بسمه تعالی



موسسه آموزش عالی علامه رفیعی

سمينار دوره کارشناسي ارشد مهندسي برق-گرایش ...

مديريت احتمالي تراكم با در نظر گرفتن عدم قطعيت هاي سيستم قدرت و استفاده از الگوريتم برنامه ريزي مبتني بر شانس

نگارنده:

[نام دانشجو]

استاد راهنما:

[نام استاد راهنما]

تابستان 1397



###### تقديم

###### تشکر و قدرداني

###### چکيده

تراكم در خطوط انتقال يكي از موانع اصلي براي شكل گيري رقابت سالم در بازار برق مي باشد و بنابراين تحقيقات متعددي بر روي روش هاي مديريت تراكم در بازار برق انجام شده است. از سوي ديگر، رفتار يك سيستم قدرت داراي ماهيت تصادفي است و به همين دليل در بسياري از مباحث مطالعاتي مرتبط با بهره برداري و برنامه ريزي، سيستم به صورت غير قطعي مدل سازي و بررسي مي گردد. عدم قطعيت هاي سيستم قدرت را به طور كلي مي توان در سه بخش مستقل بار، توليد و شبكه انتقال بررسي نمود. در اين مقاله، هدف ارائه روشي جديد براي تحليل تصادفي تراكم به كمك مدل سازي عدم قطعيت هاي ذاتي سيستم قدرت است. جهت تحليل مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي به جاي استفاده از روش هاي معمول، از برنامه ريزي مبتني بر شانس كه روشي براي مدل سازي مسايل بهينه سازي تصادفي است، استفاده مي گردد. مدل پيشنهادي مديريت احتمالي تراكم توسط يك روش عددي با تكيه بر الگوريتم ژنتيك كد حقيقي و تكنيك مونت كارلو تحليل مي شود. براي مطالعه كارايي روش پيشنهادي، مديريت تراكم به صورت احتمالي بر روي شبكه 9باسه اصلاح شده IEEE پياده سازي مي شود. در اين شبكه منتخب، روش پيشنهادي براي تحليل تصادفي تراكم با روش ميانگين مقايسه شده و عملكرد روش ارائه شده در اين مقاله ارزيابي مي گردد. مطالعه نتايج، نشان دهنده انعطاف پذيري روش پيشنهادي در مديريت تراكم شبكه انتقال است.

کليد واژه: الگوريتم ژنتيك كد حقيقي، برنامه ريزي مبتني بر شانس، تكنيك مونت كارلو، عدم قطعيت هاي سيستم قدرت، مديريت احتمالي تراكم.

###### فهرست مطالب

عنوان صفحه

[فهرست علايم و نشانه‌ها ‌ب](#_Toc170546947)

[فصل 1-مقدمه](#_Toc170546950).................................................................................................................2

[فصل 2-پخش بار بهينه احتمالي با استفاده از تكنيك شبيه سازي مونت كارلو](#_Toc170546953)

[2-1- روش برآورد نقطه 4](#_Toc170546954)

[2-2- تصمیم گیری مبتنی بر سناریو 4](#_Toc170546955)

[2-3- رویکرد امکان 5](#_Toc170546956)

[فصل 3-تحلیل](#_Toc170546957) مسئلۀ مدیریت تراکم به صورت احتمالی

[3-1- برنامه ریزی مبتنی بر شانس (الگوریتم CCP) 7](#_Toc170546958)

[3-2- رویکرد احتمال- امکان پیوندی 8](#_Toc170546962)

[3-3- رویکرد امکان- مونت کارلو 10](#_Toc170546967)

[3-4- مونت کارلو برای آنالیز برآورده شدن قیود احتمالی 12](#_Toc170546971)

[3-4-1- نظریه تصمیم گیری شکاف اطلاعاتی 12](#_Toc170546972)

[3-4-2- بهینه سازی مقاوم 13](#_Toc170546975)

[3-4-3- تجزیه تحلیل فاصله 15](#_Toc170546972)

[فصل 4-نتیجه](#_Toc170546957) گیری

4-1- بررسی روش های کنترل عدم قطعیت جدید.............................................................................................19

4-2- خطوط امید بخش از تحقیقات آینده............................................................................................................19

[فهرست مراجع....................................................................................................................... 20](#_Toc170546991)

# مقدمه

شبكه انتقال بستر اصلي شكل گيري بازار رقابتي برق است، در حالي كه تراكم در شبكه انتقال يكي از موانع اصلي در دسترس بودن شبكه و رقابت سالم م يباشد. تراكم انتقال با موضوعات مهم سيستم قدرت از جمله مشاركت واحدها، رزرو، قدرت بازار و پايداري شبكه مرتبط خواهد بود [1]. تراكم هنگامي حادث مي شود كه يك يا تعدادي از قيود فيزيكي، بهره برداري و يا سياستي در سيستم قدرت به محدوده خود رسيده و اصطلاحاً فعال شده باشند. تراكم مي تواند در شرايط نرمال سيستم يا در نتيجه وقوع يك حادثه در سيستم قدرت به وجود آيد. از لحاظ بازه زماني وقوع نيز، تراكم ممكن است به واسطه ديسپچ روز آينده در بازار روز آينده، ديسپچ ساعت بعد در بازار ساعت آينده و يا به صورت زمان حقيقي در بازار تعادل شكل بگيرد [2].

وقوع تراكم در يك سيستم ممكن است با اثرات جانبي همراه باشد. در بعد فني، مهم ترين مسئله در اثر تراكم م يتواند كاهش حاشيه امنيت و پايداري سيستم باشد. اختلال در قراردادهاي موجود انتقال توان و

آسيب ديدن تجهيزات سيستم از ديگر مشكلات خواهند بود [3]. در بعد اقتصادي نيز اختلاف شديد قيمت برق در دو انتهاي خط متراكم منجر به از دست رفتن كارايي بازار و همچنين ايجاد قدرت بازار براي تعدادي از بازيگران مي شود [1]. بنابراين در شرايط تراكم، امكان ايجاد قراردادهاي جديد از بين مي رود، قطع يهاي سيستم افزايش م ييابد و جهش هاي قيمتي در بازار برق بيشتر مي شود [3]. همه اين موارد مبين آن هستند كه استفاده از يك روش مديريت و قيمت گذاري مناسب براي تراكم انتقال امري حياتي در بهره برداري از سيستم قدرت است.

