فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال چهارم، شماره ۱۵، پاییز ۱۳۹۳
دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۳- پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۲۰
صص ۱۴۴- ۱۳۳

تحلیلی بر بهینه‌یابی سبد مصرف انرژی در نواحی شهری (موردپژوهی: کلانشهر شیراز)

مهناز زارعی[۱]: استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، دانشکده فنی و مهندسی، شیراز، ایران

چکیده

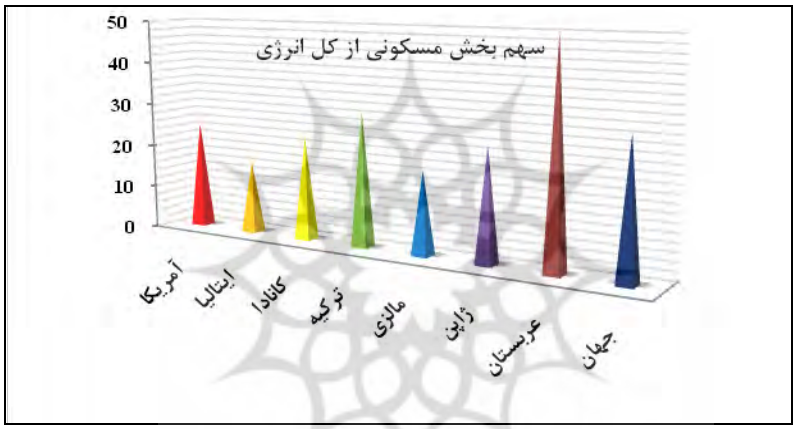
پژوهش‌ها حاکی از آن است که از پنج بخش عمده‌ی مصرف کننده انواع انرژی در جهان، بخش ساختمان و مسکن سهم شایان توجهی از میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. میانکین مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران ۲/۵۸ برابر متوسط مصرف جهانی است و بخش ساختمان و مسکن با سهمی بالغ بر ۴۱/۹٪ بزرگترین مصرف کننده انرژی در ایران می‌باشد. از دیگر سو، نه تنها پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در بخش ساختمان و مسکن بیش از سایر بخش‌هاست، بلکه کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده‌تر و با سرمایه گذاری کمتری نسبت به بخش های دیگر امکان پذیر می‌باشد. همچنین، مقوله‌ی سبد مصرف و پورتفولیوی انرژی در بخش مسکن و شهرسازی، در زمره موضوعاتی است که مبنای الگوی مورد اشاره است. اهمیت این موضوع با تدوین قیمت‌های پله کانی و تفاوت هزینه در بکارگیری هر نوع انرژی در پریودهای مختلف زمانی، محسوس‌تر شده است. هدف پژوهش حاضر، ارائه الگوی خانه ایرانی انرژی محور با رویکرد سبد بهینه مصرف انرژی های چند پریودی و چند نرخی است. یک مدل ریاضی بهینه یابی سبد مصرف انرژی های چند پریودی و چند نرخی ارائه و به دو روش برنامه ریزی خطی صفر و یک *(BLP)* و روش ابتکاری تجزیه و ترکیب *(HDC)*، به طور جداگانه حل شده است؛ جهت بررسی میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، بخش مسکونی شهر شیراز به عنوان جامعه آماری مورد نظر انتخاب گردیده و داده های انرژی مصرفی (برق و گاز) ۲۷۰ خانه ایرانی مورد استفاده قرار گرفته است. مقایسه نتایج حاصل از دو روش *BLP* و *HDC*، با یکدیگر و نیز با مقادیر واقعی هزینه انرژی نمونه‌های تصادفی، بیانگر مدیریت بهینه منابع کمیاب انرژی، میزان استفاده از هر یک از منابع در هر پریود و کاهش مجموع ۲۶/۱ و ۳۰/۵ درصدی هزینه انرژی مصرفی (به ترتیب در دو روش *HDC* و *BLP*) نسبت به مقادیر واقعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت انرژی شهری، سبد مصرف، انرژی چند پریودی، بهینه‌یابی، خانه ایرانی.

[۱]. نویسنده مسئول: *delbina.zarei@gmail.com*، ۰۹۱۷۷۱۸۸۷۴۳

بیان مساله:

ایران در حوزه انرژی به عنوان دومین دارنده‌ی ذخایر عظیم گازی و نفتی جهان محسوب می‌شود و همچنین به دلیل موقعیت ژئوپلیتیک در منطقه از لحاظ ترانزیت انرژی از جایگاهی استراتژیک برخوردار است؛ اما مزیت‌ها زمانی که در کنار مصرف شدید انرژی در کشورمان قرار می‌گیرد، رنگ می‌بازند و آینده روشنی را برای بخش انرژی کشور به تصویر نمی کشند (شاه حسینی، ۱۳۸۸: ۴۲). رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه نیاز فزاینده به بهره برداری از منابع پایان پذیر سوخت فسیلی به منظور تأمین انرژی لازم در صنایع، کشاورزی و مصارف مسکونی از یک سو و نیاز شدید به مدیریت محیط زیست از سوی دیگر، بعلاوه شرایط بحران آمیز این مهم در کشور که عمده‌ترین منبع درآمد ارزی و پایه اقتصاد وابسته به سوخت‌های فسیلی است، بهینه یابی مصرف انرژی را از اولویتی ویژه برخوردار نموده است (طلوعیان، ۱۳۸۵: ۲). در شرایطی که مصرف انواع انرژی در پنج بخش عمده مسکونی، تجاری، عمومی، صنعتی و کشاورزی وجود دارد، پژوهش ها حاکی از آن است که بخش مسکن سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده است(*Saidur et al, Martinez, 2013:69; Pereria et al, 2013: 326; 2007: 1054*). (شکل شماره ۱).



