملکرد آن‌ها ۷۲
۱-۳-۳ فرموله‌کردن مسائل چندمعیاره به‌وسیلهٔ مجموعه‌های مبهم ۷۳
۱-۳-۴ مرور روش‌های تصمیم‌گیری موجود براساس مجموعه‌های مبهم ۷۴
۱-۴ تصمیم‌گیری چند شاخصه و روش‌های تعیین وزن:
آنتروپی، TOPSIS، AHP و VIKOR ۱۰۰
۱-۴-۱ تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای ۱۰۰
۱-۴-۲ روش‌های تعیین وزن ۱۰۱
۱-۵ خلاصه فصل ۱۱۸

فصل دوم: کنترل پروژه با رویکرد فازی ۱۱۹
۲-۱ بیان مفاهیم و روش‌ها ۱۲۱
۲-۱-۱ تعاریف اساسی ۱۲۱
۲-۱-۲ تکنیک‌های کنترل پروژه ۱۲۲
۲-۱-۳ کنترل پروژه با اطلاعات نادقیق ۱۲۴
۲-۱-۴ نظریهٔ فازی و کنترل پروژه ۱۲۵
۲-۲ موازنه زمان-هزینه ۱۲۶

۲-۲-۱ معرفی مبحث موازنه زمان-هزینه ۱۲۶
۲-۲-۲ حل مدل‌های موازنه زمان-هزینه ۱۳۰
۲-۳ مسائل مسیر بحرانی ۱۳۷
۲-۳-۱ محاسبهٔ درجه بحرانی بودن مسیرها در شبکه پروژه با زمان فعالیت‌های فازی ۱۳۸
۲-۳-۲ محاسبهٔ دیرترین زمان شروع فعالیت‌ها در شبکه با مقادیر بازه‌ای و کمترین زمان شناوری ۱۴۲
۲-۳-۳ رویکرد حل مسائل مسیر بحرانی فازی با به‌کارگیری تحلیل وقایع ۱۵۶
۲-۴ مدیریت ریسک ۱۶۹
۲-۴-۱ تخمین و ارزیابی ریسک با روش‌های فازی ۱۷۱
۲-۵ خلاصه فصل ۲۰۰

فصل سوم: مکان‌یابی فازی ۲۰۳

۳-۱ مسئله P میانه فازی ۲۰۵
۳-۱-۱ مشخصات مسائل میانه ۲۰۶
۳-۱-۲ مدل‌سازی مسئله p-میانه ۲۰۷
۳-۱-۳ روش‌های حل مسئله p-میانه ۲۰۹
۳-۱-۴ مروری بر برنامه‌ریزی ریاضی فازی ۲۱۰
۳-۱-۵ مسئله p-میانه فازی ۲۱۱
۳-۱-۶ روش‌های حل مسئله p-میانه فازی ۲۱۸
۳-۱-۷ اعتبارسنجی مدل ۲۳۰
۳-۱-۸ مطالعه چگونگی وابستگی جواب‌های مسئلهٔ فازی به توابع عضویت ۲۳۵
۳-۲ مکان‌یابی-تخصیص پیوستهٔ فازی ۲۴۲
۳-۲-۱ مسئله FLA با ظرفیت محدود ۲۴۳
۳-۲-۲ متغیر فازی ۲۴۴
۳-۲-۳ مدل حداکثرسازی اعتبار با تقاضاهای فازی ۲۴۵
۳-۲-۴ مدل حداکثرسازی شانس با تقاضاهای فازی احتمالی ۲۵۱
۳-۲-۵ مدل حداقل‌سازی میانگین هزینه با تقاضاهای فازی ۲۵۳
۳-۲-۶ مدل حداقل‌سازی میانگین هزینه با تقاضاهای فازی احتمالی ۲۵۴
۳-۲-۷ مدل حداقل‌سازی ریسک ۲۵۸
۳-۲-۸ مدل مکان‌یابی-تخصیص با تخصیص‌های فازی ۲۶۲
۳-۳ خلاصه فصل ۲۶۹

فصل چهارم: توسعهٔ عملکرد کیفیت فازی ۲۷۱

۴-۱ مقدمه ۲۷۳

۴-۲ مروری بر روش‌شناسی QFD۱۶۵ ۲۷۶
۴-۲-۱ نیازمندی‌های مشتری ((CR ۲۷۷
۴-۲-۲ مشخصات مهندسی ((EC ۲۷۷
۴-۲-۳ ماتریس روابط ۲۷۸
۴-۲-۴ رتبه‌بندی اهمیت ۲۷۹
۴-۲-۵ شاخص مطلوبیت مشتری ۲۷۹
۴-۲-۶ رتبه‌بندی اهمیت فنی ۲۷۹
۴-۲-۷ ماتریس برنامه‌ریزی ۲۷۹
۴-۲-۸ همبستگی ECها ۲۸۰
۴-۲-۹ اهداف و محدودیت‌ها ۲۸۰
۴-۲-۱۰ تعیین معیار رقابتی ۲۸۱
۴-۳ مدل کانوی کیفیت ۲۸۱
۴-۴ تحلیل QFD ۲۸۲
۴-۵ QFD فازی (نرمال‌سازی روابط با استفاده از روش میانگین موزون فازی) ۲۸۷
۴-۵-۱ ماتریس روابط QFD فازی ۲۸۷
۴-۵-۲ مدل‌های NLP، برای رتبه‌بندی اهمیت نسبی در محیط فازی ۲۹۱
۴-۵-۳ مدل‌های LP برای رتبه‌بندی اهمیت نسبی در محیط فازی ۲۹۲
۴-۶ مدل چندهدفه QFD فازی در تلفیق با مدل کانو ۳۰۰
۴-۶-۱ خانهٔ کیفیت (HOQ) برنامه‌ریزی محصول فازی در تلفیق با مدل کانو ۳۰۰
۴-۶-۲ مدل برنامه‌ریزی چندهدفه QFD فازی ۳۰۳
۴-۶-۳ روش حل فازی مدل برنامه‌ریزی چند هدفه QFD فازی ۳۰۴
۴-۶-۴ تصمیم‌گیری با استفاده از جواب‌ها ۳۱۰
۴-۷ مدل چند معیاره QFD فازی ۳۱۳
۴-۷-۱ تعریف مسئله ۳۱۴
۴-۷-۲ برآورد پارامتر روابط تابعی ۳۱۵
۴-۷-۳ فرمول‌بندی مدل ۳۱۶
۴-۷-۴ تعریف مدل ۳۲۰
۴-۸ تعمیم روش رگرسیون حداقل مربعات فازی به مدل‌سازی روابط در (QFD) GFLSR ۳۲۸
۴-۸-۱ پیش‌زمینهٔ نظریهٔ GFLSR ۳۲۸
۴-۸-۲ مدل‌سازی ارتباط‌ها در QFD با استفاده از GFLSR ۳۳۲
۴-۹ برخی از کاربردهای QFD فازی در مقالات ۳۳۹
۴-۹-۱ انتخاب پیمانکار برای نوسازی مسکن ۳۳۹
۴-۹-۲ توسعهٔ استراتژی تولید ۳۴۰