به مجموعه فعالي تهاي پيش بيني، تحليل، پيش گيري، آزادسازي و تخصيص هزينه هاي تراكم در يك سيستم قدرت "مديريت تراكم" اطلاق مي گردد. مديريت تراكم كه عموماً شامل تغيير الگوي توليد و آرايش بار است، به كمك بهره بردار سيستم كه مسئول حفظ امنيت سيستم و تعيين مجموعه فعاليت هايي جهت اطمينان از عدم نقض قيود در شبكه است، صورت مي پذيرد [1]. روش هاي مختلفي در راستاي برنامه هاي مديريت تراكم شبكه وجود دارد كه از منظر هزينه به دو دسته مجزا قابل تقسيم هستند [4]: روش هاي بدون هزينه مانند تغيير آرايش شبكه [5] يا استفاده از كنترل هاي تكميلي و اضافي [6] و روش هاي هزينه بر مانند تغيير آرايش توليد [7] تا [13]، خاموشي بارها [14] و [15] و يا استفاده از منابع توليد پراكنده [16] و [17]. روش هاي هزينه بر به دليل تغيير آرايش توان هاي توليدي و مصرفي ممكن است داراي هزينه هاي نسبتاً بزرگي باشند. در اين روش ها معمولاً بهره بردار شبكه ضمن تغيير آرايش واحدهاي برنده، ممكن است به گروهي از بارهاي سيستم نيز خاموشي تحميل نمايد.

عدم قطعيت يكي از خصوصيات ذاتي سيستم قدرت بوده كه در بخش هاي مختلف آن و به شك لهاي گوناگوني به چشم مي خورد. بر اين اساس در بسياري از مباحث مطالعاتي مرتبط با بهره برداري و برنامه ريزي، عدم قطعيت هاي سيستم قدرت مدل شده و سيستم به صورت احتمالي تحليل مي گردد. از آن جمله مي توان به مباحث مرتبط با پخش بار احتمالي اشاره كرد كه در مراجع متعددي مورد بحث و بررسي قرار گرفته اند [18]. برخورد با مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي نيز در تعدادي از مراجع مورد توجه قرار گرفته است. در [19] و [20] مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي و با در نظر گرفتن عدم قطعيت هاي سيستم در بخش هاي مختلف سيستم شامل بار، توليد و شبكه انتقال تحليل شده

است. در اين مقالات، پس از توليد تعدادي سناريو بر مبناي عدم قطعيت هاي سيستم، براي محدودكردن حالات ممكن مسئله، از تكنيك حذف سناريوهاي مشابه و غير محتمل استفاده مي شود و نهايتاً مسئله

مديريت تراكم براي اين حالات محدود انجام مي گردد.

در اين تحقيق، هدف ارائه مدلي جديد براي مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي و با در نظر گرفتن عدم قطعيت هاي سيستم قدرت است. براي تحليل مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي، به جاي استفاده از روش هاي معمول، از برنامه ريزي مبتني بر شانس (الگوريتم CCP[[1]](#footnote-1)) که روشي براي مد لسازي مسائل بهينه سازي تصادفي است [21]، استفاده مي گردد. در اين مد لسازي، قيود امنيت شبكه به صورت تصادفي مدل مي شوند و ميزان احتمال ارضاي اين قيود تصادفي توسط بهره بردار تعيين مي گردد. بنابراين، انعطاف پذيري روش پيشنهادي بالاتر خواهد رفت و بهره بردار قادر خواهد بود تا با توجه به نيازهاي سيستم، ميزان احتمال ارضاي قيود در مديريت تراكم را تغيير دهد. الگوريتم CCP توسط يك روش عددي با تكيه بر الگوريتم ژنتيك كد حقيقي و تكنيك مونت كارلو تحليل مي شود.

# پخش بار بهينه احتمالي با استفاده از تكنيك شبيه سازي مونت كارلو

## روش برآورد نقطه

براي توليد اطلاعات لازم از پارامترهاي سيستم در شرايط مختلف بهره برداري، هم زمان با مدل سازي عدم قطعيت ها، از پخش بار بهينه احتمالي استفاده مي شود. انجام پخش بار احتمالي به مهندسين طراح سيستم كمك مي كند تا تصوير روشن تري از وضعيت كلي سيستم در زمان حال و آينده به دست آورده و برنامه ريزي بهتري براي سرمايه گذاري در سيستم و بهره برداري از آن داشته باشند [24]. در پخش بار احتمالي، به جاي محاسبه مقادير اندازه و زاويه ولتاژ باس ها، توان جاري خطوط، توابع چگالي احتمال متناظر با اين متغيرها كه حاوي اطلاعات مفيد و مؤثري مي باشند، تعيين مي گردند.

برخورد احتمالي با مسئله پخش بار به دو صورت رايج است: روش تحليلي (روش كمولانت و تخمين دو نقطه [25] و [26]) و روش عددي (تكنيك مونت كارلو [27]). شبيه سازي مونت كارلو يكي از رايج ترين شيوه ها در حل مسئله پخش بار احتمالي است. در اين روش براي متغيرهاي غير قطعي مسئله تعدادي مقادير به صورت تصادفي با توجه به توابع توزيع احتمالي اين متغيرها توليد مي شوند و مسئله به صورت قطعي براي تمام اين مقادير حل مي شود. مزيت اصلي اين روش در سادگي پياده سازي و اجراي آن است، هرچند نياز به انجام شبيه سازي هاي زياد جهت رسيدن به همگرايي از نقاط ضعف آن به شمار مي رود [27].

## تصمیم گیری مبتنی بر سناریو

ايده اصلي روش مونت كارلو مدل سازي عدم قطعيت ها با استفاده از توليد تعدادي منطقي از نقاط تصادفي با توجه به تابع چگالي احتمال (PDF[[2]](#footnote-2)) متغيرهاي غير قطعي سيستم است. بدين منظور، ابتدا بايد عدم قطعيت هاي سيستم شناسايي شوند و تابع چگالي احتمال هر يك از اين متغيرها با توجه به رفتار غير قطعي آنها استخراج گردد. مرحله بعد، توليد تعداد كافي از نقاط تصادفي براي هر يك از متغيرهاي غير قطعي سيستم است. نهايتاً روش مونت كارلو با انجام شبيه سازي براي هر يك از الگوهاي تصادفي توليد شده، تكميل خواهد شد. خروجي هاي روش مونت كارلو توابع توزيع احتمالي متغيرهاي خروجي مسئله مي باشند. در واقع با انجام شبيه سازي براي هر يك از نقاط كانديد، متغيرهاي خروجي مسئله در آن نقطه تصادفي محاسبه مي گردند. پس از انجام كل شبيه سازي ها، توابع چگالي احتمال براي هر يك از متغيرهاي خروجي با توجه به نمودار توزيع فراواني آنها محاسبه مي شوند.