شکل ۱- سهم بخش مسکونی از کل انرژی مصرفی هر کشور. (*Saidur et al, 2007*)

مصرف بالای انرژی در ساختمان های مسکونی از عمده ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه نظیر ایران است که در عین حال دارای اثرات اقتصادی و زیست محیطی شایان توجهی است (سمیعی زفرقندی، ۱۳۸۸). به علاوه، میزان مصرف انرژی بخش مسکونی در ایران حدود ۲/۵ برابر استاندارد جهانی است (ریاضی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). برآیند مطالب اشاره شده تأییدی بر این مطلب می باشد که ارائه سبد بهینه انواع انرژی مصرفی در ساختمان های مسکونی به ویژه شهری، گامی اثربخش در راستای تدوین الگوی خانه ایرانی انرژی محور خواهد بود. همچنین راهکارهای مؤثر وکارای متنوعی برای کاهش میزان مصرف درشرایط مختلف زمانی و مکانی ارائه گردیده است، اما تعیین مقدار بهینه مصرف از هر نوع انرژی که منجر به حداقل نمودن هزینه های انرژی مصرفی شود، کمتر مورد توجه قرار گرفته است (*Jebaraj et al, 2006:282*). اهمیت این موضوع با وجود قیمت‌های پله کانی و تفاوت هزینه در بکارگیری هر نوع انرژی محسوس تر شده است. پژوهش حاضر با هدف بهینه یابی سبد مصرف انرژی های چند نرخی و چند پریودی با محدودیت مقدار انرژی، در راستای ارائه الگوی خانه ایرانی انرژی محور در بخش شهری به ارائه یک مدل ریاضی بر پایه مدل های شبکه ای و ارزش انواع حامل های انرژی پرداخته است. نمونه مطالعاتی به کاربرده شده در این پژوهش به طور خاص، بخش مسکونی شهر کلانشهر شیراز می‌باشد.

روش تحقیق:

پژوهش حاضر از نوع کاربردی (به جهت مدیریت مصرف انرژی و ارائه جستارهایی شهری در بهینه‌یابی سبد مصرف انرژی خانه ایرانی) و در عین حال، بنیادی (به دلیل ارائه الگوریتم ابتکاری در حل مدل پیشنهادی) می‌باشد. در این پژوهش، که روش آن میدانی (۲۷۰ خانه ایرانی در بخش مسکونی شهر شیراز) و مقایسه‌ای (مقایسه دو روش ابتکاری و LP) می‌باشد، به ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه‌یابی سبد مصرف انرژی های چند نرخی و چند پریودی، پرداخته شده است. محدودیت‌های این مدل دارای ساختار مدل های شبکه با ظرفیت محدود است. لذا در این پژوهش، یک الگوریتم ابتکاری به منظور حل مسئله بهینه یابی سبد مصرف انرژی، ارائه گردیده است. در پژوهش حاضر، با استفاده از جامعه آماری که در برگیرنده کلیه ساختمان های مسکونی شهر شیراز می باشد، میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. حجم نمونه عبارت از ۲۷۰ خانه (در بخش مسکونی شهر شیراز) و روش نمونه گیری بصورت تصادفی بوده است. داده‌های ۲۷۰ خانه ایرانی اشاره شده، دارای دو نوع انرژی مصرفی برق و گاز طبیعی با مشخصات زیر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند:

الف. همه منازل دارای دو نوع انرژی مصرفی برق و گاز طبیعی می باشند؛ ب. میزان مصرف واقعی بر اساس قبض های برق و گاز بصورت پریودهای دوماهه محاسبه شده اند. برای محاسبه کل انرژی مصرفی دراین منازل، مقدار انرژی مصرفی درطول سه سال گذشته جمع شده است؛ ج. مقادیر عرضه و هزینه انرژی درهریک از دامنه ها بصورت پلکانی و براساس مصوبات در حال اجرا در نظر گرفته شده اند. داده های بکار برده شده، کاملاً کمی بوده و شامل ۳ دسته ۵ تایی (آپارتمانی، ویلایی، قدیمی هر کدام ۵ سطر) با ۱۸ فراوانی در هر سطر (۲۷۰= ۱۸ * ۱۵) می باشد.

ساختار مدل و نحوه استفاده از نرم افزار:

مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش جهت بهینه یابی سبد مصرف انرژی های چند پریودی و چند نرخی، به دو روش برنامه ریزی خطی صفر و یک *(BLP)* و روش ابتکاری تجزیه و ترکیب *(HDC)*، به طور جداگانه حل شده است. به منظور حل BLP از نرم افزار لینگو ($Lingo$) استفاده شده است که ابزاری کاربردی و ساده جهت بهره‌گیری از قدرت برنامه ریزی خطی و غیر خطی در فرموله کردن مسائل بزرگ، توام با تجزیه و تحلیل آنهاست. همچنین جهت حل HDC از ویژوال بیسیک[1] استفاده شده است که برنامه ای عام بوده و قابلیت برنامه ریزی و حل مدل های مختلف از جمله مدل های ابتکاری و فرا ابتکاری را دارد. پس از معرفی متغیرها و مدل ریاضی مسئله اصلی، گام های الگوریتم پیشنهادی حل مسئله بهینه یابی سبد مصرف انرژی خانه ایرانی به تفصیل ارائه شده است. همچنین، شکل ۲، گام های الگوریتم مورد اشاره را به اختصار نمایش می‌دهد.

معرفی شاخص ها و متغیرها و مدل ریاضی مسئله اصلی:

در این بخش به مدل ریاضی مسئله بهینه یابی سبد مصرف انرژی های چند نرخی و چند پریودی با محدودیت مقادیر مصرف انرژی می پردازیم. در این مسئله انرژی ها مختلف در کسب منابع مالی محدود با یکدیگر رقابت می‌کنند. لذا می‌بایست با توجه به محدودیت منابع مالی، مقادیر مصرف انواع انرژی در هر یک از نرخ ها و پریودهای بگونه‌ای تعیین شود، که ضمن تأمین تقاضای انرژی‌های مورد نیاز در هریک از پریودها، کل هزینه انرژی مصرفی را حداقل کند. در این مدل سیستم برنامه ریزی مصرف انرژی بصورت سری و موازی در نظر گرفته شده است. در هر دامنه از قیمت محدودیت مقدار انرژی وجود دارد. کمبود انرژی برای هر پریود و یا استفاده از انرژی بصورت سفارشات عقب افتاده مجاز نبوده و میزان تقاضای هر پریود معین اما متغیراست. همچنین برای همه انرژیها

