

مدیریت انرژی پارکینگ هوشمند خودروهای برقی در یک ریزشبكة با در نظر گرفتن اثرات برنامه پاسخ‌گویی بار

جمیل جنتی^۱، دانشجوی دکتری؛ داریوش نظریور^۲، دانشیار

۱- گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه ارومیه - ارومیه - ایران - j.jannati@urmia.ac.ir

۲- گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه ارومیه - ارومیه - ایران - d.nazarpour@urmia.ac.ir

چکیده: امروزه به‌خاطر توسعه منابع تولیدپراکنده در شبکه توزیع و نفوذ استفاده از خودروهای برقی موجب کاهش آلودگی‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی شده است. فرارگیری منابع تولید پراکنده و پارکینگ خودروهای برقی بدون برنامه‌ریزی فنی برخی مشکلات اقتصادی برای سرمایه‌گذار پارکینگ و برخی مشکلات فنی برای بهره‌بردار شبکه توزیع را به دنبال خواهد داشت. در این مقاله، مدیریت انرژی برای یک ریزشبكة (پارکینگ هوشمند) که شامل منابع تجدیدپذیر از قبیل توربین بادی و سیستم فتوولتائیک و منابع تولید محلی که شامل میکروتوربین و پیل سوختی می‌باشد ارائه داده است. در این مقاله، بهره‌برداری بهینه از یک پارکینگ هوشمند که در دو نقش بار و منبع تولید انرژی برای شبکه توزیع ایفای نقش می‌کند با هدف کاهش هزینه‌های مربوط به پارکینگ هوشمند صورت گرفته است. برنامه پاسخ‌گویی بار استفاده‌شده جهت کاهش هزینه‌ها از نوع برنامه پاسخ‌گویی بار زمان استفاده می‌باشد. آن برنامه با شیفت درصدی بار از بازه پیک به بازه غیرپیک و هموار کردن منحنی بار باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. تابع هدف شامل کمینه کردن هزینه‌های بهره‌برداری شبکه بالادستی، منابع تولید محلی و پارکینگ هوشمند و با در نظر گرفتن قیود فنی و فیزیکی این واحدها می‌باشد. مدل پیشنهادی به‌صورت برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح (MIP) مدل‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS حل شده است. مدل پیشنهادی روی یک تست سیستم در بخش شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته است و تأثیر مثبت برنامه پاسخ‌گویی بار به‌خوبی نشان‌دهنده کاهش هزینه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برنامه پاسخ‌گویی بار، خودروهای برقی، پارکینگ هوشمند، منابع تولید محلی، برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح.

Energy Management of Intelligent Parking lot in a Microgrid Considering the Effects of Demand Response Program

J. Jannati¹, PhD Student; D. Nazarpour², Associate Professor

1- Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: j.jannati@urmia.ac.ir

2- Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: d.nazarpour@urmia.ac.ir

Abstract: Nowadays, because of distributed generation sources development in power networks and with the increase of electric vehicles (EVs) utilization, air pollution and greenhouse gas emissions as well as fossil fuel consumption have been reduced. Integrations of distributed generation sources and EVs parking lot without technical planning will follow some economic problems for the owner of parking lot and some technical problems for the operators of distribution network. In this paper, energy management for a microgrid (MG) (intelligent parking lot) has been provided, which includes renewable energy sources (RESs) containing wind turbines (WT) and photovoltaic systems (PV) and local dispatchable generators (LDG) including micro-turbines (MTs) and fuel cell (FC). In this paper, optimal operation of intelligent parking lot (IPL) with the aim of cost reduction has been done, which plays the role of load as well as energy generation source for the distribution network. Time of use (TOU) rates of the demand response program (DRP) is used to reduce the costs. This program reduces the cost by shifting the percentages of load from peak periods to off-peak periods and flattening load curve. The objective function includes minimizing the operation cost of upstream grid (UG), LDGs and IPL with considering technical and physical constraints of these units. The proposed model is formulated as mixed integer linear programming (MIP) and has been solved using General Algebraic Modeling System (GAMS) software. The proposed model is studied on a test system in simulation section and the positive effects of demand response program indicate cost reduction.

Keywords: Demand response program, electric vehicles, intelligent parking, local dispatchable generators, mixed integer linear programming (MIP).