در اين مقاله، شبيه سازي مونت كارلوي اوليه با 1000 تكرار براي مدل سازي عدم قطعيت هاي سيستم انجام م يگردد. در هر تكرار مونت كارلو، يك بردار تصادفي براي اندازه بارها با توجه به تابع توزيع نرمال چند متغيره كه براي بارهاي سيستم انتخاب شده است، توليد مي گردد. همچنين در همين تكرار مونت كارلو به تعداد تجهيزات توليد و انتقال شبكه، اعداد تصادفي بين صفر تا يك توليد مي شود. تجهيزاتي كه اعداد مربوط با آنها از مقدار FOR[[3]](#footnote-3) مربوط به همان تجهيز كوچكتر توليد شده باشد، خارج از مدار خواهند بود. با توليد اطلاعات لازم از متغيرهاي تصادفي، پخش بار بهينه انجام مي شود، متغيرهاي خروجي مورد نياز از قبيل توان جاري خطوط ذخيره مي گردند و بدين ترتيب يك تكرار مونت كارلو پايان مي يابد. با انجام تمامي تكرارهاي مونت كارلوي اوليه، تابع توزيع فراواني و تابع چگالي احتمال متغيرهاي خروجي به سادگي قابل استخراج خواهند بود.

## رویکرد امکان

برای انجام مدیریت تراکم به صورت احتمالی توابع توزیع اضافه بار خطوط محاسبه می شوند. برای محاسبه ی امید ریاضی، میزان اضافه بار خطوط و نیز احتمال رخداد هر حالت اضافه بار خطوط نیز محاسبه می گردد. میزان احتمال رخداد هر تکرار مونت کارلو از (1) تا (4) به دست می آید ]19[.

1. $Pr\_{Tot.}^{5}=Pr\_{Load}^{5}×Pr\_{Line}^{5}×Pr\_{Gen.}^{5}$
2. $Pr\_{Line}^{5}=\sum\_{j\in N\_{L}}^{}ω\_{i}×Pr\_{ωi}$
3. $Pr\_{Line}^{5}=\prod\_{l\in N\_{Line}}^{}(FOR\_{l}×\left(1-b\_{l}\right)+(1-FOR\_{l})×b\_{l})$
4. $Pr\_{Gen.}^{5}=\prod\_{l\in N\_{G}}^{}(FOR\_{i}×\left(1-b\_{i}\right)+(1-FOR\_{i})×b\_{i})$

در این روابط $Pr\_{Tot.}^{5}$ احتمال رخداد هر حالت متشکل از سه بخش بار $Pr\_{Load}^{5}$، خطوط $Pr\_{Line}^{5}$ و واحدهای تولیدی $Pr\_{Gen.}^{5}$ است. همچنین $ω\_{i}$ اندیس مشخص کننده ی سطح بار و $Pr\_{ωi}$ احتمال قرار گرفتن بار در سطح $ω\_{i}$ است. برای محاسبه ی احتمال بارها، تعدادی سطح بار از قبل مشخص می شود، به عنوان مثال در این مقاله سه سطح بار در نظر گرفته شده است. $FOR\_{l}$ نرخ خروج اجباری خطوط انتقال و $b\_{l}$ اندیس تعیین کننده ی وضعیت آن ها در هر حالت است. به طور مشابه، $FOR\_{i}$ نرخ خروج اجباری واحدها و $b\_{i}$ اندیس تعیین کننده ی وضعیت آن ها در هر حالت است. اندیس تعیین کننده ی وضعیت تجهیزات سیستم اگر در مدار نباشند صفر و در غیر اینصورت یک است. $N\_{Line}$ تعداد کل خطوط انتقال سیستم و $N\_{G}$ تعداد کل واحدهای تولیدی است.

# تحلیل مسئله مدیریت تراکم به صورت احتمالی

## برنامه ریزی مبتنی بر شانس (الگوریتم CCP)

برنامه ريزي مبتني بر شانس يك روش بهينه سازي تصادفي است و براي مسايلي به كار مي رود كه داراي متغير تصادفي در قيود و يا توابع هدف خود هستند [21]. در اين روش بهينه سازي، برقراري قيود به صورت سخت در نظر گرفته نمي شوند بلكه براي قيود داراي متغير تصادفي، احتمال برقراری قید با سطح اطمینان ($α$) لحاظ می گردد. مدل سازی مسئله CCP به صورت (5) است

1. $Min. f\left(x\right)$

 $Pr\left\{g\_{i}(x,ξ)\leq 0\right\}\geq α\_{i} , ∀i$

که $x$ بردار متغیرهای تصمیم گیری، $ξ$ بردار متغیرهای تصادفی با تابع چگالی احتمال $φ(ξ)$ و $f$ تابع هدف مسئله بهینه سازی است.

در این مقاله برای تحلیل مسئله مدیریت تراکم به صورت تصادفی از CCP استفاده می شود. هدف اين مدل سازي ارائه استراتژي آزادسازي تراكم با كمترين هزينه و در نظر گرفتن عدم قطعيت ها است. تفاوت اصلي روش ارائه شده با روش قبلي، قيد توان جاري خطوط است كه در روش پيشنهادي به جاي قطعي فرض كردن آن، به صورت احتمالي مدل سازی مي شود. نحوه مدل سازي قيد توان جاري خطوط به اين صورت است كه احتمال کوچکتر بودن توان خط از مقدار ماکزیمم خود بیشتر از مقدار $α\_{l}$ باشد. مدیریت تراکم مبتنی بر CCP به صورت (6) تا (10) مدل می شود

1. $Min F\_{cost}=\sum\_{i=1}^{N\_{G}}C\_{i}\left(∆P\_{Gi}\right)+\sum\_{j=1}^{N\_{L}}C\_{j}\left(∆P\_{Lj}\right)+\sum\_{k=1}^{N\_{T}}C\_{t}\left(∆P\_{Tk}\right)$
2. $\sum\_{i=1}^{N\_{G}}a\_{l,i}∆P\_{Gi}-\sum\_{j=1}^{N\_{L}}a\_{l,j}∆P\_{Lj}+\sum\_{k=1}^{N\_{T}}a^{'}\_{l,k}∆P\_{Tk}\leq P\_{line\_{l}}^{max}]\geq α\_{l} , ∀l\in N\_{Line}$

$$Pr⁡[P\_{line\_{l}}+$$

1. $P\_{Gi}^{min}\leq P\_{Gi}+∆P\_{Gi}\leq P\_{Gi}^{max} , ∀i\in N\_{G}$
2. $P\_{Lj}^{min}\leq P\_{Lj}+∆P\_{Lj}\leq P\_{Lj}^{max} , ∀j\in N\_{L}$
3. $P\_{Tk}^{min}\leq P\_{Tk}+∆P\_{Tk}\leq P\_{Tk}^{max} , ∀k\in N\_{T}$

