

۱- مقدمه

در این فصل برنامه‌ریزی احتمالاتی مشارکت بارهای خانگی با هدف کلی کاهش مصرف برق در ساعات بحرانی اجرا می‌شود. لازم به ذکر است منظور از کاهش مصرف برق عدم استفاده از بارهای خانگی نمی‌باشد؛ بلکه تغییر میزان مصرف انرژی الکتریکی توسط مصرف‌کنندگان از مقدار عادی الگوی مصرفشان در ساعات بحرانی به الگوهای بهینه‌ی مصرف می‌باشد.

الگوهای بهینه‌ی مصرف با کمینه‌سازی تابع هدف و هزینه‌های پرداختی مشتری تعیین می‌گردد. در این فصل بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب انجام می‌شود.

شرکت‌کنندگان در برنامه‌ریزی از الگوی بهینه‌ی روشن و خاموش بارهای پاسخگو، شارژ و دشارژ خودروهای برقی مطلع می‌شوند. لازم به ذکر است که برنامه‌ریزی در روز قبل و براساس قیمت‌های پیش‌بینی شده در قیمت‌گذاری زمان واقعی انجام می‌گردد، در نتیجه شرکت‌کنندگان با آگاهی از الگوهای بهینه‌ی مصرف و اطلاعات نمایشگرهای داخل خانه (IHD) تصمیم‌گیری می‌کنند و مشارکت فعال‌تری در برنامه‌های پاسخگویی بار خواهند داشت.

برنامه‌ریزی احتمالاتی مشارکت بارهای خانگی یا به بیان دیگر سامانه‌ی مدیریت هوشمند همزمان لوازم خانگی و خودروهای برقی در چهار مرحله اجرا می‌شود:

مرحله‌ی اول:

۱. تعیین تابع هدف و بارهای شرکت‌کننده در برنامه‌ریزی
۲. تعریف مسئله و تعیین مشخصات بارها
۳. تعیین تعرفه‌ی برق (با توجه به قیمت‌گذاری زمان واقعی باید قیمت‌های پیش‌بینی و زمان واقعی تعیین گردد).

مرحله دوم:

۱. مدل‌سازی تقاضای انرژی و اجرای الگوریتم‌های محاسبه‌ی منحنی تقاضای ممکن بارها

- $PDCA_n$
- $PDCEV_K, PDCPHEV_K$

مرحله سوم:

۱. تعیین الگوریتم مناسب بهینه‌سازی

- الگوریتم ژنتیک

مرحله چهارم:

۱. تحلیل نتایج شبیه‌سازی بر اساس هزینه‌های پرداختی مشتری

- هزینه‌های پرداختی جهت شارژ خودرو
- هزینه‌های دریافتی از دشارژ خودرو
- هزینه‌های پرداختی جهت عملکرد لوازم خانگی
- هزینه‌های کلی پرداختی مشتری
- درصد کاهش هزینه‌ها
- معرفی شاخصی جهت محاسبه‌ی اختلاف هزینه پرداختی در زمان واقعی و

پیش‌بینی

۲- تابع هدف

تابع هدف مورد مطالعه (مسئله‌ی بهینه‌سازی) در رابطه (۱) بیان شده است.

$$F = \sum_{i=1}^{24} \left[\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N VUA_n(i) PDCA_n(\alpha_n, i) + \sum_{k=1}^K VUV_K(i) PDCV_K(\beta_K, i) \\ & - EP(i) \left(\sum_{n=1}^N PDCA_n(\alpha_n, i) + \sum_{k=1}^K PDCV_K(\beta_K, i) \right) \end{aligned} \right] \quad (1)$$

که متغیرهای آن شامل:

i : بازه زمانی ($i = 1, 2, 4, \dots, 24$)

n : شمارنده لوازم خانگی ($n = 1, 2, 3, \dots, N$)

K : شمارنده خودرو ($k = 1, 2, 3, \dots, K$)

$PDCA_n$: منحنی تقاضای ممکن لوازم خانگی شامل ۲۴ سطر و R_n ستون

α_n : شمارنده وضعیت روشن و خاموش لوازم خانگی

R_n : تعداد وضعیت روشن و خاموش لوازم خانگی

$PDCV_k$: منحنی تقاضای خودرو شامل ۲۴ سطر و F_x ستون

V_k : نوع خودرو

برای خودروی EV، از $PDCEV_k$ و خودروی PHEV از $PDCPHEV_k$ در فرمول استفاده می‌شود.

