

ارائه‌ی یک بستر تحلیلی جدید جهت برنامه‌ریزی احتمالی در ریزشبکه‌ها

سینا شریفی^۱، علیرضا رضائی^۲، نوید یکتای^۳ و محمدحسین جاویدی دشت بیاض^۴

^۱ دانشگاه فردوسی مشهد ، si.sharifi@stu.um.ac.ir

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد ، alireza.rezaei@stu.um.ac.ir

^۳ دانشگاه فردوسی مشهد ، yektay.navid@stu.um.ac.ir

^۴ دانشگاه فردوسی مشهد ، h-javidi@um.ac.ir

چکیده - امروزه منابع تأمین انرژی الکتریکی وسیع‌تر شده و منابع تجدیدپذیر، به‌خصوص منابع بادی و خورشیدی جایگاه ویژه‌ای در تولید انرژی الکتریکی یافته‌اند. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای جوی و محیطی، تولید انرژی این منابع با عدم قطعیت بالایی همراه است. از طرف دیگر مفهوم ریزشبکه‌ها و به‌ویژه ریزشبکه‌های منفصل از شبکه در حال توسعه است. با توجه به کم بودن تولید و مصرف در ریزشبکه‌ها، برای بسیاری از تحلیل‌ها دیگر قضیه‌ی حد مجموع صادق نیست و بهره‌برداری و برنامه‌ریزی در چنین شرایطی اغلب به شکل مسائل بهینه‌سازی احتمالی مدل می‌شود. در این مقاله یک بستر تحلیلی برای اجرای بهینه‌سازی‌های مورد نیاز بر روی شبکه ارائه می‌گردد که در آن اثر گشتاورهای آماری و ضرایب کمولان متغیرهای تصادفی بر تابع هدف مدل شده و شرایط جهت بهینه‌سازی بر روی مشخصات آماری تابع هدف فراهم می‌آید. با در نظر داشتن بستر محاسباتی ارائه شده، در انتهای این مقاله روش پیشنهادی بر روی یک مسأله نمونه پیاده‌سازی شده است.

کلید واژه - ضرایب کمولان - گشتاورهای آماری - سری تیلور - خواص آماری داده

بیان کرده است. مدیریت احتمالی انرژی در یک ریزشبکه به منظور بهینه‌سازی تزریق توان به شبکه بالادستی به عنوان یک دیدگاه دیگر در مرجع [۳] بررسی شده است.

مسائل احتمالی با استفاده از مدل‌سازی بر مبنای سناریوهای مختلف [۴]، روش شبیه‌سازی مونت کارلو [۵] و روش تحلیلی مورد بررسی قرار می‌گیرند. مطالعه‌ی حاضر روشی تحلیلی جهت مواجهه با برنامه‌ریزی احتمالی در ریزشبکه‌ها ارائه می‌گردد که این امکان را فراهم می‌آورد تا بهینه‌سازی‌های احتمالی روی خواص آماری توأم متغیرهای هدف صورت گیرد. خواص آماری به دست آمده برای اهداف دیگر (از جمله تشکیل تابع چگالی احتمال) نیز قابل استفاده است.

در این مقاله ابتدا مقدمات ریاضی مورد نیاز برای بیان روش ذکر می‌گردد. سپس الگوریتم کلی روش بیان می‌شود. در نهایت الگوریتم مذکور بر روی مسأله نمونه (تعیین زاویه بهینه پنل‌های فتوولتائیک جهت حصول حداکثر میانگین تابش عمود بر پنل) اعمال شده و نتایج آن بررسی می‌گردند.

۱- مقدمه

خودروهای الکتریکی، منابع تولید پراکنده‌ی تجدیدپذیر از جمله منابع بادی و خورشیدی و نوسانات قیمت برق از اصلی‌ترین عوامل تزریق عدم قطعیت تولید و مصرف در ریزشبکه‌ها به شمار می‌روند. ماهیت این عوامل احتمالی است و جهت کنترل اثرات مخرب آن‌ها در بهره‌برداری و کنترل ریزشبکه، نیاز است از ابزارهای محاسباتی مناسب استفاده شود. انگیزه‌ی مطالعه‌ی حاضر ارائه‌ی یک روش تحلیلی آماری - احتمالاتی جهت مواجهه با این گونه مسائل است که امکان اجرای بهینه‌سازی‌های مختلف را فراهم می‌کند.

