# درآمدی بر روشهای اقتصادی مدیریت بار الکتریکی: رهیافت خود جیره‌بندی

*علیمراد شریفی* [*]
*رحمان خوش‌اخلاق* [**]
*محمد اسماعیل همدانی گلشن* [***]
*زین‌العابدین صادقی* [****]

**امروزه یکی از مشکلات صنعت برق و بویژه بازارهای لحظه‌ای برق، تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز در طی دوره پیک است. به روش سنتی حل این مشکل، احداث نیروگاههای جدید و**

[*]. دکتر علیمراد شریفی؛ عضو هیأت علمی گروه اقتصاد- دانشگاه اصفهان.
E.mail: asharifi@istt.org
[**]. دکتر رحمان خوش‌اخلاق؛ عضو هیأت علمی گروه اقتصاد- دانشگاه اصفهان.
E. mail: rahmankh44@yahoo.com
[***]. دکتر محمداسماعیل همدانی گلشن؛ عضو هیأت علمی گروه برق- دانشگاه صنعتی اصفهان.
E. mail: hgolshan@cc.iut.ac.ir
[****]. زین‌العابدین صادقی؛ عضو هیأت علمی بخش علوم اقتصادی- دانشگاه شهید باهنر کرمان.
E. mail: abed_sadeghi@yahoo.com

**افزایش ظرفیت تولید انرژی الکتریکی است. راه حل اقتصادی دیگر مدیریت سمت تقاضا[1] از طریق مدیریت بار می‌باشد. روشهای متفاوتی برای مدیریت بار از بعد فنی، همانند کنترل مستقیم وجود دارد؛ اما از بعد اقتصادی (از طریق ایجاد انگیزه قیمتی و غیر قیمتی) می‌توان مدیریت بار را اجرا کرد، یکی از روشهای اقتصادی مدیریت بار که ریشه در نظریات بخش عمومی دارد روش خود جیره‌بندی[2] است.**

**روش تحقیق این مقاله از نوع توصیفی مبتنی بر روش تحلیل محتوا است و سعی می‌شود ضمن معرفی این روش به عنوان یک روش کارآمد با بررسی مقالات بنیادی سیر تکامل این مدل در اقتصاد طی سه دهه اخیر ارائه شود. بر اساس یافته‌ها، مطالعه ادبیات اقتصادی موجود در این زمینه را می‌توان به دو دوره ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۰ (دوره معرفی مدل خود جیره‌بندی) و دوره ۱۹۹۰ تاکنون (توسعه و کاربرد مدل) تقسیم کرد.**

طبقه بندی**JEL**: **D61, D45, Q48, Q41**

## کلید واژه‌ها:

ایران، صنعت برق، مدیریت بار الکتریکی، خود جیره‌بندی، قیمت‌گذاری، قطع‌بار، تابع رفاه اجتماعی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1]. Demand Site Management(D.S.M)
[2]. Self-Rationing

## مقدمه

در ادبیات اقتصادی ظرفیت برق به عنوان یک کالای عمومی قلمداد می‌شود. اما برق برخلاف سایر انواع حاملهای انرژی قابلیت ذخیره سازی را ندارد و باید همزمان با تولید، مصرف شود. نوسان در عوامل تصادفی همانند دما باعث افزایش تقاضا بیشتر از ظرفیت موجود می‌شود. در این راستا دولتها موظف به سرمایه گذاری جدید برای تأمین ظرفیت بوده و به دلیل افزایش هزینه ها خواستار تجدید ساختار تولید برق از اوایل دهه ۱۹۷۰ شدند و برای حل این مشکل ادبیات غنی اقتصادی در این زمینه گردآوری گردید. این ادبیات از کشورهای توسعه یافته آغاز شد و در این راستا، کارآیی قیمت گذاری برق در حالت عدم اطمینان (به دلیل وابستگی این حامل انرژی به یک متغیر تصادفی مانند دما) یکی از زمینه های مورد علاقه کمیته های قانونگذاری در این کشورها گردید؛ برای مثال کمیسیون قانونگذاری مؤسسات عام المنفعه کالیفرنیا CPUC[1] یکی از مدافعان قوی بکارگیری هزینه های نهایی در طراحی تعرفه‌های برق خرده‌فروشی بود که نرخ خرده فروشی بهینه بلند مدت برابر با مجموع هزینه های نهایی انرژی و ظرفیت را مورد حمایت قرار داد. برای حل این مشکل در سال ۱۹۸۴ همگام با ایجاد بازارهای برق قیمت گذاری لحظه‌ای به عنوان یکی از مکانیسم‌های ضروری در بازارهای برق ارائه شد اما این روش نیز دارای محدودیتهای کاربرد بود، که اهم آنها عبارتند از: عدم دقت وسایل اندازه گیری در ثبت تغییرات قیمت لحظه‌ای و وجود هزینه های مبادله همراه با اجرای این برنامه برای غلبه بر کاستیهای قیمت لحظه‌ای. بنابراین روش خود جیره‌بندی به عنوان یک روش اقتصادی مدیریت بار ارائه شد که از طریق معرفی بازار ظرفیت، مصرف‌کنندگان براساس تمایل (نهایی) به پرداخت در این بازار مشارکت می‌نمایند. سنگ بنای اولیه این روش در ادبیات اقتصادی در سالهای اوایل دهه ۱۹۸۰ گذاشته شد و تاکنون در طی سی سال گذشته، بارها از سوی اقتصاد دانان مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این مقاله با مروری بر این ادبیات به معرفی روش خود

[1]. California Public Utilities Commission (CPUC)

جیره‌بندی به عنوان یک روش اقتصادی مدیریت بار[۱] پرداخته می‌شود. در بخش اول مقاله روش‌شناسی خود جیره‌بندی در طی دو دورهٔ ارائه مدل و توسعه وکاربرد آن ذکر می‌شود و در پایان نیز به جمع بندی و نتیجه گیری مقاله پرداخته خواهد شد.

