

ارزیابی قابلیت اعتماد شبکه های توزیع با بار متغیر به روش مونت کارلو

حسین افراخته
کارشناسی ارشد

محمود رضا حقی فام
استادیار

بخش برق، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم های توزیع شعاعی با حضور بارهای متغیر با زمان، با استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی برای افزایش قابلیت شبیه سازی مونت کارلو نحوه تعیین مناسب ترین تابع توزیع به همراه پارامترهای مربوطه در تولید متغیرهای تصادفی با استفاده از اطلاعات بهره برداری شبکه مطرح شده است. همچنین شبکه توزیع با بار متغیر با زمان فرض شده و تأثیر آن در محاسبه شاخص های قابلیت اعتماد سیستم های توزیع مد نظر قرار گرفته است. در این رابطه یک مدل بار جهت لحاظ نمودن بارهای متغیر با زمان در محاسبه شاخص های قابلیت اعتماد ارائه شده است. این مدل براساس مقادیر حداکثر و حداقل مصرف در نقاط بار با تکیه بر منطق فازی بوده و برای ارزیابی قابلیت اعتماد شبکه های واقعی با بار متغیر و با اطلاعات محدود از بار مناسب می باشد. برای ارزیابی روش پیشنهادی مطالعات عددی برای شبکه IEEE-RBTS با موفقیت انجام شده است.

کلمات کلیدی

شبکه های توزیع، قابلیت اعتماد، روش مونت کارلو، بار متغیر، منطق فازی

Reliability Assessment of Distribution Network With Variable Loads Using Monte Carlo Simulation

M. R. Haghifam
Assistant Professor

H. Afrakhteh
M. Sc. Student

Department of Electrical Engineering,
Tarbiat Modarres University

Abstract

In this paper a novel efficient method for reliability assessment of radial distribution systems using Monte Carlo simulation is proposed. For specification of appropriate probability distribution function and its parameters to generation of random variables in Monte Carlo simulation, an efficient method is introduced. Also loads in distribution networks are considered as time varying. In computation procedure load modelling is based on maximum and minimum consumption of load points using fuzzy numbers. Case studies in IEEE-RBTS are presented to show the effectiveness of the proposed method.

Key words

distribution Systems, Reliability, Monte Carlo Simulation, Variable Load, Fuzzy Logic

هدف سیستم‌های قدرت تأمین انرژی الکتریکی ارزان قیمت با کیفیت مطلوب و مطمئن است. در هر شبکه ای میزان دسترسی به این اهداف با توجه به میزان سرمایه گذاری، نحوه مدیریت و کنترل، تکنولوژی‌های بکار رفته و کیفیت نیروی انسانی متفاوت می باشد. کمیت این اهداف با تعریف شاخص‌هایی برآورد و بیان می گردند. قیمت انرژی بوسیله بررسی هزینه‌های تمام شده و نیز سایر پارامترهای اقتصادی مرتبط با آن، کیفیت انرژی از طریق معیارهایی نظیر میزان آلودگی هارمونیکی، فلیکر، افزایش یا کاهش سطح ولتاژ مصرف و بروز حالات گذرا محک زده می شود. همچنین اعتماد به تأمین انرژی در قالب بحث‌های قابلیت اعتماد سیستم‌های قدرت مطرح و با معیارهای مربوطه ارزیابی می گردد. در این مقاله به ارزیابی قابلیت اعتماد شبکه‌های الکتریکی پرداخته شده است. در این میان تمرکز بحث به شبکه‌های توزیع می باشد که گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت از نظر تعداد المان بوده و واسطه‌ای بین مصرف کننده، سیستم انتقال و تولید می باشد. این شبکه علی‌رغم ساختار بسیار ساده سهم عمده‌ای از سرمایه گذاری در سیستم کلی قدرت را بخود اختصاص می دهد. همچنین بدلیل ساختار، تعداد و تنوع تجهیزات بکار رفته تقریباً ۹۰٪ عدم اعتماد سیستم قدرت از این ناحیه ناشی می گردد [1].

در این ارزیابی از دو روش کلی می توان بهره گرفت: روش‌های تحلیلی [2,3,4] و روش شبیه سازی [2,5]. در روش تحلیلی شبکه را بصورت مدل‌های ریاضی بیان نموده، با استفاده از ریاضیات تحلیلی، پارامترها و شاخص‌های اساسی قابلیت اعتماد محاسبه می گردند. از جمله این روش‌ها می توان به روش‌های فضای حالت [3]، روش کاهش درجه شبکه [4]، زنجیره مارکوف [3] و روش فرکانس و تداوم [3] اشاره نمود. در روش شبیه سازی مونت کارلو از طریق تولید متغیرهای تصادفی، رفتار کل سیستم شبیه سازی گردیده و پارامترها و شاخص‌های مورد نیاز محاسبه می گردد. جهت انجام این کار از تئوری تولید اعداد تصادفی استفاده می گردد [4]. هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است، لذا انتخاب آنها جهت حل مسئله باید براساس نوع مسئله انجام گیرد. در مسائل ساده تر، کارائی، دقت و سرعت روش‌های تحلیلی بسیار زیاد است ولی در سیستم‌های پیچیده تر اعمال روش تحلیلی با مشکلات بیشتری مواجه شده و در بسیاری از مواقع ناگزیر به استفاده از تقریب‌هایی می باشیم. از طرفی بکارگیری تئوری اعداد و متغیرهای تصادفی و نیز توابع توزیع احتمالی مختلف در مدل سازی رفتار المان‌ها در روش مونت کارلو، تناسب