مطالعات بسیاری پیرامون حل مسائل همراه با عدم قطعیت در ریزشبکه‌ها انجام شده است. در [۱] از روش تخمین نقطه‌ای جهت مدیریت انرژی و بهره‌برداری از ریزشبکه با منابع تجدیدپذیر استفاده شده است. [۲] روشی احتمالی را برای مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تجدیدپذیر در ریزشبکه

۲- الگوریتم پیشنهادی و مسأله‌ی نمونه

$$\kappa_{X,n} = \left. \frac{\partial^n K_X(t)}{\partial t^n} \right|_{t=0} \quad (5)$$

۱-۲- مقدمات ریاضی

استفاده از کمولان اعمال بعضی محاسبات جبری بر روی متغیر تصادفی را آسان‌تر می‌کند. گشتاورها و کمولان‌ها با هم مرتبط بوده و طبق روابط زیر برحسب یکدیگر قابل محاسبه هستند.

- تبدیل گشتاورهای خام متغیر تصادفی X به کمولان‌های آن:

$$\kappa_{X,n} = \mu'_{X,n} - \sum_{m=1}^{n-1} \binom{n-1}{m-1} \kappa_{X,m} \mu'_{X,n-m} \quad (6)$$

- تبدیل کمولان‌های متغیر تصادفی X به گشتاورهای خام آن:

$$\mu'_{X,n} = \sum_{k=1}^n B_{n,k}(\kappa_1, \dots, \kappa_{n-k+1}) \quad (7)$$

که در آن $B_{n,k}$ چند جمله‌ای بل جزئی است. با توجه به استفاده از سری تیلور تابع هدف در مراحل الگوریتم، روابطی که خواص آماری عباراتی شامل توان، حاصل ضرب و حاصل جمع چند متغیر تصادفی را مشخص کنند مورد نیاز است. با فرض استقلال متغیرهای تصادفی، روابط به شکل زیر قابل محاسبه هستند:

- برای حاصل ضرب دو متغیر تصادفی مستقل X و Y :

$$\mu'_{XY,n} = \mu'_{X,n} \cdot \mu'_{Y,n} \quad (8)$$

- برای توان n ام یک متغیر تصادفی (X^n) :

$$\mu'_{X^n,n} = \mu'_{X,nm} \quad (9)$$

- برای حاصل جمع دو متغیر تصادفی مستقل X و Y :

$$\kappa_{X+Y,n} = \kappa_{X,n} + \kappa_{Y,n} \quad (10)$$

در این مطالعه منظور از خواص آماری یک متغیر تصادفی، گشتاورها و کمولان‌های آن متغیر است که برای اهداف مختلف (به عنوان مثال تشکیل تابع چگالی احتمال) مورد استفاده قرار می‌گیرد. گشتاور n ام متغیر تصادفی X طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد [۶].

$$\begin{aligned} \mu_{X,n} &= E\{(X-c)^n\} \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (X-c)^n f_X(X) dX \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن X متغیر تصادفی مورد نظر، $f_X(X)$ تابع چگالی احتمال متغیر X و c نقطه‌ای است که گشتاور حول آن نوشته می‌شود. گشتاورها به شکل دیگری نیز قابل محاسبه هستند. تابع مولد گشتاور متغیر تصادفی X به شکل زیر تعریف می‌گردد.

$$M_X(t) = E\{e^{tX}\}, \quad t \in R \quad (2)$$

که با n بار مشتق‌گیری از تابع فوق نسبت به متغیر t و ارزیابی آن در $t=0$ ، گشتاور خام n ام (حول $c=0$) به دست می‌آید.

$$\mu'_{X,n} = E\{X^n\} = \left. \frac{\partial^n M_X(t)}{\partial t^n} \right|_{t=0} \quad (3)$$

تابع مولد کمولان متغیر تصادفی X طبق رابطه‌ی زیر تعریف می‌گردد [۷].

$$K_X(t) = \ln E\{e^{tX}\} \quad (4)$$

با n بار مشتق‌گیری از تابع مولد کمولان نسبت به متغیر t و ارزیابی آن در $t=0$ کمولان n ام متغیر تصادفی X به دست می‌آید.