در (7) متغیر تصادفی مسئله، $P\_{line\_{l}}$ است که تابه چگالی احتمال آن در پخش بار بهينه تصادفي محاسبه شده است. به دليل وجود قيد احتمالي در مسئله بهينه سازي فوق، حل كردن آن به آساني امكان پذير نيست. مرجع ]22[ يك روش تحليلي براي حل مسئله پخش بار بهينه احتمالي مبتني بر CCP پیشنهاد داده است. راه حل های پیشنهادی یک روش ترتیبی متشکل از دو لايه مستقل شبيه سازي و بهينه سازي است. حدس اوليه بردار تصميم در لايه شبيه سازي توليد شده و به همراه تابع هدف، احتمال ارضا شدن قيود و مشتقات آنها به لايه بهينه سازي فرستاده مي شوند. مسئله غیر خطی (NLP) با استفاده از الگوریتم [[4]](#footnote-4)SQP حل شده و تصحيح بردار اوليه كنترل انجام مي گردد. پس از اين مرحله، بردار تصحيح يافته به لايه شبيه سازي مي رود تا تكرار بعدي انجام شود. پاسخ بهینه زمانی بدست می آید که شرایط بهینگی مسئله NLP[[5]](#footnote-5) برآورده شود.

مرجع [29] یک روش عددی برای حل مسئله توسعه شبکه انتقال مبتنی بر CCP ارائه کرده است. در این مقاله برای حل مسئله از روش ترکیبی ژنتیک- مونت کارلو استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک نقاط کاندید را انتخاب می کند و به کمک تکنیک مونت کارلو، میزان برآورده شدن قیود احتمالی تحلیل می شود.

## رویکرد احتمال- امکان پیوندی

با در نظر گرفتن عدم قطعيت هاي سيستم، مسئله مديريت تراكم در شبكه انتقال بايد به صورت احتمالي تحليل شود. در اين زمينه تاكنون روش هاي متفاوتي در مقالات ارائه شده است كه ايده اصلي بيشتر آنها استفاده از ميانگين اضافه بار خطوط و ارائه استراتژي مديريت تراكم براي اين حالت است. در اين مقاله، هدف ارائه يك روش جديد در برخورد با مسئله مديريت تراكم به صورت احتمالي است. مزيت اصلي روش پيشنهادي در نظر گرفتن تمام حالت هاي محتمل با احتمال رخداد هر يک از آنها به جاي استفاده از ميانگين رياضي است. از سوي ديگر با معرفي پارامتر سطح اطمينان $α$، ميزان انعطاف پذيري اين روش نسبت به، روش هاي موجود بالاتر مي رود چرا كه بهره بردار سيستم مي تواند با تغيير اين پارامتر، استراتژي هاي آزادسازي را براي رسيدن به وضعيت مطلوب بهره برداري تغيير دهد. به منظور ارزيابي نحوه عملكرد، روش پيشنهادي در اين مقاله با مديريت تراكم بر اساس اميد رياضي اضافه بار خطوط مقايسه مي گردد.

هدف اين روش، ارائه استراتژي آزادسازي تراكم با كمترين هزينه به شكلي است كه توان جاري خطوط از مقدار ماكزيمم توان قابل عبور در هر خط كمتر شود. به دليل آن كه سيستم به شكل احتمالي تحليل مي شود، تغييرات اعمال شده در آرايش بازار در اميد رياضي توان جاري خطوط (12) لحاظ مي شود. اميد رياضي توان خطوط از پخش بار بهينه احتمالي در شبكه به دست مي آيد. در اين روش، مسئله مديريت تراكم تنها یک بار برای امید ریاضی خطوط ($\overbar{P\_{line\_{l}}}$) اجرا می شود. فرمول بندی مسئله در این حالت به شکل (11) تا (15) خواهد بود

1. $Min F\_{cost}=\sum\_{i=1}^{N\_{G}}C\_{i}\left(∆P\_{Gi}\right)+\sum\_{j=1}^{N\_{L}}C\_{j}\left(∆P\_{Lj}\right)+\sum\_{k=1}^{N\_{T}}C\_{t}\left(∆P\_{Tk}\right)$
2. $\overbar{P\_{line\_{l}}}+\sum\_{i=1}^{N\_{G}}a\_{l,i}∆P\_{Gi}-\sum\_{j=1}^{N\_{L}}a\_{l,j}∆P\_{Lj}+\sum\_{k=1}^{N\_{T}}a^{'}\_{l,k}∆P\_{Tk}\leq P\_{line\_{l}}^{max}\geq α\_{l} , ∀l\in N\_{Line}$
3. $P\_{Gi}^{min}\leq P\_{Gi}+∆P\_{Gi}\leq P\_{Gi}^{max} , ∀i\in N\_{G}$
4. $P\_{Lj}^{min}\leq P\_{Lj}+∆P\_{Lj}\leq P\_{Lj}^{max} , ∀j\in N\_{L}$
5. $P\_{Tk}^{min}\leq P\_{Tk}+∆P\_{Tk}\leq P\_{Tk}^{max} , ∀k\in N\_{T}$

در این روابط $C\_{i}$، $C\_{j}$ و $C\_{k}$ به ترتیب توابع پیشنهاد قیمت ژنراتورها، بارها و قراردادهای دو طرفه برای تغییر توان خود در پروسه مدیریت تراکم می باشند. تابع پیشنهاد قیمت ژنراتورها مطابق (16) مدل سازی می شود

1. $C\_{i}\left(∆P\_{Gi}\right)=C\_{i}^{up}×∆P\_{Gi}^{+}+C\_{i}^{down}×∆P\_{Gi}^{-}$

كه $C\_{i}^{up}$ و $C\_{i}^{down}$ پيشنهادات قيمت ژنراتورها براي تغيير توان خروجي ($∆P\_{Gi}^{+}$ و $∆P\_{Gi}^{-}$) مي باشند. توابع پيشنهاد قيمت بارها و قراردادهاي دوطرفه نيز مشابه تابع مربوط به ژنراتورها هستند. همچنين $N\_{L}$ و $N\_{T}$ به ترتيب تعداد كل بارها و قراردادهاي دوطرفه موجود در بازار مي باشند.

