

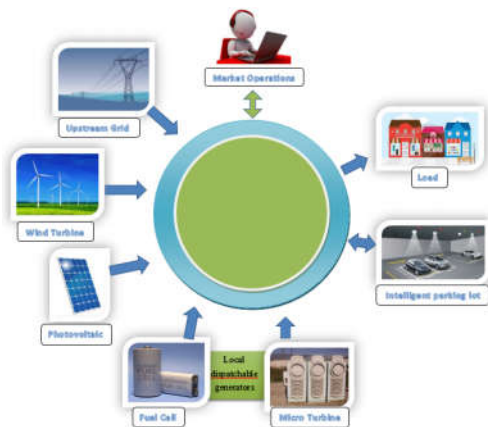
## برنامه‌ریزی بهینه پارکینگ خودروهای برقی در ریزشبه هوشمند انرژی

مهران قهرمانی<sup>۱</sup>، رضا اسلامی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی سهند - تبریز، mehran.ghahramanii@gmail.com  
<sup>۲</sup> استادیار، دانشگاه صنعتی سهند - تبریز، eslami@sut.ac.ir

### چکیده

توزیع و تغییر در سیاست‌های زیست محیطی، صنعت برق جهان دستخوش تغییرات بسیار و به نوعی دچار تجدید ساختار شده است. لذا راه‌حل جدید، استفاده از شبکه‌های مستقل، کوچکتر از شبکه اصلی می‌باشد که به این نوع شبکه‌ها ریزشبه گفته می‌شود. ریزشبه‌ها مجموعه‌ای از بارها، منابع تولید و ذخیره انرژی شامل دیزل ژنراتورها، پیل سوختی، میکروتوربین‌ها، پنل خورشیدی، توربین‌های بادی و منابع ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری می‌باشند. در حالت کلی توپولوژی یک ریزشبه به شرح زیر است.



شکل ۱: ریزشبه مورد مطالعه

برنامه‌های پاسخگویی بار اگر چه موضوع جدیدی نیست اما با توجه به حرکت شبکه‌های سنتی به سمت ریزشبه‌ها مخصوصاً در سطح توزیع، موقعیت استفاده از پتانسیل این برنامه‌ها و شرکت مشترکین در تأمین بخشی از بار مورد نیاز شبکه بیش از پیش فراهم شده است [۱].

حضور انواع مختلف منابع انرژی و تولیدات پراکنده در کنار خودروهای برقی و بارهای پراکنده، سبب ایجاد پیچیدگی و چالش‌هایی از قبیل از قبیل از بین رفتن تعادل توان شبکه، کاهش قابلیت اطمینان و افزایش هزینه عملکرد ریزشبه در برنامه‌ریزی روز-بعد ریزشبه‌ها می‌شود. عملکرد مداوم، با ثبات و درست این شبکه‌ها در حضور منابع تولیدی تجدیدپذیر و برنامه‌های پاسخگویی بار نیازمند یک برنامه‌ریزی بهینه می‌باشد.

امروزه تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های ناشی از منابع سوخت-های فسیلی، دولت‌ها را بر آن داشته است تا بیش از پیش به سمت استفاده از منابع تولید پراکنده، انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی در ریزشبه‌های انرژی الکتریکی حرکت کنند. حضور این منابع پراکنده می‌تواند سبب ایجاد مشکلات و چالش‌هایی برای بهره‌برداران شبکه‌ها و ریزشبه‌های انرژی الکتریکی شود. با توجه به اهمیت این موضوع، در این مقاله یک برنامه‌ریزی کوتاه مدت برای بهینه‌سازی مصرف انرژی برق با هدف کاهش و ثبات تامین انرژی برق در یک ریزشبه هوشمند انرژی الکتریکی پیشنهاد شده است. مدل ارائه شده در این مقاله کلیه قیود فنی و تکنیکی ریزشبه شامل پارکینگ خودروهای برقی، منابع تجدیدپذیر (توربین بادی، سیستم فتولتائیک)، منابع تولید محلی (میکروتوربین و فیوسل) و برنامه‌های پاسخگویی بار را به طور کامل مدلسازی کرده است. در این مقاله، پارکینگ خودروهای برقی هم به عنوان بار و مصرف‌کننده برق و هم به عنوان منبع تولید انرژی در شبکه ایفای نقش می‌کند که این نقش سبب کاهش هزینه‌های مربوط به پارکینگ خودروهای برقی خواهد شد. همچنین برنامه‌ریزی ارائه شده میزان بهینه تبادل با شبکه‌ی بالادست، مقدار تولید هر کدام از واحدهای تولید پراکنده و نحوه مشارکت در برنامه‌های پاسخگویی بار، برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ پارکینگ خودروهای برقی و همچنین تاثیر حضور برنامه‌های پاسخگویی بار را بر عملکرد ریزشبه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های باد و خورشید از رزرو چرخان استفاده شده تا تغییرات این منابع عملکرد ریزشبه مورد مطالعه را به خطر نیندازد.

### واژه‌های کلیدی

برنامه پاسخگویی بار، خودروی برقی، پارکینگ هوشمند، منابع تولید محلی.