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲

نام نویسنده مسئول: داریوش نظریور

نشانی نویسنده مسئول: ایران - ارومیه - پردیس نازلو - دانشگاه ارومیه - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی برق.

فهرست علائم و اختصارات

موجود در پارکینگ	شاخص‌ها
حداکثر توان شارژ آامین شارژر	$P_{Ch,max}^i$
حداکثر توان دشارژ آامین شارژر	$P_{Dch,max}^i$
حداکثر وضعیت شارژ آامین خودروی برقی	SOC_{max}^i
حداقل وضعیت شارژ آامین خودروی برقی	SOC_{min}^i
حداکثر نرخ مجاز شارژ/دشارژ آامین خودروی برقی	ΔSOC_{max}^i
زمان تقریبی حضور آامین خودروی برقی در پارکینگ هوشمند	T_p^i
قیمت مطلوب شارژ آامین خودروی برقی موجود در پارکینگ هوشمند	$\pi_{Ch,Ev}^i$
قیمت مطلوب دشارژ آامین خودروی برقی موجود در پارکینگ هوشمند	$\pi_{Dch,Ev}^i$
بازده دشارژ باتری آامین خودروی برقی	η_{V2G}
بازده شارژ باتری آامین خودروی برقی	η_{G2V}
وضعیت اولیه شارژ آامین خودروی برقی در زمان خروج از پارکینگ هوشمند در بازه زمانی t	$SOC_{Arrival}^{i,t}$
حداکثر تعداد سوچپینگ مجاز بین حالت شارژ/دشارژ	N_{max}
خطای پیش‌بینی شده سرعت باد	ω_w
خطای پیش‌بینی شده میزان تابش خورشید	ω_{pv}
بار پایه در بازه زمانی t	$load_0^t$
حداکثر اندازه بار شرکت‌کننده در برنامه پاسخ‌گویی بار	DR_{max}
حداکثر اندازه افزایش بار در بازه زمانی t	inc_{max}
اگر آامین خودروی برقی در بازه زمانی t در پارکینگ هوشمند باشد برابر ۱ در غیر این صورت برابر ۰	$M^{i,t}$
درصدی از توان دشارژ شده خودروهای برقی جهت شرکت در بازار رزرو چرخان	α
زمان تقریبی ورود آامین خودروی برقی به پارکینگ هوشمند	t_a^i
زمان تقریبی خروج آامین خودروی برقی از پارکینگ هوشمند	t_d^i
متغیرها	
توان مبادله شده بین ریزش‌بکه و شبکه بالادستی در بازه زمانی t	P_{UG}^t
هزینه توان برنامه‌ریزی شده آامین منبع تولید محلی در بازه زمانی t	$C_{LDG}^{j,t}$
هزینه راه‌اندازی آامین منبع تولید محلی در بازه زمانی t	$SC_{LDG}^{j,t}$
برنامه‌ریزی رزرو چرخان آامین منبع تولید محلی در بازه زمانی t	$SR_{LDG}^{j,t}$
توان شارژ آامین خودروی برقی در بازه زمانی t	$P_{Ch,Ev}^{i,t}$
توان دشارژ آامین خودروی برقی در بازه زمانی t	$P_{Dch,Ev}^{i,t}$
برنامه‌ریزی رزرو چرخان آامین خودروی برقی در بازه زمانی t	$SR_{Ev}^{i,t}$
توان برنامه‌ریزی شده آامین منبع تولید محلی در بازه زمانی t	$P_{LDG}^{j,t}$
وضعیت شارژ آامین خودروی برقی در بازه زمانی t	$SOC^{i,t}$
میزان تغییرات انرژی آامین خودروی برقی در دو ساعت متوالی در بازه زمانی t	$\Delta SOC^{i,t}$
شاخص زمان	t
شاخص منابع تولید محلی	j
شاخص خودروی برقی	i
شاخص توربین بادی	k
شاخص سیستم فتوولتاییک	p
شاخص کمکی برای مدل‌سازی خطی قیود حداقل زمان روشن و خاموش بودن منابع تولید محلی که از ۱ تا حداکثر مقدار {MUTj, MDTj} است.	f
پارامترها	
توان نامی توربین بادی kام	P_R^k
توان خروجی توربین بادی kام در بازه زمانی t	$P_W^{k,t}$
حداقل سرعت توربین بادی kام (حداقل سرعت لازم جهت تولید توان توسط توربین بادی)	V_c^k
سرعت نامی توربین بادی kام	V_R^k
حداکثر سرعت توربین بادی kام (حداکثر سرعتی که توربین بادی در آن سرعت توان تولید می‌کند)	V_F^k
سرعت پیش‌بینی شده باد	V^t
توان خروجی پنل فتوولتاییک pام در بازه زمانی t	$P_{PV}^{p,t}$
بازده تبدیل آرایه‌های سیستم فتوولتاییک pام	η^p
مساحت سیستم فتوولتاییک pام	s^p
دمای محیط اطراف سیستم فتوولتاییک pام	T_a
میزان تابش خورشید بر روی سیستم فتوولتاییک pام	G^t
ضرایب تابع هزینه توان تولیدی آامین منبع تولید محلی	b^j و a^j
حداکثر توان تولیدی توسط آامین منبع تولید محلی	$P_{LDG,max}^j$
حداقل توان تولیدی توسط آامین منبع تولید محلی	$P_{LDG,min}^j$
حداقل زمان روشن بودن آامین منبع تولید محلی	MUT_j
حداقل زمان خاموش بودن آامین منبع تولید محلی	MDT_j
مدت‌زمان روشن یا خاموش بودن آامین منبع تولید محلی به‌طور پیوسته در بازه زمانی t	$t_{OFF}^{j,t}, t_{ON}^{j,t}$
هزینه راه‌اندازی آامین منبع تولید محلی	UDC^j
نرخ افزایشی/کاهشی آامین منبع تولید محلی	RU^j, RD^j
هزینه رزرو چرخان آامین منبع تولید محلی در بازه زمانی t	$\psi_{LDG}^{j,t}$
هزینه رزرو آامین خودروی برقی در بازه زمانی t	$\psi_{EV}^{i,t}$
حداقل زمان روشن بودن آامین منبع تولید محلی	$TU^{j,n}$
حداقل زمان خاموش بودن آامین منبع تولید محلی	$TD^{j,n}$
قیمت برق در بازار آزاد در بازه زمانی t	π_{UG}^t
تعداد خودروهای برقی پارک‌شده در پارکینگ هوشمند در بازه زمانی t	N_{Ev}
حداکثر توان مجاز مبادله شده بین ریزش‌بکه و شبکه بالادستی	P_{UG}^{max}
زمان نمونه‌برداری جهت شمارش تعداد خودروهای برقی	Δt