۴-۹-۳ مسیریابی تصمیمات سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل دریایی در بازار نفت خام ۳۴۲
۴-۹-۴ تعیین معیار برای اعطای مجوز برای ثبت اختراع ۳۴۲
۴-۹-۵ دستیابی به تولید چابک ۳۴۳
۴-۹-۶ مدیریت استراتژیک خدمات لجستیک ۳۴۳
۴-۹-۷ انتخاب تأمین‌کننده ۳۴۳
۴-۹-۸ مدیریت زنجیرهٔ تأمین ۳۴۴
۴-۱۰ خلاصهٔ فصل ۳۴۴

فصل پنجم: بازی‌های فازی ۳۴۵
۵-۱ مقدمه ۳۴۷
۵-۲ نظریهٔ بازی‌ها ۳۴۷
۵-۲-۱ مفهوم نظریهٔ بازی‌ها ۳۴۷
۵-۲-۲ فرم‌های مختلف بازی‌ها ۳۴۹
۵-۲-۳ انواع بازی‌ها ۳۵۱
۵-۳ بازی غیرمشارکتی با شکل نرمال ۳۵۶
۵-۳-۱ بازی‌های متناهی دونفره ۳۵۷
۵-۳-۲ بازی‌های غیرمشارکتی چندهدفه با شکل نرمال ۳۶۰
۵-۴ بازی‌های غیرمشارکتی فازی ۳۶۱
۵-۴-۱ بازی‌های ماتریسی با نتایج نهایی فازی ۳۶۲
۵-۴-۲ بازی‌های ماتریسی با اهداف و نتایج نهایی فازی ۳۷۷
۵-۵ بازی‌های ماتریسی محدود ۳۷۹
۵-۵-۱ مفاهیم و معرفی متغیرها ۳۸۱
۵-۵-۲ مدل‌های برنامه‌ریزی خطی کمکی و الگوریتم حل ۳۸۴
۵-۶ خلاصهٔ فصل ۳۹۱

فصل ششم: کاربرد نظریهٔ فازی در مدیریت تأمین‌کنندگان ۳۹۳
۶-۱ مقدمه ۳۹۵
۶-۲ کاربرد برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی در انتخاب تأمین‌کننده ۳۹۶
۶-۲-۱ مدل خطی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کننده ۳۹۷
۶-۲-۲ مدل خطی چندهدفه تحت شرایط شکست قیمت ۴۰۷
۶-۳ کاربرد FUZZY -QFD در مدیریت تأمین‌کننده ۴۱۲
۶-۳-۱ گسترش عملکرد کیفی ۴۱۴
۶-۳-۲ مراحل اجرای QFD برای انتخاب و ارزیابی تأمین کننده در محیط تولیدی ۴۱۵

۶-۳-۳ مراحل اجرای QFD برای مدیریت تأمین‌کنندگان در سازمان خدماتی ۴۱۹
۶-۴ کاربرد FUZZY-AHP در انتخاب تأمین‌کننده ۴۳۲
۶-۴-۱ روش‌های ارائه شده برای انتخاب تأمین‌کننده به کمک AHP در محیط فازی ۴۳۳
۶-۵ خلاصهٔ فصل ۴۳۹

فصل هفتم: مسائل قابلیت اطمینان با رویکرد فازی ۴۴۱
۷-۱ مقدمه ۴۴۳
۷-۲ سیستم‌های فازی ۴۴۳
۷-۳ مفهوم قابلیت اطمینان ۴۴۴
۷-۴ ارتباط بین قابلیت اطمینان و نظریهٔ فازی ۴۴۵
۷-۵ قابلیت اطمینان فازی ۴۴۹
۷-۵-۱ تعیین توابع عضویت ۴۴۹
۷-۵-۲ تجزیه و تحلیل درخت خرابی ۴۵۰
۷-۵-۳ تعریف قابلیت اطمینان فازی برای پیشامدهای واضح با احتمالات فازی ۴۵۰
۷-۵-۴ نرخ شکست فازی ۴۵۵
۷-۵-۵ میانگین طول عمر فازی ۴۵۶
۷-۵-۶ ارزیابی فازی قابلیت اطمینان سیستم‌های کنترلی ۴۵۶
۷-۶ مدل‌سازی سیستم‌های قابلیت اطمینان ۴۵۷
۷-۶-۱ مدل‌سازی سیستم‌های با افزونگی به کمک برنامه‌ریزی خطی ۴۵۷
۷-۶-۲ مدل‌سازی قابلیت اطمینان فازی تحت فرض وضعیت فازی باینری ۴۶۰
۷-۷ ارزیابی ریسک فازی ۴۶۱
۷-۸ مثال موردی: محاسبهٔ عدم اطمینان فرار قطار در حادثهٔ انفجار نیشابور ۴۶۴
۷-۸-۱ قابلیت عدم اطمینان حادثهٔ نیشابور ۴۶۴
۷-۸-۲ محاسبهٔ مقدار قطعی قابلیت عدم اطمینان زیرسیستم فرار واگن‌ها ۴۶۶
۷-۸-۳ محاسبهٔ مقدار فازی قابلیت عدم اطمینان زیرسیستم فرار واگن‌ها ۴۶۹
۷-۹ خلاصهٔ فصل ۴۷۲

فصل هشتم: خوشه‌بندی فازی ۴۷۵
۸-۱ خوشه و خوشه‌بندی ۴۷۷
۸-۲ خوشه‌بندی فازی ۴۸۰
۸-۳ خوشه‌بندی فازی با c مرکزیا FCM ۴۸۱
۸-۳-۱ نظریهٔ FCM ۴۸۲
۸-۳-۲ FCM استاندارد ۴۸۳

۸-۳-۳ الگوریتم FCM استاندارد ۴۸۴
۸-۴ الگوریتم FCM با استفاده از PSO ۴۸۵
۸-۴-۱ بهینه‌سازی تناوبی FCM ۴۸۶
۸-۴-۲ مروری بر الگوریتم بهینه‌سازی حرکت جمعیت ذرات ۴۸۷
۸-۴-۳ به‌کارگیری الگوریتم PSO ۴۸۹
۸-۵ الگوریتم FCM با استفاده از فواصل نمایی ۴۸۹
۸-۵-۱ نظریهٔ FCM با فواصل نمایی ۴۹۰
۸-۵-۲ الگوریتم GA-JFC ۴۹۱
۸-۶ الگوریتم FCM با استفاده از الگوریتم ۴۹۲
۸-۶-۱ نظریهٔ FCM با الگوریتم QS ۴۹۲
۸-۶-۲ نظریهٔ پایهٔ دانه‌داربودن فضای خارج قسمت ۴۹۳
۸-۶-۳ الگوریتم FCM-QS ۴۹۴
۸-۷ کاربرد خوشه‌بندی فازی در مسائل مهندسی صنایع ۴۹۶
۸-۷-۱ کاربرد خوشه‌بندی فازی در داده‌کاوی ۴۹۶
۸-۷-۲ کاربرد خوشه‌بندی فازی در بهبود الگوریتم‌های ابتکاری ۴۹۹
۸-۸ بررسی مقالات ۵۰۰
۸-۸-۱ طراحی کاتالوگ ۵۰۰
۸-۸-۲ ارائهٔ خدمات پس از فروش ۵۰۶
۸-۸-۳ تعیین ترجیحات مشتریان ۵۱۴
۸-۸-۴ خوشه‌بندی مشتریان ۵۲۲
۸-۸-۵ مدیریت کیفیت زنجیرهٔ تأمین ۵۲۴
۸-۸-۶ طراحی محصول جدید ۵۳۲
۸-۸-۷ بهبود الگوریتم ژنتیک برای مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد ۵۳۹
۸-۸-۸ ساده‌سازی مسئله مسیریابی وسیلهٔ نقلیه ۵۵۱
۸-۹ خلاصهٔ فصل ۵۵۴

