

تئوری و سیستم‌های صف
مبانی و حل مسائل

گردآوری و تألیف

دکتر عبدالله آقائی

استاد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

امیر اسحق چالستری

دانشجوی دکترای مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

www.ketab.ir



شماره ۴۹۳

سرشناسه: آقای، عبدالله، ۱۳۴۱ -

عنوان و نام پدیدآور: تئوری و سیستم‌های صف مبانی و حل مسایل/گردآوری و تألیف عبدالله آقای، امیر اسحقی چالستری.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۹.

مشخصات ظاهری: ۶۴۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.

فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۴۹۳.

شابک: 978-622-6655-60-6

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه: ص. ۶۳۲.

موضوع: نظریه صف‌ها / Queuing theory

شناسه افزوده: اسحق چالستری، امیر، ۱۳۷۲ -

رده بندی کنگره: ۵۱۹/۸۲

رده بندی دیویی: ۵۱۹/۸۲

شماره کتابشناسی ملی: ۷۳۳۲۸۵۰

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی press.kntu.ac.ir

عنوان: تئوری و سیستم‌های صف مبانی و حل مسائل

مؤلفان: دکتر عبدالله آقای و مهندس امیر اسحق چالستری

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: آبان ۱۳۹۹

شمارگان: ۲۰۰ جلد

ویرایش: ویراستار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چاپ: پدیدرنگ

صحافی: گرنامی

قیمت: ۱۲۵۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

فهرست مطالب

1	فصل اول مبانی احتمالات مهندسی
1-1	1-1 درسنامه
16	2-1 سؤالات حل شده
84	3-1 سؤالات تکمیلی
87	فصل دوم مقدمه‌ای بر سیستم‌های صف، توزیع نمایی و فرآیندهای پواسن
87	1-2 درسنامه
97	2-2 سؤالات حل شده
135	3-2 سؤالات تکمیلی
137	فصل سوم زنجیره‌های مارکوف گسسته
137	1-3 درسنامه
145	2-3 سؤالات حل شده
197	3-3 سؤالات تکمیلی
199	فصل چهارم زنجیره‌های مارکوف پیوسته
199	1-4 درسنامه
206	2-4 سؤالات حل شده
231	3-4 سؤالات تکمیلی
233	فصل پنجم مدل‌های غیراحتمالی و روابط کلی سیستم‌های صف
233	1-5 درسنامه
241	2-5 سؤالات حل شده
246	3-5 سؤالات تکمیلی
247	فصل ششم مدل‌های نمایی صف
247	1-6 درسنامه
271	2-6 سؤالات حل شده
328	3-6 سؤالات تکمیلی

پیشگفتار

موضوع صف چنانچه به طور عام به آن نگریسته شود؛ در غالب سیستم‌های مختلف اعم از صنعتی و خدماتی وجود دارد. در سیستم‌های صنعتی و تولیدی، در صف و انتظار قرار گرفتن مواد، قطعات و محصولات در قبل، حین و بعد از تولید به وضوح تقریباً در همه موارد وجود دارد. در سیستم‌های خدماتی مانند بانک‌ها، بیمارستان‌ها، فرودگاه‌ها، مخابرات و ارتباطات، حمل و نقل، کشاورزی و غیره صف و انتظار متأسفانه به وضوح و به میزان زیاد وجود دارد. حتی در سایر سیستم‌هایی که در زوایای پنهان از دید ما قرار گرفته‌اند مانند جذب مولکول‌ها از غذا یا دارو در بدن نیز، موضوع صف قابل بررسی است. در کلیه مواردی که اشاره شد و سایر موضوعات دیگر، انتظار و صف معمولاً با صرف هزینه و زمان همراه است. علاوه بر هزینه و زمان و از دست دادن فرصت‌ها، در سیستم‌های خدماتی مانند بانک‌ها، گذرگاه‌های حمل و نقل و ترافیک و بیمارستان‌ها و غیره باعث عدم رضایت و ایجاد مشکلات برای مشتریان و افراد خواهد شد. برای مثال موضوع ترافیک در کلان شهری مانند تهران علاوه بر مشکلات روحی و روانی و استرسی و ددها مشکل دیگر که برای شهر ایجاد می‌کند؛ میلیاردها تومان هزینه شامل مصرف سوخت و صرف زمان افراد را دربردارد. در همه موضوعات متنوع و متعدد و سیستم‌های مورد بحث، یکی از تکنیک‌هایی که به راحتی قابل استفاده است، موضوع تئوری و سیستم‌های صف است. به کارگیری قابلیت موضوع صف باعث می‌شود که بتوان بهره‌وری و کیفیت خدمات سیستم‌های موجود را ارتقا بخشید. البته تکنیک‌های دیگر نظیر شبیه‌سازی نیز در کنار صف می‌تواند ضمن تحلیل دقیق مشکلات سیستم‌های موجود، راهکاری در جهت بهبود این سیستم‌ها پیشنهاد داد و اجرا نمود. از سوی دیگر از آنجا که سیستم‌های صف از دروس اساسی رشته مهندسی صنایع است؛ اما متأسفانه از قابلیت‌های آن در عمل کمتر استفاده شده است. محتوای درس صف به گونه‌ای است که چون در کنار دیدگاه سیستمی و تحلیلی، شامل موضوعات آمار و احتمالات، ریاضی، معادلات دیفرانسیل و فرآیندهای تصادفی و چندین موضوع اساسی و مفهومی دیگر است؛ این درس را به یکی از درس‌های شاخص و متمایز رشته مهندسی صنایع تبدیل کرده است. این خصوصیت نیازمند آن است که برای درک و فهمیدن عمیق‌تر این درس، تمرین‌ها و مسائل متعددی حل گردد. در کتاب‌های موجود صف اگرچه صف از دیدگاه‌های مختلف در آن کتاب‌ها ارائه شده است، اما مسائل صف که بعضاً مشکل و پیچیده هستند، تنها طرح موضوع شده‌اند و دانشجویان غالباً با حل و تحلیل آنها مشکل دارند. با توجه به اهمیت خاص درس صف در رشته مهندسی صنایع، بر آن شدیم که مسائل متعدد صف که بالغ بر ۷۱۰ مسأله می‌شود از کتاب‌های فارسی و انگلیسی