## ارائه مدل خود جیره‌بندی و توسعه آن

از اهداف اصلی علم اقتصاد رسیدن به کارآیی اقتصادی و حداکثر شدن رفاه جامعه است. اقتصاددانان اغلب حداکثر شدن مجموع مازاد رفاه مصرف‌کننده و تولیدکننده را به عنوان شاخصی از کارایی اقتصادی در نظر می‌گیرند. شایان ذکر است که در بیشتر مطالعات اقتصاد رفاه مجموع این دو، مازاد رفاه را به عنوان رفاه اجتماعی در نظر می‌گیرند و این نکته که شرایط قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی منجر به حداکثر شدن تابع رفاه اجتماعی می‌شود. بنابراین قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی، هدف کارایی اقتصادی- که همان حداکثر شدن رفاه اجتماعی جامعه می‌باشد- را برآورده می‌سازد.[۲] این نظریه حاصل تلاش چندین ساله جمع کثیری از اقتصاددانان همانند «دوپوآ»[۳]، «هتلینگ»[۴]، «راگلز»[۵]، «بوآتو»[۶]، «تروی»[۷]، «براون و جانسون»[۸]، «کرو و کلایندورفر»[۹] و «موناسینگه»[۱۰] می‌باشد. در این راستا کمیته‌های تعیین مقررات و سیاستگذاری در بعد از جنگ جهانی دوم در بیشتر کشورها مدافع بکارگیری روش هزینه نهایی در طراحی تعرفه‌ها در صنعت برق شدند. یکی از مدل‌های

---

۱. (Load Management) مدیریت بار به مجموعه‌ای از فعالیتها و عملکردهای متقابل بین شرکتهای تولیدکننده و توزیع‌کننده انرژی و مشترکین آنها و نیز انگیزه هایی تشویقی صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی اطلاق می‌شود که هدف از آن تعیین الگوی مصرف و در نتیجه، برنامه‌ریزی به منظور کاهش هزینه های تولید انرژی است.

۲. برای اختصار از ذکر روابط ریاضی خودداری می‌شود برای مطالعه بیشتر در این زمینه می‌توان به منبع زیر مراجعه کرد:
Brown, S. J. & Sibley, D. S., ***The Theory of Public Utility Pricing***, (Cambridge University Press, 1986).

3. Dupit, (1932).
4. Hoteling, (1938).
5. Ruggles, (1948).
6. Boiteux, (1949).
7. Turrey, (1970).
8. Brown and Johnson, (1969).
9. Crew & Kleindorfer, (1976).
10. Munasinghe, (1982).

قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی که به عنوان مدل پایه در روش خود جیره‌بندی مطرح شده؛ مدل براون و جانسون (۱۹۶۹) است.[۱]

«پنزار و سیبلی»[۲] در مقاله ای با عنوان «قیمت گذاری مؤسسات عام المنفعه در حالت ریسک : مورد خود جیره‌بندی با الهام از دو مقاله براون و جانسون، و تروی»، مدلی ارائه دادند که در آن ترکیبی از تصمیم گیری قیمت براساس هزینه نهایی با یک روش مقدماتی از مدیریت بار (مشابه روشی که سالها در اروپا بکار می‌رفت) بکار گرفته شد. در این روش هر مصرف‌کننده در سطح مشخصی از ظرفیت تولید، مشترک می‌شود (قبل از آنکه حالت طبیعی تقاضای مصرف‌کننده مشخص شود). مصرف‌کننده یک بهای ظرفیت برای ظرفیتی که مشترک می‌شود، پرداخت می‌کند و علاوه بر آن برای هر واحد برق مصرفی (انرژی) نیز بهایی پرداخت می‌نماید. اگر به دلیلی برق تقاضا شده مصرف‌کننده بیش از حد اشتراک ظرفیت مصرف‌کننده شود، تولیدکننده با فعال کردن یک ابزار فیزیکی (مانند فیوز) مانع از مصرف بیشتر شده و بنابراین مصرف‌کننده توانایی مصرف بیشتر از ظرفیت اش را نیز ندارد. فرض می‌شود که مصرف‌کنندگان در پی حداکثر کردن مطلوبیت مورد انتظار خویش هستند؛ پس یک زنجیره از انواع مصرف‌کنندگان وجود دارد که هر کدام از آنان دارای تابع مطلوبیت مورد انتظار از نوع فون نیومن- مورگنشترن[۳] به‌صورت زیر هستند :

$$U(q,y,t,\theta) \qquad (۱)$$

که در آن q: مقدار مصرف برق، y: درآمد خرج شده بر روی سایر کالاها، t: متغیر تصادفی مثل دما و $\theta$: شاخص نوع مصرف‌کننده (از لحاظ پر مصرف و کم مصرف) دما $t \in [t_C , t_H]$ دارای توزیع پیوسته f(t) و $\theta \in [\theta_L , \theta_H]$ دارای توزیع مثبت $g(\theta)$ برای

---

[۱]. برای مطالعه بیشتر رجوع شود به:

- Brown ,G & Johnson ,B . " Public Utility Pricing and Output under Risk", ***The American Economic Review***, Vol. 59, (1969).

[2]. Panzar and Sibley (1978)

[3]. Von Neuman - Morgenstern

نظر گرفته می‌شود. برای قابل قیاس کردن تجزیه و تحلیل، فرم خاصی از $U(.)$ برای تابع در نظر گرفته می‌شود که در آن مطلوبیت مورد انتظار دقیقاً برابر با مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده باشد، بنابراین تمرکز مطالعه بر روی حداکثر مازاد مورد انتظار است؛ فرض می‌شود تابع مطلوبیت به صورت زیر باشد:

$$U(q,y,t,\theta) = u(q,t,\theta) + y \qquad (۲)$$

با اندکی اغماض می‌توان $u(.)$ را به‌صورت $u(q,t,\theta) = \int_0^q P(q',t,\theta)dq'$ نوشت که $P(q,t,\theta)$ تابع تمایل نهایی به پرداخت (یا معکوس تابع تقاضا) مصرف‌کننده از نوع $\theta$ است؛ در نتیجه مسئلهٔ مصرف‌کننده مقدار تمایل به پرداخت برای یک واحد اضافی کالاست.

$$P_q = \frac{\partial p}{\partial q} < 0 \quad , \quad P_t \quad \frac{\partial p}{\partial t} \quad 0 = \quad , \quad P_\theta > \frac{p}{\theta} \quad 0 \qquad = \qquad > \qquad \partial \\ \partial$$

فرض می‌شود که P دوبار قابل مشتق گیری باشد، رابطه بالا ارتباط بین تمایل نهایی به پرداخت و عوامل مؤثر بر آن را نشان می‌دهد. از مفروضات این مدل آن است، که مصرف‌کننده دارای یک تقاضای از قبل تعیین شده (به اعتبار گذشته)[1] است که مقدار مصرف، مصرف‌کننده نوع $\theta$ در دمای طبیعی t و قیمت p در حالت عدم وجود خودجیره‌بندی را تعیین می‌کند، مقدار بهینه این نوع تقاضا برابر با $q^*$ است. مصرف‌کننده تا جایی تقاضا می‌نماید که تمایل به پرداخت برای آخرین واحد ظرفیت برق برابر با قیمت آن باشد. $q^*$ بعنوان تابع تقاضای دلخواه تلقی می‌شود که برابر با $q^* = (p,t,\theta)$ است. در ظرفیت فیوز A، قیمت p و مصرف‌کننده نوع $\theta$ حالتی از دمای طبیعی $\hat{t}$ وجود دارد که تقاضای دلخواه برابر با ظرفیت فیوز است.