### مقدمه

یکی از مسائل مهم دنیا، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در جهت کاهش مصرف انرژی برق می‌باشد. در دهه‌های اخیر به لطف حضور و تولید انرژی توسط منابع تجدیدپذیر در سطح

در زمینه مدیریت انرژی پارکینگ های هوشمند جهت شارژ و دشارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ مطالعاتی توسط محققان انجام گرفته است. بطور مثال در [۲] با توجه به اینکه پارکینگها رابط مبادله توان بین شبکه و خودروی برقی می باشند به جای مفاهیم انرژی خودرو به شبکه و انرژی شبکه به خودرو، استفاده از واژه های انرژی خودرو به پارکینگ و انرژی پارکینگ به خودرو پیشنهاد داده شده است و بر اساس داده های آماری و مقررات عمومی در مورد شارژ خودروهای برقی، یک روش تصادفی جهت تخمین تاثیر روزانه خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند بر روی شبکه ارائه شده است. مسئله شارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ با استفاده از روش تئوری بازی ها در [۳] برنامه ریزی و حل شده است. در [۴] دو مطالعه برای تعیین استراتژی بهینه شارژ با هم مقایسه شده اند که یکی مربوط به پارکینگ خودروهای برقی که در کنار مراکز تجاری می باشد و در روز فعالیت می کند و دیگری پارکینگ خودروهای برقی که در کنار مراکز مسکونی می باشد و در شب فعالیت می کند ارائه شده است. یک سیستم برنامه ریزی دشارژ برای خودروهای برقی متمرکز در پارکینگها با استفاده از یک الگوی پارک و حرکت واقعی خودروهای برقی با تمرکز بر روی پارکینگ های شخصی در [۵] ارائه شده است. در [۶] رفتار بهینه خودروهای برقی در بازار انرژی و رزرو با در نظر گرفتن برنامه پاسخ گویی بار و رضایت صاحب خودرو ارائه شده است. یک روش مبتنی بر احتمالات که براساس روش تخمین نقطه، جهت تعیین محل مناسب قرارگیری پارکینگ های خودروی برقی در شبکه توزیع و تعیین ظرفیت بهینه که با در نظر گرفتن پارامترهای عدم قطعیت الگوهای راندگی خودروهای برقی می باشد در [۷] ارائه شده است. در [۸] یک هماهنگی تقاضای هوشمند آنلاین بین خودروهای برقی در سیستم های توزیع مبتنی بر روش تخصیص امتیازات به خودروهای برقی از طریق یک سیستم فازی ارائه شده است. یک مدل ریاضی برای تخمین دشارژ ظرفیت توان در پارکینگ هوشمند با سایه بان سیستم فتوولتاییک که مبتنی بر مدل عرضه/تقاضای خودروهای برقی می باشد در [۹] ارائه شده است. در [۱۰] باتری خودروهای برقی در پارکینگ هوشمند به عنوان منبع ذخیره انرژی در سیستم های چندمنظوره در نظر گرفته شده است. جایابی بهینه پارکینگ های هوشمند در سیستم های توزیع با هدف کاهش هزینه ها، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان شبکه در [۱۱] صورت گرفته شده است. تنظیمات پارکینگها، طراحی شارژرها، شارژ رایگان، قوانین و مقررات در قطع خودروهای برقی و دیگر قوانین که از انتشارات علمی و مشاهدات تجربی بدست آمده در

راستای افزایش فروش میزان شارژ باتری خودروهای برقی از طریق بهبود در دسترس بودن شارژر در [۱۲] مورد بررسی قرار گرفته شده است. در [۱۳] یک مدل مدیریت منابع انرژی ریزشکبه با در نظر گرفتن برخی قیود مربوط به منابع تولید انرژی موجود در ریزشکبه و برخی قیود مربوط به خودروی برقی و صاحبان خودروی برقی ارائه شده است. یک مدل برنامه ریزی و مدیریت هوشمند برای تعداد زیادی از خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند شهری با در نظر گرفتن برخی قیود مربوط به باتری خودروهای برقی و ظرفیت باتری خودروهای برقی در [۱۴] ارائه شده است. یک رویکرد چند هدفه جهت تعیین اندازه و مکان بهینه پارکینگ هوشمند که نقش منبع انرژی را نیز در ریزشکبه بازی می کند با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم توزیع و کاهش تلفات در [۱۵] ارائه شده است. در [۱۶] یک الگوریتم چند هدفه جهت تعیین تعداد، مکان و اندازه بهینه پارکینگ های هوشمند در سیستم توزیع و تعیین میزان توان تولیدی توسط هر یک از منابع تولید انرژی موجود در سیستم توزیع، ارائه شده است.

#### فرمولاسیون مسئله

در این بخش یک فرمولاسیون ریاضی کامل از برنامه ریزی قطعی روز-بعد ریزشکبه مورد مطالعه شامل تابع هدف و قیود مسئله ارائه شده است.

#### تابع هدف

برنامه ریزی انرژی و رزرو مورد نیاز ریزشکبه ها توسط اپراتور مستقل و با هدف کمینه کردن هزینه های عملکرد ریزشکبه در طول بازه ی زمانی ۲۴ ساعته صورت می گیرد. این برنامه ریزی به این صورت می باشد که میزان ساعتی خرید از شبکه بالادست، نحوه مشارکت ساعتی واحدها به گونه ای تعیین می شود که هزینه عملکرد کوتاه مدت ریزشکبه مورد مطالعه در طول بازه ۲۴ ساعت پیش رو کمینه مقدار ممکن باشد.

$OBJ =$

$$\sum_{t=1}^T \left[ \left( P_{UG}^t \times \pi_{UG}^t + \sum_{j=1}^G \left( C_{LDG}^{j,t} + SC_{LDG}^{j,t} + \left( SR_{LDG}^{j,t} \times \psi_{LDG}^{j,t} \right) \right) + \sum_{i=1}^N \left( -W_{Ch}^{i,t} \times P_{Ch,EV}^{i,t} \times \pi_{Ch,EV}^i + W_{Dch}^{i,t} \times P_{Dch,EV}^{i,t} \times \pi_{Dch,EV}^i + SRS^{i,t} \times SR_{EV}^{i,t} \times \psi_{EV}^{i,t} \right) \right) \times \Delta t \right] \quad (1)$$

در ادامه در مورد این هزینه ها و قیود مربوط به این هزینه ها بحث خواهد شد.