F_k : تعداد سناریوهای شارژ و دشارژ خودرو

β_k : شمارنده سناریوهای شارژ و دشارژ خودرو

α_n, β_k : اعداد صحیح بین بازه $[1, R_n]$ و $[1, F_k]$

$VUA_n(i)$ و $VUPHEV_k(i)$: قیمت‌های واقعی برق در زمان i

$EP(i)$: پیش‌بینی قیمت برق در زمان i

ورودی‌های تابع هدف عبارت‌اند از:

$PDCA_n(\alpha_n, i)$ •

- $PDCPHEV_k(\beta_k, i)$
- $VUA_n(i)$
- $VUV_k(i)$
- $EP(i)$
- R_n
- F_k

خروجی های تابع هدف عبارت اند از:

- α_n الگوی بهینه عملکرد لوازم خانگی
- β_k الگوی بهینه شارژ و دشارژ خودروی برقی

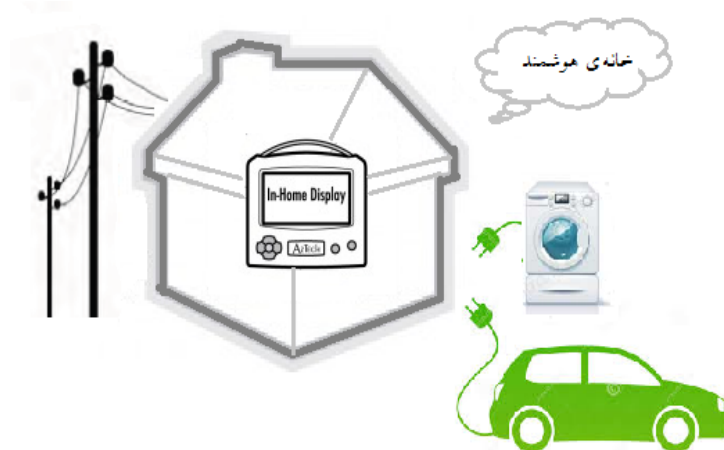
اگر در خانه ی مسکونی مورد نظر از توربین بادی و صفحات فتوولتائیک (خورشیدی) استفاده شود تابع هدف به صورت فرمول (۲) بیان می شود.

$$F = \sum_{i=1}^{i=24} \left[\begin{array}{l} \sum_{n=1}^{n=N} VUA_n(i) PDCA_n(\alpha_n, i) + \sum_{k=1}^{k=K} VUV_k(i) PDCV_k(\beta_k, i) \\ - EP(i) (\sum_{n=1}^{n=N} PDCA_n(\alpha_n, i) + \sum_{k=1}^{k=K} PDCV_k(\beta_k, i)) \\ + EP(i)(WP(i) + PVP(i)) \end{array} \right] \quad (2)$$