[1]. Expost

$$q^*\left(p,\hat{t},\theta\right)=A \qquad (۳)$$

بنابراین برای $t\le\hat{t}$ (دمای کمتر از $\hat{t}$) مصرف بوسیلهٔ تقاضای دلخواه $q^*\left(p,\hat{t},\theta\right)$ تعیین می‌شود و برای $t>\hat{t}$ (دمای بیشتر از $t^{\wedge}$) مصرف برابر با A (ظرفیت خریداری شده) است. مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده با استفاده از رابطه زیر معین می‌شود.

$$ES=\int_{t_L}^{\hat{t}}\left[\int_0^{q^*}Pdq-pq^*\right]f(t)dt+\int_{\hat{t}}^{t^H}\left[\int_0^{A}Pdq-pq^*\right]f(t)dt-KA \qquad (۴)$$

در رابطه بالا انتگرال اول متوسط مازاد در دمایی که جیره‌بندی مؤثر نیست $(q^*\le A)$ را نشان می‌دهد. در حالی که انتگرال دوم متوسط مازاد را در حالتی که θ امین مصرف‌کننده دارای محدودیت مقدار ظرفیت خریداری شده برای آینده(به اعتبار آینده)[1] است، را نشان می‌دهد.K قیمت هر واحد ظرفیت (فیوز) بوده و فرآیند استخراج قیمت بهینه به‌صورت زیر است:

فرض می‌شود یک برنامه ریزی متمرکز وجود دارد که هدفش حداکثر کردن مجموع (کل) مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده و تولیدکننده است و بهای هر کیلو وات ساعت انرژی تولیدی برابر با b و برای مصرف هر واحد ظرفیت نیاز به هزینه B می‌باشد. در این حالت تصمیم برنامه ریز را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$MaxEW=\int_{\hat{\theta}}^{\theta_H}\left[ES^*(P,k,\theta)+E\pi(P,k,\theta)\right]g(\theta)d \qquad p\ge 0,k\ge 0 \qquad (۵)$$

[1]. Exante

که در این معادله ES مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده و $E\pi$ سود مورد انتظار تولیدکننده (به عنوان مازاد مورد انتظار تولیدکننده)، $\hat{\theta}$ مصرف‌کننده‌ای که تقاضایش برای اشتراک ظرفیت برابر با صفر است(حد پایین مشارکت مصرف‌کننده) و $\theta_H$ مصرف‌کننده پر مصرف است، با مشتق گیری از تابع رفاه نسبت به P و K و اعمال شرایط کان تاکر قیمت بهینه برق مورد استفاده (انرژی) و قیمت اشتراک در حالت خود جیره‌بندی$P = b , K = B$ بدست می‌آید. اگر خود جیره‌بندی براساس حداکثر تمایل به پرداخت مصرف‌کننده صورت گیرد، ضمن اینکه کم هزینه ترین روش اجرا است، بهینه ترین انتخاب ظرفیت صورت می‌گیرد. بنابراین مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده بعلاوه مازاد مورد انتظار تولیدکننده تحت شرایط خود جیره‌بندی ($K_Z = B , K = K_Z P=b$) دقیقاً برابر با شرایط براون وجانسون(B-J)[1] است. این شرایط همان شرایط قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی و حداکثر کننده کارایی و رفاه اجتماعی می‌باشد. بهرحال طبقات وسیعی از ترجیحات مصرف‌کننده وجود دارد که تحت این ترجیحات شرایط رفاه بهینه کلی حاصل می‌شود؛ اما این شرایط هنگامی بوجود می‌آید که تابع تمایل نهایی به پرداخت نسبت به q و θ جدایی‌پذیر ضعیف باشد.

$$P(q,\theta,t) = T\left[h(q,\theta),t\right] \qquad (۶)$$

مهمترین نتیجه رابطه (۶) این است که مصرف‌کنندگان باید شبیه به هم باشند به‌صورتی که اگر دما تغییر کند ترجیحاتشان تحت تأثیر قرار گیرد.

از مزیتهای این مدل نسبت به مدلهای قبلی(قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی) به این موارد می‌توان اشاره کرد: اشکال اصلی وارده بر مدل B-J در حالت بهینه این است که زیانی به اندازه هزینه ظرفیت برای بهره بردار سیستم[2] وجود دارد. که این زیان باید توسط بخش عمومی تأمین شود، در صورتیکه در مدل P-S زیان برابر صفر است؛ چرا که هزینه‌های

[1]. Brown and Johnson (B-J)
[2]. System Operator.

بهره برداری از طریق فروش q واحد محصول تأمین می‌شود و درآمدهای ناشی از فروش ظرفیت، هزینه‌های آن را پوشش می‌دهد.

در سال ۱۹۸۷ «شوارتز و تیلور»[1] در پژوهش خویش به گسترش ابعاد مدل خود جیره‌بندی پرداختند. براساس این پژوهش، تقاضای شخص مصرف‌کننده در دوره پرداخت، نوسان می‌کند، در حالیکه در مدل «پنزار و سیبلی»[2] (P-S) تقاضای برق به‌صورت یکنواخت در نظر گرفته شده بود. در این مدل سعی می‌شود زمان نیز در نظر گرفته شود، بنابراین تصمیم‌گیری مصرف‌کننده در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول تعیین انرژی مصرفی بدون در نظر گرفتن هزینه خرید ظرفیت و در مرحله دوم مصرف‌کننده با ظرفیت، به‌عنوان یک کالای عمومی ناخالص رفتار می‌کند. فیوز (ظرفیت) از این حیث یک کالای عمومی ناخالص است که استفاده از آن در یک لحظه نمی‌تواند دسترسی آن را در سایر لحظات در دوره پرداخت کاهش دهد. بنابراین تمایل به پرداخت برای فیوز جمع عمودی تمایل به پرداخت اضافی برای دو تقاضای انرژی است. در این مقاله نیز از روش P-S استفاده می‌شود و در نهایت به مازاد رفاه مورد انتظار مصرف‌کننده و تولیدکننده (سود مورد انتظار)، و در نتیجه تابع رفاه اجتماعی می‌رسد و با مشتق گیری از این تابع نسبت به P و K مقادیر بهینه برای انرژی و فیوز (ظرفیت) بدست می‌آید. نتیجه نهایی آنکه تنوع در تقاضا و تقاضای غیریکنواخت منجر به خرید ظرفیت بیشتر توسط مصرف‌کننده می‌شود در حالیکه تنوع در تقاضا و تقاضای غیریکنواخت در سیستم منجر به این می‌شود که ظرفیت بهینه از مجموع ظرفیت فیوز اشخاص کمتر شود.