[1] . *Visual Basic*

در پریود اول به میزان تقاضای پریود اول، عرضه انرژی وجود دارد زیرا درغیر این صورت با کمبود انرژی مواجه خواهیم شد. پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری مدل بهینه یابی سبد مصرف انرژی با مصرف حداقل نمودن مجموع هزینه‌های انرژی دریک افق برنامه ریزی محدود بصورت زیر می باشد:

T : تعداد پریودهای مصرف انرژی$(t=1,2,....,t)$

M: تعداد دامنه های قیمت پله کانی $(j=1,2,.....,m)$

N: تعداد انواع انرژی$(i=1,2,....,n)$

S_{ijt}: مقدار عرضه انرژیi در دامنه jو پریود t

X_{ijt} : میزان مصرف انرژی i در دامنه j

I_{ijt}: میزان موجودی انرژی با قیمت j در انتهای پریودt

Y_{ijt} ۱: اگر مقدار مصرف انرژیi با قیمت j در پریود t به حد بالای خودش برسد.
۰ : در غیر این صورت

a_{ij} : ضریب تبدیل انرژی i به انرژی واحد دردامنهj

C_{it}: میزان انرژی در دسترس i در پریودt

A_{ijt} : هزینه ثابت در صد انرژی i به قیمتj در پریودt

V_{ijt}: هزینه متغیر استفاده از انرژیi در دامنه jدر پریودt

- حداقل نمودن مجموع هزینه های ثابت و متغیر مصرف انواع حامل های انرژی

$$MinZ = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{T}\left[A_{ijt}\cdot Y_{ijt} + V_{ijt}(X_{ijt}+I_{ijt})\right] \qquad (۱)$$

مجموع جریان های خروجی از هر گره(i,j,t) دریک شبکه برابر مجموع جریان های ورودی به همان گره می باشد:

$$I_{i,j,t-1} + S_{i,j.t} = I_{i,j,t} + X_{i,j} \qquad (۲)$$

$$\left\{\begin{matrix} 0 \le X_{ijt} \le A_{jit}.Y_{ijt} \\ A_{ijt}Y_{ijt} \le X_{ijt} \le A_{ijt} \end{matrix}\right\} \qquad (۳)$$

بیانگر وجود قیمت پله کانی درانواع مختلف حامل های انرژی است.

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ijt}.a_{ij}.Y_{ijt} \le L_{it} \qquad (۴)$$

باعث جلوگیری از افزایش میزان مصرف انرژی از ظرفیت های مورد نظر می باشد.

$$l_{ijt} \le X_{ijt} \le u_{ijt} \qquad (۵)$$

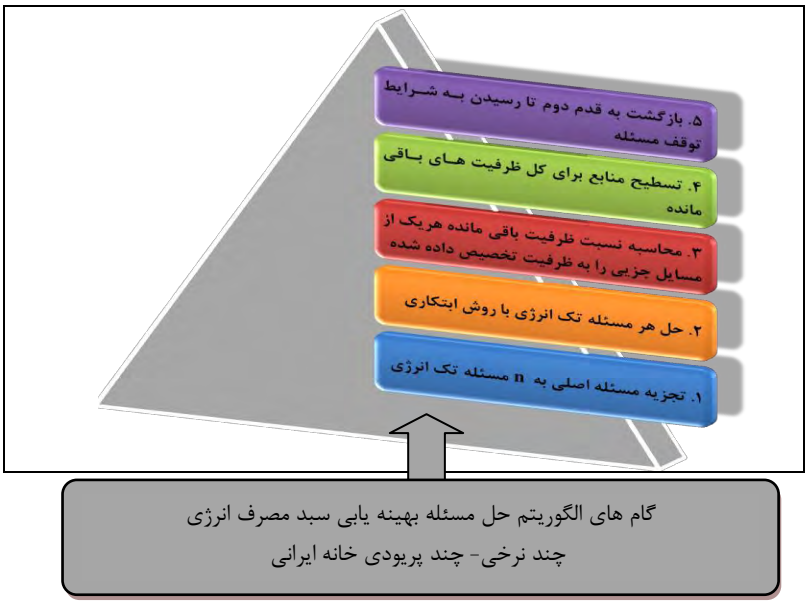
$$l'_{ijt} \le I_{ijt} \le u'_{ijt}$$

$$Y_{ijt=0,1}$$

l_{ijt}, l'_{ijt}: حد پائین مصرف / موجودی انرژی ijt

u_{ijt}, u'_{ijt} : حدبالای مصرف/موجودی انرژی ijt

محدودیت های این مدل دارای ساختار مدل های شبکه با ظرفیت محدود است، که جزء مدل های $NPHard$ می باشند. از این رو یک روش ابتکاری جهت حل مسئله بهینه یابی سبد مصرف انرژی ارائه شده است.



شکل ۲- گام های الگوریتم حل مسئله بهینه یابی سبد مصرف انرژی خانه ایرانی

تجزیه و ترکیب مدل ریاضی:

در مدل ریاضی بهینه یابی سبد مصرف انرژی مشاهده می شود که تنهاً محدودیت سوم (رابطه ۵-۴) درارتباط با همه انواع انرژیها می باشد. مقادیر ضرایب مسئله دوگان این محدودیت (λ_{it}) بیانگر میزان ارزش منابع این محدودیت است. بعبارت بهتر ارزش این منابع برابر مقدار تغییرات تابع هدف به ازای یک واحد تغییر در مقادیر این منابع می باشد ($\Delta Z = \frac{\delta z}{\delta y_{it}} = \lambda_{it}$). تخصیص منابع بر اساس این ضرایب باعث پیروی تابع هدف از سایر محدودیت های مسئله و تبدیل مسئله چند انرژی به چند مسئله یک انرژی می شود. در صورتی که مدل اصلی این مسئله به کمک ضرایب(λ_{it}) تجزیه شوند، از نظر عامل (الف) جواب لزوماً بهینه نیست زیرا:

$$Convex\{X: Min(\sum_{j=1}^{m} X_{ijt}.aij - y_{ijt}.C_{it})\} \subseteq \{X: \sum_{j=1}^{m} X_{ijt}.aij - y_{ijt}.C_{it})\} \qquad (۶)$$