بیشتری با طبیعت و عملکرد تصادفی آنها خواهد داشت. نتایج بدست آمده ناشی از روش‌های تحلیلی محدود به مقادیر امید ریاضی بوده در حالی که در روش مونت کارلو نتایج می تواند بصورت توابع چگالی احتمالی باشد. در بعضی مواقع از ترکیب روش‌های تحلیلی و مونت کارلو جهت تعیین شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم‌های توزیع با آرایش مش استفاده می گردد. مرجع [7] نیز به بررسی مسئله هزینه/فایده سیستم توزیع از روش ترکیبی فوق می پردازد. بحث هزینه/فایده مربوط به میزان هزینه و یا زیان ایجاد شده ناشی از ساختار سیستم می باشد که متأثر از عدم قابلیت اعتماد بوده و یا می تواند به هزینه‌ای اطلاق گردد که جهت ارتقاء میزان قابلیت اعتماد و فواید ناشی از آن باید مصرف شود. بدیهی است آنچه تمایل به استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو را نسبت به روش‌های تحلیلی بیشتر می کند، محدودیت‌هایی است که در روش‌های تحلیلی وجود دارد. چنانچه ذکر گردید روش مونت کارلو می تواند تناسب بهتری جهت مدل سازی رفتارهای تصادفی تجهیزات داشته و نیز بسیاری از اهداف تحلیلی را در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم فراهم آورد.

تاکنون کارهای زیادی در این راستا انجام گرفته است. با توجه به اهمیت این روش، مرجع [5] یک حالت کلاسیک از روش مذکور را بیان و پارامترها و شاخص‌های مورد نیاز را مطرح نموده است. در این روش رفتار هر کدام از متغیرهای تصادفی، زمان تا خرابی (TTF^2)، زمان تعمیر (TTR^3) و نیز زمان کلید زنی (TTS^4) المان‌ها با تولید اعداد تصادفی یکنواخت در بازه زمانی [0 و 1] و تبدیل آن با استفاده از روش تبدیل معکوس [2] با در نظر گرفتن توابع توزیع احتمالی مناسب مدلسازی می گردد. سپس زمان‌های عملکرد و خرابی و نقاط بار با لحاظ نمودن المان‌های حفاظتی و سکیونرها تعیین و پارامترهای اساسی نرخ خرابی متوسط (λ)، زمان متوسط خروج (r) زمان متوسط سالیانه خروج (U) و نیز سایر شاخص‌های شبکه توزیع نظیر $SAIFI^5$ ، $CAIFI^6$ ، $SAIDI^7$ ، $CAIDI^8$ ، ENS^9 محاسبه می گردند.

مسئله هزینه/فایده را نیز با استفاده از روش مونت کارلو می توان بخوبی مورد بررسی قرار داد. چنانچه بیان گردید، این بحث مسئله قابلیت اعتماد را در کنار میزان هزینه‌ای که از بابت آن سیستم متحمل می گردد مورد بررسی قرار می دهد. بدیهی است سطح بالای قابلیت اعتماد در سیستم می تواند با مفهوم حداقل هزینه در تضاد باشد، بطوری که قابلیت اعتماد بالا در سیستم انرژی الکتریکی مستلزم هزینه بیشتر در آن بوده و این مسئله قیمت انرژی را بالاتر خواهد

برد. هدف محاسبات قابلیت اعتماد تعیین حالت بهینه در تعامل این دو مقوله می باشد. مرجع [1] به بررسی مسئله در سیستم های توزیع شعاعی و [8] به بررسی ارزش قابلیت اعتماد در سیستم های ترکیبی با استفاده از روش شبه ترتیبی¹⁰ مونت کارلو می پردازد.

چنانچه ذکر گردید ازمسائل مهم در شبیه سازی مونت کارلو تولید متغیرهای تصادفی با توزیع احتمالی متناسب با رفتار المان هاست. در روش های تحلیلی معمولاً تابع توزیع نمائی مورد استفاده قرار می گیرد. این انتخاب در بسیاری از مواقع موجب سهولت در محاسبات می گردد. در بعضی از مقالات [9] نیز چند تابع توزیع احتمالی مطرح و نتایج مقایسه شده است. بدیهی است این توابع و متغیرهای تصادفی می توانند توزیعی غیر نمائی داشته باشند [10]. در [4] تابع توزیع لگاریتمی - نرمال برای متغیرهای تصادفی TTR و TTS در نظر گرفته شده است. آنچه مسلم است این توابع توزیع روند عملکرد هر کدام از مولفه ها را نشان داده و نمودی از رفتار تصادفی آنهاست و جهت تعیین آن باید از اطلاعات شرکت های سازنده این المان ها یا سوابق کاری آنها استفاده گردد.

در این مقاله رویکردی جدید به تعیین مناسب ترین تابع توزیع احتمالی جهت متغیرهای تصادفی در مدل سازی رفتار المان های شبکه مطرح گردیده است. در این راستا با استفاده از اطلاعات و داده های مربوط به عملکرد المان ها و با بکارگیری تئوری «تخمین ماکزیم شباهت» یکی از توابع توزیع احتمالی استاندارد تعیین و پارامترهای مربوطه محاسبه خواهد گردید. این توابع توزیع می تواند یکی از حالت های یکنواخت، نمائی، نرمال، لگاریتمی - نرمال، ویبال و گاما را داشته و یا به آن نزدیک باشد. پس از تعیین نوع تابع توزیع و پارامترهای مربوطه در شبیه سازی متغیرهای تصادفی تجهیزات مربوطه همان شکل توزیع احتمالی را بخود خواهند گرفت.

