

مدل‌های تخصیص افزونگی در قابلیت اطمینان

مدل‌های تخصیص افزونگی و انواع آن‌ها در مسائل بهینه‌سازی

نویسنده

دکتر محمد مرتضوی

دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی

مرکز انتشارات راهبردی

تهران - ۱۳۹۹

سرشناسیه	: مرتضوی، سیدمحمد، ۱۳۶۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: مدل‌های تخصیص افزونگی در قابلیت اطمینان : مدل‌های تخصیص افزونگی و انواع آنها در مسائل بهینه‌سازی/ نویسنده سیدمحمد مرتضوی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، مرکز انتشارات راهبردی، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۴۲ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۲۴۸۰۹۱-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
عنوان دیگر	: مدل‌های تخصیص افزونگی و انواع آنها در مسائل بهینه‌سازی.
موضوع	: اطمینان‌پذیری (مهندسی)
موضوع	: Reliability (Engineering)
موضوع	: اطمینان‌پذیری (مهندسی) -- روش‌های آماری
موضوع	: Reliability (Engineering)-- Statistical methods
موضوع	: تولید -- فرایندها -- اطمینان‌پذیری
موضوع	: Manufacturing processes -- Reliability
شناسه افزوده	: دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، مرکز انتشارات راهبردی
رده بندی کنگره	: TA ۹۸۰
رده بندی دیویی	: ۶۲۱.۴۵۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۲۵۱۸۲



مدل‌های تخصیص افزونگی در قابلیت اطمینان

نویسندگان: سید محمد مرتضوی

ویراستار ادبی: سید روح‌الله رضوی نسب

ناظر ویراستار: مرتضی چشمه‌نور

صفحه‌آرا: علی مهدی زاده

طراح جلد: زهرا مهدوی

نوبت چاپ: اول- ۱۳۹۹

ناشر: انتشارات دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه -

قیمت: ۳۰۰۰۰۰ ریال

همه حقوق چاپ و نشر این کتاب محفوظ است.

دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی

مرکز انتشارات راهبردی

نشانی انتشارات: تهران. ضلع شمالی بزرگراه شهید بابایی، بعد از اتوبان هنگام،

دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، انتشارات دانشگاه عالی دفاع ملی

نشانی اینترنتی: www.sndu.ac.ir

تلفن ۲۲۹۷۰۳۴۳

سخن ناشر

دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی با هدف نهادینه‌سازی مرجعیت علمی در توسعه مفاهیم، گفتمان و تفکر راهبردی در کشور و بهره‌گیری از بنیان‌ها و نظریه‌های بومی، در صدد تدوین و ارایه راهبردهای تعالی‌بخش، علمی و تخصصی می‌باشد.

این دانشگاه و پژوهشگاه از مراکز علمی کلیدی و حساس در عرصه مسائل راهبردی است که از بدو تشکیل و در دگردیسی و بازطراحی سازمانی پس از انقلاب شکوهمند اسلامی به منظور کنش‌سازی در تراز انقلاب اسلامی در سطوح مدیران عالی کشوری و لشکری مکلف بود و وظیفه خطیر خود در جهت تربیت و آموزش فرماندهان و مدیران عالی‌رتبه کشور را سروجه تمامی برنامه‌ها قرار داده است.

اهمیت این امر هنگامی نمود بیش‌تری می‌نماید که نگاهی ژرف و آینده پژوهانه به پیرامون کشور، منطقه و جهان داشته باشیم. چراکه با ظهور تهدیدات نوین در عرصه بین‌الملل، لزوم داشتن چنین کانونی برای به‌هنگام نگاه‌داشتن مدیران عالی و فرماندهان نظامی کاملاً ملموس خواهد بود. از سوی دیگر به هم‌انداز ایجاد تمدنی بزرگ موجب می‌شود تا این تلاش و تعهد سبب ترغیب سازمان‌هایی گردد که برای پیروی از این هدف متعالی و ایجاد تحول در برنامه‌ها و فعالیت‌های خود نیازمند هم‌نمای تخصصی و علمی منبعث از گفتمان و تفکر راهبردی این دانشگاه و پژوهشگاه باشند. با تکیه بر این رویکرد و اهمیت موضوع، لزوم تولید و توزیع ادبیات راهبردی در این دانشگاه، که ماحصل تلاش اساتید و فرهیختگان متخصص در علوم دفاعی راهبردی و دانش‌آموختگان است، نمایان می‌گردد.