را به شکل یک چندجمله‌ای متشکل از متغیرهای Z_1 تا Z_n تبدیل می‌کند. ابتدا گشتاورهای هر یک از جملات چند جمله‌ای f محاسبه می‌گردند. سپس به کمک رابطه (۶)، کمولان‌های جملات موجود در f به دست می‌آیند. طبق رابطه (۱۰)، با جمع کردن کمولان‌های جملات f با یکدیگر، کمولان‌های f به دست می‌آیند. در پایان به کمک رابطه (۷)، این کمولان‌ها به گشتاورهای f تبدیل می‌شوند. به این ترتیب خواص آماری مورد نیاز (کمولان‌ها و گشتاورها) محاسبه شده و می‌تواند برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

نکته قابل ذکر آن که روابط (۸) تا (۱۰) به ازای مستقل بودن متغیرهای تصادفی به دست آمده‌اند، حال آن که در این الگوریتم متغیرها تنها از هم ناهمبسته شده‌اند و در فرم کلی این به معنی استقلال نیست.

۲-۳- تعریف مسأله‌ی نمونه

به منظور ارزیابی چگونگی عملکرد بستر محاسباتی ارائه شده، تعیین زاویه‌ی بهینه‌ی پنل‌های خورشیدی را به عنوان یکی از مسائلی که می‌توان آن را از دیدگاه احتمالاتی بررسی کرد مدل‌سازی و تحلیل می‌کنیم. در روابطی که جهت بیان میزان تولید توان در پنل‌های فتوولتائیک آمده‌است [۹]، یکی از پارامترهای کلیدی میزان تابش عمود بر سطح پنل است. هر چه تابش عمود بر سطح پنل فتوولتائیک بیشتر باشد، توان تولیدی پنل افزایش می‌یابد. مسأله‌ای که در اینجا ظهور پیدا می‌کند آن است که پنل را در چه موقعیت و زاویه‌ای ثابت کنیم که میزان تابش عمود بر سطح پنل بیشینه شود. آنچه در این پژوهش مورد مطالعه واقع شده‌است، استخراج خواص آماری تابش عمود بر سطح پنل توسط الگوریتم تحلیلی مذکور است. با استفاده از این خواص، زاویه‌ی بهینه‌ی پنل و راستای آن به گونه‌ای تعیین می‌شود که امید ریاضی تابش عمود سالانه بر سطح آن بیشینه گردد.

۲-۴- حل مسأله‌ی نمونه

جهت به دست آوردن مقدار تابش عمود بر سطح یک پنل فتوولتائیک، به موقعیت خورشید در آسمان در طول سال و برای همه‌ی مکان‌ها و زمان‌ها و در هر سمت و جهت‌گیری ممکن پنل نیاز است. بدین منظور، از چهار پارامتر جهت تعیین موقعیت

همان‌طور که در بخش‌های بعدی ذکر خواهد شد، در این مطالعه نیاز است چند متغیر تصادفی نسبت به هم ناهمبسته گردند یا به عبارت دیگر با اعمال یک تبدیل، کوواریانس بین متغیرهای تصادفی صفر شود. مراحل یافتن این تبدیل و ناهمبسته‌سازی چند متغیر تصادفی با داشتن داده‌هایی از آن‌ها در [۸] آمده‌است.