پس از ارزیابی قابلیت سیستم های توزیع نتایج به صورت پارامترها و شاخص هایی استاندارد بیان می گردد. تنوع این شاخص ها بسیار زیاد بوده و با توجه به نیاز ما از انجام بررسی می تواند تغییر نماید. یک سری از این شاخص ها مرتبط با انرژی و بار سیستم خواهد بود. از جمله آنها می توان انرژی توزیع نشده را نام برد که مسئله هزینه / فایده نیز بنوعی به آن مرتبط است. معمولاً در محاسبات مذکور مقدار توانی که مدنظر قرار می گیرد، مقدار متوسط مصرف است. این کار می تواند جهت سهولت در محاسبات و یا عدم نیاز به محاسبات دقیقتر در پیش گرفته شود. بدیهی است مقادیر مصرف در نقاط بار و کل سیستم می تواند با زمان تغییر نماید و فرض مقدار متوسط برای کل

زمان در نقاط بار تا حد زیادی می تواند غیر واقعی باشد. همین طور میزان هزینه انرژی در زمان های مختلف می تواند فرق نماید که مسئله هزینه / فایده در این حالت نمود دیگری پیدا کرده و شاخص های مربوط به آنها [13-11,7] مطرح خواهد شد. در [14] از یک روش تقریبی با استفاده از منحنی تداوم بار و روش مونت کارلو جهت در نظر گرفتن تغییرات بار استفاده شده است و نیز مرجع [15] با استفاده از روش شبه ترتیبی مونت کارلو و بهره گیری از مدل بار مارکوف تغییرات زمانی بار در یک سیستم ترکیبی را لحاظ نموده است. در این مقاله برای در نظر گرفتن تغییرات زمانی بار، روشی دیگر جهت مدل سازی بار متغیر زمانی پیشنهاد شده است. با توجه به وجود عدم قطعیت در تعیین میزان دقیق بار در سیستم قدرت، یکی از روش های برخورد با این مسئله بکارگیری منطق فازی می باشد [16,17]. در این مقاله مدلی برای بارهای متغیر زمانی در نظر گرفته شده که مرکب از مقادیر حداکثر و حداقل مصرف در نقاط بار خواهد بود. این مسئله عدم قطعیت در تعیین دقیق مقدار بار واقعی را بخوبی نمایش می دهد. با اعمال روش مونت کارلو به این مدل بار و با استفاده از منطق فازی مقدار بار تعیین و در محاسبات شاخص های مرتبط به آن بکار گرفته می شود. بدیهی است هر کدام از انواع مختلف مصارف از قبیل تجاری، صنعتی، خانگی، کشاورزی دارای شکل منحنی خاصی بوده و در یک مدت زمان مشخصی بصورت دوره ای تکرار می گردد. پس از تعمیم مدل بار نتایج شبیه سازی مونت کارلو با در نظر گرفتن مقدار بار متوسط در شبکه RBTS [18] آزمایش گردید. سپس چگونگی تعیین تابع توزیع احتمالی مربوط به یک مجموعه از داده ها بیان و سرانجام مدل بار فازی در شبکه تست اعمال شده است.

۲- روشی جدید در تعیین مناسب ترین توزیع احتمال متغیرهای تصادفی

در روش مونت کارلو رفتارهای اتفاقی المان ها و در نتیجه عملکرد کل سیستم مدل سازی می گردد. این عمل با بکارگیری توابع توزیع احتمالی در متغیرهای TTF، TTR و TTS انجام می گیرد. در بسیاری از موارد جهت سهولت در محاسبات از تابع نمائی استفاده می گردد. حال آنکه این متغیرها ممکن است از توابع احتمالی دیگری تبعیت نمایند.

تعیین توزیع احتمالی هر متغیر مربوط به المان ها باید با تکیه بر داده های مربوط به رفتار آن متغیر تعیین گردد. این داده ها می تواند از طریق شرکت های سازنده آن تجهیزات و یا سوابق کاری مربوطه جمع آوری گردد. هر چه تعداد اطلاعات بیشتر باشد تعیین نوع توزیع احتمالی آن و نیز پارامترهای محاسبه شده مربوطه از قطعیت بالایی برخوردار بود. برای

را انجام می دهد. توزیع احتمالی انتخاب شده و پارامترهای مربوطه در مراحل شبیه سازی مونت کارلو برای هر کدام از مؤلفه ها و نیز تمای متغیرهای تصادفی بکار گرفته می شود.

۳- اثر بارهای متغیر زمانی و داده های فازی

چنانچه بیان گردید، در محاسبه شاخص های مرتبط با بار مصرف کننده، معمولاً مقدار متوسط بار مدنظر قرار می گیرد. بدیهی است مقدار واقعی بار ممکن است کمتر و یا بیشتر از مقدار متوسط بوده و به بیانی دقیقتر، با زمان تغییر نماید. لذا مقدار واقعی شاخص زمانی تعیین می گردد که مقدار دقیق بار در محاسبات اعمال گردد. از جمله این شاخص ها می توان به ENS اشاره کرد. معمولاً هدف از تعیین این شاخص ها بدست آوردن معیاری جهت تعیین میزان زیان ناشی از عدم امکان تأمین تقاضای مصرف یوده و یا مسئله (هزینه / فایده) را در بر می گیرد.

این مسئله مستلزم اطلاعات پیوسته ای از میزان مصرف در نقاط بار است تا بتوان شاخص ها را دقیقاً تعیین نمود. مسلماً این اطلاعات حجم زیادی از کار را بخود اختصاص می دهد. از طرف دیگر هدف اساسی محاسبات قابلیت اعتماد مربوط به رفتار آینده شبکه و یا سیستم بوده و به نوعی نیازمند پیش بینی بار خواهد بود. معمولاً آنچه بعنوان اطلاعات اولیه مربوط به بار سیستم در دسترس است، محدود به مقادیری است که بوسیله اپراتور در فواصل زمانی مناسب در پست های توزیع ثبت می گردد. لذا امکان داشتن اطلاعات پیوسته از بار نیازمند تجهیزات بیشتری است. این اطلاعات مربوط به گذشته سیستم است و با استفاده از آن باید میزان و پروفیل مصرف در آینده استخراج گردد. بدیهی است این مسئله با عدم قطعیت همراه بوده که از جمله آن می توان به نامعلوم بودن میزان دقیق رشد مصرف، نامعین بودن میزان ارتباط پروفیل مصرف آینده سیستم به اطلاعات گذشته و ... اشاره نمود. به همین دلیل معمولاً روش های تقریبی در بیان میزان بار سیستم بکار گرفته می شود. بکار گیری منطق فازی نیز یکی از روش های برخورد با این مسئله است [16, 17]. در اینجا ضروری است به این نکته توجه گردد که بدست آوردن شاخص ها و پارامترهای قابلیت اعتماد برای هر شبکه بصورت جداگانه انجام می گیرد. این نتایج متأثر از ساختار شبکه و نیز سایر اطلاعات مربوطه از جمله بار آن شبکه می باشد.