## دوره کاربرد مدل خود جیره‌بندی

در سال ۱۹۹۰ «وو»[3] در مقاله ای با عنوان کارآیی قیمت گذاری برق در حالت خود جیره‌بندی ضمن بررسی روشهای مختلف اقتصادی مدیریت بار، مزایای روش خود جیره‌بندی را نسبت به سایر روشها برشمرد و نظریات مطرح شده در زمینه خود جیره‌بندی را با هدف

1. Schwarz and Taylor, (1987).
2. Panzar and Sibley (P-S)
3. Woo, (1990).

کاربرد مطرح نمود. وی با استفاده از مدلهای پنزار و سیبلی (P-S) و شوارتز و تیلور (S-T)[1] به گسترش مدل خویش می‌پردازد. در این مدل $q_n$ به عنوان تقاضای برق از قبل تعیین شده مصرف‌کننده (به‌صورت نامحدود) تعریف می‌شود. استراتژی کنترل بار بوسیلهٔ بهره‌بردار سیستم برق به ترتیب زیر صورت می‌گیرد: در دمای $t_n > \hat{t}_n$ در سیستم مازاد تقاضا وجود دارد ( $\hat{t}_n$ آستانه دمایی است که فرد با ظرفیت خریداری شده اش آن را تعیین می‌کند) و از طریق فعال کردن فیوز، مصرف‌کننده بوسیلهٔ خطوط تلفن یا سیگنالهای رادیویی، تقاضای بیشتر از ظرفیت خریداری شده مصرف‌کننده قطع می‌شود و مصرف برق به حداقل $[q_n, A]$ کاهش می‌یابد. در صورتیکه $t_n \leq \hat{t}_n$ باشد مصرف‌کننده $q_n$ را مصرف می‌کند که ممکن است اشتراک ظرفیتش بیشتر از $q_n$ باشد. احتمال قطع (یا کاهش) بار به عنوان معیار قابلیت اطمینان[2] در سیستم در زمان $n$ برابر است با :

$$1 - F(\hat{t}_n) = \int_{\hat{t}_n}^{t_H} dF(t_n) \qquad (۷)$$

که در آن $F(t_n)$ تابع توزیع تجمعی دما ($t_n$) است (از $t_L$ تا $t_H$) و می‌تواند به‌صورت دمای پایین و بالا باشد.

$$LOLE = \int_0^N [1 - F(\hat{t}_n)]dn \qquad (۸)$$

رابطهٔ بالا دوره مورد انتظار قطع برق (LOLE)[3] در سیستم را اندازه گیری می‌کند، در برنامه خود جیره‌بندی قابلیت اطمینان کامل (LOLE = 0) برای اشتراک A و قابلیت اطمینان غیرکامل (LOLE> 0) برای تقاضای بیشتر از A است*(Woo,1990)* ، با فرض عدم شناخت تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان و اعمال این قید که ظرفیت ایجاد شده Q

[1]. Schwarz and Taylor (S-T)
[2]. Reliability
[3]. Lost of Load Expectation (LOLE)

نباید کمتر از بار مؤثر سیستمی باشد که توسط کل اشتراک سیستم S (مجموع A، اشتراک خریداری شده توسط مصرف‌کنندگان) اندازه گیری می‌شود. قانونگذار با انتخاب (P,K,Q) تابع رفاه اجتماعی به اعتبار آینده، زیر را حداکثر می‌کند:

$$L = \int_{\hat{\theta}}^{\theta H} ESdG + E\pi \quad \int_0^N \int_{\hat{t}_n}^{t_H} a_{tn}\left(Q \quad s\right) dfdn \qquad (۹)$$

در این رابطه ES مازاد مورد انتظار مصرف‌کننده، Eπ مازاد مورد انتظار بهره‌بردار سیستم، $a_{tn}$ ضریب لاگرانژ (برای اعمال قید ظرفیت ایجاد شده Q که نباید کمتر از بار مؤثر سیستم باشد)، Q ظرفیت ایجاد شده، S کل اشتراک سیستم، G تابع توزیع تجمعی نوع مصرف‌کننده (پرمصرف و کم مصرف) و F تابع توزیع تجمعی دما است. با بکارگیری شرایط کان تاکر و ساده سازی، جوابهای درونی زیر بدست می‌آید:

$$p = b \; ; \; K = B \quad \int_0^N \int_{\hat{t}_n}^{t_H} a_{tn} dF dn \; ; \; , \; Q \quad S \qquad (۱۰)$$

شرایط بهینه بدست آمده برای این مدل، شرایط مدل P-S را تأیید می‌کند که قیمت گذاری بر مبنای هزینه نهایی حداکثر کننده رفاه می‌باشد. برای دستیابی به برنامه ریزی ظرفیت بهینه، تولیدکننده باید سطح ظرفیت Q را ایجاد کند تا تأمین کننده تقاضا برای اشتراک سیستم S باشد (این امر با یافته های مدل S-T در تضاد است). معیار بدست آمده یک معیار عمومی برنامه‌ریزی اقتصادی قابلیت اطمینان در صنعت برق است.

$$B = \int_0^N \int_{\hat{t}_n}^{t_H} a_{tn} dF dn = a \, LoLE \qquad (۱۱)$$

هنگامی که $a_{tn} = a$ (یعنی a ثابت است) باشد در حالت ماکزیمم رفاه اجتماعی یک واحد هزینه اضافی توسعه ظرفیت (هزینه نهایی توسعه ظرفیت) باید برابر با متوسط ارزش سایه ای ظرفیت (یا هزینه متوسط قطع برق سیستم) a ضرب در دوره مورد انتظار قطع برق LOLE باشد.

در این روش یک بازار ظرفیت[1] از طریق برنامه خود جیره‌بندی ایجاد می‌شود که تمایل به پرداخت مصرف‌کننده برای خدمات برق را منعکس می‌کند. از طریق بکارگیری استراتژی کنترل بار، بهره‌بردار سیستم، وقتی فیوز را فعال می‌کند که کمبود ظرفیت رخ دهد. اگر کمبود ظرفیت رخ ندهد با وجود اینکه مصرف‌کننده به حد ظرفیتش نیز رسیده باشد قطع برق رخ نمی دهد و این مشکل قطع نابهنگام برق (هنگامی که در سیستم ظرفیت خالی وجود دارد) را برطرف می‌کند.

در سال ۱۹۹۳ «دوست و رولند»[2] در پژوهش خویش با برشمردن دو نوع ناکارایی در مدل خود جیره‌بندی سعی در اصلاح این مدل کردند. دو نوع ناکارایی عبارتند از: ۱. تمایل نهایی به پرداخت؛ که معمولاً در بین افراد در زمان مصرف متفاوت است، در حالیکه در مدلهای قبلی یکسان در نظر گرفته شده است. ۲. بعضی از مصرف‌کنندگان باید مصرفشان را به دلیل میزان ظرفیت خریداری شده آنها، محدود نمایند با وجود اینکه کل تقاضای سیستم کمتر از ظرفیت موجود است و ظرفیت بلااستفاده در سیستم وجود دارد.