روابط (13) تا (15) محدوديت توان تزريقي يا مصرفي عناصر شبكه مي باشند.$ a\_{l,i}$ و $a\_{l,j}$ ضرايب توزيع تغيير توليد به ترتيب در باس هاي بار و توليد هستند. اين ضرايب كه تعيين كننده ميزان تغيير در توان خطوط در ازاي تغيير توان تزريقي باس هاي شبكه مي باشند، از (17) قابل محاسبه هستند [9] و [28]

1. $a\_{l,i}=\frac{∆P\_{line\_{l}}}{∆P\_{Gi}}=\frac{d}{dP\_{Gi}}\left(\frac{1}{x\_{l}}\left(-θ\_{m}\right)\right)=\frac{X\_{ni}-X\_{mi}}{x\_{l}}$

كه در آن $x\_{l}$ راكتانس خط $l$ و $θ\_{n}$ و $θ\_{m}$ مقدار فاز باس هاي *m* و *n* در دو انتهاي خط $l$ است. واضح است كه $X\_{ni}$ و $X\_{mi}$ عناصر ماتريس راكتانس شبكه مي باشند. ضريب $a\_{l,i}$ بیان کننده میزان تغییر توان جاری خط $l$ به ازاي يك واحد افزايش تزريق توان در باس i ام است. به همين دليل در (12)، ضرايب توان بارها همراه با علامت منفي لحاظ شده اند. بر اين اساس براي مشخص كردن ميزان تغييرات توان خطوط در ازاي تغيير قراردادهاي دوطرفه، $a^{'}\_{l,k}$ از (18) محاسبه مي گردد. فرض كنيم قرارداد دوطرفه *k بين باس هاي u و v باشد (تزريق توان در باس u و خروج آن در باس v)، در اين صورت داريم*

1. $a^{'}\_{l,k}=a\_{l, u}-a\_{l, v}$

از طرفي، $\overbar{P\_{line\_{l}}}$ اميد رياضي توان خطوط از (19) محاسبه مي شود

1. $\overbar{P\_{line\_{l}}}=\sum\_{s=1}^{N\_{s}}\frac{Pr\_{Tot.}^{5}×P\_{line\_{l}}^{5}}{N\_{s}}$

كه در آن $P\_{line\_{l}}^{5}$ توان جاري خط *l* در تكرار *s* ام و $N\_{s}$ تعداد كل تكرارهاست. در اين مقاله به منظور مديريت تراكم و تحليل تصادفي آن از مدل سازي مسئله بهينه سازي تصادفي با استفاده از برنامه ريزي مبتني بر شانس استفاده شده است.

## رویکرد امکان- مونت کارلو

مدل سازي مسئله مديريت احتمالي تراكم با استفاده از برنامه ريزي مبتني بر شانس باعث پيچيدگي حل آن مي شود چرا كه اين نوع مسايل بهينه سازي داراي قيود تصادفي مي باشند. بنابراين مراجع براي حل مسايلي از اين دست از روش هاي عددي يا هوشمند استفاده نموده اند [22] و [29]. با توجه به اين كه ارضاي قيد تصادفي بايد در هر مرحله توسط تكنيك مونت كارلو سنجيده شود، استفاده از روش هاي هوشمند نظير الگوريتم ژنتيك براي توليد نقاط كانديد، منطقي به نظر مي رسد. در اين بخش الگوريتم تركيبي ژنتيك كد حقيقي- مونت كارلو براي حل مسئله مديريت تراكم احتمالي معرفي مي گردد. بر اين اساس ابتدا الگوريتم ژنتيك كد حقيقي به عنوان زيربرنامه اصلي و سپس تكنيك مونت كارلو به عنوان زير برنامه فرعي به طور مختصر تشريح مي شوند و در نهايت، الگوريتم حل مسئله ارائه مي گردد.

براي هر مسأله بهينه سازي در الگوريتم ژنتيك، روش هاي متعدد رمزگذاري وجود دارد. اگرچه در مسايل بسياري از سيستم كدگذاري دودويي استفاده شده است، در اينجا از الگوريتم ژنتيك با كدگذاري حقيقي استفاده مي كنيم كه در آن از بردارهايي با اندازه حقيقي براي نشان دادن كروموزوم ها استفاده مي گردد. از آنجايي كه در اين روش، نيازي به تبديل كروموزوم ها به سيستم دودويي نيست، راندمان الگوريتم ژنتيك با كدگذاري حقيقي افزايش مي يابد، حجم حافظه كمتري استفاده مي شود، دقت بالاتري داشته و عملگرهاي ژنتيك آزادي عمل بيشتري دارند [30]. در كدگذاري حقيقي، كروموزوم *m* ام يا همان $C\_{m}$ به صورت زير معرفي مي گردد

 $C\_{m}=\left[∆P\_{m1}, ∆P\_{m2}, …, ∆P\_{mn}\right] , m=1, 2, …, N\_{p}$



**شکل 1: دیاگرام شبکه 9 باسه اصلاح شده**

که در آن $N\_{p}$ سایز جمعیت و $ ∆P\_{mi}$ عضو *i ام بردار تغییرات توان ها در کروموزوم m* ام است. بردار تغییرات توان ها شامل تغییرات توان های تولیدی واحدها $∆P\_{Gi}$، توان مصرفی بارها $∆P\_{Lj}$ و توان قراردادهای دو طرفه $∆P\_{Tk}$ است. تابع برازندگی و نحوه برش (تقاطع) و جهش در این الگوریتم به صورت زیر است:

**تابع برازندگی**

هزينه كل آزادسازي تراكم براي هر كروموزوم به عنوان تابع برازندگي آن در نظر گرفته مي شود. اين هزينه از پيشنهادات قيمت شركت كنندگان $Bid\_{i}$ برنامه مديريت تراكم محاسبه مي گردد

1. $Fit\_{m}=\sum\_{i\in N\_{G}}^{}(∆P\_{mi}×Bid\_{i})+\sum\_{j\in N\_{L}}^{}(∆P\_{mj}×Bid\_{j})+\sum\_{k\in N\_{T}}^{}\left(∆P\_{mk}×Bid\_{k}\right) , m=1, 2, …, N\_{p}$

**برش (تقاطع)**

اگر کروموزوم های $C\_{v}=[∆P\_{v1}, …, ∆P\_{vn}]$ و $C\_{w}=[∆P\_{w1}, …, ∆P\_{wn}]$ از نسل *e* با هم برش داده شوند، دو گونه فرزند ممکن ایجاد می گردند

1. $C\_{1}^{g+1}=ρC\_{w}+(1-ρ)C\_{v}$

 $C\_{2}^{g+1}=ρC\_{v}+(1-ρ)C\_{w}$

پارامتر $ρ$ ثابتي است كه براي داشتن بهترين عملكرد در اينجا برابر 0.3 در نظر گرفته شده است [30]. دو فرزند با بيشترين برازندگي جايگزين والدين خود مي شوند.