فهرست منابع **۵۵۷**

۱

پیش‌گفتار

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به هم‌نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان کرد و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی‌مان ساخت. در دیدگاه سنتی از علم، عدم اطمینان نشان‌دهندهٔ یک حالت نامطلوب است، اما نظریهٔ پروفسور لطفی‌زاده و ارائهٔ علم فازی، تأثیر عمیقی روی افکار دربارهٔ عدم قطعیت داشته است؛ چرا که ممکن است در یک مسئلهٔ علمی، با اطلاعات ناقص، مبهم و غیرقابل‌اطمینان مواجه شویم. می‌توان با استفاده از استدلال تقریبی به تحلیل و بررسی مسائلی که دربارهٔ آن‌ها اطلاعات دقیقی وجود ندارد، پرداخت. پروفسور لطفی‌زاده علم فازی را با این عنوان بیان می‌کند که ما نیازمند نوع دیگری از ریاضیات هستیم تا بتوانیم ابهامات و عدم دقت رویدادها را مدل‌سازی کنیم؛ مدلی که متفاوت با نظریهٔ احتمالات است. در بیشتر مسائلی که با آن‌ها روبه‌رو هستیم، نظریهٔ پروفسور لطفی‌زاده بسیار کاربردی است.

در سال‌های اخیر، نظریهٔ مجموعه‌های فازی به‌دلیل موفقیت‌ها و کارکردهای زیاد و متنوع، در حوزه‌های مختلف پژوهشی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران از جمله

مهندسان صنایع قرار گرفته است. متأسفانه هنوز کتاب‌هایی که به‌صورت یک مجموعه به کاربردهای مختلف فازی در مهندسی صنایع بپردازند، کمتر یافت می‌شود. از این‌رو، تلاش کرده‌ایم تا پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه‌ها را بررسی کنیم و به‌صورت مجموعه‌ای درخور ارائه دهیم. این مجموعه، مباحث مهمی در مهندسی صنایع دربردارد که از تکنیک‌های مدل‌سازی فازی در آن‌ها به‌طور گسترده استفاده شده است و شامل تصمیم‌گیری‌های فازی، کنترل پروژه با رویکردهای فازی، مکان‌یابی فازی، توسعهٔ عملکرد کیفیت فازی، بازی‌های فازی، کاربرد نظریهٔ فازی در مدیریت تأمین‌کنندگان، مسائل قابلیت اطمینان با رویکردهای فازی و کاربرد خوشه‌بندی فازی است. تلاش شده است که در هریک از این مباحث که در فصل‌های مجزا ارائه شده‌اند، نمونه‌های مطالعات موردی یا مثال‌هایی که در مقالات مرتبط وجود دارند، آورده شود تا فهم بهتر و عمیق‌تر مباحث نظری را تسهیل سازد. با وجود تخصصی‌بودن مطالب و لزوم آشنایی خوانندگان با اصول نظریهٔ فازی، در مقدمهٔ کتاب برخی تعاریف و مفاهیم پایه‌ای عمومی نظریهٔ فازی آورده شده است تا خوانندگان عزیز بتوانند حداقل آمادگی لازم برای درک بهتر مطالب فصل‌های بعدی را کسب کنند. در عین حال، برای استفادهٔ هرچه بیشتر از مباحث، به خوانندگان محترم توصیه می‌شود کتاب *مبانی و کاربرد نظریهٔ فازی* تألیف نگارنده را به‌دقت مطالعه کنند.

امید است کاستی‌ها و نواقص احتمالی این کتاب با همیاری و نظرات شما پژوهشگران و مهندسان صنایع عزیز در چاپ‌های بعدی برطرف شود. از این‌رو خواهشمند است ما را در بهبود هرچه بیشتر کتاب حاضر یاری فرمایید.

۳

سخنی با خوانندهٔ گرامی

در به‌کارگیری زبان طبیعی، همواره مقادیر زیادی عدم انعطاف‌پذیری و دقت وجود دارد. منطق دو ارزشی کلاسیک که خواهان داده‌های دقیق و کمی است، قادر به بیان عبارات زبانی نیست. در مقابل، منطق فازی مدعی است که می‌تواند مفاهیم و عبارات نادقیق را بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. توانایی این ریاضیات برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان و ابهام، توجه بسیاری از پژوهشگران و کارشناسان علوم مختلف را به خود جلب کرده است.

در دیدگاه کلاسیک مبتنی بر ریاضیات قطعی، مسئلهٔ افزایش دقت تقریب‌ها برای بهینه‌سازی یا حصول به حداکثر بهره‌وری در برنامه‌ریزی و مدل‌سازی مورد توجه مهندسان صنایع است. درحالی‌که در دیدگاه فازی، به‌دنبال ساختن مدل‌هایی هستیم که عدم دقت و ابهام در تاروپود مدل‌سازی سیستم تنیده شده باشد تا مهندسان صنایع قادر شوند روش‌های نوآورانه‌تر و منطبق‌تر با واقعیت را برای کنترل یا طبقه‌بندی مسائل ارائه کنند.

با وجود اهمیت و کاربرد گستردهٔ این مباحث، کمبود کتب آموزشی مفید در زمینهٔ کاربردهای نظریهٔ فازی در مباحث مهندسی صنایع به‌وضوح مشهود است؛ چنانکه کتب مرتبط با نظریهٔ فازی در قفسه‌های کتاب‌فروشی‌ها درخور توجه نیستند و دانشجویان علاقه‌مند به این مباحث، گزینه‌های چندان متنوعی پیش روی خود نمی‌یابند. بازخوردهای نگارنده از گفت‌وگوهای دوستانه با دانشجویان مهندسی صنایع در طول چند سال سابقهٔ تدریس کاربرد نظریهٔ فازی، مؤید و مبین اشتیاق وافر آن‌ها به یادگیری تکنیک‌های کاربرد نظریهٔ فازی به زبان سلیس و شیوا به‌طور مدون و منسجم است. کتاب حاضر با درک لزوم ارائهٔ منبعی نسبتاً جامع، ساختاریافته و کاربردی - که راهگشای آشنایی علاقه‌مندان در استفاده از رویکرد مجموعه‌های فازی در حل مسائل مبتلا به آن‌ها باشد - با تقریر و تکمیل جزوات درسی دانشگاهی برای استفادهٔ سایر علاقه‌مندان تدوین شده است.