در مدل وو، ناکارایی در مدل P-S از طریق کنترل بار و رفع مشکل قطع نابهنگام برق با وجود ظرفیت اضافی برطرف شد، اما این حالت وقتی درست است و باعث کاهش ناکارآیی می‌شود که تمام مصرف‌کنندگان به حد بالای ظرفیت اشتراکشان در دمای یکسانی برسند. خطای وو ناشی از این بود که $q_n$ را به عنوان تقاضای مؤثر بکار برده است، تقاضای مؤثر آن مقدار برقی است که مصرف‌کننده با در نظر گرفتن اشتراک بهینه ظرفیت خود A، تقاضا می‌کند که در مقاله دوست و رولند تقاضای مؤثر به صورت زیر نشان داده می‌شود:

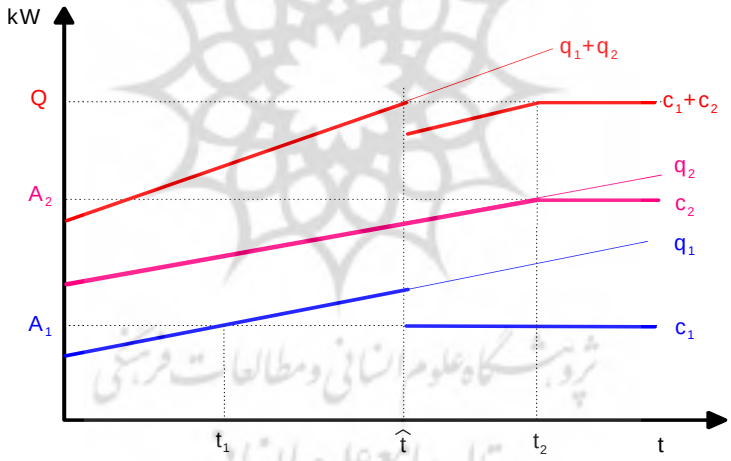
---

1. Capacity Market
2. Doucet and Roland, (1993).

$$C\left(A\left(p,k,\theta\right),p,t_n,n,\theta\right)$$

$$C\left(A,p,t_n,n,\theta\right)=\begin{cases}A & if\ qn\left(p,t_n,n,\theta\right)>A and\ t_n>\hat{t}_n\\ qn\left(p,t_n,n,\theta\right) & \text{در غیر این‌صورت}\end{cases} \quad (۱۲)$$

مقدار بهینه اشتراک ظرفیت( انتخاب شده بوسیلهٔ مصرف‌کننده) برابر است با $A(P,K,\theta)$ و C تقاضای مؤثر را نشان می‌دهد. اگر دما بیشتر از $\hat{t}_n$ (دمای فعال شدن فیوز) باشد[۱]، چون تقاضای مؤثر بیشتر از میزان ظرفیت موجود است، برق قطع می‌گردد و مصرف‌کننده نمی تواند بیش از A مصرف نماید، و تنها در شرایطی به غیر از شرایط مطرح شده در بالا به اندازه $q_n$ مصرف می‌نماید.




**نمودار شماره ۱. ناکارایی موجود در سیستم خود جیره‌بندی**

در نمودار شماره (۱) رفتار مصرفی دو مصرف‌کننده برق نشان داده شده است در دمای $\hat{t}$ که کل تقاضای سیستم $q_1 + q_2 = Q$ است، مصرف‌کننده اول مصرف خودش $q_1$

[۱]. دمایی که مصرف‌کننده در آن دما به حد بالای ظرفیت اشتراکش می‌رسد.

را در دمای $\hat{t}$ به خاطر فعال شدن فیوز کاهش می‌دهد و بر روی منحنی $C_1$ قرار می‌گیرد، در حالیکه مصرف‌کننده دوم تا رسیدن دما به $t_2$، نیاز به کاهش مصرف، به دلیل عدم محدودیت فیوز ندارد؛ در حالیکه در دمای $\hat{t}$، برق برای مصرف‌کننده دوم نیز قطع می‌گردد(چون در یک دما، فیوز برای دو مصرف‌کننده فعال می‌شود) و یک بخشی از ظرفیت در فاصله دمای $\hat{t}$ تا $t_2$ بلا استفاده خواهد ماند.

این ناکارآیی که در شکل نشان داده شده است (بر روی منحنی $C_2$ در فاصله $\hat{t}$ تا $t_2$) به عنوان «جبران بار پیش از اندازه»[1] موسوم است. وو این را در نظر نگرفته است و ریشهٔ آن باز می‌گردد به اینکه افراد نیازی به تجربه خود جیره‌بندی در یک دما را ندارند.

بنابراین کنترل مرکزی فیوز همیشه نمی تواند مانع از جبران بار بیش از اندازه شود؛ چون مصرف‌کنندگان در دمای یکسانی به حداکثر ظرفیتشان نمی‌رسند. پس هنگامی که فیوز در یک دما فعال می‌شود؛ بدلیل اینکه مصرف‌کنندگان در دمای متفاوت به حد بالای ظرفیت می‌رسند، بخشی از ظرفیت بیکار می‌ماند و این در حالی است که بعضی از مصرف‌کنندگان تمایل به خرید این ظرفیت را در قیمت لحظه ای بازار دارند. به یقین این ظرفیت را بر طبق یک عامل از پیش تعیین شده مثلاً بر طبق نسبت تفاوت میان تقاضای مورد تمایل و محدودیت فیوز می‌توان بین مصرف‌کنندگان پخش کرد.

«لی»[2] در سال ۱۹۹۳ مدل خود جیره‌بندی را با معرفی «فناوری جریمه»[3] و تعیین قوانین سرمایه‌گذاری گسترش داد. در این مدل رفتار مصرف‌کننده مبتنی بر مدل P-S، S-T و رفتار تولیدکننده نیز دارای تابع هزینه از نوع مدل P-S است، تولیدکننده، برق را با هزینه نهایی بهره برداری b و هزینه نهایی توسعه ظرفیت B تولید می‌کند. ولی در حالتی که مصرف‌کننده تقاضای مصرف بیشتر از ظرفیت خریداری شده‌اش را داشته باشد می‌تواند تقاضای اضافی را از تولیدکننده سوم با هزینه V (هزینه نهایی فناوری جریمه)[4] برای هر KWh خریداری کند و فرض می‌شود دو فناوری ثابت نسبی و جریمه‌ای، گزینه‌های

