بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

رساله دوره دکتری مهندسی برق-قدرت

مدل‌سازی قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه توزیع مبتنی بر سوابق اتفاقات، نگهداری و تعمیر

امین مرادخانی

استاد راهنما:

دکتر محمودرضا حقی فام

استاد مشاور:

دکتر محسن محمدزاده

تیر ۱۳۹۳

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد علوم و تحقیقات

پیوست شماره ۵

تایید به اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای امین مرادخانی رساله ۲۲ واحدی خود را با عنوان مدلسازی قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه توزیع مبتنی بر سوابق اتفاقات، نگهداری و تعمیر در تاریخ ۱۳۹۳/۴/۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه دکتری قدرت پیشنهاد می کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر محمودرضا حقی فام	استاد	
استاد مشاور	دکتر محسن محمدزاده	استاد	
استاد ناظر	دکتر محسن پارسا مقدم	استاد	
استاد ناظر	دکتر حسین سیفی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمود فتوحی فیروز آباد	استاد	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل پیرایش	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مصطفی محمدیان	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه‌دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته برق قدرت است که در سال۱۳۹۳ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمدرضا حق‌قلم و مشاوره جناب آقای دکتر محسن محمدزاده از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شدهنگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب امین مرادخانی دانشجوی رشته برق قدرت مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امین مرادخانی

تاریخ و امضاء

۱۳۹۴/۱/۳

تقدیم به :

مادر و همسر عزیزم

و به تمام آزاد مردانی که نیک می اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز رضای الهی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

قدردانی :

وظیفه خود می دانم که از استاد فرزانه جناب دکتر محمودرضا حقی فام که به حق در هر دو زمینه علم و اخلاق در محضرشان آموختم تشکر کنم. همچنین از زحمات بی شائبه استاد عالی قدر دکتر محسن محمد زاده که در این راه راهنمایی و پشتیبانی نمودند، قدردانی می نمایم.

چکیده

شبکه توزیع متشکل از عناصر بسیار زیادی است که به علت ساختار شعاعی، خرابی آنها سهم زیادی در کاهش قابلیت اطمینان تغذیه مشترکین دارد. از سوی دیگر به خاطر تجدید ساختار و خصوصی‌سازی در صنعت برق و همچنین فرسودگی زیر ساختارها، فشار مضاعفی بر شرکت‌ها برای بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها وارد شده است. از این رو شرکت‌های توزیع به دنبال به کار بستن تکنیک‌های مدیریت دارایی برای طولانی کردن عمر مفید عناصر شبکه با در نظر گرفتن هزینه و کارایی و ریسک هستند. یکی از چالش‌های مهم در این راه، نبود نرخ خرابی دقیق برای عناصر شبکه توزیع است. در این رساله چالش‌های موجود در مسیر برآورد نرخ خرابی ثابت مورد مطالعه قرار گرفته و برای حل مشکل کمبود داده و تنوع جمعیتی عناصر، مدل‌های مبتنی بر رهیافت بیزی پیشنهاد شده است. همچنین مدلی برای برآورد نرخ خرابی متغیر مبتنی بر فرایند نقطه‌ای تصادفی ارائه شده است که بتواند اثر تعمیر و نگهداری و سایر عامل‌های تأثیر گذار را نشان دهد. برای برآورد پارامترهای مدل، روش مبتنی بر ماکزیمم درستنمایی معرفی شده است. علاوه بر آن با هدف یافتن عامل‌های تاثیر گذار بر نرخ خرابی، الگوریتم دو مرحله‌ای انتخاب ویژگی پیشنهاد شده است. سپس شیوه به کارگیری این مدل در برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری مورد مطالعه قرار گرفته است و با استفاده از آن برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری برای فیدرهای هوایی یک شبکه واقعی انجام شده است. در ادامه، الگوریتمی برای شبیه‌سازی زمان‌های خرابی پیشنهاد شده است که قابلیت به کارگیری مدل را در روش مونت‌کارلوی زمانی و همچنین برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک نشان می‌دهد. در نهایت برای یک شبکه واقعی، برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک تعمیر و نگهداری خطوط هوایی در حضور طرح تنظیم جریمه انجام شده و نتایج آن ارائه شده است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی نرخ خرابی، تعمیر و نگهداری، قابلیت اطمینان عناصر شبکه توزیع.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده ..... د