در این راستا مرکز انتشارات راهبردی دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی در سه حوزه مدیریت راهبردی، دفاع ملی و امنیت ملی با اهتمام به برنامه‌ها و در چارچوب اهداف و مفاهیم عالیه نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران و تدابیر رهبر معظم

رهبری و فرماندهی کل قوا حضرت امام خامنه‌ای مد ظله العالی، سعی در انتقال مفاهیم و آموزه‌های خود به سطوح مختلف مدیران و ارکان جامعه داشته و در این بستر دست‌های پرتوانی که نیل به این اهداف را تسهیل می‌نمایند، به گرمی می‌فشارد.

و ما توفیقنا اِلَّا بِاللّٰهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْنَا وَ اِلَيْهِ نُنِيبُ

دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل اول: آشنایی با قابلیت اطمینان	۱۷
مقدمه	۱۹
معرفی شاخص های قابلیت اطمینان	۱۹
تابع چگالی	۲۴
نرخ خرابی	۲۸
تعیین تابع نرخ خرابی	۲۹
برخی خواص تابع نرخ خرابی	۳۱
قابلیت اطمینان شروط	۳۴
محاسبه ر محصولات	۳۵
زمان میانگین تا خرابی	۳۶
فصل دوم: توزیع های آماری قابلیت اطمینان	۳۹
مقدمه	۴۱
توزیع های گسسته	۴۱
توزیع دوجمله ای	۴۲
توزیع بواسون	۴۴
توزیع های پیوسته	۴۵
توزیع وایبال	۴۶
توزیع نمایی	۴۹
تخمین نرخ خرابی ثابت	۵۰
توزیع نرمال	۵۲
فصل سوم: آشنایی با تخصیص افزونگی	۵۵
مقدمه	۵۷
ساختار سیستم های افزونه در مدل های تخصیص افزونگی	۵۸
تعمیرپذیری در مدل های تخصیص افزونگی	۶۱
وابستگی اجزاء در مدل های تخصیص افزونگی	۶۴
مدل های تخصیص افزونگی دینامیک	۶۶
مرور کلی بر ادبیات تحقیق مدل های تخصیص قابلیت اطمینان	۶۸

۷۱	فصل چهارم: انواع تخصیص قابلیت اطمینان
۷۳	مقدمه
۷۳	بهینه‌سازی قابلیت اطمینان
۷۵	تخصیص افزونگی قابلیت اطمینان در فرآیند تولید
۷۶	هزینه‌ی طراحی و تخصیص قابلیت اطمینان در فرایند تولید
۷۷	عامل امکان‌پذیری افزایش قابلیت اطمینان در فرآیند تولید
۷۹	هزینه‌ی تولید و تخصیص قابلیت اطمینان
۸۰	نقش ماتریس ساختار طراحی در تخصیص قابلیت اطمینان
۸۲	مدلسازی L ² M، شنخص کردن شدت روابط موجود
۸۲	محاسبه‌ی وزن وابستگی
۸۳	انواع تخصیص در قابلیت اطمینان
۸۳	روش‌های تخصیص وزن قابلیت اطمینان به صورت کیفی
۸۵	روش‌های تخصیص وزنی ثابت، اطمینان به صورت کمی
۸۸	ساختار اصلی تخصیص افزونگی قابلیت اطمینان
۸۸	روش مینیم کردن هزینه
۹۰	روش ماکزیمم کردن قابلیت اطمینان
۹۱	روش افزایش قابلیت اطمینان زیر سیستم‌ها
۹۱	ساختار سیستم‌های افزونه
۹۱	بهینه‌سازی بر اساس پیکربندی سیستم
۹۱	بهینه‌سازی بر اساس نوع سیستم افزونه
۹۲	بهینه‌سازی سیستم‌های چند حالت
۹۲	بهینه‌سازی با در نظر گرفتن نرخ تعمیر پذیری
۹۳	بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت
۹۳	مثالی از مدل تخصیص افزونگی
۹۵	روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان
۹۵	روش‌های دقیق و برنامه‌ریزی عدد صحیح
۹۵	روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های ابتکاری
۹۵	روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری
۹۵	روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی

فصل پنجم: خرابی‌های وابسته در مدل‌های تخصیص افزونگی.....	۹۷
مقدمه.....	۹۹
انواع خرابی‌های وابسته در مدل‌های تخصیص افزونگی.....	۹۹
علت مشترک خرابی.....	۹۹
دسته‌بندی خرابی‌های وابسته از نگاه محققان.....	۱۰۵
سایر دسته‌بندی‌ها.....	۱۰۹
جمع‌بندی انواع خرابی‌های وابسته.....	۱۱۲
انواع مدل‌های خرابی‌های وابسته.....	۱۱۴
روش بتا فاک.....	۱۱۵
مدل C فاکتور.....	۱۱۶
مدل بتا فاکتور چندگانه.....	۱۱۷
مدل آلفا فاکتور.....	۱۱۸
مدل ظرفیت جریان.....	۱۲۱
فرآیند مارکف.....	۱۲۲
زنجیره‌های مارکوف.....	۱۲۳
ماتریس گذار.....	۱۲۳
گذار m مرحله‌ای.....	۱۲۴
محاسبه تابع توزیع حالت سیستم در هر مرحله.....	۱۲۵
محاسبه احتمال حالت سیستم در چند مرحله مختلف.....	۱۲۵
احتمالات حدی در زنجیره‌های مارکوف.....	۱۲۶
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد.....	۱۲۷
بحث و جمع‌بندی.....	۱۲۹
پیشنهادهای.....	۱۳۱
توسعه خرابی‌های وابسته در مدل‌های تخصیص افزونگی.....	۱۳۱
توسعه مدل در زمینه انتخاب استراتژی.....	۱۳۱
توسعه مدل در زمینه پارامترها و متغیرهای تصمیم غیر قطعی.....	۱۳۱
توسعه روش حل مدل‌های تخصیص افزونگی.....	۱۳۲
توسعه روش‌های تبدیل معادلات حدی به معادلات مبتنی بر زمان.....	۱۳۲
منابع.....	۱۳۳

پیشگفتار

یکی از مباحثی که امروزه به طور جدی مورد توجه طراحان و مهندسان سیستم قرار گرفته است، قابلیت اطمینان اجزاء و سیستم‌ها می‌باشد. این مبحث به طور ویژه در سامانه‌های فضایی مورد بررسی قرار می‌گیرد چرا که طراحی‌ها هر چه قدر هم که بر اساس تئوری‌های علمی و تجربه انجام گیرند در هر صورت نمی‌توان سیستمی را طراحی کرد که دچار خرابی نشود لذا علم قابلیت اطمینان در سامانه‌های فضایی بیش از هر سیستم دیگری اهمیت دارد. علت این اهمیت ریشه در هزینه‌های بسیار بالای طراحی و ساخت سامانه‌های فضایی و نظرات جانی که می‌تواند برای انسان‌ها اتفاق بیوفتد، دارد. در صورتی که به قابلیت اطمینان سامانه‌ها فضایی توجه نشود این امکان وجود دارد که بعد (یا قبل) از ساخت و بهره برداری از یک سامانه‌ی فضایی آن سامانه دچار مشکل شده و با گذشت زمان به سرعت دچار خرابی گردد و نتواند وظایف خود را به خوبی انجام دهد.

منظور از قابلیت اطمینان اجزاء و سامانه‌ها عمر مفید آن‌ها است به طوری که در بازه‌ی زمانی عمر خود بتوانند وظایفشان را به درستی انجام دهند. در مطالعات مختلف تعاریف گوناگونی از قابلیت اطمینان ارائه شده است ولی تعریف مشترکی که در اکثر مطالعات به آن اشاره شده است این است که قابلیت اطمینان همان کیفیت سیستم در قالب زمان است. زمانی که کیفیت سیستم به صورت توابعی از زمان ارائه می‌شود، قابلیت اطمینان آن سیستم را بیان می‌کند. با گذشت زمان سیستم‌ها مستهلک شده و احتمال خرابی اجزاء آن‌ها افزایش می‌یابد و یا به عبارت دیگر احتمال کارکرد درست و دقیق آن‌ها کاهش می‌یابد. این مسئله را می‌توان در قالب توابع احتمالی نشان داد و ارزیابی کرد. بدون شک یکی از اهداف مهندسان و طراحان سیستم‌ها افزایش قابلیت اطمینان می‌باشد. قابلیت اطمینان باید از مراحل اولیه‌ی طراحی یک محصول مورد توجه قرار گیرد، چه بسا اگر در فاز امکان سنجی یک سیستم، قابلیت اطمینان آن نیز مورد بررسی قرار گیرد در تصمیمات کلان برای طراحی آن سیستم تغییرات اساسی ایجاد گردد.