یعنی حد حاصل از هر مسئله فرعی قوی تر از حد حاصل از روش آزاد سازی خطی متغیرهای صفر و یک(y_{ijt}) می باشد. به عبارت دیگر حد پائین تابع هدف هریک از مسایل فرعی کوچکتر یا مساوی حد پائین تابع هدف مسئله اصلی است $Z_{LB}^{i} \leq Z_{LB}$ از نظر عامل (ب) تجزیه مسئله اصلی به کمک ضرایب(λ_{it}) و تخصیص منابع محدود کلیک این ضرایب باعث ایجاد (n)مسئله مستقل تک انرژی می شود. از نظر عامل (ج) حل هریک از مسایل مستقل که دارای m متغیر می باشد، نسبت به مسئله اصلی که دارای nm متغیر تصمیم گیری می باشد، بمراتب آسان تر است. در مورد استفاده از روش تجزیه و ترکیب براساس ضرایب ارزش منابع سایر محدودیت ها، شرایط (الف، ب و ج) برقرار نمی باشد. زیرا اولا بدلیل وجود متغیرهای آزاد در علامت (ارزش منابع) برای هر یک از محدودیت های مساوی، مسایل پیچیده تری بوجود می آید، ثانیاً مسئله ترکیبی را نمی توان به مسئله مستقل تجزیه نمود. همچنین روش ساده سازی برمبنای ضرایب مسئله دوگان نسبت به سایر ساده سازی ها دقیق تر عمل می کند؛ به علاوه روش ساده سازی بر مبنای محدودیت ظرفیت، درمقایسه با سایر محدودیت ها قوی ترین حد پائین را نسبت به جواب بهینه ارائه می دهد و همچنین استفاده از تکنیک تجزیه بر پایه محدودیت مشترک بین همه انرژی ها، باعث ساده سازی مدل اصلی به n مسئله مستقل می‌گردد.

برای تجزیه مسئله اصلی به n مسئله مستقل و تخصیص منابع محدود بـه هریـک از مسـایل مسـتقل در ایـن مقاله به روش زیر عمل شده است.

۱-محاسبه متوسط مقدار مصرف انرژی در پریودt

$$\overline{V}_t = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} \sum_{T=1}^{n} X_{ijt}.a_{ij} \qquad t = 1,1,\dots,T \tag{۷}$$

۲-تعیین پریود گلوگاه

$$q_t = Min\left\{\frac{\sum_{i=1}^{n} C_{i1}}{\overline{V}_1}, \frac{\sum_{j=1}^{n} C_{i2}}{V_2}, \dots\dots, \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{it}}{V_t}\right\} \tag{۸}$$

۳-محاسبه نسبت ظرفیت هر نوع انرژی

$$R_i = \frac{\overline{V}_t.C_{it}}{\sum_{t=1}^{T} \overline{V}_t.C_{it}} \tag{۹}$$

با فرض انتخاب پریود(t) بعنوان پریود گلوگاه، تخصیص ظرفیت به هر نوع انرژی به نسـبت میـزان مصـرف در پریود گلوگاه از رابطه رو برو بدست می آید.

۴-تعیین مقدار ظرفیت هر نوع انرژی در هر پریود

$$C_{it} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} C_{i1}.R_1 & \sum_{i=1}^{n} C_{i2}.R_1 & \dots \sum_{i=1}^{n} C_{it}.R_1 \\ \sum_{i=1}^{n} C_{i1}.R_2 & \sum_{i=1}^{n} C_{i1}.R_2 & \dots \sum_{i=1}^{n} C_{it}.R_2 \\ \sum_{i=1}^{n} C_{i1}.R_n & \sum_{i=1}^{n} C_{i1}.R_n & \dots \sum_{i=1}^{n} C_{it}.R_n \end{bmatrix} \tag{۱۰}$$

هر سطر ماتریس فوق بیانگر ظرفیت تخصیص داده شده به هر نوع انرژی در هر پریود می‌باشد.

مدل ریاضی مسئله تک انرژی:

پس از تخصیص ظرفیت و تجزیه مدل ریاضی بهینه‌یابی سبد انرژی به n مسـئله ریاضـی تـک انـرژی، مـدل برنامه ریزی مصرف هر نوع انرژی بصورت چند پریودی و چند نرخی با محدودیت ظرفیت، بصـورت زیـر خواهـد بـود *(Zarei et al, 2013: 35-38)*:

$$(\sum_{i=0}^{n} C_{i1}R_1, \sum_{i=0}^{n} C_{i2}R_1, \dots \sum_{i=0}^{n} C_{it}R_1,) = (C_1', C_2', \dots C_t') \tag{۱۱}$$

پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری مربوط به هریک از مدلهای تک انرژی بصورت زیر می باشد:

T : تعداد پریودهای افق برنامه ریزی $(t=1,2,\dots,T)$

M: تعداد دامنه های قیمت پله کانی $(j=1,2,\dots,m)$

S_{jt}: مقدار عرضه انرژی در دامنه j و پریودt

X_{jt}: میزان مصرف انرژی دردامنهj و پریودt

I_{jt}: میزان موجودی انرژی با قیمتj در انتهای پریود t

Y_{jt}اگر مقدار مصرف انرژی با قیمت j در پریودt به حد بالای خودش برسد . درغیر این صورت

C'_t : میزان انرژی در دسترس در پریودt

A_{jt}: هزینه ثابت ورمز انرژی به دامنه در پریود t

V_{jt}: هزینه متغیر استفاده از هر واحد انرژی در دامنهj و پریودt

براساس پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری فوق، تابع هدف و محدودیت های هریک از مسایل تک انرژی بصورت زیر خواهد بود:

$$Minz = \sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{T} [\, A_{jt}.y_{jt} + V_{jt}(X_{jt} + I_{jt} \qquad (۱۲)$$

