بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

۹۲۴۰۲۰۱۷۶

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش مهندسی برق- قدرت

عنوان :

مطالعه مقایسه‌ای دو روش PEM و مونت کارلو در پخش بار بهینه احتمالی

استاد راهنما:

دکترسعیداله مرتضوی

استاد مشاور:

دکترمرتضی رزاز

نگارنده :

مسعود نصرآبادی

مهرماه ۱۳۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه آقای مسعود نصرآبادی **دانشجوی رشته: برق گرایش:** قدرت

دانشکده مهندسی **به شماره دانشجویی** ۹۰۳۱۸۰۵

با عنوان :

مطالعه مقایسه‌ای دو روش PEM و مونت کارلو در پخش بار بهینه احتمالی

جهت اخذ مدرک :کارشناسی ارشد در تاریخ : ۹۲/۰۷/۳۰ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه **بسیار خوب** تصویب گردید.

		رتبه علمی	امضاء
۱.	**اعضا ی هیأت داوران :**		
	استاد راهنما:دکتر سعیداله مرتضوی	دانشیار	.....
	استاد مشاور : دکتر مرتضی رزاز	استادیار	.....
	استاد داور : دکتر محسن صنیعی	استادیار	.....
	استاد داور : دکتر الهه مشهور	استادیار	.....
	نماینده تحصیلات تکمیلی :دکتر شاپور مرادی	دانشیار	.....
۲.	**مدیرگروه :** دکتر محمد سروش	استادیار	.....
۳.	**معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :** دکتر علی حقیقی	استادیار	.....
۴.	**مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه :** دکتر مسعود قربانپور نجف آبادی	استاد	.....

تقدیم به

همسر بزرگوارم

که وجودش چون گوهری ارجمند، گرمابخش وجود من است و مرا تا ابد مدیون

زحمات بی‌دریغش نموده‌است.

و

پدر و مادر عزیزتر از جانم

که هرآنچه دارم بعد از خدا،از برکت وجود پرمهر آنان است و تا بیکران‌ها مدیون

زحمات بی‌شائبه‌شان هستم.

تقدیر و تشکر:

اکنون که با لطف و عنایت پروردگار توانسته‌ام رساله‌ام را به اتمام برسانم برخود لازم می‌دانم تا از زحمات بی‌شائبه و توصیه‌های استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر مرتضوی و همچنین استاد مشاورم آقای دکتر رزاز نهایت تشکر و قدردانی را داشته‌باشم. چراکه در تمامی مراحل پیشرفت رساله‌ام اینجانب را تنها نگذاشته و نظرات ارجمندشان همواره راهگشای من بوده‌است.

چکیده

نام خانوادگی : نصرآبادی	نام: مسعود	شماره دانشجویی :۹۰۳۱۸۰۵
عنوان پایان نامه : مطالعه مقایسه‌ای دو روش PEM و مونت کارلودر پخش بار بهینه احتمالی		
استادراهنما: دکتر سعیداله مرتضوی		
استاد مشاور: دکتر مرتضی رزاز		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته: برق**	**گرایش: قدرت**
دانشگاه : شهید چمران اهواز	**دانشکده: مهندسی**	**گروه : برق**
تاریخ فارغ التحصیلی : ۹۲/۰۷/۳۰	**تعداد صفحه: ۱۰۹**	

کلید واژه ها : بازار برق، برآورد نقطه‌ای، برآورد دو نقطه‌ای، پخش بار بهینه احتمالی، مونت کارلو