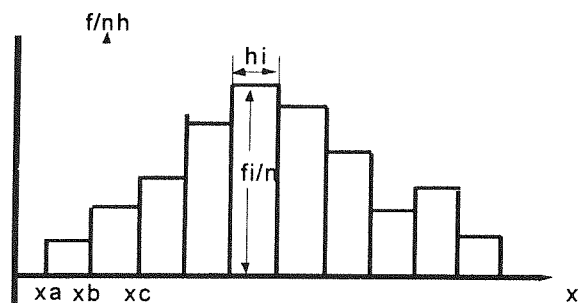
آنچه در این مقاله جهت تعیین مقادیر بار مدنظر قرار می گیرد، استفاده از اطلاعات موجود از مصرف در شبکه توزیع است بطوری که با معلوم بودن مقادیر حداکثر و حداقل مصرف در زمان های مختلف و نیز شکل منحنی تغییرات آن

این منظور ابتدا داده های مربوط به هر متغیر تصادفی به تعداد مناسبی از دسته ها تقسیم بندی شده و فرکانس تکرار هر دسته (بازه زمانی) مشخص و هیستوگرام مربوطه تعیین می گردد. مقدار بهینه تعداد دسته ها (k) از رابطه زیر بدست می آید [3]:

$$k = 1 + 3.3 \text{Log}n \quad (1)$$

که در آن n تعداد داده هاست.

برای اینکه بتوان این داده ها را به توابع توزیع احتمالی منطبق نمائیم باید این دسته بندی با مقیاس f/nh (تعداد \times طول دسته / فرکانس) در محور عمودی آرایش داده شوند (شکل ۱).



شکل (۱) هیستوگرام یک دسته داده های فرضی.

بر این اساس خواهیم داشت.

$$\sum (f_i / nh_i \times h_i) = \frac{1}{n} \sum f_i = 1 \quad (2)$$

این با سطح زیر منحنی توابع توزیع احتمال همخوانی دارد. پس از دسته بندی داده ها، توابع مختلف توزیع شامل توزیع های یکنواخت، نمائی، نرمال، لگاریتمی-نرمال، و بیابال و گاما را با تکیه بر «تئوری تخمین حداکثر شباهت» اعمال و در هر مورد پارامترهای مربوطه را محاسبه می گردد. پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز هر کدام از توابع توزیع احتمال، مقدار تابع توزیع احتمال و مقدار متناظر آن در هیستوگرام مربوطه به ازای مقادیر مختلف داده ها تعیین و تفاضل مقادیر متناظر بعنوان «انحراف» محاسبه می گردد. بدیهی است این انحراف می تواند در جهت مثبت و یا منفی رخ دهد، به همین دلیل مجموع مربعات انحراف ها بعنوان «قدر مطلق خطا» در نظر گرفته می شود. این فرایند برای تمامی توابع توزیع فوق الذکر صورت گرفته و حداقل مقدار قدر مطلق خطا مربوط به مناسب ترین توزیع احتمالی بوده که بهترین برازش داده ها

نسبت به زمان و بادر نظر گرفتن نرخ رشد مصرف مقدار بار برآورد می گردد.

در شبیه سازی مونت کارلو تعداد زیاد تکرار گاهی ممکن است دلالت به چند هزار سال از عمر سیستم نماید که در آن دوره زمانی سیستم مدل سازی می گردد. بدیهی است چنانچه نرخ رشد مصرف به همین منوال (بصورت ماهیانه، سالیانه و یا دوره ای) ادامه یابد، مقدار بار غیر واقعی بوده و نمی تواند بیانگر مقدار صحیح مصرف سیستم در آن دوره زمانی باشد به همین دلیل دوره زمان تکرار منحنی بار در نظر گرفته می شود که رشد مصرف تنها در این دوره معنا داشته و با این پریود زمانی تکرار می گردد، ضمناً تحلیل قابلیت اعتماد شبکه برای این دوره معنا داشته و با این پریود زمانی تکرار می گردد. ضمناً تحلیل قابلیت اعتماد شبکه برای این مدت زمان انجام گرفته و دارای اعتبار خواهد بود.

مدل بار بسته به نوع مصرف و نیز شرایط شبکه متفاوت خواهد بود و آنچه مهم است اینکه ساختار مصرف در نقاط بار تقریباً بدون تغییر بوده و در سال های مختلف با نرخ رشدی مشخص و معین شکل خود را حفظ خواهد نمود. این مصارف معمولاً بصورت های تجاری، مسکونی، کشاورزی، عمومی دسته بندی می گردند. نکته دیگر آنست که اطلاعات آماری مصارف گذشته می تواند بصورت مقادیر حداکثر و حداقل ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهیانه، سالیانه و حتی پیوسته زمانی باشد. هر چه تعداد در این اطلاعات بیشتر بوده و فاصله نمونه برداری نزدیکتر باشد، به طبع میزان دقت بالاتر خواهد رفت. گفتمنی است جمع آوری اطلاعات پیوسته از مصارف نقاط بار شبکه نیز بوسیله دستگاه های ثبت امکان پذیر خواهد بود.