فهرست علائم ..... ج

فهرست اختصارات ..... د

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱. موضوع تحقیقاتی رساله ۲

۱-۲. ضرورت انجام تحقیق ۷

۱-۳. فرضیات و محدودیت‌های تحقیق ۸

۱-۳-۱ فرضیات تحقیق ۸

۱-۳-۲ محدودیت‌های تحقیق ۹

۱-۳-۳ دامنه عناصر شبکه توزیع مورد مطالعه ۹

۱-۴. نوآوریهای تحقیق ۱۰

۱-۴-۱ نوآوری در مدل‌سازی نرخ خرابی ۱۰

۱-۴-۲ نوع آوری در بکارگیری مدل پیشنهادی در شبکه توزیع ۱۰

۱-۵. ساختار رساله ۱۰

فصل دوم: قابلیت اطمینان عناصر شبکه توزیع ۱۳

۲-۱. مفاهیم پایه قابلیت اطمینان عناصر شبکه توزیع ۱۴

۲-۱-۱ تحلیل قابلیت اطمینان قطعه‌های تعمیرناپذیر ۱۵

۲-۱-۲ تحلیل قابلیت اطمینان قطعه‌های قابل تعمیر. ۱۹

۲-۱-۲-۱ مدل‌های زنجیره مارکوف. ۲۰

۲-۱-۲-۱-۱ زنجیره مارکوف نمایی همگن ۲۰

۲-۲ مدل نرخ خرابی با اثر تعمیر ۲۵

۲-۲-۳ برآورد مدل‌های فرایند نقطه‌ای ۳۱

۲-۳ خرابی در عناصر شبکه توزیع ۳۲
۲-۳-۱ خرابی در کابل‌ها: ۳۳
۲-۴ مدل‌سازی نرخ خرابی عناصر شبکه توزیع ۳۶
۲-۵ مدل‌سازی اثر تعمیر بر قابلیت اطمینان عناصر شبکه توزیع ۳۷
۲-۵ چالش‌های موجود در داده‌های قابلیت اطمینان ۳۸
۲-۶ جمع بندی ۴۰
فصل سوم: برآورد نرخ خرابی ثابت ۴۳
۳-۱. چالش‌های عملی در برآورد نرخ خرابی ثابت ۴۴
۳-۲ رهیافت بیزی ۴۶
۳-۲-۱ رهیافت بیزی سلسله مراتبی ۴۷
۳-۳ برآورد بیزی نرخ خرابی خطوط هوایی ۴۷
۳-۳-۱ مدل ادغام شده ۴۹
۳-۳-۲ مدل سلسله مراتبی تبادل‌پذیر ۵۰
۳-۳-۳ مدل بیزی تجربی ۵۲
۳-۳-۴ مدل سلسله مراتبی رگرسیون پواسون ۵۲
۳-۳-۵ ارزیابی و مقایسه مشخصات مدل‌ها ۵۴
۳-۴ ملاک‌های ارزیابی مدل‌ها ۵۶
۳-۴-۱ معیار انحراف اطلاعات ۵۶
۳-۵ بررسی مدل‌ها ۵۶
۳-۶ جمع بندی فصل سوم ۵۷
فصل چهارم: مدل‌سازی نرخ خرابی با در نظر گرفتن عملیات تعمیر و نگهداری ۵۹
۴-۱ ویژگی‌های عملیات تعمیر و نگهداری عناصر شبکه توزیع ۶۰
۴-۲ مدل نرخ خرابی ۶۲
۴-۲-۱ برآورد ماکزیمم درستنمایی پارامترهای مدل ۶۵
۴-۲-۲ داده‌های مورد نیاز برای برآورد پارامترهای مدل ۶۶