امروزه تجدیدساختار در صنعت برق باعث به وجود آمدن مسائل جدیدی شده‌است که در مطالعات طراحی و بهره‌برداری سیستم تاثیر دارد و به واسطه مطرح شدن مسئله قیمت، تا حد زیادی عدم‌قطعیت‌های موجود را افزایش داده‌است. از طرفی با توجه به عدم‌قطعیت‌های موجود در میزان بار، تولید و شرایط شبکه، بدیهی است که اجرای پخش بار به صورت احتمالی می‌تواند مفیدتر باشد. به عبارت دیگر، یکی از راه‌های مقابله با این عدم قطعیت‌ها، استفاده از رویکرد احتمالی و توجه به مشخصات آماری در تحلیل سیستم قدرت می‌باشد و در واقع، بررسی واقعی‌تری از عملکرد سیستم بدست خواهد آمد. با توجه به این مطالب، شبیه‌سازی موردنظر بر سه سیستم با تعداد متغیرهای کم، نسبتا زیاد و زیاد پیاده‌سازی شده و اثر افزایش تعداد متغیرها و میزان انحراف استانداردشان با توجه به دو روش PEM و مونت کارلو بررسی می‌گردد. شبیه‌سازی بر روی سه سیستم ٦ شین، ۵۷ شین و ۱۱۸ شین، با درنظر گرفتن شاخص‌های تعداد متغیر ورودی و همچنین میزان انحراف استاندارد آنها پیاده‌سازی شده - است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که با مرجع درنظر گرفتن روش مونت کارلو، با محدود بودن تعداد متغیرهای شبکه ورودی و انحراف معیارشان، استفاده از روش‌های تقریبی می‌تواند کارآمد باشد. با افزایش تعداد متغیرها، هنگامی که تعداد آنها خیلی زیاد نباشد می‌توان از روش‌های 2PEM و 2PEM+1 به خوبی استفاده کرده و نتیجه مطلوب را دریافت کرد و هنگامی که تعداد متغیرها و انحراف استاندارد زیاد باشد، عملکرد روش‌های تقریبی به خوبی قبل نبوده و کارایی آنها تقلیل می‌یابد.

فهرست علامت‌ها و اختصارها

L	تابع لاگرانژ
N	تعداد واحد تولیدی
U	متغیرهای کنترلی
x	متغیرهای وضعیت
z	متغیر تصادفی
λ_e	مؤلفه حدی تولید
$\lambda_{L,i}$	مؤلفه حدی تلفات
$\lambda_{c,i}$	مؤلفه تراکم
$\Delta\lambda_{ij}$	تفاوت هزینه بین دو شین i و j
$\lambda_{j,k}$	ضریب چولگی (عدم تقارن)
$\theta_{G_i}^{min}$	مینیمم زاویه
$\theta_{G_i}^{max}$	ماکزیمم زاویه
μ_j	مقدار میانگین
σ_j	انحراف استاندارد
∇L_x	گرادیان تابع لاگرانژ نسبت به x
∇L_u	گرادیان تابع لاگرانژ نسبت به u
∇L_λ	گرادیان تابع لاگرانژ نسبت به λ
μ_{MCS}	میانگین متغیر خروجی در روش MCS
σ_{MCS}	انحراف معیار استاندارد متغیر خروجی در روش MCS
μ_{2PEM}	میانگین متغیر خروجی در روش 2PEM
σ_{2PEM}	انحراف معیار استاندارد متغیر خروجی در روش 2PEM
ϵ_μ	میزان خطا در میانگین در دو روش MCS و 2PEM
ϵ_σ	میزان خطا در انحراف معیار در دو روش MCS و 2PEM
$\Psi_Z(s)$	تابع مولد لحظه‌ای برای محاسبه کمولانت‌های Z
υ_X	چولگی (عدم تقارن)
$\omega_{l,k}$	عامل وزن
$\xi_{l,k}$	مکان استاندارد