1. Too Much Load Relief
2. Lee, (1993).
3. Penalty Technology
4. Marginal Penalty Technology Cost

اقتصادی هستند، $b < V$ ؛ یعنی هزینه نهایی بهره برداری در سیستم خود جیره‌بندی کمتر از هزینه نهایی فناوری جریمه ای است و$bT + B < VT$ کل هزینه فناوری ثابت نسبی در سیستم خود جیره‌بندی، کمتر از کل هزینه فناوری جریمه است. به عبارت دیگر فناوری ثابت نسبی از لحاظ اقتصادی، فناوری اکیداً قالب است. هزینه عرضه مورد انتظار با ظرفیت $Z$ به صورت زیر معین می‌شود:

(۱۳)

$$\sum_{t=1}^{T}\left( EC_t\left(Z, X_t\right) = \sum_{t=1}^{T} E_\theta\left\{b\min\left[Z, X_t\right] + V \;\; X_t \quad Z^{+}\right\}\left[\; BZ\right)\right. \qquad ] \qquad -$$

$Z$ = ظرفیت نصب شده سیستم، $V$ = هزینه نهایی فناوری جریمه‌ای

$$\text{تقاضای سیستم در زمان } t = X_t\left(p, K, \theta_t\right) = \int_{l'}^{1} X_t^{*} \;\; p, k, \theta_t, L \quad G\left(L \qquad\qquad\right) \qquad \lambda \quad ($$

$$[X_t - Z]^{+} = Max[0, X_t - Z] = \begin{cases} 0 & for \;\; X_t < Z \\ X_t - Z & for \;\; X_t > Z \end{cases} \qquad (۱۴)$$

عبارت داخل کروشه در رابطه (۱۳) در رابطه بالا مجموع هزینه های بهره‌برداری و هزینه مورد انتظار بکارگیری فناوری جریمه ای در زمان $t$ را نشان می‌دهد. عنصر اوّل کروشه، هزینه بهره‌برداری فناوری ثابت نسبی است، به این صورت که کمترین مقدار بین $X$ و $Z$ تعیین‌کنندهٔ این هزینه می‌باشد. عنصر دوم کروشه در حالتی معنی دار است که تقاضای سیستم در زمان $t$ بزرگتر از ظرفیت فناوری ثابت نسبی $X > Z$ باشد؛ بر طبق رابطه (۱۴) -که تقاضای بیش از ظرفیت ثابت نسبی را نشان می‌دهد- اگر $X \le Z$ باشد هزینه مورد انتظار بکارگیری فناوری جریمه‌ای برابر با صفر است. با جایگذاری توابع سود مورد انتظار و مازاد مورد انتظار و ساده‌سازی روابط تابع رفاه مورد انتظار به‌صورت زیر بدست می‌آید:

$$E_\theta W = E_\theta \pi + E_\theta CS^* \quad Max \qquad (۱۵)$$

با مشتق‌گیری از تابع رفاه اجتماعی نسبت به متغیر ظرفیت و ساده‌سازی روابط ظرفیت بهینه بدست می‌آید:

$$B = (V - b)\sum_{t=1}^{T}\left(1 \quad F_t\left(\hat{\theta}_t\right)\right) \qquad (۱۶)$$

که در رابطه بالا B هزینه نهایی بلندمدت توسعه ظرفیت است. طرف راست رابطه بالا تفاوت بین هزینه نهایی مورد انتظار بکارگیری فناوری جریمه ای و بهره برداری، هنگامی که تقاضای اضافی در سیستم رخ می‌دهد[۱]، می‌باشد. این رابطه را می‌توان به عنوان هزینه کوتاه مدت مورد انتظار قطع برق در تمام دوره تفسیر کرد. در حالت ظرفیت بهینه، هزینه نهایی کوتاه مدت مورد انتظار قطع برق $SRMC^S$ باید برابر با هزینه نهایی بلند مدت توسعه ظرفیت $LRMC^C$ باشد. به دیگر سخن، در حالت جدی، منافع و هزینه ایجاد یک واحد ظرفیت جدید باید با هم برابر باشند.

$$LRMC^C > SRMC^S \quad If \quad , SRMC^S = LRMC^C \qquad (۱۷)$$

اگر هزینه نهایی کوتاه مدت مورد انتظار قطع برق بزرگتر از هزینه نهایی بلند مدت توسعه ظرفیت باشد، تولیدکننده (بخش عمومی) علاقمند به افزایش ظرفیت است؛ زیرا می‌تواند تقاضا را با هزینه کل کمتری تأمین کند.

$$If \quad SRMC^S < LRMC^C \qquad (۱۸)$$

[۱]. عرضه برق در سیستم، کمتر از تقاضا بوده و در حالت عدم وجود فناوری جریمه‌ای در سیستم بهره‌بردار، مجبور است برق را جیره‌بندی نماید

اگر هزینه نهایی کوتاه مدت مورد انتظار قطع برق کوچکتر از هزینه نهایی بلندمدت توسعه ظرفیت باشد، تولیدکننده علاقمند به کاهش ظرفیت است؛ زیرا کاهش ظرفیت باعث کاهش هزینه می‌شود. بنابراین در نقطه بهینه حداکثر کردن رفاه، تولیدکننده عمومی نیز باید با انتخاب این نقطه باعث حداقل کردن هزینه مورد انتظار عرضه شود .در این نقطه از لحاظ ریاضی $SRMC^S$ و $LRMC^C$ با یکدیگر برابر هستند.

«برنارد و رولند»[1] در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای برنامه خود جیره‌بندی را در کنار خدمات دولتی برای مصرف‌کننده معرفی کردند و مصرف‌کننده از بین این دو خدمات یکی را انتخاب می‌کند. در بحث خود جیره‌بندی نیز با معرفی ضریب بار و هزینه مبادله این مدل را از بعد کاربرد گسترش دادند. مدل ریاضی تدوین شده توسط این دو به‌صورت زیر است:

یک نیروگاه وجود دارد که برق را با هزینه زیر تولید می‌کند:

$$C(y,k) = by + Bk \qquad (۱۹)$$

که در این رابطه :

b = هزینه بهره برداری برای هر واحد تولید انرژی

B = هزینه توسعه ظرفیت برای هر واحد ظرفیت، y = تولید، k = ظرفیت

Q = متغیر بار تصادفی که مقدارش در دامنه $[Q_L , Q_H]$ قرار می‌گیرد.