$$P_W^{k,t} = \begin{cases} 0 & V^t < V_c^k \text{ or } V^t \geq V_F^k \\ \frac{V^t - V_c^k}{V_R^k - V_c^k} \times P_R^k & V_c^k \leq V^t < V_R^k \\ P_R^k & V_R^k \leq V^t < V_F^k \end{cases} \quad (13)$$

#### مدلسازی برنامه پاسخگویی بار

برنامه پاسخگویی بار استفاده شده در این مقاله از نوع برنامه پاسخگویی بار زمان استفاده (TOU) می باشد. لازم به ذکر است که برنامه پاسخگویی بار زمان استفاده فقط قادر به شیفت ۲۰ درصد از بار می باشد. معادل ریاضی جملات ذکر شده در معادلات (۱۴) و (۱۵) ارائه شده است.

$$Load(t) = (1 - DR(t)) \times load^0(t) + ldr(t) \quad (14)$$

$$load^0(t) - load(t) = DR(t) \times load^0(t) - ldr(t) \quad (15)$$

قیود فنی مربوط به برنامه پاسخگویی بار در معادلات (۱۶) تا (۱۹) بیان شده است.

$$\sum_{t=1}^T ldr(t) = \sum_{t=1}^T DR(t) \cdot load^0(t) \quad (16)$$

$$load^{inc}(t) \leq inc(t) \cdot load^0(t) \quad (17)$$

$$DR(t) \leq DR \max \quad (18)$$

$$inc(t) \leq inc \max \quad (19)$$

#### سیستم فتوولتائیک

مدل پیشنهادی بر اساس معادلات ریاضی حاکم بر سیستم فتوولتائیک و با در نظر گرفتن اثرات تابش خورشید و تغییرات دما بر سیستم فتوولتائیک به شرح زیر ارائه شده است.

$$P_{PV}^{j,t} = \eta^p \times s^p \times G^t \times (1 - 0.005 \times (T_a - 25)) \quad (20)$$

#### پارکینگ خودروهای برقی

خودروهای برقی پارکینگ هوشمند انرژی جهت شارژ و دشارژ شدن و شرکت در مبادله توان با پارکینگ هوشمند باید قیود فنی خود را رعایت کنند که در ادامه شرح داده می شود [۲۰].

الف) قیود مربوط به شارژ و دشارژ

$$P_{Ch,EV}^{i,t} \leq P_{Ch,max} \times W_{ch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (21)$$

$$P_{Dch,EV}^{i,t} + SR_{EV}^{i,t} \leq P_{Dch,max} \times W_{Dch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (22)$$

ب) قیود مربوط به عدم هم زمانی شارژ/دشارژ

$$W_{ch}^{i,t} + W_{Dch}^{i,t} \leq 1 \times M^{i,t} \quad (23)$$

پ) قیود مربوط به تعداد سوئیچینگ بین حالات شارژ/دشارژ

$$\sum_{t=?}^? W_{ch}^{i,t} + W_{Dch}^{i,t} \leq N_{max} \quad (24)$$

ت) قیود مربوط به رزرو چرخان خودروی برقی

$$SR_{ev}^{i,t} \leq 0.2 \times P_{Dch,max} \times SRS^{i,t} \times M^{i,t} \quad (25)$$

$$SR_{ev}^{i,t} \leq 0.2 \times P_{Dch,max} \times W_{Dch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (26)$$

#### قیود شبکه بالادستی

به منظور اطمینان از عملکرد ایمن و صحیح شبکه بالادستی توان مبادله شده بین شبکه بالادستی و ریزشبه باید در محدوده معینی قرار داشته باشد [۱۷].

$$|P_{UG}^t| \leq P_{UG}^{max} \quad (2)$$

#### قیود تعادل توان اکتیو

عملکرد قابل اطمینان ریزشبهها نیازمند تعادل مداوم بین توان تزریق شده توسط کلیه منابع و بار مورد تقاضا می باشد [۴۵].

$$\left( P_{UG}^t + \sum_{k=1}^K P_W^{k,t} + \sum_{p=1}^P P_{PV}^{p,t} + \sum_{j=1}^G P_{LDG}^{j,t} + \sum_{i=1}^N P_{Dch,EV}^{i,t} \right) = load^t + \sum_{i=1}^N P_{Ch,EV}^{i,t} \quad (3)$$

#### قیود واحدهای تولید پراکنده

در این قسمت قیود فنی مربوط به عملکرد واحدهای تولید پراکنده آورده شده است [۱۸].

$$C_{LDG}^{j,t} = a^j \times U^{j,t} + b^j \times P_{LDG}^{j,t} \quad (4)$$

$$SC_{LDG}^{j,t} \geq (U^{j,t} - U^{j,t-1}) \times UDC^j \quad (5)$$

$$SC_{LDG}^{j,t} \geq 0 \quad (6)$$

قیود فنی مربوط به منابع تولید محلی در معادلات (۷) تا (۱۲) ذکر شده است.

$$P_{LDG}^{j,t} + SR_{LDG}^{j,t} \leq P_{LDG,max}^j \times U^{j,t} \quad (7)$$

$$P_{LDG}^{j,t} \geq P_{LDG,min}^j \times U^{j,t} \quad (8)$$

با توجه به اینکه توان تولیدی توسط منابع تولید محلی دارای حداقل و حداکثری مقداری می باشد که این توان تولیدی در معادلات (۷) تا (۸) بین این دو مقدار محدود شده است.

$$U^{j,t} - U^{j,t-1} \leq U^{j,t} + TU^{j,n} \quad (9)$$

$$U^{j,t-1} - U^{j,t} \leq 1 - U^{j,t} + TD^{j,n} \quad (10)$$

معادلات (۹) و (۱۰)، به ترتیب نرخ شیب افزایشی و کاهش توان تولیدی منابع محلی را برای دوساعت متوالی نشان می دهد.

$$P_{LDG}^{j,t} - P_{LDG}^{j,t-1} \leq RU^j \times U^{j,t} \quad (11)$$

$$P_{LDG}^{j,t-1} - P_{LDG}^{j,t} \leq RD^j \times U^{j,t-1} \quad (12)$$

قیود (۱۱) و (۱۲)، به ترتیب محدودیت های حداقل زمان روشن و خاموش بودن را نشان می دهد.