(حداقل نمودن مجموع هزینه های ثابت و متغیر مصرف انرژی)

$$I_{j,t-1}+S_{j.t}=I_{j,t}+X_{j,t} \qquad j=1,2,.....,m \qquad t=1,2,....T \qquad (۱۳)$$

نشان می دهد که مجموع جریانهای خروجی از هر گره دریک شبکه برای مجموع جریانهای ورودی به همان گره است.

$$\begin{Bmatrix} 0 \le X_{it} \le A_{it}.Y_{it} \\ A_{jt}Y_{jt} \le X_{jt} \le A_{jt} \end{Bmatrix} \qquad (۱۴) \qquad t=1,2,....T \qquad j=1,2,.....,m$$

بیانگر وجود قیمت پله کانی دراستفاده از انرژی می باشد.

$$X_{jt} \le y_{jt}.C_t^{'} \qquad (۱۵)$$

باعث جلوگیری از افزایش میزان مصرف انرژی از ظرفیت مورد نظر می شود.

$$L_{jt} \le X_{ij} U_{jk}$$
$$L'_{jt} \le I_{jt} \le U'_{jt}$$
$$Y_{jt}=0,1$$

L_{it}, L'_{jt}: حد پائین مصرف / موجودی انرژی jt U_{jt}, U'_{ijt} : حدبالای مصرف/موجودی انرژی jt

روش حل هر یک از مدل های تک انرژی:

در این قسمت یک الگوریتم ترکیبی ریاضی و هیورستیک با استفاده ازروش آزادسازی متغیرهای صفرویک با حداکثر جریان و حداقل هزینه و روش انشعاب و تحدید برای حل هریک از مسایل تک انرژی ارائه شده است. مراحل این الگوریتم بصورت زیر است:

الف. آزادسازی متغیرهای صفر و یک: با توجه به اینکه هریک از مدلهای ریاضی تک انرژی دارای متغیرهای صفرویک هستند و هدف این مقاله ارائه یک روش انشعاب و تحدید برای حل مدل ریاضی تک انرژی می باشد، می بایست بگونه ای عمل نماید که در هر مرحله تکرار، وضعیت متغیرهای (y_{jt}) از نظر صفر ویک بودن روشن شود. بدین منظور فرض می کنیم متغیرهای y_{jt} یک متغیر پیوسته بین صفر و یک می باشد. $(0 \le y_{jt} \le 1)$ در اثر این عمل فضای جواب مدل ریاضی تک انرژی توسعه یافته و در نتیجه جواب حاصل از مسئله آزادسازی شده می‌تواند بعنوان یک حد پائین برای مسئله بکار رود.

ب. تبدیل مسئله به مدل‌های شبکه ای: بعد از آزاد سازی متغیرهای صفر و یک درهریک از مدلهای ریاضی تک انرژی، باید به این نکته توجه کرد که در جواب بهینه این مسئله همواره رابطه برقرار است. در این صورت مدل توسعه یافته می بایست بصورت زیر مجدداً مدل‌سازی شود:

$$Minz = \sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{T}[\frac{A_{jt}}{C_t} + V_{jt}]X_{jt} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{T} V_{jt}.I_{jt} \qquad (۱۶)$$

با تکرار محدودیت های رابطه (۱۳ تا ۱۵).

مشاهده می شود که هریک از مدلهای ریاضی تک انرژی با آزادی متغیرهای صفرویک و تغییر متغیر $(y_{jt} = \frac{X_{jt}}{C'_t})$ به یک مدل شبکه با هزینه خطی تبدیل شده است. این مدل با روش حداکثر جریان و حداقل هزینه قابل حل است.

ج. روش انشعاب و تحدید: جوابهای حاصل از حل مدل شبکه با روش حداکثر جریان و حداقل هزینه دارای متغیر پیوسته y_{jt} در فاصله بین صفر و یک می باشد. یعنی درجواب مدل شبکه تعدادی از متغیرهای y_{jt}صفر، تعدادی یک و تعدادی هم در فاصله بین صفر و یک قراردارند. برای تعیین وضعیت متغیرهای y_{jt} که دارای مقدار صفر و یک نمی‌باشند به روش زیر عمل شده است:

مرحله (۱): برای وجود حداقل یک جواب قابل قبول باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{t-1}^{T} X_{jt} \leq t.C_{it} \qquad (۱۷)$$

اگر رابطه فوق برقرار نباشد یعنی مقدار تقاضا بیشتر از عرضه است و مسئله دارای جواب ممکن نمی باشد.

مرحله (۲): مدل شبکه ای توسعه یافته حل شده ، تا میزان مصرف انرژی درهر دامنه و پریود حاصل شود.

مرحله (۳): درصورتی که بین متغیرهای y_{jt} هیچ متغیر آزادی وجود نداشته باشد توقف صورت می پذیرد، در غیر این صورت متغیر آزادی که دارای بیشترین هزینه (تقریب خطی) است، انتخاب و عمل انشعاب انجام می شود. این مرحله آنقدر تکرارمی گردد تا تمامی متغیرهای آزاد تعیین وضعیت شوند.

$$\Delta_{jt} = A_{jt} + X_{jt}.V_{jt} \qquad (۱۸)$$

تسطیح ظرفیت‌های باقی مانده:

پس از حل هر یک از مسایل برنامه ریزی مصرف انرژی بصورت چند پریودی و چند نرخی توسط الگوریتم ارائه شده، نوبت به مقایسه میزان ظرفیت تخصیص داده شده و میزان ظرفیت استفاده شده می‌رسد. برای انجام عملیات تسطیح ظرفیت های باقی مانده، ابتدا توسط رابطه زیر میزان ظرفیت های باقی مانده هر نوع انرژی را در هر پریود محاسبه می‌کنیم.

$$RC_{it} = (C_{it} - \sum_{j=1}^{m} a_{ij} X_{ijt}) \qquad t=1,2,...,T \qquad i=1,2,...,n \qquad (۱۹)$$

سپس کل ظرفیت باقی مانده بوسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$RCT = \sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{j} RC_{it} \qquad (۲۰)$$