به‌طور خاص، مخاطبان اصلی این کتاب کسانی هستند که قصد دارند دانش خود را دربارهٔ تجزیه و تحلیل مسائل برنامه‌ریزی خطی، کنترل پروژه، مسائل مکان‌یابی، توسعهٔ عملکرد کیفیت، نظریهٔ بازی‌ها، مدیریت زنجیرهٔ تأمین، قابلیت اطمینان و خوشه‌بندی در حالت فازی ارتقا دهند. برای افرادی که با مبانی و مفاهیم پایهٔ ریاضیات فازی آشنایی قبلی دارند، مطالعهٔ مقدمهٔ کتاب برای انسجام و طراوت‌بخشیدن مطالب مقدماتی مورد استفاده در فصل‌های بعدی توصیه می‌شود. در مقابل، برای آن دسته از خوانندگانی که هیچ پیش‌زمینهٔ قبلی از نظریهٔ فازی ندارند، تهیه و مطالعهٔ دقیق و مبسوط کتاب *مبانی و کاربرد نظریهٔ فازی* تألیف نگارنده قبل از اقدام به مطالعه کتاب حاضر کاملاً به‌جا خواهد بود.

با توجه به آنکه در این کتاب موضوعات و مباحث متنوعی با رویکرد فازی بررسی شده‌اند و با توجه به قالب کلی کتاب که سعی شده است پس از ارائهٔ مدل ریاضی، یک یا چند مثال عددی آورده شود، مطالعه عمیق و جامع آن می‌تواند چارچوبی برای یادگیری استفاده از ریاضیات فازی در حل‌وفصل مسائل مهم مهندسی صنایع فراهم آورد؛ به‌گونه‌ای که خوانندهٔ گرامی قادر خواهد بود راهکارهای مواجهه و درنهایت حل مسئلهٔ مدنظر خود را بیابد.

در مقدمهٔ کتاب، ابتدا پیشینه‌ای از ریاضیات فازی و در ادامه، عملیات روی اعداد فازی، اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و زنگوله‌ای مطرح شده است. سپس به معادلات فازی و روش‌های حل آن پرداخته شده است. درنهایت انواع شیوه‌های دفازی‌سازی مجموعهٔ فازی به اسکالر تشریح می‌شوند.

موضوع فصل اول کتاب، تصمیم‌گیری فازی و به‌طور خاص برنامه‌ریزی خطی با رویکرد فازی است. مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، نوع خاصی از مدل‌های تصمیم‌گیری هستند. در یک فضای تصمیم با محدودیت‌ها و تابع مطلوبیت قطعی، تصمیم‌گیری در حالت قطعی است. مسائل برنامه‌ریزی خطی کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارند و در انواع مباحث مهندسی صنایع مانند برنامه‌ریزی و کنترل موجودی، کنترل کیفیت، کنترل پروژه، برنامه‌ریزی تولید و مسائل مکان‌یابی به‌کار گرفته می‌شوند. مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی برای پاسخ‌دادن و حل عدم قطعیت و ابهام در مقادیر تابع هدف، محدودیت‌ها و ضرایب مدل در دنیای واقعی مورد توجه قرار گرفته است. مدل برنامه‌ریزی خطی فازی، یک مدل یگانه و مشخص نیست و براساس شرایط واقعی و فرضیاتی که برای مدل‌کردن در نظر گرفته می‌شود، به‌دست می‌آید و بر همین اساس می‌تواند در بهبود نتایج تصمیم بسیار مؤثر باشد. همچنین از آنجا که غالب زیرشاخه‌های موضوعی مهندسی صنایع به‌گونه‌ای با مقولهٔ تصمیم‌سازی سروکار دارند، این مبحث در فصل نخست کتاب آمده است تا مطالعهٔ آن به درک مطالب فصل‌های بعدی کتاب کمک کند.

در این فصل، ابتدا انواع مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی تک‌هدفه شامل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی متقارن، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با ضرایب سمت راست فازی و همچنین با ضرایب محدودیت فازی و مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با ضرایب تابع هدف فازی بیان می‌شود. در ادامه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی فازی چندهدفه و درنهایت چندمعیاره و چندشاخصه‌ای که از پرکاربردترین روش‌ها در تکنیک‌های تصمیم‌گیری و تصمیم‌گیری فازی هستند، ارائه می‌شوند. درمورد دروس پیش‌نیاز برای یادگیری بهتر این فصل می‌توان جبر خطی، تئوری احتمالات و کاربرد آن را ذکر کرد که همگی توسط دانشجویان مقطع کارشناسی در همه گرایش‌های مهندسی صنایع اخذ

می‌شوند. کتاب *مبانی احتمال* تألیف شلدون رأس[1]، که ترجمه‌های گوناگونی از آن در دسترس است، برای کسب دانش پیش‌زمینه و کتاب‌های *برنامه‌ریزی خطی چندهدفه* تألیف دکتر حسن قدسی‌پور و *تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی* ترجمهٔ دکتر مهدی روانشادنیا و مهندس محمدعادل بزرگمهر نیز به‌عنوان منابع جانبی برای تکمیل و تعمیق مباحث این فصل توصیه می‌شوند.

در فصل دوم کتاب، به موضوع کنترل پروژه با رویکرد فازی می‌پردازیم. کنترل پروژه، فرایندی برای زمان‌بندی، اولویت‌دهی و نظام‌بخشیدن به ترتیب و روند اجرای فعالیت‌های پروژه برای دست‌یازیدن و نگهداشت یک موازنهٔ اقتصادی منطقی و موجه بین سه عامل هزینه، زمان و کیفیت در حین اجرای پروژه است. به‌طورکلی، کنترل پروژه از طریق جلوگیری از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف‌ها (کاهش هزینه)، حذف یا تقلیل تعویق در زمان اتمام پروژه (کاهش زمان)، در عین رعایت الزامات کیفی و محدودهٔ کاری پروژه (تضمین کیفیت) به برقراری موازنهٔ سه‌گانهٔ هزینه، زمان و کیفیت اهتمام می‌ورزد؛ به‌عنوان نمونه، شرکت‌های عمرانی و راه‌سازی، پیمانکارانی که فعالیت‌های خدماتی ارائه می‌دهند و شرکت‌های تولیدکنندهٔ نرم‌افزارهای سفارشی، مشتریان عمدهٔ سامانه‌های کنترل پروژه هستند. دیرزمانی است که ماهیت غیرقطعی زمان تخمینی و ضرایب هزینه، انگیزهٔ به‌کارگیری مفاهیم علم آمار و احتمالات را قوت بخشیده است، اما تعیین مقادیر احتمالی، توزیع‌های احتمال، میانگین و واریانس توزیع‌ها منوط به تکرارپذیری فعالیت‌هاست که معمولاً در پروژه‌های جدید و کم‌سابقه، اساساً یا امکان این امر وجود ندارد یا اینکه تکرار آزمایش با صرف هزینهٔ گزاف میسر می‌شود. از این‌رو تکنیک‌های مبتنی بر روش‌های آماری در عمل کارایی ندارند؛ حال آنکه استفاده از منطق فازی، لزوم نمونه‌برداری تصادفی و محاسبات آماری برای تعیین توزیع‌های احتمالی را مرتفع می‌کند. در ادبیات فازی، برای بیان زمان‌های شروع و خاتمهٔ فعالیت‌ها از متغیرهای زبانی مانند «تقریباً»، «در حدود» یا «بیش از» استفاده می‌شود که تخمین‌های واقعی‌تری از زمان اجرای فعالیت‌ها را به دست خواهند داد. از سوی دیگر، امکان به‌کارگیری

[1] Sheldon M. Ross

مستقیم دانش و تجربیات شخصی متخصصان در توسعهٔ مدل‌های ریاضی نیز از دیگر مزایای استفاده از منطق فازی در کنترل پروژه است.