#### مدلسازی توربین بادی

معادله (۱۳) میزان توان تولیدی توسط توربین بادی را بسته به سرعت های مختلف باد محاسبه می کند [۱۹].

جدول ۱: پارامترهای مربوط به توربین بادی و سیستم فتوولتاییک

سیستم فتوولتاییک		توربین بادی	
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$\eta$	۱۵.۷	$P_R$	۵۰۰
$S$	۱۵۰۰۰	$V_C$	۳
$T_a$	۲۵	$V_R$	۱۲
		$V_F$	۳۰
$\omega_{Pv}$	۲۰	$\omega_W$	۲۰

جدول ۲: پارامترهای مربوط به منابع تولید محلی

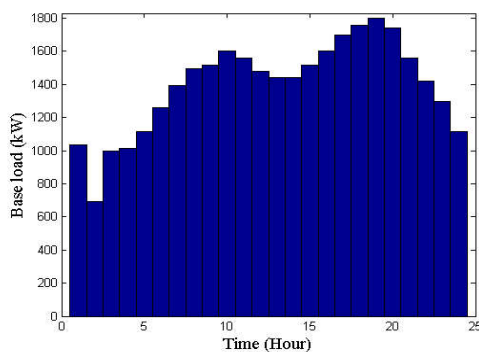
نوع منبع	$a$	$b$	$P^{\min}$	$P^{\max}$	$MUT$
	\$	\$/KW	KW	KW	h
میکروتوربین ۱	۰.۰۲	۰.۱۵	۱۵۰	۷۰۰	۳
میکروتوربین ۲	۰.۰۴	۰.۲۵	۱۰۰	۴۵۰	۲
فیوسل ۳	۰.۰۹	۰.۴۵	۵۰	۳۰۰	۱

نوع منبع	$MDT$	$t_{on} / t_{off}$	$UDC$	$RU$	$RD$
	h	h	\$		
میکروتوربین ۱	۳	۴	۰.۱	۳۵۰	۳۵۰
میکروتوربین ۲	۲	-۶	۰.۰۲	۲۰۰	۲۰۰
فیوسل ۳	۱	-۸	۰.۰۲	۱۵۰	۱۵۰

جدول ۳: پارامترهای مربوط به خودروهای برقی

$N_{\max}$	۱۰
$\eta_{V2G}$	۰.۸
$\eta_{G2V}$	۰.۹
$\pi_{Dch,EV}$	۰.۴
$\pi_{Ch,EV}$	۰.۳
$T_p$	۸
$\Delta SOC_{\max}$	۸
$SOC_{\min}$	۰
$SOC_{\max}$	۱۶.۵
$P_{Dch,\max}$	۸
$P_{Ch,\max}$	۸



شکل ۲: بار پیش‌بینی شده

ث) محدودیت‌های مربوط به ظرفیت باتری خودروی برقی هنگام شارژ/دشارژ

$$SOC^{i,t} = SOC^{i,t-1} + P_{Ch,EV}^{i,t} \times \eta_{G2V} - P_{Dch,EV}^{i,t} / \eta_{V2G} \quad (27)$$

ج) محدودیت‌های مربوط به وضعیت انرژی خودروهای برقی

$$SOC_{\min}^i \leq SOC^{i,t} \leq SOC_{\max}^i \quad (28)$$

چ) محدودیت‌های مربوط به نرخ شارژ/دشارژ باتری خودروهای برقی

$$-\Delta SOC_{\max}^i \leq SOC^{i,t} - SOC^{i,t-1} \leq \Delta SOC_{\max}^i \quad (29)$$

ح) قید مربوط به وضعیت باتری خودروی برقی هنگام خروج از پارکینگ

$$SOC_{\text{Departure}}^{i,t} = SOC_{\max}^i \quad (30)$$

$$SOC^{i,t} \geq SOC_{\text{Arrival}} \quad (31)$$

### قید رزرو چرخان

در صورت بروز هرگونه مشکل در تزریق توان به ریزشبهک توسط منابع تجدیدپذیر، ژنراتورهای تولید محلی و پارکینگ هوشمند باید بتوانند با تزریق توان کافی به ریزشبهک و حفظ تعادل بین توان تولیدی و توان مصرفی در ریزشبهک از بروز هرگونه مشکل جلوگیری کنند که قیدی برای این مشکل پیش‌بینی شده که به شرح زیر ارائه شده است.

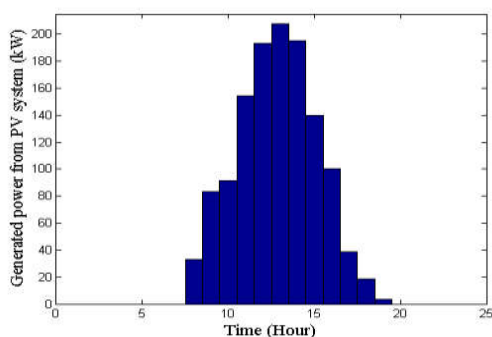
$$\sum_{j=1}^G SR_{LDG}^{j,t} + \sum_{i=1}^N (SR_{EV}^{i,t}) \geq (\omega_w \times P_w + \omega_{Pv} \times P_{Pv}) \quad (32)$$