قدرت فراهم کرده [۶] و این برنامه‌ها در شرایط بحرانی می‌توانند در یک زمان نسبتاً کوتاه باعث کاهش تقاضای موردنیاز سیستم شوند [۷]. این برنامه هم برای مشترکین، هم برای جامعه و هم برای شرکت برق منافی خواهد داشت از جمله: کاهش قیمت برق، بهبود سطح خدمات، حفظ و ارتقای الگوی بهره‌وری، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، حفاظت از محیط‌زیست جهانی، کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری و بهبود سرویس‌دهی به مشترکین. برنامه پاسخ‌گویی بار استفاده‌شده در این مقاله از نوع برنامه پاسخ‌گویی بار زمان استفاده^۲ می‌باشد. اساس کار این برنامه بر اساس شیف‌ت درصدی بار از بازه‌های گران‌قیمت به بازه‌های ارزان‌قیمت و هموار کردن منحنی بار می‌باشد.

امروزه، نیاز روزافزون به انرژی الکتریکی، کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش گازهای مضر گلخانه‌ای موجب افزایش سرمایه‌گذاری در بخش تولید انرژی با استفاده از منابع تجدیدپذیر شده است [۸،۹]. با اصلاح ساختار شبکه‌های برق و حرکت به سمت شبکه‌های هوشمند الکتریکی، ریزشبکه‌ها نقش مهمی را در تأمین مصرف برق بر عهده خواهند داشت [۱۰]. تولید پراکنده انرژی الکتریکی در نزدیکی مصرف‌کنندگان توسط ریزشبکه‌ها [۱۱]، مزایای عمده‌ای از جمله بازدهی بالاتر، تلفات کم‌تر و اثرات مخرب زیست‌محیطی کم‌تر را بر عهده خواهد داشت که این امر با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر^۴ از جمله توربین بادی^۵ [۱۲]، سیستم‌های فتوولتائیک^۶ [۱۳]، میکروتوربین‌ها^۷ [۱۵،۱۴] و پیل سوختی‌ها^۸ [۱۷،۱۶] به صورت پراکنده امکان‌پذیر خواهد بود.