روش‌های مختلفی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌ها به کار گرفته می‌شوند برخی از این روش‌ها به ساختار فیزیکی اجزاء مربوط است بدین معنا که اگر از مواد اولیه مناسب برای ساخت یک جزء استفاده شود قابلیت اطمینان آن جزء نیز افزایش می‌یابد و یا اگر اجزاء یک سیستم از تولید کنندگان معتبر تهیه شوند قابلیت اطمینان کل سیستم افزایش می‌یابد. این موارد به ساختار فیزیکی و کیفیت مطلوب سیستم‌ها و اجزاء مربوط می‌شوند ولی در برخی موارد نحوه‌ی قرار گیری اجزاء در کنار همدیگر باعث افزایش قابلیت اطمینان می‌شود به طوری می‌توان از هر جزء بیش از یکی در سیستم جایگزاری کرد تا در صورت خرابی یک جزء، جزء دیگر وظیفه‌ی خود را انجام داده و کل سیستم از کار باز نماند. اگر یک سیستم پیچیده از زیر سیستم‌های مختلفی تشکیل شده باشد به طوری که هر زیر سیستم توانایی افزایش اجزاء مناسب را داشته باشد، در این صورت می‌توان با در نظر گرفتن محدودیت‌ها تعداد اجزاء مورد در هر زیر سیستم را افزایش داد تا در صورت خرابی هر جزء، جزء دیگر جایگزین شده از خرابی کل سیستم جلوگیری شود.

در اصطلاح به اجزاء موازی ایجاد شده اجزاء افزونه^۱ گفته می‌شود. اجزاء افزونه به صورت ساختارهای متفاوتی ایجاد می‌شوند. برخی دارای ساختار k از n^2 هستند یعنی اگر k جزء از n جزء موازی خراب شود کل سیستم خراب می‌شود. برخی دیگر دارای ساختار آماده به کار^۲ هستند. در این ساختار اجزاء افزونه به صورت آماده به کار قرار گرفته‌اند و در صورتی که یکی از اجزاء دچار خرابی شود جزء سالم جایگزین آن شده و از خرابی سیستم جلوگیری می‌کند. هر کدام از ساختارهای سیستم‌های افزونه قابلیت اطمینان متفاوتی دارند که وابسته به شرایط گوناگونی است.

مشخصه‌ی دیگری که می‌بایست در سیستم‌های افزونه به آن توجه داشت، وابستگی بین اجزاء سیستم افزونه است. در اکثر مطالعات به دلیل ساده شدن محاسبات فرض بر این است که اجزاء سیستم‌های افزونه به طور مستقل از همدیگر کار می‌کنند این در حالی است که در دنیای واقعی اینگونه نیست و اجزاء به همدیگر وابسته هستند. منظور از این

1- Redundant

2- k- out- of- n

3- Standby

وابستگی، تأثیر خرابی اجزاء بر روی همدیگر است. در برخی از سیستم‌های افزونه اگر یک جزء دچار خرابی شود فشار (بار) بر روی دیگر اجزاء سالم افزایش می‌یابد این امر باعث می‌شود تا اجزاء زودتر از زمان معمول دچار خرابی شوند. در پاره‌ای از موارد این امکان وجود دارد که اجزاء افزونه با همدیگر و به طور یکجا خراب شوند به این وضعیت علت مشترک خرابی^۱ گفته می‌شود. در این حالت باید عواملی که باعث خرابی همزمان اجزاء افزونه می‌شوند تا حد امکان حذف شوند چرا که قابلیت اطمینان سیستم افزونه را به شدت کاهش می‌دهند. اگر طراحان سیستم‌های افزونه با خرابی‌های وابسته و انواع آن‌ها آشنا نباشند باعث می‌شوند تا در طراحی‌های خود به آن‌ها توجه نکرده و این موضوع باعث کاهش قابلیت اطمینان کل سیستم شود.