### داده‌های ورودی مسئله

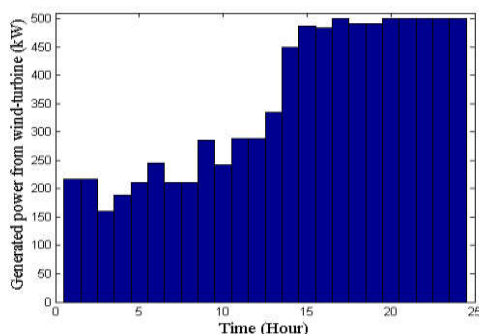
در این مقاله فرض بر این است که خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند ظرفیتی بین ۱۰ تا ۲۰ کیلووات ساعت می‌باشد. قیمت رزرو آامین خودروی برقی ( $V_{EV}$ ) ۱۰ درصد قیمت دشارژ مطلوب ( $\pi_{Dch,Ev}$ ) آامین خودروی برقی در نظر گرفته شده است. ظرفیت پارکینگ هوشمند ۲۳۰ خودروی برقی می‌باشد و وضعیت شارژ اولیه آامین خودروی برقی در زمان خروج از پارکینگ ( $SOC_{\text{Arrival}}$ ) اعدادی تصادفی بین ۰.۱ تا ۰.۷ در نظر گرفته شده‌اند و مدت زمان حضور هر خودروی برقی در پارکینگ هوشمند بین ۲ تا ۸ ساعت در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهای مربوط به خودروی برقی در جدول ۳ ارائه شده است. زمان نمونه برداری ( $\Delta t$ ) نیز روی ۱ ساعت تنظیم شده است. ریز شبکه حداکثر قادر به دریافت ۱۰۰۰ کیلووات از شبکه بالادستی ( $P_{UG}^{\max}$ ) می‌باشد. لازم به ذکر است که برنامه پاسخگویی بار در هر بازه فقط قادر به شیفت ۲۰ درصد از بار ( $DR_{\max} = 20\%$ ) می‌باشد.

در نهایت نتایج حاصل از دو حالت با یکدیگر مقایسه شده-

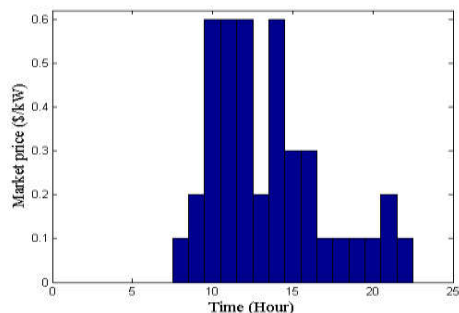
اند.



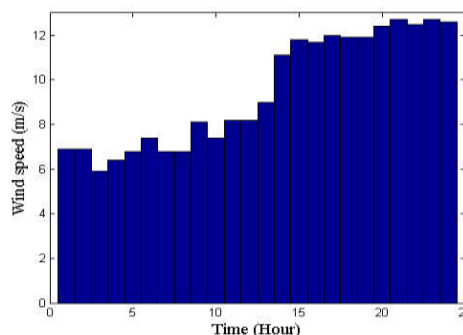
شکل ۶: توان خروجی سیستم فتوولتائیک



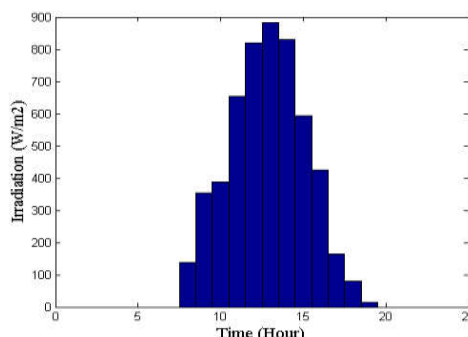
شکل ۷: توان خروجی توربین بادی



شکل ۳: قیمت پیش‌بینی شده بازار برق



شکل ۴: سرعت پیش‌بینی شده باد



شکل ۵: میزان تابش پیش‌بینی شده خورشید

با توجه به نتایج در جدول ۴، در حالت اول که پارکینگ هوشمند فقط در بازار انرژی شرکت کرده و در بازار رزرو شرکت نمی‌کند و همچنین از برنامه پاسخگویی بار هم استفاده نکرده است، هزینه بهره‌برداری برابر ۱۷۸۲ دلار می‌باشد. با مقایسه حالت‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌کنیم که برنامه پاسخگویی بار باعث کاهش ۴۰.۰۸ درصدی هزینه‌ها شده است. لازم به ذکر است که برنامه پاسخگویی بار با هموار ساختن منحنی بار و انتقال بار از بازه‌های گران قیمت به بازه‌های ارزان قیمت باعث کاهش هزینه‌ها شده است. همچنین وضعیت شارژ، نسبت به حالت اول کمتر شده است یعنی شارژ کم‌تر و دشارژ بیشتر که این موضوع نیز باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. کاهش توان تولیدی توسط میکروتوربین دوم و افزایش توان تولیدی توسط میکروتوربین اول نیز باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شده است.

جدول ۴: نتایج تابع هدف بدست آمده در دو حالت

حالت ۲	حالت ۱	
۱۰۶۸.۰۰۸	۱۷۸۲.۴۷۷	هزینه‌های بهره‌برداری
۴۰.۰۸٪		کاهش هزینه‌ها در مقایسه با حالت ۱

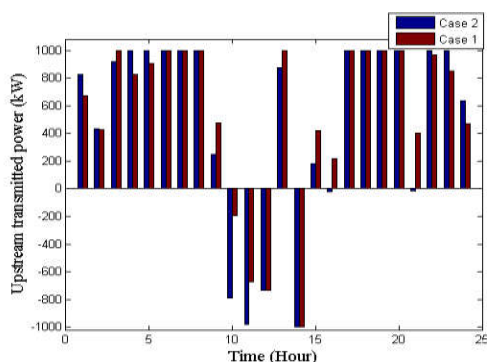
### نتایج حاصل از شبیه‌سازی مسئله

مدل ارائه شده جهت شرکت پارکینگ هوشمند در بازار رزرو و ارزیابی تاثیر برنامه پاسخگویی بار بر روی منحنی بار، تابع هدف پیشنهادی در دو حالت مورد مطالعه قرار گرفته است.