$\overline{Q}$ = مقدار بار مورد انتظار، که براساس $\overline{Q}$ مقدار هزینه مورد انتظار بدست می‌آید.

$$EC(Q,QH) = E\ \ bQ + BQH\ \ \left(b\overline{Q}\ \ BQH\ \ = C\left(\overline{Q}\right),QH\right) + \qquad (۲۰) \qquad =$$

هزینه مورد انتظار تأمین بار تصادفی باعث کاهش هزینه ارائه بار مورد انتظار می‌شود به این دلیل بار مورد انتظار را به عنوان معیار بلندمدت تولید نیروگاه در نظر می‌گیرند. هزینه متوسط با استفاده از رابطه زیر مشخص می‌شود:

[1]. Bernard and Roland, (2000).

$$\frac{C\left(\bar{Q};QH\right)}{\bar{Q}} = b + B\frac{QH}{\bar{Q}} \qquad (۲۱)$$

اگر تغییرات در توزیع سطوح بار در نظر گرفته شود هزینه نهایی بلندمدت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{dc}{d\bar{Q}} = b + B\frac{dQH}{d\bar{Q}} \qquad (۲۲)$$

همانطور که ملاحظه می‌کنید متوسط هزینه تولید به معکوس ضریب بار بستگی دارد، افزایش ضریب بار اغلب هدف اصلی برنامه های مدیریت بار[۱] است.

تقاضای مصرف‌کنندگان برای برق در هر دمایی متفاوت است و مصرف‌کنندگان براساس تقاضایشان با متغیر $\theta$ شاخص‌بندی شده‌اند.

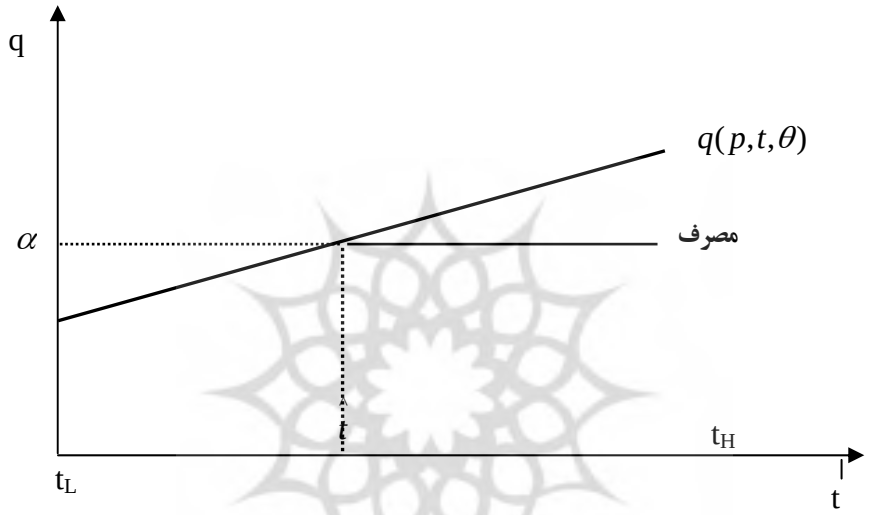
$$q_p(p,t,\theta) < 0, q_t(p,t,\theta) > 0, q_\theta(p,t,\theta) > 0 : \forall(p,t,\theta) \qquad (۲۳)$$

رابطه ۲۳ ارتباط بین تقاضا و عوامل مؤثر بر آن را نشان می‌دهد،با معکوس کردن $q(.,t,\theta)$ نسبت به p تابع تمایل نهایی به پرداخت بدست می‌آید. در حالت خود جیره‌بندی هر مصرف‌کننده ای در سطح معینی از ظرفیت قبل از اینکه به‌صورت طبیعی مصرفش معلوم شود، مشترک می‌شود.

در نمودار (۲) مصرف‌کننده از دمای $t_L$ تا دمای $\hat{t}$ با افزایش دما، مصرف برق خود را افزایش می‌دهد و در دمای $\hat{t}$ مصرف به سطح ظرفیت خریداری شده مصرف‌کننده $a$ می‌رسد. در فاصله دمای $\hat{t}$ تا دمای $t_H$ مصرف‌کننده قادر به مصرف بر روی

[۱]. لازم به ذکر است ضریب بار عبارت است از نسبت بار متوسط به بار پیک (اوج) در یک دوره زمانی مشخص (Stoft,2002). همانطور که ملاحظه می‌کنید با افزایش ضریب بار هزینه متوسط کاهش می‌یابد.

منحنی $q(p,t,\theta)$ نیست و او می‌تواند تنها بر روی خط افقی به اندازه ظرفیت خریداری شده $a$ مصرف نماید، سطح ظرفیت $a$ که بوسیله مصرف‌کننده انتخاب شده است «اشتراک ظرفیت» نامیده می‌شود، قیمت هر واحد اشتراک برابر با k است و بهای هر واحد انرژی مصرفی برابر با p است.




**شکل ۲. مسیر مصرف نسبت به تغییرات دما**

$$q(p,\hat{t},\theta) = a = \text{سطح ظرفیت خریداری شده} \qquad (۲۴)$$

در زیر این آستانه ( $a$ ) مصرف‌کننده هر مقدار که تمایل داشته باشد در قیمت p می‌خرد و در بالای این آستانه، مصرف در سطح $a$ محدود شده است. مشارکت در این برنامه با هزینه مبادله ثابتی همراه است که با $\delta$ نشان داده می‌شود، یک مصرف‌کننده، سطحی از ظرفیت را انتخاب می‌کند که تمایل به پرداخت مورد انتظار (خالص از هزینه استفاده) مصرف کنند که منافع مورد انتظار یک واحد اضافی از اشتراک ظرفیت برق را نشان می‌دهد، برابر با

هزینه این واحد باشد. مصرف‌کننده با توجه به موارد بالا سعی در حداکثر کردن مازادش را دارد. ضریب بار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L\ (p,k,\theta) = \frac{\int_{t_l}^{\hat{t}} q(r,t,\theta)dG + [1-G(\hat{t})]a}{a}, G(\hat{t}) \quad t \in [t_L, t_H] \qquad (۲۵)$$

رابطه بالا ضریب بار مصرف‌کننده نوع $\theta$ را نشان می‌دهد که در این رابطه صورت کسر بار متوسط و مخرج کسر بار پیک را برای مصرف‌کننده نشان می‌دهد. در روش خود جیره‌بندی، مصرف‌کننده توانایی مصرف بیشتر از سطح اشتراک ظرفیت خود را ندارد که در حقیقت بار پیک مصرف‌کننده همان سطح اشتراک ظرفیتش نیز است که برابر با $a$ بوده و $G(\hat{t})$ تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی دما است. هدف برنامه های مدیریت بار افزایش ضریب بار است. در حالت خود جیره‌بندی، مصرف‌کننده برای هر دمای زیر $\hat{t}$ با قیمت پایین‌تری نسبت به حالت خدمات دولتی مواجه است[۱]، بنابراین دلالت بر ضریب بار بالاتر برای دمای زیر $\hat{t}$ را دارد. در حالتی که دما بالای $\hat{t}$ باشد مصرف در حالت پیک قرار دارد و دلالت بر ضریب بار یک در بین دمای $\hat{t}$ تا $t_H$ دارد.. در این مقاله نیز مانند روشهای پیشین از مازاد مصرف‌کننده و تولیدکننده برای تشکیل تابع رفاه اجتماعی و در نتیجه استخراج مقادیر بهینه استفاده می‌شود.