$\lambda_{zl,3}$	سومین لحظات مرکزی z_l
$\lambda_{zl,4}$	چهارمین لحظات مرکزی z_l
$C_{Gi}(P_G)$	تابع هزینه تولید برای ژنراتور iام
$C_{Di}(P_D)$	تابع هزینه تقاضا برای بار iام
$E(h(X))$	مقدار میانگین (اولین لحظه) Y
$E(Y^2)$	دومین لحظه Y
$E(Y^3)$	سومین لحظه Y
F_T	تابع هدف
$F(.)$	تابع پخش بار
$I_{ij}(\delta,V)$	جریان جاری در خط بین دو شین i و j
$I_{ij\max}$	ماکزیمم جریان جاری در خط بین دو شین i و j
$I_{ji}(\delta,V)$	جریان جاری در خط بین دو شین j و i
$I_{ji\max}$	ماکزیمم جریان جاری در خط بین دو شین j و i
N_G	تعداد ژنراتورها
N_D	تعداد بارها
P_R	توان مصرفی بار
P_i	توان الکتریکی هر واحد تولیدی
P_L	تلفات انتقال
P_{G_i}	توان راکتیو تولیدی در شین iام
P_{D_i}	توان اکتیو مصرفی در شین iام
$P_i(\theta,V)$	توان اکتیو تزریقی شبکه در شین iام
$P_{G_i}^{min}$	مینیمم توان اکتیو واحد تولیدی شین i
$P_{G_i}^{max}$	ماکزیمم توان اکتیو واحد تولیدی شین i
pi	متغیرهای ورودی تصادفی
P_S	پیشنهاد عرضه
$P_{S\max}$	ماکزیمم پیشنهاد عرضه
$p_{j,1}$	غلظت احتمالی نقطه $X_{j,1}$
$p_{j,2}$	غلظت احتمالی نقطه $X_{j,2}$
Q_{G_i}	توان راکتیو تولیدی در شین iام
Q_{D_i}	توان راکتیو مصرفی در شین iام
$Q_i(\theta,V)$	توان راکتیو تزریقی شبکه در شین iام
$Q_{G_i}^{min}$	مینیمم توان راکتیو واحد تولیدی شین i

$Q_{G_i}^{max}$	ماکزیمم توان راکتیو واحد تولیدی شین i
$S_{ij}(\theta, V)$	توان ظاهری بین شین‌های i و j
S_{ij}^{max}	حداکثر توان ظاهری بین شین‌های i و j
$V_{G_i}^{min}$	مینیمم ولتاژ
$V_{G_i}^{max}$	ماکزیمم ولتاژ
$X_{j,1}$	نقطه احتمالی اول
$X_{j,2}$	نقطه احتمالی دوم
$Y = h(X)$	تابع چندمتغیره غیرخطی
$z_{l,k}$	عامل مکان

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه ۱

۱-۱ مرور مقالات پیشین ۲

۱-۲ اهداف ۸

۱-۳ ساختار پایان‌نامه ۹

فصل دوم

پخش بار ۱۰

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ پخش بار بهینه قطعی ۱۱

۲-۳ فرمولبندی مسئله OPF ۱۲

۲-۴ تابع هدف OPF ۱۳

۲-۴-۱ کمینه‌سازی هزینه ۱۴

۲-۴-۲ قیود برابری ۱۴

۲-۴-۳ قیود نابرابری ۱۵

۲-۴-۴ متغیرها ۱۶

۲-۵ قیمت حاشیه‌ای محلی (اختلاف قیمت گره‌ای) ۱۶

۲-۶ روش‌های OPF ۱۸

۲-۶-۱ حل بر اساس روش نیوتن رافسون برای شرایط بهینه ۱۸

۲-۶-۲ روش برنامه‌ریزی خطی (LP) ۲۰

۲-۶-۲-۱ اصول برنامه‌ریزی خطی ۲۰

۲-۶-۳ روش برنامه‌ریزی غیرخطی ۲۱

۲-۶-۳-۱ اصول برنامه‌ریزی غیرخطی ۲۱

۲-۶-۴ روش نقطه درونی (IP) ۲۱

۲-۶-۵ روش‌های تکاملیی ۲۲

۲-۷ پخش بار بهینه احتمالی ۲۳

فصل سوم

روش‌های پخش بار بهینه احتمالی ۲۵

۳-۱ روش برآورد نقطه‌ای ۲۵

۳-۱-۱ فرمولبندی مسئله بهینه‌سازی ۲۶
۳-۱-۲ روش برآورد نقطه‌ای ۲۹
۳-۱-۳ روش برآورد دونقطه‌ای ۳۱
۳-۲ مونت کارلو ۳۴
۳-۲-۱ تولید اعداد اتفاقی ۳۹
۳-۲-۲ تبدیل اعداد اتفاقی با توزیع یکنواخت به سایر توزیع‌ها ۴۰
۳-۲-۳ نتایج مشابه‌سازی ۴۱
۳-۲-۴ هیستوگرام‌های فراوانی ۴۲
۳-۲-۵ ضعف مدل شبیه‌سازی مونت کارلو ۴۲
۳-۲-۶ کاربرد روش مونت کارلو ۴۴
۳-۳ کمولانت ۴۷
۳-۳-۱ مفاهیم اساسی ۴۸