**حالت اول:** تابع هدف با در نظر گرفتن قیود فنی و فیزیکی مربوط به شبکه‌ی بالادستی، منابع تولید محلی و خودروی برقی بدون در نظر گرفتن قیود برنامه پاسخگویی بار مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

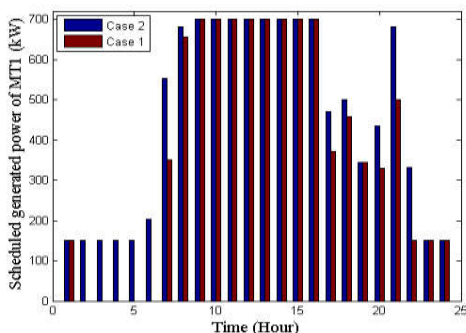
**حالت دوم:** در راستای مشاهده تاثیرات برنامه پاسخگویی بار بر روی منحنی بار و هزینه‌های بهره‌برداری، تابع هدف با تاثیر برنامه پاسخگویی بار مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

فروش توان به شبکه بالادستی در ساعات پیک باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شده است.

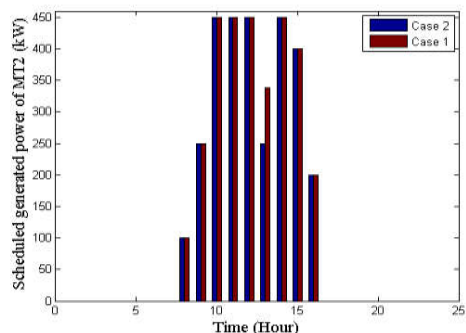


شکل ۱۰: توان مبادله شده با شبکه بالادستی

همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌کنیم با توجه به اینکه میکروتوربین شماره ۱ هزینه پایین‌تری دارد در حالت ۲ که برنامه‌های پاسخگویی بار قسمتی از توان را پوشش می‌دهند. ظرفیت میکروتوربین شماره یک آزاد می‌شود و توان بیشتری را برای ریزشبهک تامین می‌کند و با کاهش خرید توان از شبکه بالادست هزینه‌های راه‌اندازی را کاهش می‌دهد. همچنین در شکل ۱۲ مشاهده می‌کنیم که با توجه به این مسئله که میکروتوربین شماره ۲ هزینه بالایی برای تامین توان دارد. در حالت ۲ برنامه‌های پاسخگویی بار باعث شده است تولید این میکروتوربین کاهش یابد و هزینه ریزشبهک کاهش یابد.

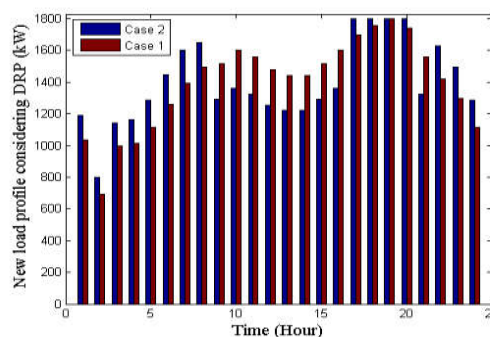


شکل ۱۱: توان تولیدی توسط میکروتوربین ۱



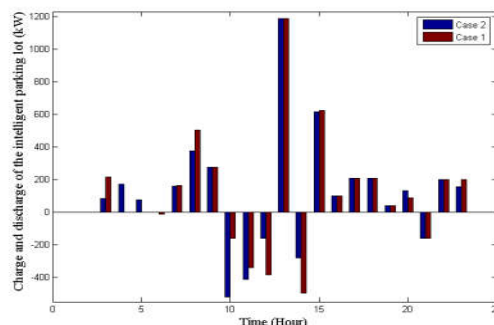
شکل ۱۲: توان تولیدی توسط میکروتوربین ۲

شکل ۸ مربوط به منحنی بار جدید با تاثیر برنامه پاسخگویی بار در دو حالت می‌باشد. لازم به ذکر است که فقط در دو حالت ۲ برنامه پاسخگویی بار تاثیر داده شده است. با مشاهده شکل در می‌بایم که برنامه پاسخگویی بار در حالت دوم بیشتر از حالت اول، باعث مسطح شدن منحنی بار شده است که هر چه منحنی بار بیشتر مسطح گردد هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبهک بیشتر کاهش می‌کند. در واقع در حالت ۲ که پاسخگویی بار اعمال شده است مشاهده می‌کنیم که در ساعات پیک قیمت که هزینه شبکه بالادست بسیار بالاست میزان بار مورد تقاضا به شدت کاهش یافته تا هزینه‌های عملکردی ریزشبهک کاهش یابد.



شکل ۸: منحنی بار جدید با تاثیر برنامه پاسخگویی بار

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود میزان شارژ موجود در باتری خودروهای برقی در حالت دوم در برخی از بازه‌های زمانی کمتر از بقیه حالات می‌باشد و این موضوع یعنی دشارژ بیشتر در این بازه را نشان می‌دهد.