## جمع بندی و نتیجه‌گیری

بطور کلی ادبیات بررسی شده در مدل خود جیره‌بندی را می‌توان به دو دوره تقسیم کرد: دوره اول، دورهٔ ارائه مدل خود جیره‌بندی و توسعه آن است؛ در حالیکه دورهٔ دوم، دوره کاربردی کردن مدل خود جیره‌بندی می‌باشد. دوره اول که از سال ۱۹۷۸ و با نظریات پنزار و

[۱]. در این مقاله فرض می‌شود که قیمت انرژی در حالت خود جیره‌بندی کمتر از حالت خدمات دولتی است و از طریق انگیزش قیمتی سعی می‌کند مصرف‌کننده را تشویق به شرکت در برنامه های خود جیره‌بندی نماید.

سیبلی شروع شده و سپس روش خود جیره‌بندی نیز معرفی شد. شوارتز و تیلور با در نظر گرفتن تنوع خرید توسط مصرف‌کننده، تصمیم گیری مصرف برق را به دو مرحله تقسیم کردند: مرحله اول، تعیین انرژی مصرفی و مرحله دوم، تصمیم به استفاده از فیوز به عنوان یک کالای عمومی است.

کاربردی نمودن مدل از سال ۱۹۹۰ با کار وو آغاز گردید، وی سعی نمود با معرفی روش کنترل بار و معیار دوره مورد انتظار قطع برق، این مدل را به مرحله کاربرد و اجرا نزدیک سازد. دوکت و رولند با معرفی معیار جبران بار بیش از اندازه در سیستم ناکارایی مدلهای قبلی را برطرف کردند. لی در سال ۱۹۹۳ ضمن معرفی هزینه نهایی کوتاه مدت قطع برق، معیاری برای سرمایه گذاری و توسعه ظرفیت بلندمدت ارائه نمود و در نهایت، برنارد و رولند در سال ۲۰۰۰ با معرفی ضریب بار، هدف اصلی برنامه های مدیریت بار را نیز از بعد فنی با این مدل گره زدند و کاربرد این مدل را گسترش دادند.

در طی سالهای اخیر به دلیل روند فزایندهٔ بکارگیری انرژی الکتریکی در کشور و بخصوص افزایش آن در صنایع دارای مصرف برق بالا، تقاضا برای این نوع انرژی در کشور افزایش یافته است. یکی از راههای پاسخگویی به این تقاضا و جلوگیری از خاموشیهای سیستم برق کشور افزایش ظرفیتهای تولید انرژی الکتریکی از طریق سرمایه گذاری جدید است که دارای هزینه مالی بالا (اعم از هزینه های ارزی و ریالی) است و هزینه های کلانی را به جامعه تحمیل می‌کند. راه حل این موضوع چیست؟ ضمن تأمین تقاضا و اجتناب از هزینه‌های سرمایه گذاری برای ایجاد ظرفیت جدید تولید انرژی الکتریکی، می‌توان با استفاده از کاراترین روش، این معضل را حل کرد. بدیهی است راه حل اساسی، اعمال مدیریت بار برای رسیدن به یک الگوی بهینه مصرف انرژی است، در این روش سعی می‌شود با مدیریت، بار تقاضا را از دورهٔ پیک به دورهٔ پایه، منتقل نمود تا دیگر نیاز به ایجاد ظرفیت جدید در سیستم نباشد. روش خود جیره‌بندی به عنوان یکی از روشهای اقتصادی مدیریت بار سعی می‌کند با هموار کردن الگوی مصرف و در نتیجه افزایش ضریب بار مصرف‌کننده از طریق ایجاد انگیزه قیمتی، باعث دستیابی به الگوی بهینه مصرف برق شود. از این مدل می‌توان در قیمت‌گذاری ظرفیت برق در صنایع نیز استفاده نمود. کاربرد اصلی این روش در صنایع پرمصرف مانند

سیمان، فولاد،آلومنیوم، و مس می‌باشد و از طریق ایجاد بازار ظرفیت به عنوان زیرمجموعه‌ای از بازار برق؛ می‌توان ضمن مدیریت بار صنایع پرمصرف، مانع از هزینه‌های سرمایه‌گذاری ایجاد ظرفیت جدید شد و با جلوگیری از خاموشی در سیستم، با رعایت اصل کارآیی اقتصادی، امکان دستیابی به توسعه پایدار را فراهم کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## پی‌نوشتها:

۱. شریفی، علیمراد. «بررسی اقتصادی مدیریت بار در بخش صنعت استان اصفهان». ***طرح تحقیقاتی شرکت برق منطقه‌ای اصفهان***، (۱۳۸۲).

۲. پژویان، جمشید و محمدی، تیمور. «قیمت‌گذاری بهینه رمزی برای صنعت برق ایران». ***فصلنامه پژوهش اقتصادی***، سال دوم، شماره ۶ ، دانشگاه علامه طباطبایی، (۱۳۷۹).


3. Andersson, R. & Bohman, M. "Short And Long-Run Marginal Cost. Pricing. on Their Alleged Equivalence"., ***Energy Economics***, Vol. 7, Issue 4, (1985).

4. Bernard, J. & Roland, M. "Load Management Programs, Cross-Subsidies and Transaction Costs: The Case of Self-Rationing"., ***Resource and Energy Economics***, Vol. 22, (2000).

5. Brown, G. & Johnson, B. "Public Utility Pricing and Output under Risk"., ***The American Economic Review***, Vol. 59, (1969).

6. Brown, S. J. & Sibley, D. S. ***The Theory of Public Utility Pricing***. Cambridge University Press., 1986.

7. Doucet, J. & Roland, M. "Efficient Self-Rationing of Electricity Revisited"., ***Journal of Regulatory Economics***, Vol.5, (1993).

8. Lee, S. "Welfare-Optimal Pricing and Capacity Selection under an Ex Ante Maximum Demand Charge"., ***Journal of Regulatory Economics***, Vol. 5, (1993).

9. Panzer, J. & Sibley, D. "Public Utility Pricing and Output under Risk the Case of Self-Rationing"., ***The American Economic Review***, Vol. 68, (1978).

10. Schwarz, P. & Taylor, T. "Public Utility Pricing And Output under Risk the Case of Self-Rationing: Comment and Extension"., ***The American Economic Review***, Vol. 77, (1987).

11. Stoft, S. ***Power System Economic Designing Markets for Electricity***. Publication By: IEEE., 2002.

12. Turvey, R. & Anderson, D. ***Electricity Economics: Essays and Case Studies***. Baltimore, London: The John Hopkins Press., 1977.

13. Woo, C. "Efficient Electricity Pricing with Self-Rationing"., ***Journal of Regulatory Economics***,Vol.2, (1990).