**جهش**

عملگر جهش اين الگوريتم به اين صورت بر روي عضو $∆P\_{mi}$ و کروموزوم $C\_{m}=\left[∆P\_{m1}, ∆P\_{m2}, …, ∆P\_{mn}\right]$ عمل مي كند كه خروجي حاصل $∆P\_{mi}^{mut}$ به صورت زیر خواهد بود

1. $∆P\_{mi}^{mut}=\left\{\begin{array}{c}∆P\_{mi}+ψ\left(P\_{mi}^{max}-P\_{mi}\right) if r=0\\∆P\_{mi}+ψ\left(P\_{mi}-P\_{mi}^{min}\right) if r=0\end{array}\right.$

که در آن $r$ به صورت تصادفی است و تابع $ψ(y)$ عددی در بازه [0,y] به صورت (23) و تابعی از نسل *e* تولید می کند

1. $ψ\left(y\right)=y.(1-ξ^{(\frac{1-e}{E})^{b}})$

که در آن $ξ$ عددی تصادفی بین صفر و *یک، E بیشترین شماره نسل و b پارامتری* است که وابستگی به شماره نسل را نشان می دهد و در اینجا برابر 5 در نظر گرفته شده است. در واقع با نزدیک شدن الگوریتم به پایان خود، توان پارامتر $ξ$ به سمت صفر میل می کند. در نتیجه، میزان تغییرات اعمال شده توسط عملگر جهش كمتر مي شود. بدين ترتيب پايداري الگوريتم در تكرارهاي انتهايي كه نزديك جواب است، بيشتر مي گردد.

## مونت کارلو برای آنالیز برآورده شدن قیود احتمالی

### نظریه تصمیم گیری شکاف اطلاعاتی

*براي هر يك از نقاط كانديدشده توسط الگوريتم ژنتيك، قيود احتمالي توسط تكنيك مونت كارلو آناليز مي شوند. براي روشن شدن پروسه آناليز قيود، مراحل زير را در نظر مي گيريم. ضمناً فرض مي كنيم N تعداد كل تكرارهاي مونت كارلو براي آناليز قيود احتمالي وn=0 است.*

*1) استراتژي آزادسازي تراكم (بردار تصميم گيري x ) توسط الگوريتم ژنتيك پيشنهاد مي شود.*

2) ميزان تغييرات بردار توان هاي جاري خطوط ($∆P\_{ij}$) با توجه به استراتژي پيشنهادي محاسبه مي گردد.

3) يكي از بردارهاي توان جاري خطوط ($P\_{ij}$) كه در محاسبات پخش بار بهينه احتمالي قبل از اجراي مديريت تراكم به دست آمده، به طور تصادفي انتخاب مي شود. بايد توجه داشت كه بردارهاي توان هاي جاري خطوط مورد استفاده در اين بخش، در مونت كارلوي اوليه محاسبه شده اند.

4) در صورت برقراري (24)، مقدار قبلي n يك واحد زياد مي شود

(24) $P\_{line\_{l}}+∆P\_{line\_{l}}\leq P\_{line\_{l}}^{max} , ∀l\in N\_{Line}$

5) اين مراحل براي تمام نمونه هاي توليدشده توسط پخش بار بهينه احتمالي انجام مي شود. قيد احتمالي توان جاري خطوط در صورتي برقرار است كه

(25) $\frac{n}{N}\geq α$

الگوريتم حل مسئله مديريت احتمالي تراكم با استفاده از روش تركيبي ژنتيك كد حقيقي- مونت كارلو در پيوست مقاله نمايش داده شده است. نكته قابل توجه در اينجا آن است كه در صورت عدم برقراري قيود احتمالي مقدار جريمه به تابع برازندگي اضافه مي شود كه متناسب با شدت عدم برقراري قيود احتمالي است. بدين معني كه هرچه مقدار از $\frac{n}{N}$ مقدار $α$ كوچك تر باشد، ميزان تابع جريمه بيشتر خواهد شد.

### بهینه سازی مقاوم

در اين مقاله، مديريت تراكم به صورت احتمالي بر روي شبكه 9باسه اصلاح شده IEEE پياده سازي مي شود. در اين شبكه منتخب، روش پيشنهادي براي تحليل تصادفي تراكم با روش ميانگين مقايسه شده و عملكرد روش ارائه شده در اين مقاله ارزيابي مي گردد. در اين شرايط، مديريت تراكم در سيستم قدرت در حالت هاي زير انجام مي شود:

1) روش ميانگين: معيار تشخيص اضافه بار خطوط اميد رياضي توان جاري خطوط است كه از نتايج پخش بار احتمالي سيستم به دست مي آيد. تغيير آرايش بازار با هدف حذف تراكم خطوط انجام مي شود.

2) برنامه ريزي مبتني بر شانس: مديريت تراكم خطوط با در نظر گرفتن تمامي حالات محتمل توان جاري خطوط كه در پخش بار بهينه احتمالي مشخص گرديده، انجام مي شود. در اين روش با تغيير سطح اطمينان (α )، درجه اهميت برآورد هشدن قيود احتمالي تعيين مي گردد.

شبيه سازي هاي مورد استفاده در اين مقاله در نرم افزار MATLAB انجام شده اند.



**شکل 2: منحنی فراوانی و تابع چگالی احتمال توان جاری خط 9**

****

**شکل 3: منحنی فراوانی و تابع چگالی احتمال توان جاری خط 11**

**جدول 1: نتایج توان جاری خطوط در پخش بار بهینه شبکه احتمالی**

****

**جدول 2: نتایج تغییر آرایش بازار برای حذف اضافه بار خطوط انتقال**

****

### تجزیه تحلیل فاصله

شبكه انتقال در اين سيستم متشكل از 11 شاخه بين باس هاي مختلف است. اطلاعات بارها و ژنراتورهاي سيستم در جداول پيوست آمده است.

در ابتدا براي استخراج توابع چگالي احتمال توان جاري خطوط، پخش بار بهينه احتمالي با استفاده از تكنيك مونت كارلو انجام م يشود.

تحليل نتايج پخش بار احتمالي در جدول 1 مبين اين نكته است كه در اين شبكه و با توجه به ميزان بار مصرفي و همچنين عدم قطعيت هاي موجود، احتمال متراكم شدن خطوط 9 و 11 بسيار بيشتر از ساير خطوط است. توابع چگالي احتمال خطوط فوق الذكر در شكل هاي 2 و 3 به روشني اين موضوع را تأييد مي كنند.

نتايج تغيير آرايش بازار براي حذف اضافه بار خطوط انتقال با استفاده از دو روش فوق در جدول 2 نشان داده شده است. براي هر روش، هزينه كل آزادسازي تراكم، تعداد تكرارهاي موفق در ارضاي قيود احتمالي (n) و ميزان كاهش توان خطوط متراكم محاسبه شده اند.

به منظور شبيه سازي روش پيشنهادي، 1000 نمونه داده تصادفي توسط تكنيك مونت كارلو براي پخش بار بهينه اوليه توليد مي شوند. هر يك از اين داده ها نتيجه يك تكرار پخش بار بهينه احتمالي در سيستم است. بنابراين 1000 بردار تصادفي از توان خطوط كه با در نظر گرفتن عدم قطعيت هاي سيستم به دست آمده اند، مبناي انجام مديريت تراكم احتمالي است. در جدول 2، نتايج الگوي تغيير آرايش بازار در روش هاي ميانگين و CCP مقایسه شده اند.