در فرایند شبیه سازی جهت تعیین شاخص های بار باید مقدار بار را در کل زمان خرابی سیستم در هر مرحله از شبیه سازی داشته باشیم. در این تحقیق با قطع دادن زمان شروع و پایان حالت خرابی با دو منحنی تقریبی حداکثر و حداقل در همان دوره زمانی دو عدد فازی بدست خواهد آمد که مقدار واقعی بار در محدوده بین حداکثر و حداقل قرار داشته و جهت استخراج آن باید از فازی زدا استفاده گردد.

دقیق ترین حالت بصورت یک منحنی از بار در بازه زمانی خرابی سیستم است که سطح زیر منحنی مقدار انرژی را تعیین می نماید. استفاده از فازی زدها با توجه به تنوع آنها می تواند به نتایج متفاوتی منتهی گردد. آنچه مسلم است انتخاب فازی زدا باید برطبق اصولی انجام گیرد. در بسیاری از موارد به تجربه اپراتور در انتخاب آن تکیه می شود. در نهایت پس از فازی زدائی دو مقدار دقیق بار حاصل خواهد شد. مقدار متوسط این دو عدد بعنوان باری است که در محاسبه

شاخص های قابلیت اعتماد مورد استفاده قرار می گیرد.

۴- برنامه کامپیوتری شبیه سازی

برای اعمال روش پیشنهادی، برنامه کامپیوتری تهیه شد. این برنامه از سه بخش تشکیل می گردد. در بخش اول اطلاعات مربوط به هر کدام از المان های سیستم توزیع برای هر سه متغیر تصادفی TTF، TTR، و TTS پردازش گردیده و سرانجام مناسب ترین تابع توزیع احتمالی به همراه پارامترهای مورد نیاز آن مشخص می گردد. این عملیات باید برای تمامی مؤلفه ها انجام گرفته و نتایج آن در شبیه سازی مونت کارلو (در بخش تولید متغیرهای تصادفی) بکار گرفته شود. بخش دوم برنامه حالت عمومی شبیه سازی مونت کارلو مطرح می نماید. جهت تست روش پیشنهادی و برنامه کامپیوتری با در نظر گرفتن تابع توزیع نمائی برای کلیه المان ها، نتایج در شبکه IEEE-RBTS [18] مقایسه گردیده است. بخش سوم برنامه مربوط به بارهای متغیر زمانی است. اطلاعات مدل بار مربوط به هر نقطه دریافت و منحنی مربوطه بدست می آید. این اطلاعات مربوط به مقادیر حداکثر و حداقل بوده که می تواند بصورت ساعتی، روزانه، ماهانه، سالیانه و حتی دوره ای باشد. با انجام شبیه سازی و تعیین زمان های عملکرد و خرابی مؤلفه ها در زمان مناسب به منحنی بار مربوطه رجوع و پس از فازی زدائی مقدار بار محاسبه شاخص های مورد نیاز تعیین می گردد. دوره تکرار بسته به شرایط شبکه و ساختار مصرف انتخاب می گردد.

۵- مطالعه عددی

۵-۱- تعیین مناسب ترین تابع توزیع احتمالی

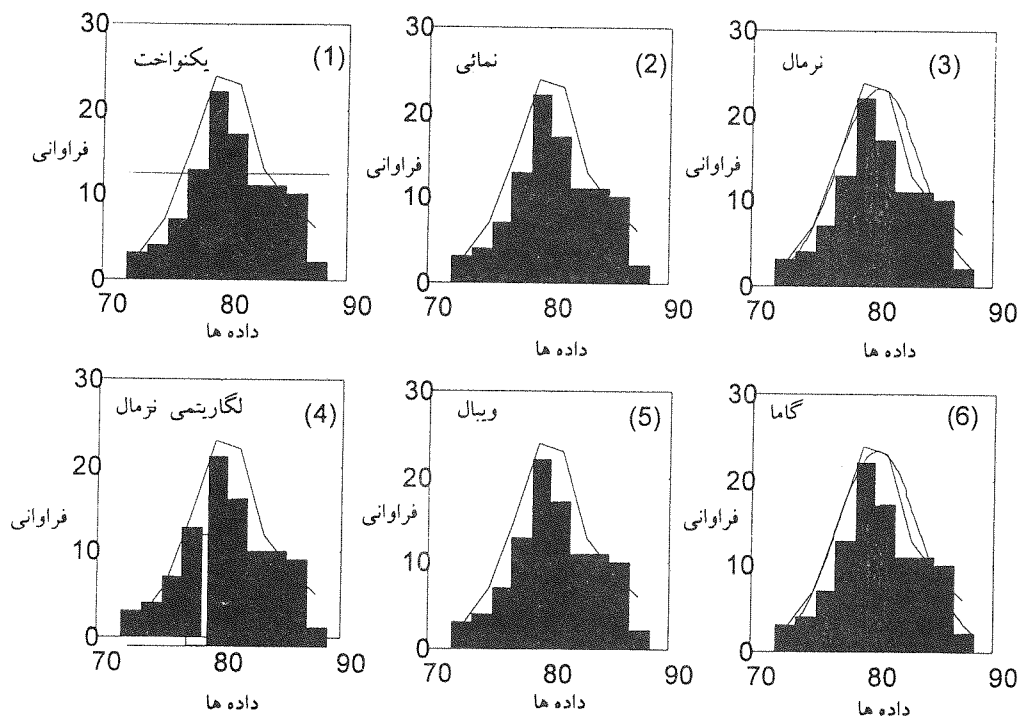
جدول (۱) داده های متغیر تصادفی TTF یک المان را نشان می دهد.