فصل چهارم

شبیه‌سازی و نتایج ۵۰
۴-۱ سیستم ۶ شین ۵۵
۴-۱-۱ سناریوی اول ۵۶
۴-۱-۲ سناریوی دوم ۶۰
۴-۲ سیستم ۵۷ شین ۶۵
۴-۲-۱ سناریوی سوم ۶۶
۴-۲-۲ سناریوی چهارم ۷۰
۴-۳ سیستم ۱۱۸ شین ۷۵
۴-۳-۱ سناریوی پنجم ۷۶
۴-۳-۲ سناریوی ششم ۸۰

فصل پنجم

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد جهت ادامه پژوهش ۸۷
۵-۱ نتایج کلی ۸۸
۵-۲ اهمیت نتایج حاصله ۸۸
۵-۳ ارائه پیشنهادها برای ادامه کار ۹۰

فهرست منابع ۹۱

پیوست‌ها

پیوست ۱: معرفی توابع آماری ۹۸
۱-۱ توزیع نرمال ۹۸

۲-۱ تابع چگالی احتمال PDF ۹۹
پیوست ۲: روش محاسباتی 2PEM و 2PEM+1 ..... ۱۰۱
۲-۱ روش محاسباتی 2PEM ۱۰۱
۲-۱-۱ تابع یک متغیره ۱۰۱
۲-۱-۲ تابع چند متغیره ۱۰۵
۲-۲ روش محاسباتی 2PEM+1 ..... ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

شکل (۳-۱): تابع توزیع فرضی برای دو عدم قطعیت زمان و هزینه ۴۳

شکل (۴-۱): فلوچارت روش 2PEM ۵۲

شکل (۴-۲): فلوچارت روش 2PEM+1 ..... ۵۳

شکل (۴-۳): فلوچارت روش مونت کارلو ۵۴

شکل (۴-۴): شبکه ۶ شین ۵۵

شکل (۴-۵): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴ برای شاخص با استفاده از سه روش 2PEM، 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۷

شکل (۴-۶): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴ برای شاخص با استفاده از سه روش 2PEM، 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۹

شکل (۴-۷): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴ برای شاخص با استفاده از سه روش 2PEM، 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۱

شکل (۴-۸): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴ برای شاخص با استفاده از سه روش 2PEM، 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۳

شکل (۴-۹): شبکه ۵۷ شین ۶۵

شکل (۴-۱۰): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۳۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۵۷ شین ۶۷

شکل (۴-۱۱): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۳۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۵۷ شین ۶۹

شکل (۴-۱۲): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۳۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۵۷ شین ۷۱

شکل (۴-۱۳): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۳۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۵۷ شین ۷۳

شکل (۴-۱۴): شبکه ۱۱۸ شین ۷۵

شکل (۴-۱۵): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM ، 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۷۷

شکل (۴-۱۶): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۷۹

شکل (۴-۱۷): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۸۱

شکل (۴-۱۸): مقایسه تابع چگالی احتمال شین شماره ۴۱ برای شاخص LMP با استفاده از سه روش 2PEM و 2PEM+1 و MCS با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول (۳-۱): روش‌های برآورد نقطه‌ای به همرا ویژگی‌هایشان ۲۶
جدول (۴-۱): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۶
جدول (۴-۲): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۶
جدول (۴-۳): مقادیر میانگین و انحراف استانداردLMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۸
جدول (۴-۴): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارها در شبکه ۶ شین ۵۸
جدول (۴-۵): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۰
جدول (۴-۶): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۱
جدول (۴-۷): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۲
جدول (۴-۸): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۶ شین ۶۳
جدول (۴-۹): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۵۷ شین ۶۶
جدول (۴-۱۰): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۵۷ شین ۶۶
جدول (۴-۱۱): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد۱۰٪ برای بارها در شبکه ۵۷ شین ۶۸