در روش ميانگين كه با توجه به اميد رياضي توان خطوط انجام مي شود، آزادسازي تراكم تنها براي خط 9 انجام مي شود. دليل اين مسئله آن است كه اميد رياضي توان خط 11 كمتر از مقدار ماكزيمم آن است. در اين شرايط، تعداد كل حالات موفق (ارضاشدن تمام قيود احتمالي) 351 عدد از كل 1000 حالت است.

در روش پيشنهادي، مديريت تراكم احتمالي براي آزادسازي تراكم خطوط فوق اعمال مي گردد. هنگامي كه CCP با فاكتور $α=0.3$ انجام مي شود، آزادسازي براي هر دو خط انجام مي شود به طوري كه تعداد كل حالات موفق در ارضاي تمام قيود احتمالي برابر 300 باشد. در اين روش، به طور چشمگيري ،$ α$ خروجي برنامه با توجه به تغييرات ميزان فاكتور تغيير مي كند. با افزايش سطح اطمينان، ميزان كاهش توان خطوط داراي اضافه بار نيز افزايش مي يابد. در نتيجه، تعداد تكرارهاي موفق در ارضاشدن قيود احتمالي بالاتر مي رود. با اين حال هزينه آزادسازي تراكم نيز افزايش مي يابد. آنچه مسلم است، انعطاف پذيري روش پيشنهادي به دليل وجود فاكتور $α$ از ساير رو شهاي موجود بالاتر است. بنابراين بهره بردار مي تواند با مشخص كردن α مطلوب، اقدام به آزادسازي تراكم در شبكه نمايد.

تغييرات توان جاري خطوط با توجه به روش اعمال شده در روش هاي ميانگين و پيشنهادي در شكل 4 نمايش داده شده است. به طور كلي، الگوي تغييرات توان خطوط در همه رو شها تقريباً يكسان است، اما ميزان تغييرات توان هاي جاري تفاوت چشمگيري دارد. به دليل اين كه احتمال اضافه بار شدن خطوط 9 و 11 بسيار بالاتر از احتمال اضافه بار ساير خطوط است، توان اين دو خط با افزايش $α$ ، كاهش بيشتري پيدا م يكند. نكته قابل توجه در اينجا آن است كه در روش پيشنهادي، فاكتور $α$ تعيين كننده ميزان كاهش توان خطوط 9 و 11 است به شكلي كه احتمال اضافه بار شدن خطوط شبكه كمتر از ميزان مشخص شده باشد. براي اطمينان بيشتر از ارضاي قيود احتمالي (توان جاري خطوط)، بهره بردار شبكه بايد $α$ را بزر گتر انتخاب نمايد. طبيعي است كه در اين شرايط هزينه پرداختي بابت آزادسازي تراكم افزايش مي يابد، اما احتمال نقض قيود سيستم كاهش خواهد يافت.

شكل 5 ميزان تغييرات توان خروجي ژنراتورها را در حال تهاي مختلف آزادسازي تراكم خطوط نشان مي دهد. ژنراتور شماره 3 زماني وارد برنامه مديريت تراكم مي گردد كه ميزان فاكتور $α$ افزايش مي يابد. در حقيقت با افزايش ضريب اطمينان، نياز به كاهش توان جاري خطوط متراكم افزايش مي يابد تا اين كه احتمال برآورده شدن قيود احتمالي بيشتر شود. ميزان و نحوه مشاركت ژنراتورهاي 1، 2 و 5 نيز با افزايش فاكتور $α$ از 0.5 به طور محسوسي تغيير پيدا مي كند.

در شكل 6 نتايج مديريت تراكم در بخش كاهش يا قطع بارها و قراردادهاي دوطرفه نشان داده شده است. طبيعي است كه با تغيير سطح اطمينان، نحوه مشاركت بارها در پروسه مديريت تراكم نيز تغيير مي كند.

****

**شکل 4: تغییرات توان جاری خطوط در روش های مختلف**

****

**شکل 5: میزان تغییرات توان خروجی ژنراتورهای در روش های مختلف**

****

**شکل 6: میزان کاهش یا قطع بارها و قراردادهای دو طرفه در روش های مختلف**

# نتیجه گیری

## بررسی روش های کنترل عدم قطعیت جدید

به دليل وجود عدم قطعيت در بهر هبرداري از سيستم قدرت، انجام عمليات مديريت تراكم به صورت دقيق تر اجتناب ناپذير است. در حقيقت بدون در نظر گرفتن عدم قطعيت ها در كوتاه مدت، احتمال نقض قيود امنيت سيستم بسيار زياد م يگردد. در اين مقاله، هدف لحا ظنمودن عدم قطيت هاي سيستم شامل بار، توليد و شبكه انتقال در برنامه مديريت تراكم بازار روز بعد است. براي اين منظور لازم است با مدل سازي عدم قطعيت هاي بخش هاي مختلف سيستم، شرايط بهر هبرداري سيستم به صورت هرچه واقعي تر مدل گردند تا احتمال نقض قيود امنيت بررسی شده و براي جلوگیری از این امر برنامه ریزی شود.

در اين مقاله روشي نوين به منظور انجام مديريت تراكم به صورت احتمالي ارائه شده است. روش ارائه شده، يك روش بهينه سازي احتمالي است كه در آن قيود امنيت سيستم به صورت احتمالي مدل مي شوند. شرط بهينه بودن پاسخ آن است كه احتمال برآورده شدن قيود امنيت شبكه از حداقل ضريب اطمينان مشخص شده توسط بهره بردار كمتر نباشد.

## خطوط امید بخش از تحقیقات آینده

در روش پيشنهادي، تمامي حالات ممكن در بهره برداري از شبكه با احتمال رخداد هر يك در نظر گرفته مي شوند و استراتژي هاي پيشنهادي براي آزادسازي تراكم، با توجه به اين حالات ممكن در بهره برداري اتخاذ مي گردند. بنابراين استراتژي پيشنهادي نه تنها از جامعيت بالايي برخوردار است، بلكه اين اطمينان را به بهره بردار مي دهد كه با اتخاذ اين روش در شرايط متفاوت سيستم نيز قيود، با ضريب اطمينان قابل قبولي برقرار هستند.

از مزاياي ديگر روش پيشنهادي، انعطاف پذيري مطلوب آن است، زيرا بهره بردار مي تواند با انتخاب ضريب اطمينان مورد نظر نسبت به آزادسازي تراكم اقدام نمايد. بدين ترتيب با مشخص كردن حداقل ضريب اطمينان ضروري براي شبكه، استراتژي بهينه براي آزادسازي تراكم به دست خواهد آمد.