مشخصه دیگری که در مدل‌های تخصیص افزونگی مورد توجه قرار می‌گیرد گذر زمان است. در صورتی که تأثیر گذر زمان در مدل تخصیص افزونگی مد نظر قرار نگیرد می‌تواند نتایج مدل را تحت تأثیر قرار دهد و تحلیل اشتباهی از اجزاء افزونه ایجاد کند. گذر زمان باعث می‌گردد تا اجزاء یک سامانه برآمده شده و در بازه‌ی زمانی مشخصی از کار بیافتند. سامانه‌ها در بازه‌های زمانی مختلف عکس العمل‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند که این موضوع در عملکرد آن‌ها تأثیر بسزایی دارد. همچنین تعمیرپذیر بودن اجزاء می‌تواند دسترسی‌پذیری یا همان قابلیت اطمینان را تحت تأثیر قرار دهد به طوری که سامانه‌های تعمیرپذیر در طول بازه‌ی زمانی عمر خود مقداری از زمانه‌ی بهره‌برداری خود را صرف تعمیرات می‌کنند در نتیجه واضح است که می‌بایست نرخ تعمیرپذیری اجزاء نیز در مدل تخصیص و ارزیابی قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت اگر نرخ تعمیرپذیری یک جزء افزایش یابد دسترسی‌پذیری آن کاهش می‌یابد و بالعکس. در برخی از سامانه‌های افزونه که قابلیت تعمیرپذیری دارند این نکته نیز قابل اهمیت است که تعداد تعمیرکاران و تأثیر کار آن‌ها بر روی نرخ تعمیرپذیری در نظر گرفته شود چرا که خطاهای انسانی و سرعت عمل تعمیرکاران در نرخ تعمیرپذیری اثر می‌گذارد که این تأثیر باعث تغییر در دسترسی‌پذیری کل سامانه شده و نتایج مدل تخصیص افزونگی را دست

خوش تغییرات می‌کند لذا باید به این نکته توجه داشت و تأثیرات را در مدل بهینه‌سازی در نظر گرفت.

برای انتخاب یک ساختار مناسب به جهت ایجاد سیستم‌های افزونه، می‌بایست از مسئله‌ی بهینه‌سازی استفاده کرد تا بهترین ساختار به منظور افزایش قابلیت اطمینان ایجاد گردد. مسائل بهینه‌سازی سیستم‌های افزونه به RAP^1 یا مسئله تخصیص افزونگی شهرت دارند. در این مسائل سعی شده است تا شرایط واقعی سیستم‌ها در مدل‌های بهینه‌سازی لحاظ شود و آخرین ساختار به جهت افزایش قابلیت اطمینان پیشنهاد گردد. در همین راستا طراحان سیستم می‌توانند در فاز طراحی یک محصول به این ساختارها توجه کرده و طراحی‌های خود را بر این اساس توسعه دهند. با توجه به این مهم، به این نکته می‌توان پی برد که ارائه یک مدل بهینه‌سازی که شرایط واقعی را (بالاخص وابستگی بین اجزاء) در نظر گرفته باشد می‌تواند مدل بهتری ارائه دهد و طراحان سیستم‌ها را در طراحی و ساخت سامانه‌ها با قابلیت اطمینان بیشتر یاری کند.

با توجه به مسائل مطرح شده می‌توان گفت در مسائل تخصیص افزونگی علاوه بر ساختار سیستم‌های افزونه به تعمیرپذیری بین اجزاء، زمان کارکرد اجزاء، وابستگی بین اجزاء، تعمیرپذیری و تعداد تعمیرکاران نیز می‌بایست توجه شود. هر کدام از موارد یاد شده را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مختلف در مدل بهینه‌سازی لحاظ کرده و تأثیر هر یک را در جواب نهایی مدل مورد تحلیل قرار داد. بدین منظور در مطالعات مختلف مدل‌های متنوعی ارائه شده است به طوری که هدف عمده‌ی آن‌ها پیاده‌سازی شرایط واقعی در مدل بهینه‌سازی بوده است تا بتوانند به جواب‌های منطقی و درستی دست یابند. در این پژوهش به دنبال آن هستیم تا یک مدل بهینه‌سازی تخصیص قابلیت اطمینان ارائه دهیم تا شرایط واقعی مانند خرابی‌های وابسته، تعمیرپذیری، زمان، تعداد تعمیرکاران و تأثیرات هزینه در آن به صورت همزمان مد نظر قرار گیرد.