۲-۲- معرفی الگوریتم

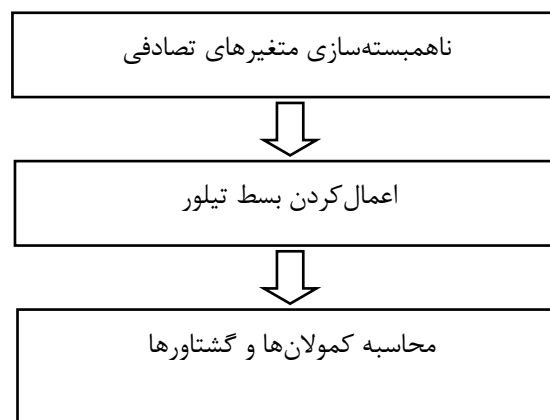
در این بخش الگوریتم محاسبه خواص آماری تابعی متشکل از چند متغیر تصادفی (تابع هدف) ارائه شده‌است. فرم کلی این تابع به شکل زیر است:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (11)$$

که در آن x_1 تا x_n متغیرهای تصادفی هستند که داده‌های آماری مربوط به آن‌ها جمع آوری شده‌است. مطابق شکل ۱، ابتدا متغیرهای تصادفی از یکدیگر ناهمبسته می‌گردند، یعنی برحسب متغیرهای Z_1 تا Z_n که با هم ناهمبسته هستند بیان می‌شوند.

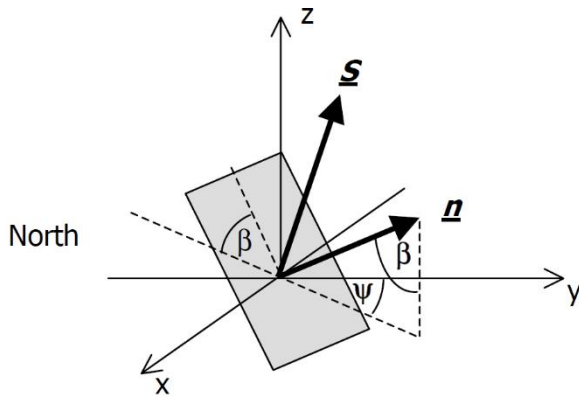
$$\bar{X} = A\bar{Z} \quad (12)$$

که در آن A ماتریس ضرایب است و در مرجع [۸] نحوه‌ی محاسبه‌ی آن آمده‌است.



شکل ۱: مراحل الگوریتم معرفی شده

سپس بسط تیلور چندمتغیره بر روی تابع f اعمال شده و آن



شکل ۳: زاویه‌های بیان کننده موقعیت پنل [۱۰]

در رابطه‌ی (۱۳) متغیرهای ψ و β متغیرهای کنترلی هستند و سایر متغیرها شامل α و θ و $S_{incident}$ باید در دسترس قرار بگیرند. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه از [۱۱] دریافت شده‌اند. در این سایت تعداد زیادی پایگاه هواشناسی در دسترس است. با توجه به داده‌های مورد نیاز، تمامی پایگاه‌های این سایت مور بررسی قرار گرفته‌است و در نهایت پایگاهی به مشخصات زیر انتخاب شده‌است:

Research Laboratory NREL Solar Radiation
(BMS) Baseline Measurement System

عرض جغرافیایی پایگاه: 39.742° شمالی

طول جغرافیایی پایگاه: 105.18° غربی

ارتفاع از سطح دریاهای آزاد: ۱۸۲۸.۸ متر

سنسور انتخاب شده برای دریافت داده‌های تابش مستقیم:

Direct CH1

داده‌ها از ابتدای سال ۲۰۰۶ تا انتهای سال ۲۰۱۵ میلادی به صورت دقیقه به دقیقه و در تمام ساعات شبانه روز دریافت شده‌اند که در مجموع ۵,۲۵۸,۹۵۴ نمونه داده هواشناسی استخراج شده که هر نمونه شامل میزان تابش مستقیم، زاویه ارتفاع (α) و زاویه آزیموت (θ) است.