شکل ۹: شارژ و دشارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ

شکل ۱۰ مربوط به توان مبادله شده بین شبکه بالادستی و ریزشبهک می‌باشد که در حالت دوم برنامه پاسخگویی بار با

### نتیجه گیری

با بررسی نتایج بدست آمده متوجه می شویم که پارکینگ های هوشمند که نقش جمع کننده خودروهای برقی پراکنده را در یک مکان مشخص ایفا می کنند با مدیریت شارژ/دشارژ خودروهای برقی از بروز بارهای ناخواسته در شبکه توزیع و خطر افزایش تقاضای برق در ساعات پیک که بر اثر فراگیر شدن این خودروها ممکن است رخ دهد را حذف می کند. در واقع مدل ارائه شده در این مقاله، توانسته است اهدافی مانند کاهش هزینه برق مصرف کنندگان، کاهش هزینه های تامین انرژی برق برای مالک ریزش شبکه، پیک سایی از پروفایل کلی بار، افزایش بار در ساعات غیر اوج و افزایش ثبات در تامین انرژی برق مصرف کنندگان را به طور کامل پوشش دهد.

### فهرست علائم

$t$	شاخص زمان
$j$	شاخص منابع تولید محلی
$i$	شاخص خودروی برقی
$k$	شاخص توربین بادی
$p$	شاخص سیستم فتوولتائیک
$f$	شاخص کمکی برای مدل سازی خطی قیود
$P_R^k$	توان نامی توربین بادی $k$ ام
$P_W^{k,t}$	توان خروجی توربین بادی $k$ ام در بازه زمانی $t$
$V_c^k$	حداقل سرعت توربین بادی $k$ ام
$V_R^k$	سرعت نامی توربین بادی $k$ ام
$V_F^k$	حداکثر سرعت توربین بادی $k$ ام
$V^t$	سرعت پیش بینی شده باد
$PPV^{p,t}$	توان خروجی پنل فتوولتائیک $p$ م در زمان $t$
$\eta^p$	بازده تبدیل آرایه های سیستم فتوولتائیک $p$ م
$s^p$	مساحت سیستم فتوولتائیک $p$ م
$T_a$	دمای محیط اطراف سیستم فتوولتائیک $p$ م
$G^t$	میزان تابش خورشید
$b^j$ و $a^j$	ضرایب تابع هزینه توان $j$ امین منبع تولید محلی
$P_{LDG,max}^j$	حداکثر توان $j$ امین منبع تولید محلی
$P_{LDG,min}^j$	حداقل توان تولیدی $j$ امین منبع تولید محلی
$MUT_j$	حداقل زمان روشن بودن $j$ امین منبع تولید محلی
$MDT_j$	حداقل زمان خاموش بودن $j$ امین منبع تولید محلی
$t_{OFF}^{j,t}$ , $t_{ON}^{j,t}$	مدت زمان روشن یا خاموش بودن $j$ امین منبع تولید محلی به طور پیوسته در بازه زمانی $t$
$UDC^j$	هزینه راه اندازی $j$ امین منبع تولید محلی
$RU^j$ , $RD^j$	نرخ افزایشی/کاهشی $j$ امین منبع تولید محلی

$\Psi_{LDG}^{j,t}$	هزینه رزرو چرخان $j$ امین منبع تولید محلی
$\Psi_{EV}^{i,t}$	هزینه رزرو $i$ امین خودروی برقی در بازه زمانی $t$
$TD^{j,n}   TU^{j,n}$	حداقل زمان روشن/خاموش بودن $j$ امین منبع
$\pi_{UG}^t$	قیمت برق در بازار آزاد در بازه زمانی $t$
$N_{EV}$	تعداد خودروهای برقی در پارکینگ هوشمند
$P_{UG}^{max}$	حداکثر توان مجاز مبادله شده با شبکه بالادستی
$\Delta t$	زمان نمونه برداری جهت شمارش تعداد خودروها
$P_{Ch,max}^i$	حداکثر توان شارژ $i$ امین شارژر
$P_{Dch,max}^i$	حداکثر توان دشارژ $i$ امین شارژر
$SOC_{max}^i$	حداکثر وضعیت شارژ $i$ امین خودروی برقی
$SOC_{min}^i$	حداقل وضعیت شارژ $i$ امین خودروی برقی
$\Delta SOC_{max}^i$	حداکثر نرخ مجاز شارژ/دشارژ $i$ امین خودروی برقی
$T_p^i$	زمان حضور $i$ امین خودروی برقی در پارکینگ
$\pi_{Ch,Ev}^i$	قیمت مطلوب شارژ $i$ امین خودروی برقی
$\pi_{Dch,Ev}^i$	قیمت مطلوب دشارژ $i$ امین خودروی برقی
$\eta_{V2G}$	بازده دشارژ باتری $i$ امین خودروی برقی
$\eta_{G2V}$	بازده شارژ باتری $i$ امین خودروی برقی
$SOC_{Arrival}^{i,t}$	وضعیت اولیه شارژ $i$ امین خودروی برقی
$N_{max}$	حداکثر تعداد سوئچینگ مجاز
$\omega_w$	خطای پیش بینی شده سرعت باد
$\omega_{pv}$	خطای پیش بینی شده میزان تابش خورشید
$load_0^t$	بار پایه در بازه زمانی $t$
$DR_{max}$	حداکثر بار شرکت کننده در برنامه پاسخ گویی بار
$inc_{max}$	حداکثر اندازه افزایش بار در بازه زمانی $t$
$\alpha$	درصد دشارژ خودروهای برقی جهت رزرو چرخان
$t_a^i$	زمان ورود $i$ امین خودروی برقی به پارکینگ
$t_d^i$	زمان خروج $i$ امین خودروی برقی از پارکینگ
$P_{UG}^t$	توان مبادله شده بین ریزش شبکه و شبکه بالادستی
$C_{LDG}^{j,t}$	هزینه توان $j$ امین منبع تولید محلی
$SC_{LDG}^{j,t}$	هزینه راه اندازی $j$ امین منبع تولید محلی
$SR_{LDG}^{j,t}$	برنامه ریزی رزرو چرخان $j$ امین منبع تولید محلی
$P_{Ch,Ev}^{i,t}$	توان شارژ $i$ امین خودروی برقی در بازه زمانی $t$
$P_{Dch,Ev}^{i,t}$	توان دشارژ $i$ امین خودروی برقی در بازه زمانی $t$
$SR_{EV}^{i,t}$	برنامه ریزی رزرو چرخان $i$ امین خودروی برقی
$P_{LDG}^{j,t}$	توان برنامه ریزی شده $j$ امین منبع تولید محلی
$SOC^{i,t}$	وضعیت شارژ $i$ امین خودروی برقی
$\Delta SOC^{i,t}$	میزان تغییرات انرژی $i$ امین خودروی برقی
$SOC_{Departure}^{i,t}$	وضعیت شارژ $i$ امین خودروی برقی هنگام خروج
$Up_{j,f}$	متغیر کمکی قید حداقل زمان روشن بودن منابع