۴-۲-۲ روش کاهش و انتخاب متغیرهای پیشگو ۶۷
۴-۲-۳ خطای برآورد ۷۰
۴-۳ کاربرد مدل در برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ۷۰
۴-۳-۱ فرمول‌بندی مسئله برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ۷۰
۴-۳-۱-۱ تابع هدف ۷۱
۴-۳-۱-۲ قیود مسئله ۷۳
۴-۳-۲ حل مسئله برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ۷۳
۴-۴ کاربرد مدل در برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری مبتنی بر ریسک ۷۵
۴-۴-۱ تعیین عدم قطعیت قابلیت اطمینان عناصر و شبکه ۷۶
۴-۴-۱-۱ تعیین توزیع احتمال فرکانس خرابی‌ها ۷۶
۴-۴-۱-۲ تعیین توزیع احتمال قابلیت اطمینان سیستم ۷۹
۴-۴-۲ محاسبه هزینه و سود برنامه تعمیر و نگهداری ۷۹
۴-۴-۳ فرمول بندی تابع هدف مبتنی بر ریسک ۸۰
۴-۴-۳-۱ معیار ریسک ۸۰
۴-۴-۳-۲ تابع هدف ۸۱
۴-۴-۴ روش حل مسئله ۸۱
۴-۵ جمع بندی فصل چهارم ۸۲
فصل پنجم: شبیه سازی و مطالعات عددی ۸۳
۵-۱. معرفی داده‌ها و نرم افزار مورد استفاده ۸۴
۵-۱-۱ داده‌های خاموشی ۳۴ فیدر هوایی شهرستان شهریار ۸۴
۵-۱-۲ داده‌های ۹ فیدر هوایی شهرستان دهلران ۸۴
۵-۱-۳ نرم افزار استفاده شده ۸۵
۵-۲ شبیه سازی و نتایج نرخ خرابی ثابت ۸۵
۵-۲-۱ نتایج شبیه سازی مدل نرخ خرابی ادغام شده ۸۶

۵-۲-۲ شبیه سازی نرخ خرابی سلسله مراتبی تبادل پذیر ۸۷
۵-۲-۳ نتایج شبیه سازی مدل نرخ خرابی بیزی تجربی ۹۰
۵-۲-۴ نتایج شبیه سازی مدل سلسله مراتبی رگرسیون پواسون ۹۱
۵-۲-۵ مقایسه مدل‌ها ۹۵
۵-۵-۶ بررسی سازگاری مدل‌ها ۹۷
۵-۲-۶ تحلیل حساسیت ۹۸
۵-۳ شبیه‌سازی نرخ خرابی با در نظر گرفتن تعمیر و نگهداری ۹۹
۵-۴ نتایج برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ۱۰۵
۵-۵ نتایج برنامه‌ریزی تعمیرات نگهداری مبتنی بر ریسک ۱۰۸
۵-۶ جمع بندی فصل پنجم ۱۱۱
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۳
۶-۱. نتیجه‌گیری ۱۱۴
۶-۲. پیشنهادات ۱۱۶
۶-۲-۱ پیشنهادات بر روی مدل ۱۱۶
۶-۲-۲ پیشنهادات کاربردی ۱۱۷
مراجع ۱۱۸
پیوست الف ۱۲۵
پیوست ب: معرفی نرم افزار **R** ۱۲۶
ب.۱ امکانات R ۱۲۶
ب-۲ روش نصب نرم افزار ۱۲۷