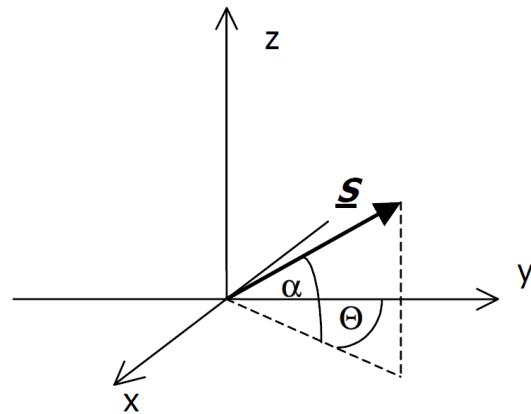
• آمایش داده‌ها

کلیه مراحل اجرای الگوریتم در این مطالعه در نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌است. آمایش داده‌ها جهت آنالیز و اجرای فرآیندهای مختلف روی آن‌ها بخش مهمی از کارهای آماری است. در این مطالعه از روش Deadband جهت حذف و یا

خورشید و پنل استفاده شده‌است. همان طور که در [۱۰] ذکر شده، رابطه‌ی تعیین میزان تابش عمود بر سطح پنل فتوولتائیک بر حسب موقعیت خورشید و پنل به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$S_{module} = S_{incident} [\cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\psi - \theta) + \sin(\alpha) \cos(\beta)] \quad (13)$$

در این رابطه α زاویه‌ی ارتفاع خورشید یعنی زاویه‌ی خورشید نسبت به سطح افق و θ زاویه‌ی آزیموت خورشید یعنی زاویه‌ی بین تصویر افقی خورشید بر سطح زمین نسبت به راستای شمال جغرافیایی است. β زاویه‌ی شیب پنل نسبت به سطح افقی است و تصویر افقی بردار نرمال پنل با راستای شمال زاویه‌ی ψ یا همان آزیموت پنل را تشکیل می‌دهد. $S_{incident}$ میزان تابش مستقیم است که در هر لحظه به پنل می‌رسد و S_{module} تابش عمود بر سطح پنل است. این زوایا در شکل ۲ و ۳ مشخص شده‌اند. در شکل ۲ بردار S بردار یکه‌ای است که به سمت خورشید قرار گرفته و در شکل ۳ بردار n عمود بر سطح پنل است.



شکل ۲: زاویه‌های بیان کننده موقعیت خورشید [۱۰]

اصلاح داده‌های خطا استفاده شده است.

• درونیابی

متغیرهای θ (زاویه آزیموت خورشید) و α (زاویه ارتفاع خورشید) با داشتن مختصات محل مورد مطالعه و برای هر لحظه از زمان به طور دقیق قابل محاسبه هستند (داده‌های دریافت شده از سایت نیز از محاسبه به دست آمده‌اند). بنابراین θ و α متغیرهای یقینی (و نه تصادفی) هستند. از طرفی روابطی که مقدار دقیق آن‌ها را تعیین می‌کنند، روابطی طولانی و پیچیده هستند و همچنین مقدار این زوایا در سال‌های مورد مطالعه و به ازای یک زمان خاص تقریباً ثابت است. بنابراین در این مطالعه هر یک از این دو زاویه برای یک سال خاص رسم شده‌اند و با درونیابی از روی شکل به دست آمده، توابعی برای بیان رفتار این دو متغیر به دست آمده‌است.

از آن جا که زوایای مذکور در طول روز و نیز در طول سال دارای رفتار تناوبی هستند، درونیابی آن‌ها بر حسب یک متغیر (مثلاً دقیقه) پیچیده است. برای حل این مشکل، داده‌های مربوط به زوایا بر حسب y (شماره روز) و x (شماره دقیقه) به صورت دو بعدی رسم و درونیابی شده‌اند. درونیابی به شکل چند جمله‌ای درجه ۲ از x و y انجام شده‌است. دو متغیر x و y (که از جنس زمان هستند) به صورت دو متغیر تصادفی و با توزیع یکنواخت فرض شده‌اند.