$WP(i)$ و $PVP(i)$: توان تولیدی توسط توربین بادی و صفحات فتوولتائیک در ساعت i

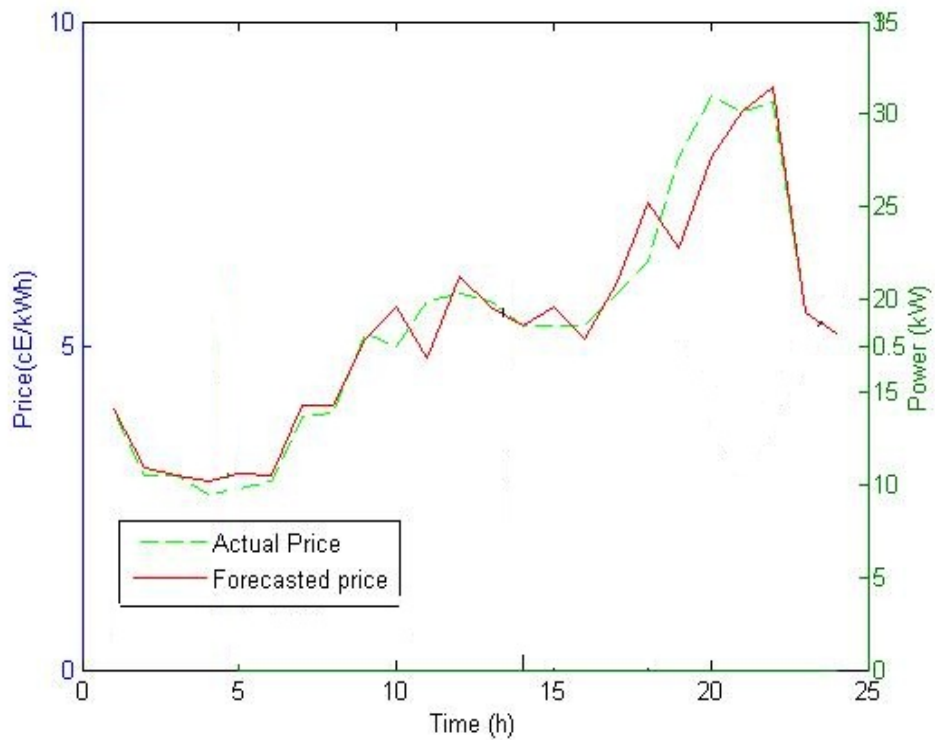
۳- تعریف مسئله

خانه ی هوشمند مورد مطالعه در شکل (۱) مشاهده می شود. بارهای شرکت کننده در برنامه-ریزی، ماشین لباسشویی و خودروهای برقی می باشند.



شکل (۱) - خانه‌ی هوشمند.

تعرفه‌ی برق در این مقاله بر اساس قیمت‌گذاری زمان واقعی (RTP) می‌باشد. تعرفه‌های استفاده شده برای این نوع قیمت‌دهی مربوط به بازار برق اسپانیا در سال ۲۰۱۲ برای یک روز تابستانی می‌باشد که در شکل (۲) آمده است [۱۰]. در این نوع قیمت‌دهی پیش‌بینی قیمت اهمیت بسزایی دارد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود اختلاف بین قیمت واقعی و قیمت پیش‌بینی بسیار کم می‌باشد.



شکل (۲) - قیمت‌های پیش‌بینی و زمان واقعی [۱۰].

۴- مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی

هدف از بهینه‌سازی^۱، تعیین یک دسته از پارامترها به گونه‌ای که یک معیار بهینه‌سازی، با در نظر گرفتن شروطی، برآورده شود. بهینه‌سازی، به هر دو عبارت کمینه‌سازی^۲ و بیشینه‌سازی^۳ اشاره دارد.

یک مسئله بهینه‌سازی که در آن هدف کمینه‌کردن تابع f است، درحقیقت f -را بیشینه می‌کند. بنابراین عبارت بهینه‌سازی، کمینه‌سازی و بیشینه‌سازی به جای هم نیز به کار می‌روند.

عیب الگوریتم‌های قدیمی در میزان سرعت همگرایی و مهمتر از آن پیدا نکردن اکسترمم سراسری است. از سوی دیگر الگوریتم‌های کارا و پرقدرتی همچون بهینه‌سازی طبیعی پا به عرصه‌ی ظهور نهادند.

تعدادی از این الگوریتم‌ها عبارتند از: الگوریتم ژنتیک^۴، بهینه‌سازی گروه ذرات^۵، الگوریتم رقابت استعماری^۶، الگوریتم تکامل تفاضلی^۷، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^۸.

۴-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، از پراستفاده‌ترین و شناخته‌شده‌ترین الگوریتم‌های تکاملی هستند. اجزای زیرساختی فرایند تکاملی شامل تجدید نسل، جهش، رقابت و انتخاب می‌باشند.

-
- 1- Optimization
 - 2- Minimization
 - 3- Maximization
 - 4- Genetic Algorithm-GA
 - 5- Particle Swarm Optimization- PSO
 - 6- Imperia lit Competitive Algorithm-ICA
 - 7-Deffertsial Evolution Algorithm
 - 8- Ant Cologne Optimization-ACO

اصول بنیادین الگوریتم ژنتیک طبیعی و فرضیه سیر تکاملی از جمعیتی نشأت گرفته که شامل رشته‌های عددی و عموماً دودویی می‌باشند. این رشته‌های عددی که بیانگر پارامترهای سیستم می‌باشند، در راستای بیشینه (یا کمینه) نمودن یک تابع تعیین می‌شوند.

این تابع که قابلیت توصیف سیستم توسط آن رشته عددی را بیان می‌دارد تابع سازگاری^۱، تابع ارزش^۲ و یا تابع هزینه^۳ خوانده می‌شود. الگوریتم ژنتیک، یک روش جستجوی مطلق می‌می‌باشد و تفاوت عدیده‌ای با روش‌های کلاسیک جستجوی محلی دارد. برای سادگی کار، برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک را به صورت چند تابع بیان می‌کنند.