فهرست علائم

به ترتیب تعداد خرابی‌ها و طول فیدر i ام	y_i, ℓ_i
به ترتیب بردار پارامترها و فرا پارامترها	θ, ϕ
متوسط پیشین نرخ خرابی فیدر i ام	μ_i
پارامتر دقت در توزیع گاما	ζ
بردار معلوم متغیرهای پیشگو مربوط به فیدر i ام	$\mathbf{x_i}$
بردار نامعلوم پارامترهای رگرسیون پواسون	$\boldsymbol{\beta}$
متوسط پیشین ثابت نرخ خرابی متوسط فیدرها	μ
برآورد ماکزیمم درستنمایی بیشینه ζ	$\hat{\zeta}$
به ترتیب متوسط پیشین و واریانس $\boldsymbol{\beta}$	$\boldsymbol{\mu}_\beta, \mathbf{S}_\beta$
ضریب انقباض مربوط به فیدر i ام	γ_i
مقدار انتظاری انحراف مدل	$\bar{D}$
مقدار جریمه مدل	p_D
متوسط پسین کناری پارامترها	$\bar{\theta}$
تعداد خرابی‌های آتی مشاهده شده در فیدر i ام	y_i^{rep}
توزیع پیشین	$g(\theta)$
تابع درستنمایی	$f(y \mid \theta)$
توزیع پسین	$g(\theta \mid y)$
توزیع پسین پارامترها مشروط بر ابرپارامترها	$g(\theta \mid \phi)$
توزیع پیشین فرا پارامترها	$g(\phi)$
چگالی نمونه برداری پواسون با متوسط λ_i	$f_P\left(y_i^{rep} \mid \ell_i \lambda_i\right)$

تابع نرخ خرابی پایه برای خرابی نوع j	$\lambda_0^j(t)$
تابع نرخ خرابی پایه ثابت	λ_0
فاکتور مقیاسی عملیات pام مربوط به نوع خرابی j	r_p^j
ضریب هزینه عملیات pام مربوط به نوع خرابی j	α_p^j
تعداد کل عملیات‌های پیشگیرانه نوع j در فاصله زمانی [0, t)	$M^j(t)$
بردار متغیرهای پیشگو مربوط به نوع خرابی j	$\boldsymbol{x}_t^j$
بردار پارامترهای مجهول رگرسیون مربوط به نوع خرابی j	$\boldsymbol{\beta}^j$
تعداد عناصر	S
تابع درستنمایی	$L(\bullet)$
مجموعه انواع خرابی‌ها	J
تعداد خرابی‌های i امین عنصر در دوره زمانی مطالعه	n_i
تعداد کل نمونه‌ها	N
نمونه i ام متغیر پیشگو X	x_i
نمونه i ام متغیر هدف Y	y_i
مقدار متوسط نمونه‌های متغیر پیشگو X	$\bar{x}$
مقدار متوسط نمونه‌های متغیر هدف Y	$\bar{y}$
انحراف استاندارد نمونه‌های متغیر پیشگو X	s_x
انحراف استاندارد نمونه‌های متغیر هدف Y	s_y
متغیر تصادفی که از توزیع t با N-2 درجه آزادی پیروی می‌کند	τ
تعداد عملیات پیشگیرانه و خرابی نوع j برای عنصر i ام در بازه [0, t)	$M_i^j(t), N_i^j(t)$
برآورد تعداد خرابی‌ها نوع j در عنصر i ام در بازه [0, t)	$\Lambda_i^j(0,t)$
به ترتیب هزینه به عملیات پیشگیرانه و هزینه عملیات اصلاحی خرابی‌ها	$cost_{PM,i}^j, cost_{CM,i}^j$