گردآوری شده و به دقت حل شوند. مخاطبین اصلی این کتاب دانشجویان رشته مهندسی صنایع هستند که درس تئوری صف در مقطع کارشناسی و سیستم‌های صف را در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری می‌توانند در برنامه درسی خود داشته باشند. علاوه بر آن سایر دانشجویان گرایش‌های مختلف مهندسی صنایع و نیز مدیریت و سایر رشته‌های مرتبط، می‌توانند از درسنامه‌ها و بخصوص از مسائل حل شده این کتاب بهره‌مند شوند. لذا دسترسی دانشجویان و محققین به راه‌حل‌های مسائل صف باعث می‌شود که علاوه بر رضایت بیشتر آن‌ها از این موضوع، فهم و مهارتشان را از این درس عمیق‌تر کرده تا بتوانند در عمل نیز از قابلیت‌های درس صف در حل مشکلات کشور استفاده شایسته‌تر نمایند. البته ساختار کتاب به گونه‌ای است که اولاً تقریباً تمام موضوعات مهمی را که در کتاب‌های موجود صف مطرح شده‌اند؛ در فصل‌بندی‌های کتاب پوشش می‌دهد. در ابتدای هر فصل موضوع مربوطه در قالب درسنامه مطرح شده و در ادامه تعداد زیاد و متنوعی از مسائل مرتبط صف به دقت حل شده است. علاوه بر آن تعداد محدودی مسئله خاص حل نشده هم در انتهای هر فصل آمده است که همچنان چالشی برای علاقه‌مندان به موضوع صف باقی بماند. در اینجا جا دارد که از مؤلفین و مترجمین کتاب‌های تئوری و سیستم‌های صف، دکتر ابراهیم تیموری، دکتر سید محمدرضا ایروانی، دکتر محمد مهرش یزدی، دکتر محمدرضا حمیدی زاده و سایر اساتید بزرگوار که در آثارشان تعدادی مسائل حل نشده قرار داده‌اند و در این کتاب با ذکر منبع حل شده است، تقدیر و تشکر شود. در مجموع برای تدوین این کتاب زمان زیادی شده و دقت والایی به کار گرفته شده است که مخاطبین خود گواه این موضوع خواهند بود. با این حال کاستی‌هایی هم ممکن است داشته باشد که در انتها از عزیزانی که این کتاب را مورد اغماض قرار می‌دهند و مؤلفین را هم از این امر مطلع می‌فرمایند و پیشنهادات سازنده خود را ارائه می‌دهند، پیشاپیش قدردانی می‌نماییم.

عبدالله آقائی - امیر اسحق‌ی چالشتری

شهر یورماه ۱۳۹۹

aaghaie@kntu.ac.ir

amir.isaqi@yahoo.com