در مورد طراحی و جایابی بهینه پارکینگ‌های هوشمند^۹ تحقیقاتی توسط محققان انجام شده است. برای مثال، یک روش مبتنی بر احتمالات که بر اساس روش تخمین نقطه، جهت تعیین محل مناسب قرارگیری پارکینگ‌های خودروی برقی در شبکه توزیع و تعیین ظرفیت بهینه که با در نظر گرفتن پارامترهای عدم قطعیت الگوهای رانندگی خودروهای برقی می‌باشد در [۱۸] ارائه شده است. جایابی بهینه پارکینگ‌های هوشمند در سیستم‌های توزیع با هدف کاهش هزینه‌ها، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان شبکه در [۱۹] صورت گرفته شده است. در [۲۰] یک پارکینگ معمولی در تهران که به زودی به یک پارکینگ هوشمند تبدیل خواهد شد که در نتیجه این تبدیل، شارژ/دشارژ توسط خودروهای برقی در ظرفیت‌های بزرگی رخ خواهد داد. تنظیمات پارکینگ‌ها، طراحی شارژرها، شارژ رایگان، قوانین و مقررات در قطع خودروهای برقی و دیگر قوانین که از انتشارات علمی و مشاهدات تجربی به دست آمده در راستای افزایش فروش میزان شارژ باتری خودروهای برقی از طریق بهبود در دسترس بودن شارژر در [۲۱] مورد بررسی قرار گرفته شده است. دو بهینه‌سازی در [۲۲] صورت گرفته است که بهینه‌سازی اول مربوط به اندازه و مکان بهینه نصب ژنراتورهای توزیع در ریزشبکه در راستای کاهش هزینه‌ها و کاهش تلفات و بهینه‌سازی دوم مربوط به اندازه بهینه سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، در راستای کاهش هزینه‌ها و یافتن تعداد

$SOC^{i,t}_{Departure}$	وضعیت نهایی شارژ تأمین خودروی برقی هنگام خروج از پارکینگ
$Up_{j,t}$	متغیر کمکی برای مدل‌سازی خطی قید حداقل زمان روشن بودن منابع تولید محلی
$Dn_{j,t}$	متغیر کمکی برای مدل‌سازی خطی قید حداقل زمان خاموش بودن منابع تولید محلی
$load^t$	بار جدید بعد از تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار در بازه زمانی t
DR^t	پتانسیل اجرایی (میزان مشارکت) برنامه پاسخ‌گویی بار در بازه زمانی t
idr^t	بار انتقال‌یافته از یک بازه به بازه دیگر توسط برنامه پاسخ‌گویی بار در بازه زمانی t
$load^t_{inc}$	میزان افزایش بار در هر بازه زمانی t
inc^t	اندازه بار افزایش‌یافته در هر بازه زمانی t
$U^{j,t}$	متغیر باینری: اگر تأمین منبع تولید محلی روشن باشد برابر ۱ در غیر این صورت برابر ۰
$W^{i,t}_{ch}$	متغیر باینری: اگر تأمین خودروی برقی موجود در پارکینگ هوشمند در حالت شارژ باشد برابر ۱ در غیر این صورت برابر ۰
$W^{i,t}_{Dch}$	متغیر باینری: اگر تأمین خودروی برقی در ذخیره چرخان مشارکت کند برابر ۱ در غیر این صورت برابر ۰

۱ - مقدمه

در ساختار سنتی برق، شرکت‌های تولید و انتقال برق قانون‌گذاران صنعت برق بودند چراکه عموم مصرف‌کنندگان برق از مزایا و سود بازار بهره‌مند نبودند و با مهارت و اطلاعات لازم را جهت حضور در بازارهای برق در اختیار نداشتند. بنابراین مصرف‌کنندگان تنها علاقه‌مند به خرید برق با قیمت ثابت از بازار برق بودند. بروز برخی مشکلات از قبیل افزایش هزینه سرویس‌دهی، کاهش کارایی و بهره‌وری سیستم، کاهش سرویس‌دهی به مشترکین و افت ولتاژ در ساعات پیک منجر به اعمال خاموشی گسترده در ساختار سنتی می‌شد. علاوه بر مشکلات ذکر شده، مشکلات دیگری همچون کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش گازهای مضر و خطرناک گلخانه‌ای [۱،۲]، تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران صنعت برق را مجبور به اتخاذ تصمیماتی در رابطه با تجدید ساختار ۱ در صنعت برق کرد [۳]. از استراتژی‌هایی که تاکنون در زمینه تجدیدساختار صنعت برق جهت بهبود کارایی و بهره‌وری سیستم و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی صورت گرفته است می‌توان به برنامه پاسخ‌گویی بار، هوشمندسازی شبکه‌های الکتریکی و پارکینگ‌های هوشمند اشاره کرد [۵،۴].