نوع j در عنصر i ام

هزینه متوسط پرسنل برای عملیات پیشگیرانه و اصلاحی نوع j	$C_{labour,i}^{PM,j}, C_{labour,i}^{CM,j}$
هزینه متوسط قطعات مصرفی برای عملیات پیشگیرانه و اصلاحی نوع j	$C_{comp,i}^{PM,j}, C_{comp,i}^{CM,j}$
درآمد از دست رفته شرکت توزیع ناشی از عملیات پیشگیرانه و اصلاحی نوع j	$C_{ENS,i}^{P,j}, C_{ENS,i}^{UP,j}$
ساعات کار مورد نیاز برای انجام عملیات پیشگیرانه و اصلاحی نوع j	$Wh_i^{PM,j}, Wh_i^{CM,j}$
دستمزد یک ساعت کار عملیات پیشگیرانه و اصلاحی نوع j	$LC_i^{PM,j}, LC_i^{CM,j}$
متوسط مدت زمان وقفه برنامه‌ریزی نشده و برنامه‌ریزی شده به علت خرابی نوع j	$D_z^{P,j}, D_z^{UP,j}$
تعداد نواحی فیدر i	Z_i
مقدار انتظاری بار قطع شده در ناحیه Z	$P_{NS,z}$
درصد مشارکت نوع بار l	α_l
مقدار خسارت خاموشی برای نوع بار l (\$/kW)	$\mathbb{C}_{kW_l}$
قیمت انرژی برای نوع بار l (\$/kWh)	$\mathbb{C}_{KWh_l}$
تعداد ساعات کار موجود برای انجام عملیات پیشگیرانه در دوره مورد مطالعه	Wh_t^{PM}
توزیع احتمال تعداد خرابی‌های عنصر i در بازه [0, T)	$f(N_i(T))$
طرح جریمه پاداش	$RPS(SAIDI)$
توزیع احتمال SAIDI در بازه [0, T) ناشی از اجرای برنامه p	$f_p^T(SAIDI)$
توزیع احتمال سود حاصل از اجرای برنامه p	Z_p
توزیع احتمالی جریمه پاداش و توزیع احتمال هزینه کل تعمیرات و نگهداری حاصل از اجرای برنامه p	RPI_p^T, MC_p^T

توزیع احتمالی جریمه پاداش و توزیع احتمال هزینه کل تعمیر و نگهداری حاصل از عدم اجرای برنامه پیشگیرانه	$\mathrm{RPI}_0^T, \mathrm{MC}_0^T$
ارزش در معرض ریسک در سطح اطمینان $(1-\alpha)\%$	VaR_{α}
ارزش در معرض ریسک مشروط حاصل از اجرای برنامه p	$CVaR_p$
سود انتظاری و ریسک شرکت توزیع ناشی از اجرای برنامه p	η_p, χ_p