در ابتدای این فصل، مباحث موازنهٔ زمان-هزینه بیان می‌شود. وجود عدم قطعیت در تخمین زمان، هزینه‌های مستقیم، هزینه‌های غیرمستقیم یا هزینه‌های فشرده‌سازی فعالیت‌ها، عامل اصلی معرفی و توسعهٔ روش‌های موازنه زمان-هزینه در پروژه‌ها محسوب می‌شود. در این بخش، با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی فازی، روش‌های مناسب برای حل مدل‌های موازنه زمان-هزینه مطرح می‌شود. در ادامه به مسائل مسیر بحرانی پرداخته می‌شود که طولانی‌ترین زمان یک توالی اجرای فعالیت‌ها در شبکهٔ فعالیت‌های پروژه است. با توجه به اهمیتی که برنامه‌ریزی و زمان‌بندی‌ها در پروژه‌ها دارند، بیان روش‌های ساده برای تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی در شبکهٔ پروژه با زمان فازی لازم است و هدف از این بخش نیز بیان برخی از این روش‌هاست. در بخش پایانی نیز مباحث مدیریت ریسک ارائه می‌شود و به این منظور ویژگی‌های ریسک و مراحل مدیریت ریسک بیان شده است. علاوه بر آن، در این بخش به مدل‌های ریسک فازی و روش‌های برآورد ریسک فازی پرداخته می‌شود. در این مدل‌ها خبرگان براساس دانش و تجربهٔ شخصی خود قضاوت می‌کنند و رأی و اولویت‌های آن‌ها به طور طبیعی اغلب مبهم، نادقیق و غیرقطعی هستند؛ بنابراین استفاده از دانش فازی، به تصمیمات و ارزیابی درست‌تری از ریسک منجر خواهد شد. به‌عنوان پیش‌نیاز و یادگیری بهتر مطالب، آشنایی با مباحث تحقیق در عملیات ۱ لازم است و به این منظور کتاب *تحقیق در عملیات* تألیف مازیار زاهدی‌سرشت و کتاب برنامه‌ریزی خطی تألیف مختار بازارا[1] نمونه‌هایی مناسب جهت پیش مطالعه و کتاب کنترل پروژه تألیف دکتر سبزه پرور، کتاب *مدیریت و کنترل پروژه* تألیف علی حاج شیرمحمدی و کتاب *کنترل پروژهٔ فازی* تألیف دکتر اردشیر احمدی و سیدرسول حسینی بهارانچی نیز به‌عنوان منابع تکمیلی مباحث فصل توصیه می‌شود.

موضوع فصل سوم، مکان‌یابی فازی و به‌طور دقیق‌تر مسائل پی میانه-مکان‌یابی فازی و مسائل تخصیص-مکان‌یابی فازی در فضای پیوسته است. مسائل پی میانه-

[1] Mokhtar S. Bazaraa

مکان‌یابی در زمرهٔ مهم‌ترین مسائل تخصیص-مکان‌یابی در فضای گسسته است که با استفاده از نظریهٔ گراف و شبکه‌ها مدل می‌شوند. اصولاً در این‌گونه مسائل، در پی یافتن نقاط میانه از میان نقاط کاندیدا هستیم؛ به‌طوری که مجموع فواصل پیموده‌شده یا هزینه‌های حمل‌ونقل کمینه شوند. مسائل تخصیص-مکان‌یابی در فضای پیوسته نیز فرایند تصمیم‌گیری مکان استقرار تسهیلات و تعیین چگونگی تخصیص تقاضای مشتریان به مراکز توزیع، به‌گونه‌ای است که مجموع فواصل طی‌شده یا هزینه‌های حمل‌ونقل کمینه شوند. مسائل پی میانه-مکان‌یابی، کاربردهای گسترده‌ای در استقرار سرویس‌های عمومی نظیر مدارس، بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی، آمبولانس، ایستگاه‌های بازرسی فنی خودرو و تعیین محل چند نمایندگی خودرو دارد؛ به‌عنوان مثال، فرض کنید که در سطح یک شهر به‌دنبال پیداکردن چند محل برای نمایندگی مجاز خودرو هستیم که مسئله‌ای پیوسته است. برای تبدیل این مسئله به یک مسئلهٔ گسسته می‌توان به‌عنوان مثال شهر را به مناطق کوچک‌تر تقسیم‌بندی کرد. مسائل تخصیص-مکان‌یابی در فضای پیوسته نیز در خدمات اورژانس، شبکه‌های مخابراتی، مراکز توزیع کارخانه‌ها و مدیریت زنجیره تأمین به‌کار گرفته می‌شود. در این مسائل، هدف، دستیابی به تعادل بین مسافت مراکز با مشتریان و تعداد مراکز استقرار تسهیلات است. به‌دلیل عدم قطعیت و وجود ابهام در پارامترهای این مسائل مانند وزن (تقاضا)، فاصله (فاصلهٔ بین تقاضا و تسهیل سرویس‌دهنده)، در ادبیات فازی، برای بیان مقادیر این پارامترها از متغیرهای زبانی مانند زیاد، معمولی، کم و... استفاده می‌شود که نتایج واقعی‌تری را به دست خواهد داد.

در این فصل، ابتدا مشخصات مسائل پی میانه و انواع مدل‌سازی کلاسیک آن، شامل مسئله به‌صورت مدل عدد صحیح صفر و یک و مسئله به‌صورت یک مدل عدد صحیح مختلط صفر و یک ارائه می‌شود. در ادامه، با درنظرگرفتن شرایط فازی یعنی فرض پارامترهای تقاضا و فاصله در حالت فازی، به مسائل پی میانهٔ فازی و حل آن پرداخته می‌شود. سپس این مدل‌ها با درنظرگرفتن بخشی از تقاضا به‌صورت برآورده‌نشده بیان می‌شود. این مدل، زمانی کارآمد است که به‌عنوان مثال یک شرکت خصوصی ترجیح دهد در صورت وجود امکان کاهش بخش زیادی از هزینه، بخشی از تقاضا را