برای انجام عملیات تسطیح منابع باید این ظرفیت باقی مانده را به نسبت ظرفیت استفاده شده در هر یک از مسایل جزیی تقسیم کنیم. بدین منظور به مسایلی که دارای ظرفیت باقی مانده بیشتری هستند، مقدار ظرفیت کمتری تخصیص داده می شود ومسایل که دارای ظرفیت باقی مانده کمتری هستند، مقدار ظرفیت بیشتری تشخیص داده می شود. این عملیات توسط رابطه زیر انجام شده است:

$$CA_i = RCT \frac{\overline{V}_t.C_{it}}{\sum_{t=1}^{T} \overline{V}_t.C_{it}} \qquad (۲۱)$$

این عملیات تسطیح منابع تازمانی انجام می شود که باعث ایجاد جوابهای موجه و بهتر نسبت به جوابهای قبلی شود و یا اختلاف قابل توجهی در میان جوابهای درمرحله متوالی حاصل نشود.

بررسی کارایی مدل و الگوریتم:

به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مدل ریاضی ارائه شده در ارائه سبد بهینه مصرف انرژی های چند پریودی و چند نرخی، نمونه های مورد مطالعه در جامعه آماری اشاره شده در بخش مسکونی شهر شیراز با اقلیم نیمه گرم و خشک، به کار برده شده‌اند.

در پژوهش حاضر، از رگرسیون و نرم افزار *SPSS* جهت تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر میـزان مصـرف انـرژی ساختمان های مسکونی، استفاده شد. از بین عوامل (متغیرهای) متعدد شامل تعداد سکنه، طبقات، میزان مسـاحت و غیره، میزان مساحت هر واحد مسکونی با اختلاف کمی نسبت به سایر متغیرها، به عنوان مـوثرترین عامـل در میـزان مصرف انرژی ساختمان های مسکونی در این پژوهش، شناخته شد. داده های ۲۷۰ خانه دارای دو نوع انرژی مصـرفی برق و گاز طبیعی، مورد استفاده قرار گرفته اند؛ داده های بکار برده شده، کاملا کمی بـوده و شـامل ۳ دسـته ۵ تـایی (آپارتمانی، ویلایی، قدیمی هر کدام ۵ سطر) با ۱۸ فراوانی در هر سطر (۲۷۰= ۱۸ * ۱۵) می باشد (جدول۲).

جدول۲- مقایسه هزینه کل و درصد بهبود در روش های مختلف

نوع منزل	مساحت	هزینه کل انرژی (واحد پول)			درصد بهبود	
		BLP	*HDC*	واقعی(گاز+برق)	*BLP*	*HDC*
قدیمی	۳۰۰	۲۰۵	۲۱۶	۲۸۵	۰,۲۸	۰,۲۴
	۳۵۰	۲۴۸	۲۵۲	۳۴۷	۰,۲۸	۰,۲۷
	۴۰۰	۳۱۰	۳۲۷	۴۱۵	۰,۲۵	۰,۲۱
	۴۵۰	۳۴۲	۳۵۶	۴۸۳	۰,۲۹	۰,۲۶
	۵۰۰	۳۷۵	۳۸۹	۵۵۱	۰,۳۲	۰,۲۹
ویلایی	۱۵۰	۲۷۱	۲۸۵	۳۸۶	۰,۲۹	۰,۲۶
	۲۰۰	۳۵۲	۳۷۱	۵۱۰	۰,۳۱	۰,۲۷
	۲۵۰	۴۳۸	۴۶۷	۶۳۶	۰,۳۱	۰,۲۶
	۲۷۰	۵۲۴	۵۵۳	۷۵۲	۰,۳۰	۰,۲۶
	۳۵۰	۶۰۱	۶۳۸	۸۶۵	۰,۳۱	۰,۲۶
آپارتمانی	۷۵	۱۱۷	۱۲۱	۱۶۱	۰,۲۷	۰,۲۵
	۱۰۰	۱۵۲	۱۶۳	۲۲۴	۰,۳۲	۰,۲۷
	۱۲۵	۱۹۴	۲۰۴	۲۸۷	۰,۳۲	۰,۲۹
	۱۵۰	۲۳۱	۲۵۱	۳۳۸	۰,۳۱	۰,۲۵
	۱۷۵	۲۸۳	۳۰۲	۳۹۵	۰,۲۸	۰,۲۳

منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۰.

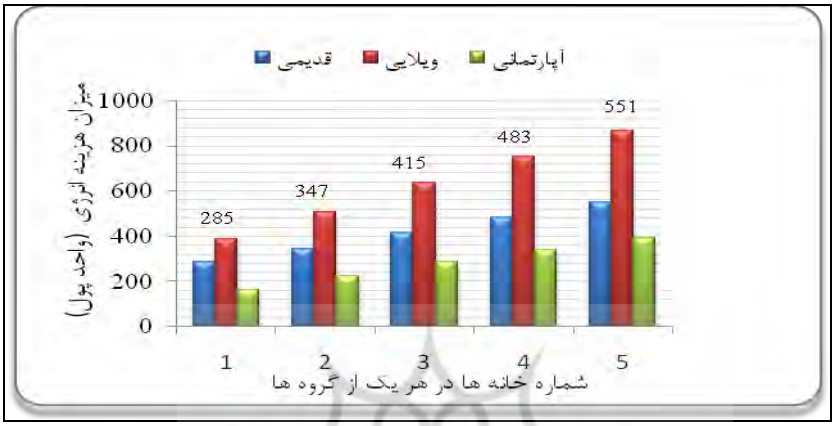
تحلیل یافته های تحقیق:

این پژوهش در جستجوی یافتن ترکیب (سبد) بهینه میزان مصرف هر نوع انرژی در هر پریود بوده اسـت، بـه گونه ای که مجموع هزینه های انرژی مصرفی سالیانه به حداقل میزان کـاهش یابـد. نتـایج مقایسـه دو روش *BLP* و *HDC* با یکدیگر و نیز نسبت به شرایط واقعی از دو جنبه مقدار هزینه انرژی مصـرفی و درصـد بهبـود درجـدول (۲) ارائه شده است. این مقایسه نشان می دهد که روش *HDC* علاوه به جوابهای بهتر نسبت به شـرایط واقعـی درسـطح ۲۶/۱ درصد، مسایل را در زمان کمتری نسبت بـه روش *BLP* در سـطح ۲۰۰ درصـد حـل نمـوده اسـت. همچنـین مقایسه جوابهای *BLP* نسبت به شرایط واقعی بیانگر ۳۰/۵ درصد بهبود می باشد. بنـابراین جوابهـای روش ابتکـاری تجزیه و ترکیب *(HDC)* نسبت جوابهای بهینه مدل برنامه ریـزی خطـی عـدد صـحیح *(BLP)* حـداکثر بمیـزان ۵ درصد اختلاف دارد. جدول شماره ۳ سبد مصرف انرژی در ماههای مختلف سال را نشان می دهد. این اعداد نشان می دهند که سهم انرژی برق در دامنه ۶۵-۲۸ و سهم انرژی گاز در دامنه ۷۲-۳۵ در نوسان است که بیانگر یـک نمـودار سینوسی در تغییرات سهم انرژی در ماه های مختلف سال می باشد.

جدول ۳- مقایسه سهم واقعی انواع انرژی درماه های مختلف سال												
ماه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین
هزینه برق (٪)	۵۳	۳۷	۳۲	۳۸	۴۲	۴۷	۵۸	۶۵	۶۳	۵۶	۴۹	۴۶
هزینه گاز (٪)	۴۷	۶۳	۷۱	۶۴	۵۸	۵۳	۴۲	۳۵	۳۷	۴۴	۵۱	۵۴

منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۰.

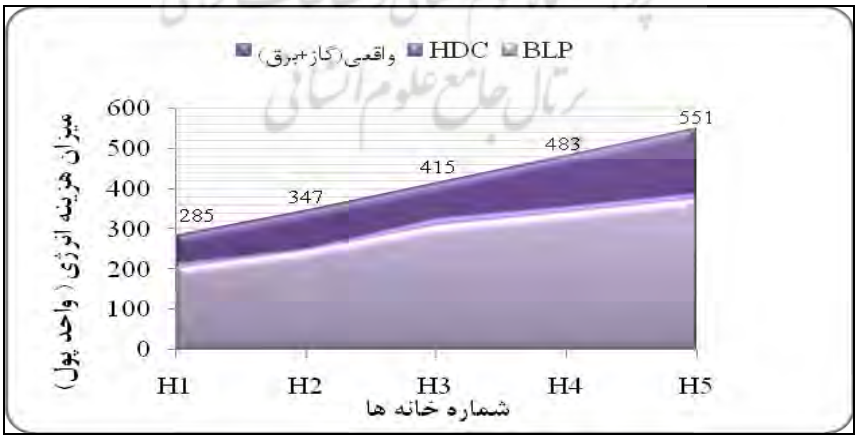
همچنین در شکل شماره ۲ هزینه واقعی سه گروه خانه های قدیمی، ویلایی و آپارتمانی در شیراز مقایسه شده است.



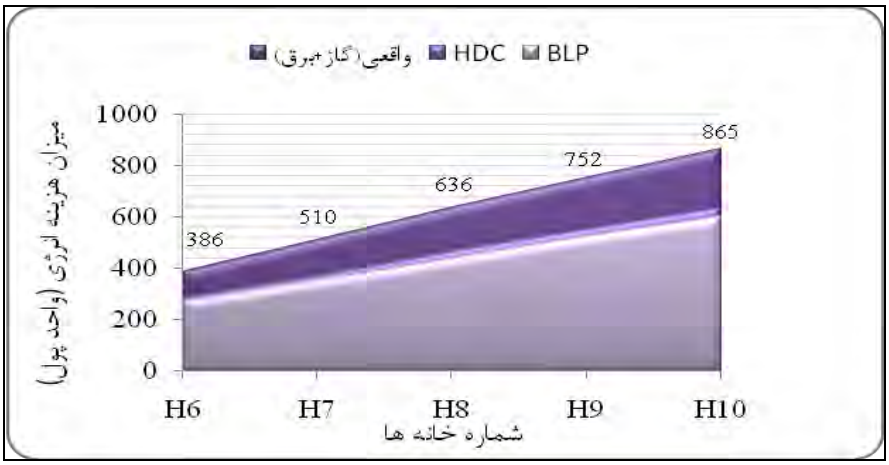
شکل ۲- مقایسه هزینه واقعی سه گروه خانه های قدیمی، ویلایی و آپارتمان

نتیجه گیری:

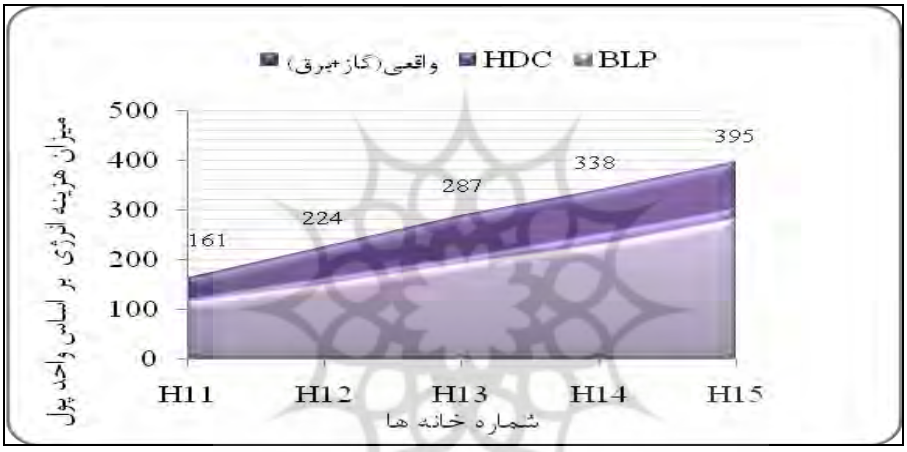
بخش ساختمان و مسکن با سهمی بالغ بر۴۱/۹٪ بزرگترین مصرف کننده انرژی در ایران می باشد. از دیگر سو، نه تنها پتانسیل صرفه جویی انرژی در بخش ساختمان و مسکن بیش از سایر بخش هاست، بلکه کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده تر و با سرمایه گذاری کمتری نسبت به بخش های دیگر امکان پذیر می باشد. هدف از این مقاله، یافتن ترکیب (سبد) بهینه میزان مصرف هر نوع انرژی چند پریودی و چند نرخی بوده است. نتایج تحقیق در نمودارهای ۳-۱، هزینه انرژی (برق و گاز) سبد پیشنهادی دو روش *BLP* و *HDC* نسبت به شرایط واقعی (در خانه های قدیمی، ویلایی و آپارتمانی)، مورد مقایسه قرار گرفته است.