• ناهمبسته سازی

از آن جا که هدف اصلی مسأله به دست آوردن گشتاورهای تابش عمود از روی گشتاورها و یا کمولان‌های متغیرهای تصادفی موجود در مسأله است، برای استفاده از روابط بخش ۲-۱ متغیرهای تصادفی باید از هم مستقل باشند. برای این منظور، ابتدا سه تایی‌های مرتب (x, y, S) تشکیل داده می‌شوند. این سه تایی‌های مرتب در واقع نمونه‌هایی از S ، y و x هستند که در یک زمان و با هم ثبت شده‌اند (با یکدیگر متناظرند) و به عنوان نمونه‌هایی از این سه متغیر تصادفی هستند. عنصر اول این سه تایی مرتب x (شماره دقیقه)، عنصر دوم y (شماره روز) و عنصر سوم S (تابش مستقیم) است که در محیط MATLAB به صورت سه بردار سطری هم اندازه ذخیره می‌شوند.

این سه تایی‌های مرتب (و یا همان سه بردار سطری هم‌اندازه) به عنوان ورودی الگوریتم ناهمبسته‌سازی خواهند بود.

نتایج الگوریتم ناهمبسته‌سازی به شرح زیر است:

$$x = 60.4037x_1 + 411.2815x_2 + 0.0478x_3 + 720.4957$$

$$y = 2.5413x_1 - 0.5041x_2 + 1054.2x_3 + 1826.5$$

$$S = 360.8211x_1 - 68.8475x_2 - 7.4330x_3 + 230.0729$$

متغیرهای S ، y و x به شکل تابعی از x_1 و x_2 و x_3 نوشته شده‌اند که x_1 و x_2 و x_3 متغیرهایی ناهمبسته (کوواریانس بین دو به دوی آن‌ها صفر است) و با میانگین صفر و واریانس یک هستند.

• اعمال بسط تیلور و محاسبه خواص آماری تابش عمود

پس از جایگزینی θ و α از رابطه‌ی اصلی با چند جمله‌ای‌هایی بر حسب x و y و نیز جایگزینی S ، y و x با چند جمله‌ای‌هایی بر حسب x_1 و x_2 و x_3 و اعمال بسط تیلور بر روی رابطه‌ی حاصل، تابش عمود به شکل یک چند جمله‌ای از x_1 و x_2 و x_3 به دست می‌آید. اکنون می‌توان با استفاده از روابط ذکر شده در بخش ۲-۱، گشتاورهای تابش عمود را به دست آورد.

۲-۵- نتایج مسأله‌ی نمونه

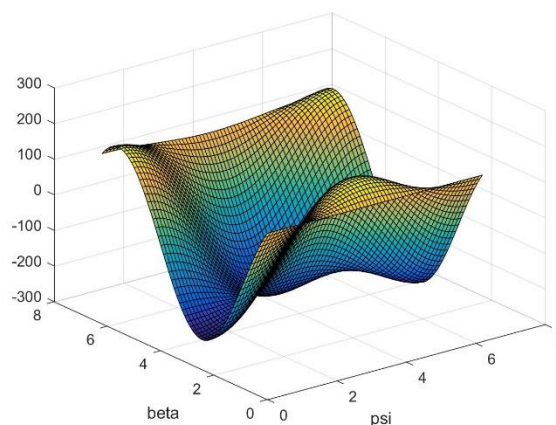
در این قسمت نتایج حاصل از پردازش داده‌ها شرح داده می‌شود. شکل ۴ گشتاور اول تابش عمود بر پنل را نشان می‌دهد که بر حسب زوایای پنل (ψ و β) رسم شده‌است. این رویه دارای یک نقطه ماکزیمم است که جواب مسأله‌ی حداکثرسازی امید ریاضی تابش به سطح پنل می‌باشد. برای رسم شکل ۴، متغیرهای ψ و β در محدوده‌ی زیر مقداردهی شده‌اند:

$$0 < \beta < 2\pi$$

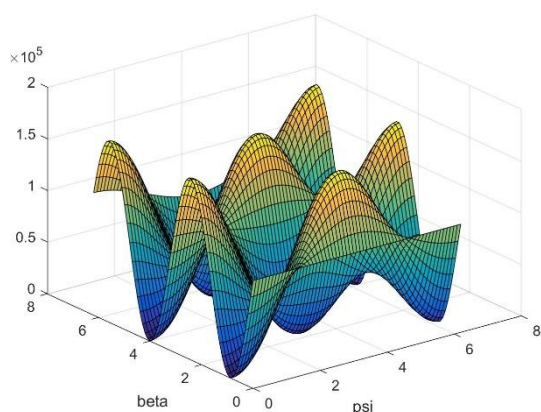
$$0 < \psi < 2\pi$$

نتیجه به دست آمده دقت نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی را ارتقا می‌دهد. در پژوهش‌های قبلی [۱۲] بیان شده که در نیم کره شمالی پنل‌های فتوولتائیک به سمت جنوب ($\psi = 180^\circ$) و با شیبی تقریباً برابر با عرض جغرافیایی منطقه‌ی مورد نظر نصب شوند. (عرض جغرافیایی منطقه $\beta =$). همان طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، پایگاه هواشناسی انتخاب شده در این مطالعه در نیم کره شمالی با عرض جغرافیایی 39.742° شمالی واقع شده‌است.

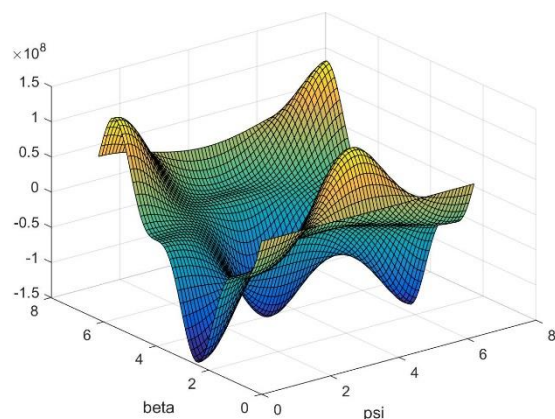
الگوریتم نوشته شده قادر به تولید گشتاورهای مرتبه‌ی بالاتر از متغیر تابش عمود بر پنل است و بسته به نیاز (مثلاً برای تشکیل تابع چگالی احتمال این متغیر)، گشتاورهای مرتبه‌ی بالاتر استخراج می‌شود. گشتاورهای دوم و سوم تابش عمود در شکل ۶ و ۷ بر حسب β و ψ رسم شده‌اند.



شکل ۴: گشتاور اول تابش عمود بر سطح پنل



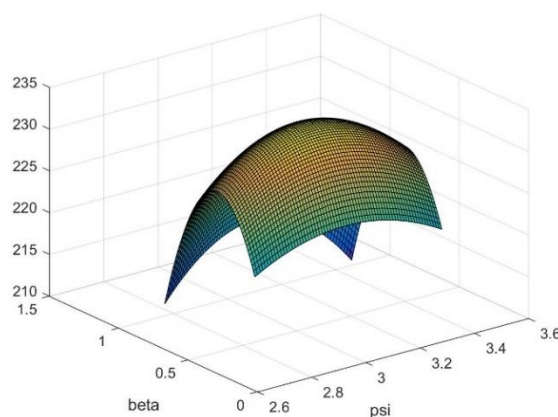
شکل ۶: گشتاور دوم تابش عمود بر سطح پنل



شکل ۷: گشتاور سوم تابش عمود بر سطح پنل

به منظور مشاهده بهتر و دقیق‌تر نقطه ماکزیمم، با مش‌بندی ریزتر و انتخاب بازه محدودتر برای متغیرهای β و ψ ، گشتاور اول تابش عمود در اطراف نقطه ماکزیمم در شکل ۵ رسم شده‌است. بازه تغییرات این دو متغیر به صورت زیر است:

$$22.5^\circ < \beta < 60^\circ$$

$$160^\circ < \psi < 200^\circ$$


شکل ۵: گشتاور اول تابش عمود بر سطح پنل

ماکزیمم این رویه به ازای β و ψ زیر اتفاق می‌افتد:

$$\beta = 39.769^\circ$$

$$\psi = 178.305^\circ$$

- [6] Robert V.Hogg and Elliot A.Tains, Probability and Statistical Inference, 2nd Edition, Macmillan Publishing Co, 1983.
- [7] Kendall, M. G., Stuart, A., The Advanced Theory of Statistics, Volume 1 3rd Edition, Griffin, London, 1989.
- [8] Alberto Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [9] R. Chenni, M. Makhoulf, T. Kerbache, A. Bouzid, "A Detail Method for Photovoltaic Cells," Energy 32 (2007) 1724-1730.
- [10] A.B Sproul, "Vector Analysis of Solar Geometry," Proceedings of Solar 2002 – Australian and New Zealand Solar Energy Society.
- [11] Andreas, A.; Stoffel, T.; (1981). NREL Solar Radiation Research Laboratory (SRRL): Baseline Measurement System (BMS); Golden, Colorado (Data); NREL Report No. DA-5500-56488 <http://dx.doi.org/10.5439/1052221>
- [12] M. Lave and J. Kleissl, "Optimum fixed orientations and benefits of tracking for capturing solar radiation in the continental United States," Renewable Energy, vol.36, pp. 1145-1152, 2011.

با بالا بردن مرتبه‌ی درونیایی و استفاده از چند جمله‌ای‌هایی از درجه ۵ برای x و y ، مقدار بهینه به دست آمده برای متغیر θ تقریباً یکسان است اما مقدار بهینه زاویه β ، عدد کوچکتری به دست می‌آید که این امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت استفاده از مدل‌های دقیق‌تر است.

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه الگوریتمی جهت مواجهه با بهینه‌سازی‌های همراه با عدم قطعیت ارائه‌شد. این الگوریتم قدرتمند قادر است مسائل پیچیده احتمالی را که فرضیات ساده‌کننده‌ای مانند قضیه حدمجموع در آن‌ها برقرار نیست، (برای مثال در ریزشبکه‌ها) حل و فصل کند. به کمک این روش، خواص آماری متغیرهای کنترلی موجود در مسأله استخراج شده و امکان انجام بهینه‌سازی‌های مختلف با در نظر گرفتن توابع هدف پیچیده مانند بیشینه‌سازی کوواریانس دو متغیر مصرف و تولید واحد بادی، یا قیمت برق و اضافه تولید در یک ریز شبکه فراهم می‌گردد. برای نشان دادن کارایی این الگوریتم، مسأله‌ی نمونه‌ی یافتن موقعیت بهینه‌ی قرارگیری پنل فتوولتائیک به منظور حداکثر کردن تابش عمود بر سطح آن بررسی گردید. نتایج به دست آمده توسط این الگوریتم با نتایج تجربی منطبق است.

مراجع

- [1] T. Niknam, F. Golestaneh, and A. Malekpour, "Probabilistic energy and operation management of a microgrid containing wind/photovoltaic/fuel cell generation and energy storage devices based on point estimate method and self-adaptive gravitational search algorithm," Energy, vol. 43, pp. 427-437, 2012.
- [2] J. Mitra, M. R. Vallem, and S. B. Patra, "A probabilistic search method for optimal resource deployment in a microgrid," in Proc. 9th Int. Conf. Probabilistic Methods Applied to Power Systems, KTH, Stockholm, Sweden, Jun. 11-15, 2006, pp. 1-6.
- [3] T. Niknam, F. Golestaneh, and M. Shafiei, "Probabilistic energy management of a renewable microgrid with hydrogen storage using self-adaptive charge search algorithm," Energy, vol. 49, no. 1, pp. 252-267, 2013.
- [4] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, pp. 360-370, Feb. 2010.
- [5] Chee Wei Tana, Tim C. Greenb and Carlos A. Hernandez-Aramburo, "A stochastic method for battery sizing with uninterruptible-power and demand shift capabilities in PV (photovoltaic) systems," The 3rd International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection, Volume 35, Issue 12, pp. 5082-5092, December 2010.