فهرست اختصارات

PBR: Performance Based Regulation

RPS: Reward Penalty Scheme

SAIDI: System Average Interruption Duration Index

SAIFI: System Average Interruption Frequency Index

PM: Preventive Maintenance

CM: Corrective Maintenance

Var: Value-at-Risk

Cvar: Conditional Value-at-Risk

RCP: Reward Cap Point

RP: Reward Point

D.B: Dead Band

PP: Penalty Point

PCP: Penalty Cap Point

RPI: Reward Penalty Incentive

OTGA: Outage Time Generation Algorithm

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲- ۱ آمار خرابی شبکه توزیع کشور آلمان [۶۲]..... ۳۳
جدول ۲- ۲ مقایسه مدل‌های آماری تعمیر و نگهداری مبتنی بر فرایندهای اتفاقی..... ۴۰
جدول ۲- ۳ خلاصه مطالعات انجام شده در مدل سازی قابلیت اطمینان عناصر شبکه توزیع..... ۴۲
جدول ۵- ۱ پارامترهای شبیه سازی و توزیع پسین ابرپارامترهای مدل تبادل پذیر..... ۸۸
جدول ۵- ۲ مقادیر m و σ مربوط به سال گذشته و مقادیر بدست آمده برای ابرپارامترهای ($\zeta\mu$ و ζ)..... ۹۰
جدول ۵- ۳ مشخصات بردار متغیرهای پیشگو..... ۹۲
جدول ۵- ۴ پارامترهای شبیه سازی و توزیع پسین ابرپارامترهای مدل رگرسیون پواسون..... ۹۳
جدول ۵- ۵ مقادیر DIC مدل‌های پیشنهاد شده..... ۹۶
جدول ۵- ۶ متغیرهای اولیه و نتایج الگوریتم کاهش متغیر..... ۱۰۰
جدول ۵- ۷ نتایج الگوریتم انتخاب متغیرها..... ۱۰۱
جدول ۵- ۸ نتایج برآورد پارامترها..... ۱۰۲
جدول ۵- ۹ نتایج مقایسه مدل ارائه شده و مدل بدون در نظر گرفتن هزینه..... ۱۰۵
جدول ۵- ۱۰ مدت زمان انجام تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی..... ۱۰۶
جدول ۵- ۱۱ ساعات کار و هزینه‌های عملیات پیشگیرانه و اصلاحی..... ۱۰۶
جدول ۵- ۱۲ جدول قیمت انرژی و CDF..... ۱۰۶
جدول ۵- ۱۳ جدول پارامترهای الگوریتم ژنتیک..... ۱۰۷
جدول ۵- ۱۴ برنامه‌ریزی بهینه بدست آمده در مقایسه با برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده شرکت توزیع..... ۱۰۷
جدول ۵- ۱۵ مدت زمان انجام تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی..... ۱۰۸
جدول ۵- ۱۶ کار و هزینه‌های عملیات پیشگیرانه و اصلاحی..... ۱۰۸
جدول ۵- ۱۷ جدول مشخصات طرح RPS..... ۱۰۸
جدول ۵- ۱۸ نتایج برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک..... ۱۱۰
جدول ۵- ۱۹ مقادیر سود انتظاری و CVaR برنامه‌های انتخاب شده..... ۱۱۰
جدول الف- ۱ داده‌های خرابی و مشخصات ۳۴ فیدر منطقه شهریار در سال ۱۳۹۰..... ۱۲۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱- ۱ چارچوب برنامه ریزی تعمیر و نگهداری مبتنی بر مدیریت دارایی ۴
شکل ۱- ۲ روند نمای مراحل تحقیق..... ۱۱
شکل ۲- ۱ مدل نشان دهنده یک قطعه تعمیر ناپذیر..... ۱۵
شکل ۲- ۲ زمان‌های خرابی یک گروه از قطعات مشابه ۱۶
شکل ۲- ۳ فرم توزیع وایبول با توجه به مقادیر مختلف پارامتر شکل..... ۱۸
شکل ۲- ۴ نمایش قابلیت اطمینان یک قطعه قابل تعمیر. ۲۰
شکل ۲- ۵ مدل نشان دهنده یک فرایند نقطه‌ای تصادفی..... ۲۳
شکل ۲- ۶ نمایش تصویری یک فرایند تصادفی..... ۲۳
شکل ۳- ۱ مقایسه خصوصیات مدل‌های سوم و چهارم ۵۵
شکل ۴- ۱ دیاگرام زمان‌های ایجاد وقفه به صورت یک فرایند نقطه‌ای برای S عنصر مشابه ۶۵
شکل ۴- ۲ فلوچارت الگوریتم دو مرحله‌ای انتخاب مجموعه متغیرهای پیشگو ۶۷
شکل ۴- ۳ هزینه تعمیر و نگهداری عناصر شبکه توزیع..... ۷۱
شکل ۴- ۴ فلوچارت الگوریتم استفاده شده جهت یافتن حل بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۷۴
شکل ۴- ۵ فلوچارت برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری مبتنی بر ریسک..... ۷۵
شکل ۴- ۶ الگوریتم پیشنهادی تولید زمان‌های خرابی OTGA..... ۷۸
شکل ۴- ۷ چارچوب طرح جریمه پاداش..... ۸۰
شکل ۵- ۱ نرخ خرابی انفرادی و ادغام شده مربوط به ۳۴ فیدر شهرستان شهریار..... ۸۶
شکل ۵- ۲ بافت نگار توزیع پسین نرخ خرابی ادغام شده..... ۸۷
شکل ۵- ۳ نمودار جعبه‌ای توزیع پسین نرخ خرابی ۳۴ مربوط به مدل تبادل پذیر..... ۸۹
شکل ۵- ۴ نمودار ضرایب انقباض مربوط به ۳۴ فیدر مربوط به مدل تبادل پذیر ۹۰
شکل ۵- ۵ نمودار جعبه‌ای توزیع پسین نرخ خرابی ۳۴ مربوط به مدل تجربی..... ۹۱
شکل ۵- ۶ نمودار جعبه‌ای توزیع پسین نرخ خرابی ۳۴ مربوط به مدل رگرسیون پواسون..... ۹۴
شکل ۵- ۷ ضریب انقباض برای دو مدل رگرسیون پواسون و تبادل پذیر..... ۹۵
شکل ۵- ۸ نمودار پراکندگی مقدار احتمال $P_{extreme}$ دو مدل تبادل پذیر و رگرسیون پواسون نسبت به هم..... ۹۸
شکل ۵- ۹ نمودار ضریب انقباض بر اساس لگاریتم z_0 مربوط به مدل‌های تبادل پذیر و رگرسیون پواسون برای سه فیدر با طول‌های ۱، ۱۸ و ۴۶,۷ کیلومتر..... ۹۹
شکل ۵- ۱۰ نرخ خرابی برای سه عامل خرابی و نرخ خرابی کل را مربوط به فیدر شماره ۸..... ۱۰۴
شکل ۵- ۱۱ چگالی Z_p مربوط به برنامه‌های اول و چهارم..... ۱۱۱
شکل ۵- ۱۲ مرز کارای شرکت توزیع در برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری..... ۱۱۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱. موضوع تحقیقاتی رساله