نمودار ۱- مقایسه هزینه انرژی (برق و گاز) سبد پیشنهادی دو روش *BLP* و *HDC* نسبت به شرایط واقعی در خانه های قدیمی



نمودار۲- مقایسه هزینه انرژی (برق و گاز) سبد پیشنهادی دو روش *BLP* و *HDC* نسبت به شرایط واقعی در خانه های ویلایی



نمودار ۳- مقایسه هزینه انرژی (برق و گاز) سبد پیشنهادی دو روش *BLP* و *HDC* نسبت به شرایط واقعی در خانه های آپارتمانی

مقایسه نتایج حاصل از دو روش *BLP* و *HDC*، با یکدیگر و نیز با مقادیر واقعی هزینه انرژی نمونه های تصادفی، بیانگر مدیریت بهینه منابع کمیاب انرژی، میزان استفاده از هریک از منابع در هر پریود و کاهش مجموع ۲۶/۱ و ۳۰/۵ درصدی هزینه انرژی مصرفی (به ترتیب در دو روش *HDC* و *BLP*) نسبت به مقادیر واقعی می باشد. نتایج محاسباتی در این مقاله بیانگر آن است که روش تجزیه و ترکیب مسئله بر اساس مدلهای شبکه ای و ارزش انواع حاملهای انرژی راه حل مناسبی را برای بهینه یابی سبد مصرفی انرژی های چند نرخی و چند پریودی با محدودیت مقدار انرژی فراهم می‌سازد. همچنین استفاده از روش های فرا ابتکاری بجای روش ابتکاری ارائه شده در عملیات تخصیص و تسطیح منابع می تواند به عنوان تحقیقات آتی مورد توجه پژوهشگران این عرصه واقع گردد.

منابع و مأخذ:

۱. ریاضی، منصوره و سید مهدی حسینی (۱۳۹۰): نگاهی به سیاست های بهینه سازی تولید و مصرف انرژی در بخش ساختمانی ایران، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۲. سمیعی زفرقندی، محمودرضا (۱۳۸۸): پایش، مدیریت انرژی و نظارت هوشمندانه در صنعت ساختمان با بکارگیری ابزاری قدرتمند تحت فناوری*RFID* ، هفتمین همایش ملی انرژی، تهران،

۳. شاه حسینی، محمدعلی (۱۳۸۸): طراحی مدل سیاستگذاری انرژی در افق چشم انداز با رویکرد سیستم های پویا، پایان نامه دکتری تخصصی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.

۴. طلوعیان، اکبر (۱۳۸۵): مدیریت مصرف انرژی و رابطه آن با توسعه پایدار و آلودگی محیط زیست، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.

۵. عبدلی، محمدعلی و افلیا فصیحی (۱۳۸۴): تأثیر مبحث (۱۹) مقررات ملی ساختمان در صرفه جویی مصرف انرژی، پنجمین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، تهران.

6. *Balachandra, P., Shekar, G.L., (2001): Energy technology portfolio analysis: an example of lighting for residential sector, Energy Conversion and Management, 42(7), pp. 813-832.*
7. *Bar-Lev, D., Katz, S., (1976): A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry, Journal of Finance, 31, pp. 933–947.*
8. *Bhattacharya, A., Kojima, S., (2012): Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method, Energy Policy, 40, pp. 69-80.*
9. *Delarue, E., De Jonghe, C., Belmans, R., D'haeseleer, W., (2011): Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power, Energy Economics, 3(1).*
10. *Fernández. A, Gómez, S., (2007): Portfolio selection using neural networks, Computers and Operations Research, 34(4), pp. 1177-1191.*
11. *Huisman, R., Mahieu, R., Schlichter, F., (2009): Electricity portfolio management: Optimal peak/off-peak allocations, Energy Economics, 31(1), pp. 169-174.*
12. *Jebaraj, S.; Iniyan, S., (2006): A review of energy models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(4), pp. 281-311.*
13. *Jose M. Martinez-Val, (2013): Energy for Sustainable Development: A systematic approach for a badly defined challenge, Energy Conversion and Management, In Press.*
14. *Markowitz, H.,(1952): Portfolio selection, Journal of Finance, 7, pp. 77–91.*
15. *Martinez-Val, JM, (2013):Energy for Sustainable Development: A systematic approach for a badly defined challenge, Energy Conversion and Management, 72.*
16. *Oh, K.J., Kim, T.Y., Min, S., (2005): Using genetic algorithm to support portfolio optimization for index fund management, Expert Systems with Applications, 28(2), pp. 371-379.*
17. *Pereira, I. M.; Sad de Assis, E., (2013): Urban energy consumption mapping for energy management, Energy Policy, In Press.*
18. *Rocha, P., Kuhn, D, (2012): Multistage Stochastic Portfolio Optimization in Deregulated Electricity Markets Using Linear Decision Rules, European Journal of Operational Research, 216, (2), pp. 397-408.*
19. *Saidur, R, Masjuki, HH, Jamaluddins, MY, (2007): An application of energy and exergy analysis in residential sector of Malaysia, Energy Policy, 35(2), pp. 1050-1063.*
20. *Vehviläinen, L., Keppos, J., (2003): Managing electricity market price risk, European Journal of Operational Research, 145(16), pp. 136-147.*