جدول (۴-۱۲): مقادیر خطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارها در شبکه ۵۷ شین ۶۸

جدول (۴-۱۳): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۵۷ شین ۷۰

جدول (۴-۱۴): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۵۷ شین ۷۰

جدول (۴-۱۵): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۵۷ شین ۷۲

جدول (۴-۱۶): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۵۷ شین ۷۲

جدول (۴-۱۷): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارها در شبکه ۱۱۸ شین ۷۶

جدول (۴-۱۸): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۷۶

جدول (۴-۱۹): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارها در شبکه ۱۱۸ شین ۷۸

جدول (۴-۲۰): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۱۰٪ برای بارهای متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۷۸

جدول (۴-۲۱): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۱۱۸ شین ۸۰

جدول (۴-۲۲): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۴٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۸۰

جدول (۴-۲۳): مقادیر میانگین و انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه در شبکه ۱۱۸ شین ۸۲

جدول (۴-۲۴): مقادیرخطا در انحراف استاندارد LMP و ولتاژ خروجی با انحراف استاندارد ۲۵٪ برای ضرایب هزینه متغیر در شبکه ۱۱۸ شین ۸۲

جدول (۴-۲۵): خطای LMP روش 2PEM و 2PEM+1 نسبت به MCS با انحراف استاندارد ۴٪ در بار در سیستم‌های مذکور ۸۴

جدول (۴-۲۶): خطای LMP روش 2PEM و 2PEM+1 نسبت به MCS با انحراف استاندارد ۱۰٪ در بار در سیستم‌های مذکور ۸۴

جدول (۴-۲۷): خطای LMP روش 2PEM و 2PEM+1 نسبت به MCS با انحراف استاندارد ۴٪ در ضرایب هزینه در سیستم‌های مذکور ۸۵

جدول (۴-۲۸): خطای LMP روش 2PEM و 2PEM+1 را نسبت به MCS با انحراف استاندارد ۲۵٪ در ضرایب هزینه در سیستم-های مذکور ۸۵

فصل اول

مقدمه

امروزه ساختار قوانین حاکم بر صنعت برق کشورهای مختلف به‌گونه‌ای تغییر کرده‌است که امکان ایجاد رقابت در تولید و مصرف انرژی الکتریکی، بیش از پیش فراهم شده‌است در یک بازار رقابتی احتیاج به بهره‌برداری بهینه از واحدهای تولیدی بیش از پیش احساس می‌شود و از آن‌جا که هدف اصلی در محیط‌های رقابتی سیستم‌های قدرت، افزایش بهره‌وری و تقلیل قیمت انرژی الکتریکی است و با توجه به این‌که محدودیت‌های فنی شبکه ممکن است مانع رسیدن به این اهداف شوند، بنابراین ارائه روش‌های مناسب جهت پخش بار بهینه[۱] (OPF) در سیستم‌های قدرت ضروری می‌باشد [۱].

از طرفی تجدیدساختار در صنعت برق باعث بوجود آمدن مسائل جدیدی شده است که در مطالعات طراحی و بهره‌برداری سیستم تاثیر دارد و به واسطه مطرح شدن مسئله قیمت، تا حد زیادی عدم قطعیت‌های موجود را افزایش داده‌است. قیمت برق نیز به عنوان یک کمیت کلیدی و تاثیرگذار در برنامه‌ریزی‌های مختلف در این فضا مطرح می‌شود. یکی از راه‌های مقابله با این عدم-قطعیت، استفاده از

---

[۱] Optimal Power Flow

رویکرد احتمالی و توجه به مشخصات آماری و ویژگی‌های قیمت برق در تحلیل سیستم قدرت می‌باشد و در واقع با این کار، بررسی واقعی‌تری از عملکرد سیستم بدست خواهدآمد [۲].