آمارها نشان می‌دهند که حوادث شبکه فشار متوسط عامل خاموشی بخش عظیمی از مشترکین است. دلیل این امر ساختار شعاعی شبکه توزیع است که با بروز حادثه‌ای در شبکه، مشترکین نهایی لاجرم دچار خاموشی می‌شوند [۱]. از سویی دیگر به خاطر تجدید ساختار و خصوصی سازی در صنعت برق، فشار مضاعفی بر شرکت‌ها برای بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها وارد شده است [۲]. این در حالی است که شرکت‌ها همزمان با مشکلاتی همچون فرسودگی زیر ساختارها، درخواست رو به افزون مشترکین برای برق با کیفیت بیشتر و قابلیت اطمینان بالاتر مواجه هستند [۳]. در گذشته، شرکت‌های برق به صورت یکپارچه عمودی[1] بودند و مسئولیت‌های تولید، انتقال و توزیع را به صورت تک قطبی بر عهده داشتند. تا قبل از ۱۹۷۰ در طول بیش از یک دهه بار دو برابر شده و بیشتر عناصر نو بودند. با توجه به اینکه نرخ‌ها در حال کاهش بود و درآمد در حال افزایش، شرکت‌ها قادر بودند تا آزادانه خرج کنند تا به بالاترین سطح بهره برداری از شبکه رسیده و ریسک را حداقل کنند. امروزه، این صنعت بصورت یکپارچه عمل نمی‌کند و تولید، انتقال و توزیع هر کدام به صورت جداگانه عمل می‌کنند. در محیط تجدید ساختار شده شرکت‌های توزیع به دو قسمت سیم‌دار[2] و خرده‌فروش[3] تقسیم‌بندی شده‌اند. شرکت‌های سیم‌دار کار مدیریت و نگهداری شبکه توزیع برق را بر عهده دارند و بسیاری از مخارجشان مربوط به زیر ساخت های فیزیکی می‌باشد. با رشد آهسته بار، فرسودگی عناصر، و عدم قطعیت‌های موجود در بازار، شرکت‌های برق به دنبال راه‌هایی برای افزایش درآمد می‌باشند. بسیاری بر این باورند مدیریت دارایی[4] بهترین راه برای رسیدن به این هدف می‌باشد.

[1] vertically integrated
[2] wire
[3] retailer
[4] asset management