در نهایت به منظور اجرای الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی این مقاله موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. انتخاب جمعیت اولیه

جمعیت اولیه به طور تصادفی، بردار صحیح منحصر به فردی است که از بردارهای زیر انتخاب می‌گردد:

$$|\alpha_1|, |\alpha_2|, \dots, |\alpha_n|, \dots, |\alpha_N| \quad n = 1, 2, \dots, N$$

$$|\beta_1|, |\beta_2|, \dots, |\beta_k|, \dots, |\beta_K| \quad k = 1, 2, \dots, K$$

این بردارها در واقع ستون‌های ماتریس منحنی تقاضای ممکن لوازم خانگی و خودروی هیبریدی قابل اتصال به شبکه می‌باشند.

$$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_N \quad \alpha_N \in [1, R_n]$$

$$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k, \dots, \beta_K \quad \beta_K \in [1, F_k]$$

۱. تعداد مشخص از افراد^۴

-
- 1- Fitness Function
 - 2- Value Function
 - 3- Cost Function
 - 4- Number Of Individuals The Population(P0)

$$P_0 = 1000$$

۲. تعیین تابع هدف،

برای هر جمعیت منحصر به فرد تابع هدف در معادله‌ی (۱) ارزیابی می‌شود.

۳. تعداد نسل^۱

$$G_0 = 30$$

۴. نرخ عبور^۲

$$C_0 = 95\%$$

۵. نرخ جهش^۳

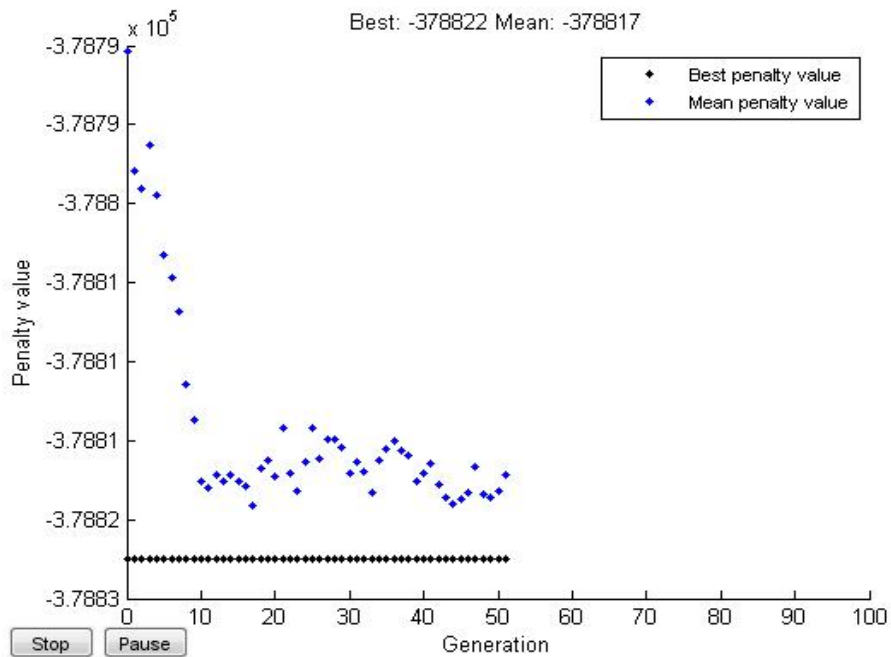
$$M_0 = 1\%$$

نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

- مدل اول: ماشین لباسشویی و خودروی الکتریکی هیبریدی قابل اتصال به شبکه با در نظر گرفتن کنتور ۵ کیلووات (عدم همزمانی شارژ خودرو و عملکرد لوازم خانگی)

ارزیابی اجرای برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک در شکل (۳) نشان داده شده است.

1- Number Of Generation
2- Crossing Rate
3- Mutation Rate



شکل (۳) - نتایج اجرای برنامه ژنتیک.