برآورده‌نشده باقی گذارد. سپس به روش‌های حل مسائل پی میانهٔ فازی شامل الگوریتم‌های شمارشی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم معاوضه و اعتبارسنجی مدل پرداخته می‌شود. در بخش بعدی، انواع تخصیص-مکان‌یابی فازی در فضای پیوسته و نمونه‌هایی از انواع مدل‌ها، شامل مدل حداکثرسازی اعتبار با تقاضاهای فازی و مدل حداکثرسازی شانس با تقاضاهای فازی احتمالاتی بیان شده است. این مدل، زمانی به‌کار گرفته می‌شود که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد شانس وقوع پیش‌آمدی را در مدل‌سازی لحاظ کند. در این حالت، تقاضاها علاوه بر فازی بودن احتمالاتی نیز هستند. افزون بر این، مدل حداقل‌سازی میانگین هزینه با تقاضاهای فازی، مدل حداقل‌سازی میانگین هزینه با تقاضاهای فازی احتمالاتی، مدل حداقل‌سازی ریسک و درنهایت مدل مکان‌یابی-تخصیص با تخصیص‌های فازی ارائه می‌شود. درمورد پیش‌نیاز مطالعه برای یادگیری بهتر این فصل، مطالعهٔ برنامه‌ریزی خطی با رویکرد فازی یا مطالعهٔ فصل اول این کتاب قابل‌ذکر است و از آنجا که مسائل پی میانهٔ مکان‌یابی و تخصیص در فضای پیوسته در دروس طرح‌ریزی واحدهای صنعتی ارائه می‌شوند، کتاب *طرح‌ریزی واحدهای صنعتی* تألیف جیمز اپل[1] و *طرح‌ریزی واحدهای صنعتی* ترجمهٔ دکتر زنجیرانی فراهانی -که از منابع نام‌آشنا در این حوزه هستند- برای مطالعهٔ عمیق‌تر و کامل‌تر مباحث این فصل توصیه می‌شود.

در فصل چهارم کتاب، موضوع توسعهٔ عملکرد کیفیت فازی را مطرح می‌کنیم. در دنیای امروز که تقاضای محصولات به‌سرعت در حال تغییر است، سازمان‌ها سعی دارند تا نیاز مشتری‌ها و عوامل ارتقای کیفیت را در طراحی توسعهٔ محصولات درنظر بگیرند و یکی از روش‌هایی که به این منظور به‌کار گرفته می‌شود، توسعهٔ عملکرد کیفیت است. درواقع، توسعهٔ عملکرد کیفیت را می‌توان مبدل تقاضاهای مشتریان به ویژگی‌های کیفیت و آماده‌ساختن یک طرح کیفیت برای محصول نهایی تعریف کرد. این روش، بیشتر بر خواسته‌های مشتری و تأثیر آن در فرایند تولید نقش دارد. توسعهٔ عملکرد کیفیت، کاربردهای گسترده‌ای دارد و به‌عنوان نمونه در انتخاب پیمانکاران، توسعهٔ استراتژی تولید، مسیریابی تصمیمات سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل دریایی در بازار

[1] James M. Apple

نفت خام، تعیین معیار برای اعطای مجوز برای ثبت اختراع، مدیریت استراتژیک خدمات لجستیک، انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت زنجیرهٔ تأمین به‌کار گرفته می‌شود. با توجه به اینکه توسعهٔ عملکرد کیفیت برای به‌حداکثررساندن رضایت مشتری است، مشخصات مهندسی نیز مرتبط با این هدف مشخص می‌شود. از آنجا که مشتریان نیازمندی‌های خود را در قالب عبارت‌های توصیفی نظیر راحت، کم‌مصرف، بادوام و... بیان می‌کنند، که با ادبیات فازی سازگار است، برای نشان‌دادن ارتباط بین نیازهای مشتری و مشخصات مهندسی می‌توان از رویکرد فازی استفاده کرد.

در این فصل، ابتدا مسائل توسعهٔ عملکرد کیفیت و سپس تحلیل و بررسی آن‌ها در قالب مدل‌های فازی بیان شده است. در ادامه از میان مدل‌های توسعهٔ عملکرد کیفیت در محیط‌های فازی، به مدل چندهدفهٔ توسعهٔ عملکرد کیفیت در تلفیق با مدل کانو اشاره شده است که برای ایجاد موازنه بین رضایت مشتری و هزینه به‌وجود آمده است. سپس به مدل چند معیاره توسعهٔ عملکرد کیفیت پرداخته می‌شود. سپس تعمیم روش رگرسیون حداقل مربعات فازی به مدل‌سازی روابط در توسعهٔ عملکرد کیفیت مطرح می‌شود که در آن، تصادفی‌بودن و فازی‌بودن با هم تلفیق می‌شوند. به‌دلیل اینکه از یک سو داده‌های گرفته‌شده از رقبا اغلب ماهیت فازی دارند و از سوی دیگر ممکن است مقادیر انحراف از معیار ضرایب فازی مثلثی منفی به‌دست آید، درحالی‌که این ضرایب نباید کمتر از صفر باشند، روش رگرسیون حداقل مربعات فازی به مدل‌سازی روابط در توسعهٔ عملکرد کیفیت تعمیم داده می‌شود. در انتهای فصل نیز برخی از کاربردهای توسعهٔ عملکرد کیفیت فازی در مقالات توضیح داده شده است. مباحث عملکرد کیفیت از روش‌های نوین مهندسی کیفیت است و در قالب درس کنترل کیفیت آماری تدریس می‌شود. پیش‌نیاز اصلی جهت یادگیری بهتر این فصل درس آمار مهندسی است. کتاب *آمار و ریاضی* تألیف جان فروند[1] و *کنترل کیفیت آماری* تألیف دکتر کاظم نقندریان، از منابع ارزشمند برای کسب دانش پیش‌زمینه است. کتاب *توسعهٔ عملکرد کیفیت* رونالد دی[2] نیز به‌عنوان منبع جانبی برای تکمیل مباحث این فصل توصیه می‌شود.

---

[1] John E. Freund

در فصل پنجم کتاب، به موضوع بازی‌های فازی می‌پردازیم. نظریهٔ بازی‌ها رفتار حاکم بر یک موقعیت استراتژیک را به‌صورت ریاضی مدل‌سازی می‌کند. این موقعیت زمانی بروز می‌یابد که مطلوبیت هر فرد، نه‌فقط به استراتژی انتخاب‌شده توسط خود فرد، بلکه به استراتژی انتخاب‌شده توسط بازیگران دیگر وابستگی داشته باشد. این نظریه، شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی محسوب می‌شود و در بسیاری از زمینه‌ها نظیر برنامه‌ریزی استراتژیک شرکت‌ها، کسب‌وکارهای بین‌المللی، بازاریابی، امور اقتصادی و مالی، معاملات بورس و بازار سرمایه، مذاکرات تجاری بین دو کشور و جنگ تبلیغاتی بین دو شرکت رقیب به‌کار می‌رود. نظریهٔ بازی‌ها با تعیین استراتژی بهینه برای هریک از طرفین بازی، میزان ارزش بازی یا درآمد هریک از بازیکنان را به دست می‌دهد. از سوی دیگر اعداد و ارقام مربوط به نتایج بسیاری از اقدامات در دنیای واقعی، قطعی نیستند؛ بنابراین با ترکیب نظریهٔ بازی‌ها و نظریهٔ فازی می‌توان موقعیت‌ها و استراتژی‌هایی را بررسی کرد که در آن‌ها تصمیم‌گیری‌ها با در نظرگرفتن عدم قطعیت به‌طور واقعی‌تر قابل‌بررسی هستند.