بنابراین با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در میزان بار، تولید و شرایط شبکه بدیهی است که اجرای پخش بار به صورت احتمالی می‌تواند مفیدتر باشد. همچنین در مطالعات برنامه‌ریزی سیستم نیازمند به آگاهی از سطح ولتاژ و توان جاری خطوط در سطوح مختلف بار و تولید بوده ولی انجام محاسبات پخش بار برای تمام حالات ممکن بار و تولید تقریبا غیرممکن است. به این علت به سراغ مسئله پخش بار بهینه احتمالی[۱] (POPF) می‌رویم.

به عبارت دیگر می‌توان چنین بیان کرد که پخش بار احتمالی دربرگیرنده طیف کاملی از حالت‌های محتمل متغیرهای خروجی مثل ولتاژ باس و قیمت حدی با احتمال رخداد هر حالت است. انجام پخش بار احتمالی به مهندسین طراح کمک می‌کند تا تصویر روشنتری از وضعیت کلی سیستم و برنامه‌ریزی بهتری برای سرمایه‌گذاری در سیستم و بهره‌برداری از آن داشته باشند [۳].

۱-۱ مرور مقالات پیشین

در ادامه تاریخچه‌ای از مقالاتی که در زمینه پخش بار بهینه احتمالی موجود هستند ذکر شده و روند پیشرفت انواع روش‌های احتمالی و همچنین تنوع متغیرهای ورودی موردتوجه قرار می‌گیرد. در زمینه روش‌های پخش بار بهینه احتمالی در سال ۱۹۹۰ داسیلوا و همکارانش به بررسی روش‌هایی که ترکیب تکنیک‌های تحلیلی و شبیه‌سازی مونت کارلو[۲] (MCS) را دارد پرداختند [۴].

---

[۱] Probabilistic Optimal Power Flow

[۲] Monte Carlo Simulation

البته در این سال‌ها مقالات متفاوتی با موضوع‌های مشابه به چاپ رسید، اما با توجه به اینکه سرعت پاسخگویی روش‌های عنوان شده در مقالات قبلی کند می‌باشد، در همین زمان‌ها روند استفاده از روش‌های تقریبی گسترش یافت تا جایی که ۸ سال بعد یعنی در سال ۱۹۹۸، مادریگال و همکارانش روش‌های تقریبی یک توصیف تقریبی از خواص آماری متغیر تصادفی خروجی را ارائه دادند. در این تکنیک‌ها، استفاده از روش برآورد نقطه‌ای برجسته شد. در این مقاله از رویکرد روش برآورد نقطه‌ای برای حل مشکل پخش بار احتمالی استفاده گردید [۵].

به عبارت دیگر از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۸ در کارهای زیادی، استفاده از روش‌های معمول مونت کارلو، کمولانت[۱] (CM) و روش برآورد نقطه‌ای مشاهده‌گردید. اما از آن جهت که در روش تقریبی عنوان شده در مقالات تا سال ۱۹۹۸، تقریب معمول با استفاده از بسط تیلور صورت می‌گرفت و بنابراین استفاده از این روش نیاز به محاسبه مشتقات داشت، در سال ۲۰۰۰ در مرجع [۶] روش برآورد نقطه‌ای بهبود یافته و به ارائه یک روش جدید برای تعیین نقاط احتمالی پرداخته‌شد. در این مقاله نقطه جدیدی برای لحظه احتمال پیشنهاد گردید، که در آن افزایش تعداد نقاط برآورد آسان‌تر است؛ زیرا نقطه برآورد، مستقل از متغیر تصادفی در فضای اصلی آن بوده و استفاده از لحظات مرتبه بالای متغیرهای تصادفی، مورد نیاز نمی‌باشد.

با توجه به این‌که سرعت پاسخگویی بالا در روند اجرای برنامه، برای بسیاری از محققان مهم می‌باشد، در سال ۲۰۰۴ ایده جدیدی برای پیاده‌سازی روش کمولانت ارائه گردید. در این سال زانگ و لی در مرجع [۷] از تکنیک پیچیده‌ای برای به دست آوردن یک توصیف ریاضی رفتار متغیر تصادفی خروجی استفاده‌شد و بعد از آن به منظور برآورد توابع احتمال متغیر تصادفی خروجی، با گرام چرلیر

---

[۱] Cumulants Method