جواب‌های مسئله^۱ بهینه‌سازی عبارت است از:

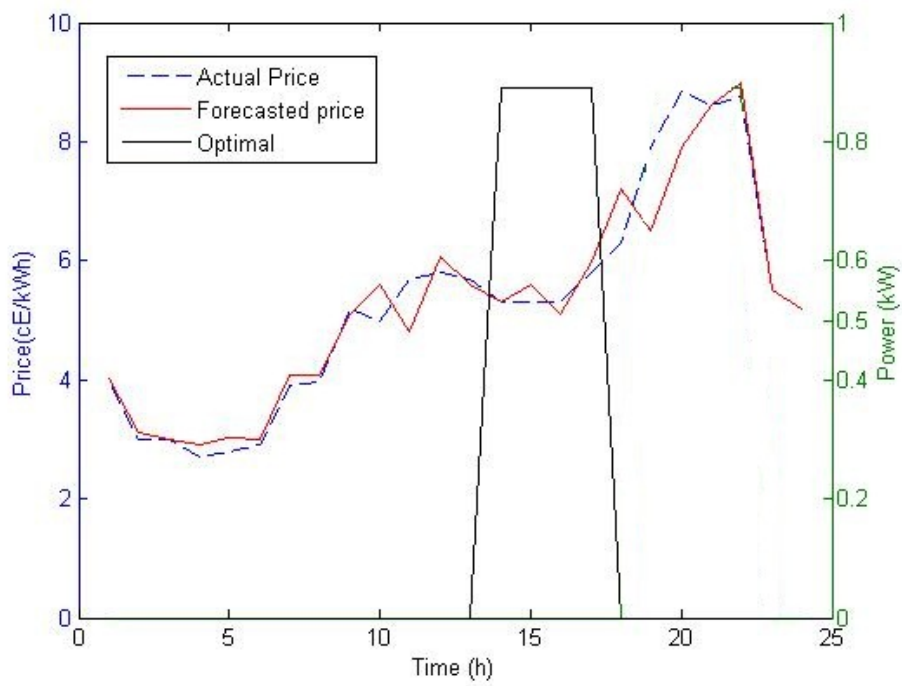
Final Results genetic Search : [13 6]

- $PDCA_1(\alpha_1, i) = 13$

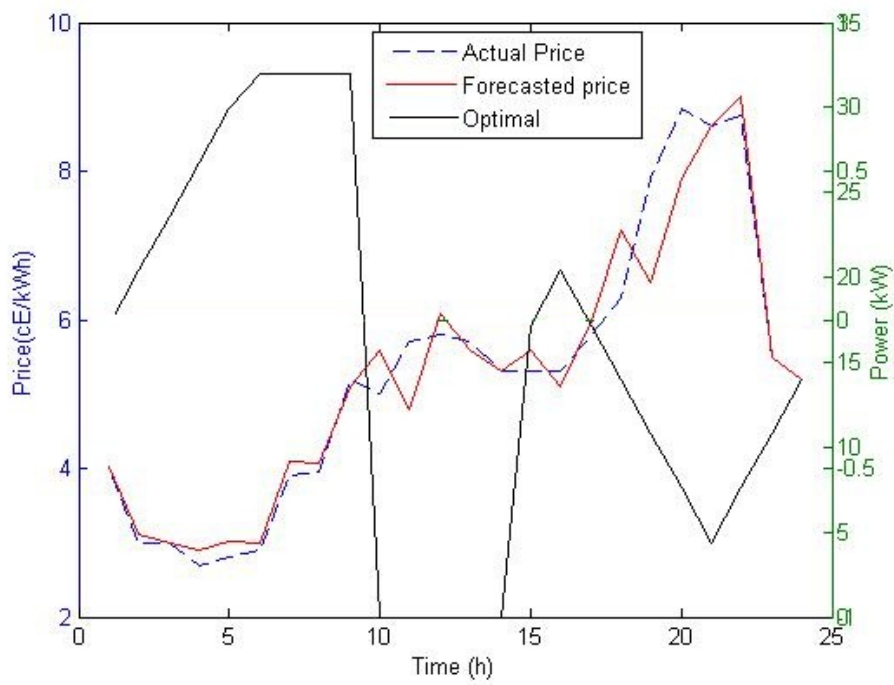
ستون ۱۳ از ماتریس منحنی تقاضای ممکن ماشین لباسشویی که در شکل (۴) نشان داده شده است.

- $PDCPHEV_1(\beta_1, i) = 6$

ستون ۶ از ماتریس منحنی تقاضای خودروی PHEV که در شکل (۵) مشاهده می‌گردد.



شکل (۴) - وضعیت بهینه‌ی ماشین لباسشویی.



شکل (۵) - الگوی بهینه‌ی خودرو.

✓ به منظور بررسی هزینه‌های شارژ و دشارژ انواع خودروهای برقی، مدل شارژ خودروی الکتریکی و عملکرد ماشین لباسشویی در نظر گرفته می‌شود.