در این فصل ابتدا مفهوم نظریهٔ بازی‌ها، فرم‌های مختلف بازی‌ها و سپس هریک از انواع بازی‌ها معرفی شده است. در ادامه به بازی‌های غیرمشارکتی با شکل نرمال در دو حالت متناهی دونفره و چندهدفه پرداخته می‌شود. یک بازی مشارکتی نامیده می‌شود اگر بازیکنان بتوانند تعهدات الزام‌آوری را تشکیل دهند؛ برای مثال، سیستم قانونی نیاز دارد که آن‌ها به تعهداتشان پایبند باشند. این در بازی‌های غیرمشارکتی ممکن نیست و اغلب فرض می‌شود که ارتباط بین بازیکنان مجاز نیست و این مدل‌ها قادر به مدل‌کردن موقعیت‌هایی هستند که جزئیات بیشتری دارند. در بخش بعد نیز بازی‌های غیرمشارکتی فازی مطرح می‌شوند. در اینجا فازی‌بودن در بازی‌ها مشابه برنامه‌ریزی خطی فازی می‌تواند در بسیاری از جنبه‌ها نظیر اهداف، پارامترها، متغیرها و نتایج نمود داشته باشد، ولی دو جنبهٔ فازی‌بودن بیشتر از سایر جنبه‌ها عمومیت دارد، نخست اینکه بازیکنان، اهداف فازی نظیر کسب سود یا امتیاز بیشتر داشته باشند و دیگر اینکه عناصر نتیجهٔ نهایی با اعداد فازی نشان داده شوند. در بخش پایانی، مفاهیم و تعاریف بازی‌های ماتریسی محدود عنوان شده و مدل‌های برنامه‌ریزی خطی کمکی و الگوریتم حل آن بیان می‌شود. بازی ماتریسی یک بازی دونفره با جمع صفر است. در بازی‌های

ماتریسی در موقعیت‌های رقابتی، به علت نبود اطلاعات کافی یا ابهام در اطلاعات موجود، بازیکنان قادر به تخمین مقدار دقیق نتایج نهایی درآمدها نیستند؛ بنابراین این عدم اطمینان و ابهام به‌وسیلهٔ مجموعه‌های فازی به‌طور مناسبی قابل‌مدل‌شدن است. برای درک بهتر مطالب این فصل، مطالعهٔ منابع مربوط به برنامه‌ریزی خطی با رویکرد فازی یا مطالعهٔ فصل اول این کتاب پیشنهاد می‌شود و علاوه بر آن به‌منظور مطالعهٔ تخصصی‌تر نظریهٔ بازی‌ها، کتاب *نظریهٔ بازی‌ها و کاربردهای آن* تألیف دکتر قهرمان عبدلی توصیه می‌شود.

موضوع فصل ششم، کاربرد نظریهٔ فازی در مدیریت تأمین‌کنندگان است. در فضای کسب‌وکار امروز، افزایش رقابت و تحولات بازار، به تمرکز بیشتر سازمان‌ها بر فعالیت‌های کلیدی درون سازمان در جهت ارتقای مشتری‌مداری منتهی شده است. برای تحقق این امر، سازمان‌ها ناگزیر از واگذاری بخشی از فعالیت‌های خود به تأمین‌کننده‌های بیرون سازمان یا همان برون‌سپاری هستند. درنتیجه، انتخاب تأمین‌کنندهٔ مناسب، به‌عنوان یکی از اهداف مهم سازمان‌ها مطرح می‌شود. تأمین‌کنندگان می‌توانند بنگاه‌هایی باشند که مواد اولیه، قطعات، محصول نهایی یا خدماتی مانند توزیع، انبارش، عمده‌فروشی و خرده‌فروشی عرضه می‌کنند. مدیریت تأمین‌کنندگان نیز کاربردهای بسیار گسترده‌ای در شرکت‌های خودروسازی، سازمان‌های تولیدی غیرپیوسته (سفارشی)، شرکت‌های عمرانی، صنایع غذایی و کشاورزی، شرکت‌های هواپیمایی و شرکت‌های فرآورده‌های نفتی دارد. در بسیاری از مسائل، ارزیابی‌های انسانی غیرقطعی هستند و تصمیم‌گیرندگان نمی‌توانند با قطعیت درمورد مقایسات زوجی تصمیم‌گیری کنند یا اینکه برای تصمیم‌گیرنده تعیین مقدار عددی دقیق یک معیار مشکل و چه‌بسا ناممکن می‌نماید. از این‌رو اغلب پارامترهای انتخابی به‌صورت دقیق داده نمی‌شوند و تصمیم‌گیرندگان معیارهای مختلف و وزن (اولویت) آن‌ها را در قالب واژه‌های زبانی بیان می‌کنند؛ بنابراین به‌منظور مدل‌سازی این نوع عدم قطعیت در ترجیحات انسانی می‌توان از نظریهٔ فازی استفاده کرد.

در این فصل، ابتدا کاربرد برنامه‌ریزی خطی چندهدفهٔ فازی در انتخاب تأمین‌کننده بیان شده است. در آغاز این بخش، مدل خطی چندهدفه و سپس مدل خطی چندهدفه تحت شرایط شکست قیمت مطرح می‌شود. از طریق این مدل، مدیران خرید می‌توانند

وزن‌های مختلفی را به تعدادی از معیارها به منظور جریان عرضهٔ مواد، قطعات و محصول نهایی با هدف بهبود کیفیت، خدمات و کاهش هزینه اختصاص دهند. در ادامه، کاربرد گسترش عملکرد کیفیت فازی که در فصل چهارم بیان شد، در مدیریت تأمین‌کننده ارائه می‌شود. این مدل رویکردی در فرایند انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان برمبنای مشارکت تمام سطوح کارکنان ارائه می‌دهد که از این طریق با تحلیل ابعاد مختلف فرایند مذکور، نتایجی هم‌راستا با اهداف کلان سازمان حاصل می‌شود. درنهایت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در مدیریت تأمین‌کننده تشریح می‌شود. این تکنیک امکان فرموله‌کردن مسئله به‌صورت سلسله‌مراتبی و همچنین امکان درنظرگرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را فراهم می‌آورد. برای یادگیری بهتر این فصل، مطالعهٔ متون برنامه‌ریزی خطی با رویکرد فازی یا مطالعهٔ فصل اول و فصل چهارم کتاب توصیه می‌شوند. همچنین کتاب *مدیریت زنجیرهٔ تأمین* تألیف هارتموت استدلر[1] و کریستوف کیلگر[2] ترجمهٔ نسرین عسگری و رضا زنجیرانی فراهانی به‌عنوان مرجع مکمل برای فهم عمیق‌تر مباحث و کتاب *فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی* تألیف دکتر حسن قدسی‌پور، به‌منظور درک بهتر مباحث بخش پایانی این فصل توصیه می‌شوند.