مراجع

[1] A. Kumara, S. C. Srivastava, and S. N. Singh, "Congestion management in competitive power market: a bibliographical survey," *Electric Power Systems Research*, vol. 76, no. 1-3, pp. 153-164, Sep. 2005.

[2] E. Bompard, P. Correia, G. Gross, and M. Amelin, "Congestion management schemes: a comparative analysis under a unified framework," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 346- 352, Feb. 2003.

[3] M. I. Alomoush and S. M. Shahidehpour, "Contingency – constrained congestion management with a minimum number of adjustments in preferred schedules," *Int. J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 277-290, May 2000.

[4] H. Glavitsch and F. Alvarado, "Management of multiple congested condition in unbundled operation of a power system," *IEEE Trans.* *on Power Systems*, vol. 13, no. 3, pp. 1013-1019, Aug. 1998.

[5] K. R. S. Reddy, N. P. Padhy, and R. N. Patel, "Congestion management in deregulated power system using FACTS devices," in *Proc. IEEE Power India Conf.*, 8 pp., 2006.

[6] A. Kazemi and R. Sharifi, "Optimal location of thyristor controlled phase shifter in restructured power systems by congestion management," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial Technology*, pp. 294-298, 15-17 Dec. 2006.

[7] A. Kumar, S. C. Srivastava, and S. N. Singh, "A zonal congestion management approach using real and reactive power rescheduling," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 19, no. 1, pp. 554-562, Feb. 2004.

[8] A. Kumar, S. C. Srivastava, and S. N. Singh, "A zonal congestion management approach using ac transmission congestion distribution factors," *Electric Power Systems Research*, vol. 72, no. 1, pp. 85-93, Nov. 2004.

[9] W. Y. Ng, "Generalized generation distribution factors for power system security evaluations," *IEEE Trans. on Power Apparatus and* *Systems*, vol. 100, no. 3, pp. 1001-1005, Mar. 1981.

[10] M. Esmaili, H. A. Shayanfar, and N. Amjady, "Multi-objective congestion management incorporating voltage and transient stabilities," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 34, no. 9, pp. 1401-1412, Sep. 2009.

[11] Y. -Y. Hong, C. -N. Chang-Chien, K. -L. Wu, and M. -S. Yang, "Determination of congestion zones in deregulated electricity markets using fuzzy clustering", *Proc. 14th Power System* *Computation Conf.*, Jun. 2002.

[12] W. Yang, Q. Wan, and Y. Tang, "Congestion management based on dynamic zoning and coordinated auctioning method," in *Proc. 3rd* *Int. Conf. on Electric Utility Deregulation and Restructuring and* *Power Technologies*, vol. ???, pp. 527-532, 6-9 Apr. 2008.

[13] P. N. Biskas and A. G. Bakirtzis, "Decentralized congestion management of interconnected power systems," *IEE Proc. - Gener.* *Trans. Disturb*, vol. 149, no. 4, pp. 432-438, Jul. 2002.

[14] L. A. Tuan, K. Bhattacharya, and J. Daalder, "Transmission congestion management in bilateral markets: an interruptible load auction solution," *Electric Power Systems Research*, vol. 74, no. 3, pp. 379-389, 2005.

[15] B. K. Talukdar, A. K. Sinha, S. Mukhopadhyay, and A. Bose, "A computationally simple method for cost - efficient generation rescheduling and load shedding for congestion management," *Int. J.* *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 379-388, 2005.

[16] J. Liu, M. M. A. Salama, and R. Mansour, "Identify the impact of distributed resources on congestion management," *IEEE Trans. On* *Power Delivery*, vol. 20, no. 3, pp. 1998-2005, Jul. 2005.

[17] M. Afkousi-Paqaleh, A. R. Noory, A. Abbaspour, and M. Rashidinejad, "Transmission congestion management using distributed generation considering load uncertainty," in *Proc. Power* *and Energy Engineering Conf. (Asia-Pacific)*, 4 pp., 28-31

Mar. 2010.

[18] J. M. Morales and J. Perez - Ruiz, "Point estimate schemes to solve the probabilistic power flow," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 1594-1601, Nov. 2007.

[19] M. Esmaili, H. A. Shayanfar, and N. Amjady, "Stochastic congestion management considering power system uncertainties," *Iranian J. of* *Electrical & Electronic Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 36-47, Mar. 2010.

[20] M. Esmaili, N. Amjady, and H. A. Shayanfar, "Stochastic congestion management in power markets using efficient scenario approaches," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 11, pp. 2285- 2293, Nov. 2010.

[21] A. Charnes and W. W. Cooper, "Chance constrained programming," *Manage Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 73-79, Oct. 1959. [22] H. Zhang and P. Li, "Chance constrained programming for optimal power flow under uncertainty," *IEEE Trans. on Power Systems*,

vol. 26, no. 4, pp. 2417-2424, Nov. 2011.

[23] H. Wan, J. D. McCalley, and V. Vittal, "Risk based voltage security assessment," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 1247-1254, Nov. 2000.

[24] M. Shahidehpour, H. Yamin, and Z. Li, *Market Operations in Electric Power Systems*, New York: IEEE, Wiley-Inter Science,2002.

[25] G. Verbic, A. Schellenberg, W. Rosehart, and A. C. Canizares, "Probabilistic optimal power flow applications to electricity markets," in *Proc. Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to* *Power Systems*, 6 pp., 2006.

[26] A. Tamtum, A. Schellenberg, and W. D. Rosehart, "Enhancements to the cumulant method for probabilistic optimal power flow studies," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 24, no. 4, pp. 1739-1746, Nov. 2009.

[27] G. K. Stefopoulos, A. P. Meliopoulos, and G. J. Cokkinides, "Probabilistic power flow with non - conforming electric loads," *Int.* *J. Electrical Power and Energy Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 627-634, 2005.

[28] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation Operation and Control*, 2nd Ed, Wiley, New York, pp. 440-444, 1996.[29] N. Yang and F. Wen, "A chance constrained programming approachto transmission system expansion planning," *Electric Power Systems Research*, vol. 75, no. 2-3, pp. 171-177, Aug .2005.

[30] I. G. Damousis, A. G. Bakirtzis, and P. S. Dokopoulos, "Network - constrained economic dispatch using real - coded genetic algorithm," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 198-205, Feb. 2003.

1. Chance Constrained Programming [↑](#footnote-ref-1)
2. Probability Density Function [↑](#footnote-ref-2)
3. Forced Outage Rate [↑](#footnote-ref-3)
4. Sequential Quadric Programming [↑](#footnote-ref-4)
5. Nonlinear Programming [↑](#footnote-ref-5)