هیستوگرام و منحنی تقریبی داده ها پس از دسته بندی آنها و نیز اعمال توابع توزیع مختلف بصورت شکل (۲) است. شکل (۳) توابع توزیع مختلف و نیز منحنی تقریبی داده ها را بطور همزمان نشان می دهد.

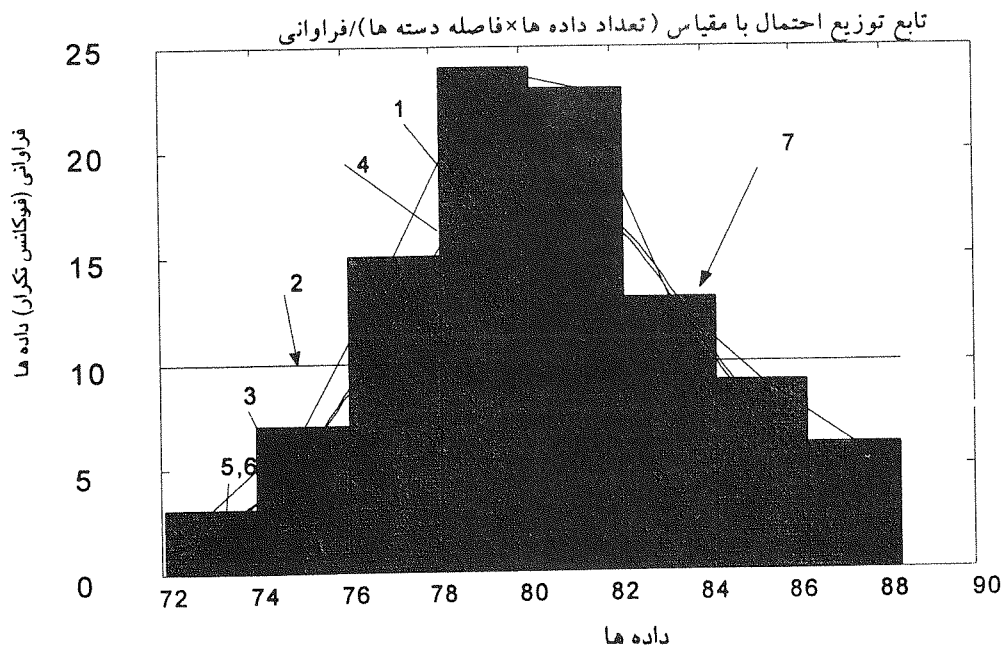
با استفاده از جدول فوق و نیز هیستوگرام همزمان توابع توزیع، تابع توزیع گاما کمترین خطا را در برازش داده ها نشان می دهد و در مدل سازی متغیر تصادفی فوق از این تابع با پارامترهای محاسبه شده مربوطه استفاده می گردد. پس از اجرای برنامه مقادیر مجموع مربعات خطا و نیز پارامترهای مربوط به توزیع های مختلف بصورت جدول (۲) است. حداقل مقدار مجموع مربعات خطا نشان می دهد که کدام توزیع احتمالی می تواند برازش بهتری از داده ها ارائه نماید.

جدول (۱) اطلاعات آماری مربوط به TTF يك المان.

| Case | TTF | Case | TTF | Case | TTF | Case | TTF | Case | TTF |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 1 | 78.44 | 21 | 79.19 | 41 | 74.63 | 61 | 83.90 | 81 | 83.93 |
| 2 | 76.49 | 22 | 82.22 | 42 | 79.52 | 62 | 78.32 | 82 | 78.20 |
| 3 | 73.31 | 23 | 76.40 | 43 | 78.52 | 63 | 79.46 | 83 | 80.21 |
| 4 | 78.74 | 24 | 72.08 | 44 | 80.15 | 64 | 79.73 | 84 | 80.75 |
| 5 | 82.22 | 25 | 86.66 | 45 | 83.63 | 65 | 79.07 | 85 | 79.64 |
| 6 | 86.51 | 26 | 79.91 | 46 | 77.51 | 66 | 81.26 | 86 | 81.20 |
| 7 | 79.64 | 27 | 84.23 | 47 | 79.04 | 67 | 82.61 | 87 | 85.10 |
| 8 | 85.56 | 28 | 78.98 | 48 | 79.43 | 68 | 80.30 | 88 | 77.15 |
| 9 | 81.23 | 29 | 80.42 | 49 | 85.91 | 69 | 85.85 | 89 | 84.65 |
| 10 | 81.05 | 30 | 77.69 | 50 | 83.72 | 70 | 80.87 | 90 | 79.73 |
| 11 | 80.51 | 31 | 82.19 | 51 | 82.28 | 71 | 80.36 | 91 | 85.67 |
| 12 | 77.66 | 32 | 87.47 | 52 | 74.36 | 72 | 74.96 | 92 | 80.57 |
| 13 | 77.24 | 33 | 80.36 | 53 | 75.20 | 73 | 85.61 | 93 | 82.43 |
| 14 | 78.83 | 34 | 75.62 | 54 | 76.25 | 74 | 77.63 | 94 | 79.37 |
| 15 | 86.42 | 35 | 83.15 | 55 | 76.10 | 75 | 76.10 | 95 | 86.18 |
| 16 | 83.57 | 36 | 77.18 | 56 | 78.86 | 76 | 78.83 | 96 | 81.20 |
| 17 | 84.05 | 37 | 86.39 | 57 | 88.40 | 77 | 82.19 | 97 | 77.00 |
| 18 | 80.99 | 38 | 83.00 | 58 | 79.79 | 78 | 80.69 | 98 | 84.59 |
| 19 | 77.15 | 39 | 72.26 | 59 | 78.17 | 79 | 76.55 | 99 | 79.73 |
| 20 | 83.28 | 40 | 82.01 | 60 | 84.02 | 80 | 81.77 | 100 | 80.60 |



شکل (۲) برازش داده ها با استفاده از توابع توزیع احتمالی مختلف (۱) تابع توزیع یکنواخت (۲) تابع توزیع نمائی (۳) تابع توزیع نرمال (۴) تابع توزیع لگاریتمی = نرمال (۵) تابع توزیع ویبال (۶) تابع توزیع گاما.