در فصل هفتم، به موضوع مسائل قابلیت اطمینان با رویکرد فازی می‌پردازیم. شکست و ازکارافتادگی در سیستم‌های صنعتی همواره مورد انتظار است و از این‌رو استفاده از فنون آمار و ریاضی برای پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد مطلوب یا قابلیت اطمینان سیستم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قابلیت اطمینان، درواقع توانایی سیستم یا زیرسیستم برای انجام‌دادن صحیح مأموریت مشخص و ازپیش تعریف‌شده در شرایط معین و در دورهٔ زمانی مشخص است. مفهوم قابلیت اطمینان، طبیعت احتمالاتی دارد و متغیرهای دخیل در آن ماهیت تصادفی دارند. از این‌رو محاسبات قابلیت اطمینان، شدیداً وابسته به اطلاعات آماری از حوادث و اتفاقات گذشتهٔ سیستم است. مسائل قابلیت اطمینان، کاربردهای بسیاری دارند و اغلب در صنایع هوافضا، کاربردهای نظامی، صنایع هسته‌ای، صنایع فرایندهای پیوسته مانند صنایع فولاد،

---

[1] Hartmut Stadtler
[2] Christoph kilger

صنایع شیمیایی، کانال‌های مخابراتی و شبکه‌های رایانه‌ای کاربرد دارند. در رویکرد کلاسیک، قابلیت اطمینان یک سیستم تنها شامل دو وضعیت، یعنی حالت عملکرد و حالت شکست است، اما در دنیای واقعی، وضعیت عملکرد سیستم، طیفی از شکست کامل تا سلامت کامل را دربرمی‌گیرد. از این‌رو ادبیات فازی برای بیان وضعیت عملکردی یک سیستم مناسب‌تر است. افزون بر این، در دنیای واقعی غالباً اطلاعات مربوط به پارامترهای سیستم به‌صورت دقیق و قطعی موجود نیست و معمولاً براساس تجربه و قضاوت متخصصان بیان می‌شود؛ بنابراین استفاده از دانش فازی روش انعطاف‌پذیری را به این منظور ارائه می‌کند تا بتوان با استفاده از داده‌های اندک، مبهم و نادقیق، به تجزیه و تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان پرداخت.

در این فصل، ابتدا تعریف مختصری از قابلیت اطمینان و نظریهٔ فازی و ارتباط میان این دو ارائه شده است تا خواننده شناخت مقدماتی از قابلیت اطمینان فازی و ابزارهای آن کسب کند. در ادامه به مدل‌سازی سیستم‌های فازی در دو حالت مدل‌سازی سیستم‌های با افزونگی به کمک برنامه‌ریزی خطی و مدل‌سازی قابلیت اطمینان فازی تحت فرض وضعیت فازی باینری پرداخته شده است. درنهایت با ارائهٔ یک مثال موردی کاربردی که به شناخت مسائل در دنیای واقعی کمک خواهد کرد، فصل به پایان می‌رسد. مسائل قابلیت اطمینان از دروس اختیاری دورهٔ تحصیلات تکمیلی رشتهٔ مهندسی صنایع هستند. به‌عنوان پیش‌نیاز و برای یادگیری بهتر مطالب، آشنایی با علوم آمار و احتمال مفید است و تعدادی از منابع مناسب در این زمینه را قبلاً معرفی کرده‌ایم. همچنین کتاب *آشنایی با قابلیت اطمینان* تألیف دکتر مهدی کرباسیان و مهندس لیلا طباطبایی و کتاب ارزیابی قابلیت اطمینان و سیستم‌های مهندسی ترجمهٔ دکتر محسن رضائیان و نیز کتاب *قابلیت اطمینان فازی در سیستم‌های صنعتی* تألیف دکتر نظام‌الدین فقیه و یوسف نجفی نیز به‌عنوان منابع تکمیلی مباحث این فصل توصیه می‌شوند.

موضوع فصل هشتم خوشه‌بندی فازی است. خوشه‌بندی فرایندی است که طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن خصیصه‌های مشابه یکدیگر دارند، تقسیم‌بندی می‌شوند. خوشه‌بندی، ابزاری برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌منظور کشف الگوهای معتبر و ناشناخته در بین انبوهی از داده‌ها به‌حساب می‌آید. تاکنون انواع مختلفی از

روش‌های خوشه‌بندی ارائه شده‌اند که وابسته به کاربرد متفاوت هستند؛ برای مثال، در داده‌کاوی برای کشف اطلاعات و ساختار جدید از داده‌های موجود و در بازاریابی برای دسته‌بندی مشتریان از حیث رفتارها و نیازهای آن‌ها از طریق مجموعهٔ ویژگی‌ها و آخرین خریدهای آن‌ها استفاده می‌شود. این موضوع همچنین در انواع رده‌بندی‌ها و گروه‌بندی‌ها، طراحی چیدمان و بازآرایی واحدهای صنعتی، تعمیرات و نگهداری و مدیریت ارتباط با مشتریان نیز کاربرد دارد. مهم‌ترین کاستی خوشه‌بندی قطعی در این است که وقتی یک عضو به‌دلیل شباهت با اعضای دیگر با آن‌ها در یک خوشه قرار می‌گیرد، شباهتش با سایر اعضای دیگر خوشه‌ها نادیده گرفته می‌شود که خوشه‌بندی فازی می‌تواند به این نقیصه پاسخ دهد.

در این فصل، ابتدا به خوشه‌بندی فازی و سپس خوشه‌بندی فازی با c مرکز پرداخته می‌شود. خوشه‌بندی فازی با c مرکز یک الگوریتم خوشه‌بندی است که مقدار تابع عضویت در آن، بیانگر تعلق یا عدم تعلق یک داده به یک خوشهٔ خاص است. با توجه به تنوع و گسترهٔ خوشه‌بندی فازی، در ادامهٔ این فصل به برخی از کاربردهای خوشه‌بندی فازی در مسائل مهندسی صنایع اشاره می‌شود و در نهایت برای یادگیری و درک بهتر این مسائل، به بررسی مقالات همراه با مطالعات موردی پرداخته می‌شود. این مباحث اغلب در دروس مدیریت داده و داده‌کاوی در چارچوب دروس اختیاری رشته مهندسی صنایع ارائه می‌شوند. آشنایی با علوم آمار و احتمال و همچنین مطالعهٔ برنامه‌ریزی خطی با رویکرد فازی یا مطالعهٔ فصل اول این کتاب نیز برای کسب دانش پیش‌زمینه مفید خواهد بود. به‌عنوان مطالعهٔ جامع‌تر و عمیق‌تر مباحث این فصل، کتاب *منطق فازی با کاربردهای مهندسی* تألیف تیمتی جی رأس[1] توصیه می‌شود.

امید است که مطالب این کتاب مورد توجه و استفادهٔ استادان و دانشجویان عزیز قرار گیرد و آن‌ها را در دستیابی به مطالب جدیدتر یاری کند. نویسندگان از نظرات ارزشمند استادان، دانشجویان، دانش‌پژوهان و خوانندگان گرامی برای رفع نواقص و لغزش‌های احتمالی کتاب به گرمی استقبال می‌کنند.

---

[1] Timothy J. Ross