- [10] Chukwu, U.C. and Mahajan, S.M., 2013. "V2G parking lot with PV rooftop for capacity enhancement of a distribution system". *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(1), pp.119-127.
- [11] Yazdani-Damavandi, M., Moghaddam, M.P., Haghifam, M.R., Shafie-khah, M. and Catalão, J.P., 2015. "Modeling operational behavior of plug-in electric vehicles' parking lot in multienergy systems". *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1), pp.124-135.
- [12] Jannati, M., Hosseinian, S.H. and Vahidi, B.J.R.E., 2016. "A significant reduction in the costs of battery energy storage systems by use of smart parking lots in the power fluctuation smoothing process of the wind farms". *Renewable Energy*, 87, pp.1-14.
- [13] Bonges III, H.A. and Lusk, A.C., 2016. "Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 83, pp.63-73.
- [14] Honarmand, M., Zakariazadeh, A. and Jadid, S., 2014. "Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid". *Energy Conversion and Management*, 86, pp.745-755.
- [15] Fazelpour, F., Vafaeipour, M., Rahbari, O. and Rosen, M.A., 2014. "Intelligent optimization to integrate a plug-in hybrid electric vehicle smart parking lot with renewable energy resources and enhance grid characteristics". *Energy Conversion and Management*, 77, pp.250-261.
- [16] Moradijooz, M., Moghaddam, M.P., Haghifam, M.R. and Alishahi, E., 2013. "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 46, pp.115-122.
- [17] Han, I.S., Park, S.K. and Chung, C.B., 2016. "Modeling and operation optimization of a proton exchange membrane fuel cell system for maximum efficiency". *Energy Conversion and Management*, 113, pp.52-65.
- [18] Paudyal, S., Canizares, C.A. and Bhattacharya, K., 2011. "Optimal operation of distribution feeders in smart grids". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(10), pp.4495-4503.
- [19] Kekatos, V., Wang, G., Conejo, A.J. and Giannakis, G.B., 2014. "Stochastic reactive power management in microgrids with renewables". *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(6), pp.3386-3395.
- [20] Ghahramani, M., Nazari-Heris, M., Zare, K. and Mohammadi-Ivatloo, B., 2019. "Energy and reserve management of a smart distribution system by incorporating responsive-loads/battery/wind turbines considering uncertain parameters". *Energy*, 183, pp.205-219.

متغیر کمی حداقل زمان خاموش بودن منابع	$Dn_{j,f}$
بار جدید بعد از تاثیر برنامه پاسخ‌گویی بار	$load^t$
پتانسیل اجرایی برنامه پاسخ‌گویی بار	$DR^t$
بار انتقال یافته توسط برنامه پاسخ‌گویی بار	$idr^t$
میزان افزایش بار در هر بازه زمانی t	$load_{inc}^t$

#### مراجع و منابع

- [1] Alipour, M., Mohammadi-Ivatloo, B., and Zare, K., 2014. "Stochastic risk-constrained short-term scheduling of industrial cogeneration systems in the presence of demand response programs". *Applied Energy* 136, pp. 393-404.
- [2] Tavakoli, M., Shokridehaki, F., Akorede, M.F., Marzband, M., Vechiu, I. and Pouresmaeil, E., 2018. "CVaR-based energy management scheme for optimal resilience and operational cost in commercial building microgrids." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 100, pp.1-9.
- [3] Rezaee, S., Farjah, E. and Khorramdel, B., 2013. "Probabilistic analysis of plug-in electric vehicles impact on electrical grid through homes and parking lots". *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4(4), pp.1024-1033
- [4] Zhang, L. and Li, Y., 2015. "A game-theoretic approach to optimal scheduling of parking-lot electric vehicle charging". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(6), pp.4068-4078.
- [5] Zhang, L. and Li, Y., 2015. "Optimal management for parking-lot electric vehicle charging by two-stage approximate dynamic programming". *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(4), pp.1722-1730.
- [6] Kuran, M.Ş., Viana, A.C., Iannone, L., Kofman, D., Mermoud, G. and Vasseur, J.P., 2015. "A smart parking lot management system for scheduling the recharging of electric vehicles". *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(6), pp.2942-2953.
- [7] Shafie-khah, M., Heydarian-Forushani, E., Osório, G.J., Gil, F.A., Aghaei, J., Barani, M. and Catalão, J.P., 2015. "Optimal behavior of electric vehicle parking lots as demand response aggregation agents". *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(6), pp.2654-2665.
- [8] Mirzaei, M.J., Kazemi, A. and Homaei, O., 2015. "A probabilistic approach to determine optimal capacity and location of electric vehicles parking lots in distribution networks". *IEEE Transactions on industrial informatics*, 12(5), pp.1963-1972.
- [9] Akhavan-Rezai, E., Shaaban, M.F., El-Saadany, E.F. and Karray, F., 2015. "Online intelligent demand management of plug-in electric vehicles in future smart parking lots". *IEEE Systems Journal*, 10(2), pp.483-494.