شکل (۳) نمایش همزمان توابع توزیع مختلف در برازش داده ها، منحنی های ۲.۱ و ۳ بترتیب منحنی تقریبی داده، تابع توزیع یکنواخت، تابع توزیع نمائی و منحنی های ۵.۴ و ۶ به ترتیب تابع توزیع نرمال، لگاریتمی-نرمال، و بیبال و منحنی ۷ نیز تابع توزیع گاما است.

جدول (۲) نتایج برازش داده ها با استفاده از توابع توزیع مختلف و پارامترهای.

| ردیف | مجموع مربعات خطا | پارامتر اول | پارامتر دوم | نوع توزیع احتمالی |
|------|------------------|-------------|-------------|-------------------|
| 1 | 0.161404268 | 72.08 | 88.4 | یکنواخت |
| 2 | 0.716235231 | 80.5026 | 3.498909 | نمائی |
| 3 | 0.014114388 | 80.5026 | 3.498909 | نرمال |
| 4 | 0.789167628 | 80.5026 | 3.498909 | لگاریتمی-نرمال |
| 5 | 0.789167628 | 0.012185 | 28.42939 | ویبال |
| 6 | 0.012568879 | 533.6444 | 0.150854 | گاما |

جدول (۳) اطلاعات ماهیانه بار شامل مقادیر حداقل و حداکثر در یکسال.

| ماه | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| حداکثر (MW) | 36 | 36 | 32 | 27 | 15 | 15 | 36 | 20 | 22 | 14 | 28 | 33 |
| حداقل (MW) | 2 | 8 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |

منحنی زمانی بار ماهیانه فوق بصورت زیر است :

جدول (۴) شاخص ENS با در نظر گرفتن مقدار منحنی بار در نقاط ۱۵.۹.۵ و ۲۱ شینه ۲ RBTS با استفاده از روش مونت کارلو.

| نقاط بار | ENS با در نظر گرفتن منحنی بار | ENS با در نظر گرفتن بار متوسط |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 66.6126 | 66.9512 |
| 9 | 11.4562 | 11.4658 |
| 15 | 65.6918 | 65.8461 |
| 21 | 68.6668 | 67.8074 |

۲-۵. نتایج مربوط به بار متغیر

با مقایسه نتایج در جداول ۴ و ۵ صحت نتایج روش پیشنهادی نشان داده می شود.

در حالت لحاظ کردن تغییرات زمانی بار، بدیهی است هر چقدر فاصله نمونه گیری از اطلاعات بار نزدیکتر و اطلاعات میزان مصرف، دقیق تر باشد، مقدار شاخص های بدست آمده واقعی تر خواهد بود. با استفاده از دستگاه های ثابت می توان براحتی اطلاعات مورد نیاز را از شبکه دریافت نموده و به برنامه شبیه سازی اعمال کرد. امروزه با پیشرفت سیستم های کامپیوتری و سرعت عملیات براحتی می توان به جمع آوری دقیق اطلاعات مبادرت کرد.

۶. نتیجه

در این مقاله با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو قابلیت اعتماد سیستم توزیع مورد ارزیابی قرار می گیرد. تاکنون جهت سهولت مسئله بیشتر از تابع توزیع نمائی استفاده می گردید. جهت رسیدن به نتایج دقیقتر در محاسبات قابلیت اعتماد می توان از الگوریتم تعیین مناسب ترین تابع توزیع احتمالی بصورت همزمان با روند شبیه سازی نمودی واقعی تر به محاسبات بخشید.

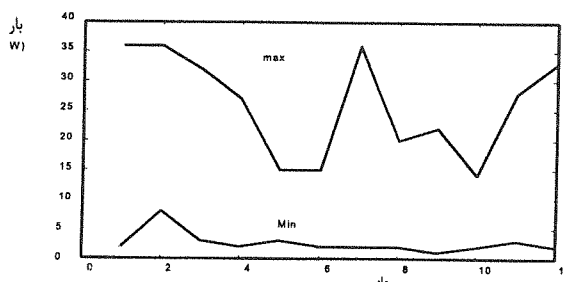
بکارگیری بار متغیر زمانی با استفاده از اطلاعات حداقل و حداکثر بار علی رغم حجم کاری اندک منجر به نتایج دقیقتری از شاخص ها شده و هر چقدر میزان اطلاعات دقیقتر باشد نتایج بهتری بدست خواهد آمد کاربرد منطق فازی در این تحقیق امکان مانور بیشتر جهت بهبود نتایج را ایجاد می نماید.

زیر نویس ها

- 1- IEEE-Roy Billinton Test System
- 2- Time To Failure
- 3- Time To Repair
- 4- Time To Switch
- 5- System Average Interruption Frequency Index
- 6- Customer Average Interruption Frequency Index
- 7- System Average Interruption Duration Index
- 8- Customer Average Interruption Duration Index
- 9- Energy Not Supplied
- 10 - Pseudo-Sequential

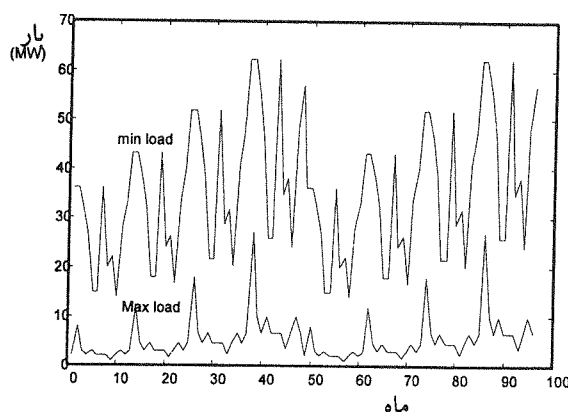
فرض می نمائیم که یکی از نقاط بار IEEE-RBTS [18] دارای منحنی باری مشابه شکل ۵ باشد. این منحنی بصورت مقادیر و حداقل و حداکثر بصورت ماهیانه در جدول (۳) نشان داده شده است.