• مدل ماشین لباسشویی و خودروی الکتریکی

جواب‌های مسئله‌ی^۱ بهینه‌سازی عبارت است از:

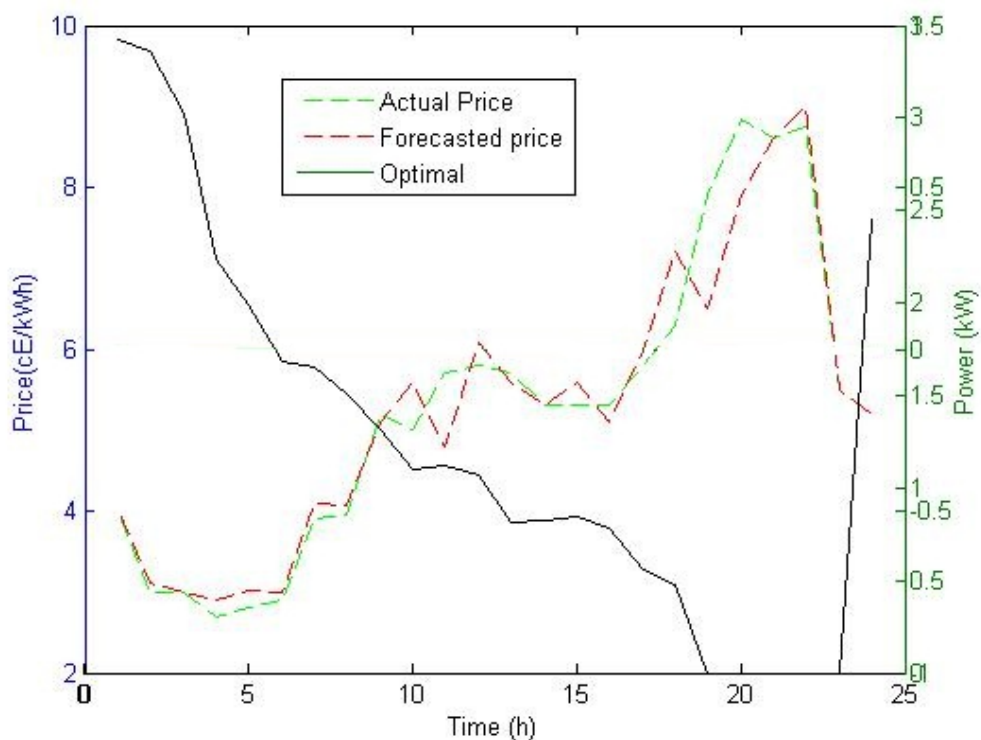
Final Results genetic Search : [13 12]

• $PDCA_1(\alpha_1, i) = 13$

ستون ۱۳ از ماتریس منحنی تقاضای ممکن ماشین لباسشویی که در شکل (۴) نشان داده شده است (همانند شکل مدل اول).

• $PDCPHEV_1(\beta_1, i) = 12$

ستون ۱۲ از ماتریس منحنی تقاضای خودروی الکتریکی است که در شکل (۶) مشاهده می‌گردد.



شکل (۶) - الگوی بهینه شارژ خودروی الکتریکی.

در الگوی بهینه شارژ خودروی الکتریکی هزینه‌ی پرداختی مشتری بر اساس قیمت‌های پیش‌بینی ۱۰۹ یورو می‌باشد. اگر مالک خودرو به طور معمول در ساعت ۸ صبح از پارکینگ خارج شود و در ساعت ۱۳ به پارکینگ بازگردد هزینه‌ی پرداختی ۱۴۵ یورو می‌گردد، با تغییر الگوی مصرف از الگوی معمول به الگوی بهینه حدود ۲۴٪ قبض برق ماهیانه کاهش می‌یابد.

۸- جمع‌بندی

پس از اجرای برنامه، محاسبه‌ی هزینه‌های پرداختی و درصد کاهش هزینه‌ها در روز قبل برنامه‌ریزی، مشاهده می‌شود که قیمت‌گذاری زمان واقعی سبب کاهش انرژی مصرفی و هزینه‌ها می‌گردد که بیانگر اثر مثبت این قیمت‌گذاری بر برنامه‌ریزی احتمالاتی مشارکت بارهای خانگی می‌باشد.

از سوی دیگر با مقایسه‌ی هزینه‌های پرداختی شارژ و دشارژ خودروها در الگوهای بهینه، هزینه‌ی شارژ خودروی الکتریکی هیبریدی قابل اتصال به شبکه حدود ۷۵/۸۸٪ کمتر از خودروی الکتریکی می‌باشد.