چنانچه شبیه سازی مونت کارلو اجرا گردد، با در نظر گرفتن نرخ رشد سالیانه ۱۰٪ برای مقدار بار، منحنی مربوطه پس از چند تکرار بصورت شکل (۶) خواهد بود.



شکل (۵) منحنی حداقل و حداکثر مصرف مربوط به جدول (۴).

چنانچه این اطلاعات بار ماهیانه با دوره تکرار ۳ سال به شبکه RBTS اعمال گردد نتایج شاخص ENS برای بعضی از نقاط بار شبیه ۲ بصورت جدول (۴) خواهد بود. به منظور ارزیابی صحت نتایج حاصله، برای نقاط بار ۱۵,۹,۵ و ۲۱ شبیه ۲ RBTS، با استفاده از روش تحلیلی، نتایج به صورت نشان داده شده در جدول ۵ بدست آمد.



شکل (۶) تکرار منحنی مصرف داده های جدول ۴ در کل مدت شبیه سازی. ۲۱ شبیه ۲ RBTS با استفاده از روش تحلیلی.

جدول (۵) شاخص ENS با در نظر گرفتن متوسط بار در نقاط ۱۵,۹,۵ و ۲۱ شبیه ۲ شبکه RBTS با استفاده از روش تحلیلی.

| نقاط بار | ENS با در نظر گرفتن بار متوسط |
|----------|-------------------------------|
| 5 | 66.7546 |
| 9 | 11.3245 |
| 15 | 65.3986 |
| 21 | 67.7681 |

- [1] L. Goel, Yan OU, "Reliability Worth Assessment in Radial Distribution Systems Using the Monte Carlo Simulation Technique", Electric Power System Research Journal, Vol. 51, 1999, PP. 43-53.
- [2] R. Billinton, W. Li, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods" Plenum press, New York, 1994.
- [3] R. Billinton, R. N. Allan "Reliability Evaluation of Engineering Systems", Plenum press, New York, 1983.
- [4] R. Billinton, R. N. Allan "Reliability evaluation of Power Systems", 2nd edition, Plenum Press, New York, 1995.
- [5] R. Billinton, Peng Wang; "Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation", IEEE Trans. on Power systems, Vol. 14, No.2, May. 1999, PP. 379-403.
- [6] R. N. Allan, M. G. Da-Silva, "Evaluation of Reliability Indices and Outage Costs in Distribution Systems", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 10, No. 1, Feb. 1995, PP. 413-419.
- [7] R. Billinton. Peng Wang "Distribution System Reliability Cost / Worth Analysis Using Analytical Sequential Simulation Techniques", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 4, Nov. 1998, PP. 1245-1250.
- [8] J. C. O. Mello, M. V. F. Pereira, A. M. Leita Da Silva, "Evaluation of Reliability Worth in Composite Systems Based Pseudo-Sequential Monte Carlo Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 3, Aug. 1994, PP. 1318-1326.
- [9] L.Goel, X.Liang, Y.OU, "Monte Carlo Simulation - Based Customer Service Reliability Assessment", Electric Power Systems Research Journal, Vol. 46, 1999, PP. 185-194.
- [10] Sohrab Asgarpour, Matthew J.Mathine, "Reliability Evaluation Systems with Non-Exponential Down Times", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May. 1997.
- [11] A.Sankarakrishnan, R.Billinton", **Effective Techniques for Reliability Worth Assessment in Composite Power System Network Using Monte Carlo Simulation**", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 3, Aug. 1996, PP. 1255-1261.
- [12] L.Goel, R.Billinton, "Evaluation of Interrupted Energy Assessment Rates in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, Oct. 1991, PP. 1876-1882.
- [13] Pang Wang, R.Billinton, "Time Sequential Distribution Systems Reliability Worth Analysis Considering Time Varying Load and Cost Models", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, July. 1998, PP. 1046-1051.
- [14] A.Sankarakrishnan, R.Billinton, "Sequential Monte Carlo Simulation for Composite Power System Reliability Analysis with Time Varying Loads", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 10, No. 3, Aug. 1995, PP. 1540-1545.
- [15] Armando M.Leite Da Silva, Luiz A.Da Fonseca Manso, Joao C.De Oliveria Mello, R.Billinton, "Pseudo-Chronological Simulation for Composite Reliability Analysis with Time Varying Loads", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, No. 1, Feb. 2000, PP. 73-80.
- [16] Joao Tome Saraiva, Antonio Vareyao Sousa, "New Advanced in Integrating Fuzzy Data in Monte Carlo Simulation to Evaluate Reliability Indices of Composite Power Systems", Mediteranean Electric Conference, MELECON 98, 9th, Vol.2, PP.1084-1088.
- [17] J.Tome Saraiva, "Reliability Evaluation of Generation / Transmission Power Systems Including Fuzzy Data", IEEE International Symposium on Circuits and System (ISCAS), Vol.1, 1996, PP. 609-612.
- [18] R. N.Allan, R.Billinton, I.Sjarief, L.Goel, K.S.So, "A Reliability Test System for Educational Purposes-Basic Distribution System Data and Results", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May. 1991, PP. 813-820.