برنامه پاسخ‌گویی بار^۲ به عنوان ابزاری مناسب و فوق‌العاده مؤثر برای استفاده از پتانسیل مصرف‌کنندگان برق در مدیریت بهینه شبکه برق، زمینه حضور فعال مصرف‌کنندگان را در بهبود عملکرد سیستم

مدل برنامه‌ریزی 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 [۳۴] ارائه شده است. در [۳۵] مدل برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ تصادفی خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند که پارکینگ هوشمند دارای سیستم فتوولتاییک و منابع تولید پراکنده می‌باشد ارائه شده است.

در این مقاله، مدیریت انرژی پارکینگ هوشمند در فضای شبکه هوشمند در حضور برنامه پاسخ‌گویی بار جهت کاهش هزینه بهره‌برداری پیشنهاد شده است. همچنین، میزان شارژ و دشارژ خودروهای برقی و توان برنامه‌ریزی شده واحدهای تولیدی محلی از قبیل میکروتوربین و پیل سوختی در دو حالت مختلف جهت نشان دادن اثرات شرکت کردن برنامه پاسخ‌گویی بار حل شده و نتایج آن با هم مقایسه شده است.

با در نظر گرفتن مطالب بالا، نوآوری‌های پیشنهادی در این مقاله به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- استفاده از برنامه پاسخ‌گویی بار جهت کاهش هزینه‌های بهره‌برداری پارکینگ هوشمند
 - ۲- مدل‌سازی مسئله با برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح^۱ که در این روش یافتن جواب بهینه مطلق تضمین می‌شود.
- ادامه مقاله به شرح زیر می‌باشد:

در بخش ۲، مدل‌سازی ریاضی مربوط به بهره‌برداری بهینه از یک پارکینگ هوشمند و کاهش هزینه‌های ریزش‌بکه در حضور برنامه پاسخ‌گویی بار ارائه شده است. در بخش ۳، مدل پیشنهادی روی یک تست سیستم مورد مطالعه قرار گرفته و اثرات شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار مطالعه شده و نتایج آن‌ها با هم مقایسه شده است. در پایان، نتیجه‌گیری نهایی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی ارائه شده است.

۲- فرمول‌بندی

ریزش‌بکه ارائه شده در این مقاله شامل چندین منبع پراکنده از جمله توربین بادی، سیستم فتوولتاییک و پارکینگ هوشمند خودروهای برقی می‌باشد که ساختار این مجموعه در شکل ۱ نشان داده شده است [۳۶]. ریزش‌بکه مورد مطالعه شامل توربین بادی، سیستم فتوولتاییک، میکروتوربین‌ها، پیل سوختی، پارکینگ هوشمند خودروهای برقی و بار محلی است. جهت افزایش اطمینان شبکه، ریزش‌بکه به شبکه بالادستی نیز متصل شده است تا در صورت نیاز، ریزش‌بکه بتواند توان را با شبکه بالادستی مبادله کند. یکی دیگر از عواملی که در کاهش هزینه‌ها نقش بسزایی دارد پارکینگ هوشمند می‌باشد. پارکینگ هوشمند با دشارژ خودروهای برقی نقش منبع تولید انرژی و با شارژ خودروهای برقی نقش بار را ایفا می‌کند. پارکینگ هوشمند یک سری اطلاعات نظیر محدودیت‌های قیمت شارژ/دشارژ،

مناسب متغیرهای تصمیم‌گیر می‌باشد که این متغیرها تعدادی از اجزای سیستم می‌باشند. یک رویکرد چندهدفه جهت تعیین اندازه و مکان بهینه پارکینگ هوشمند که نقش منبع انرژی را نیز در ریزش‌بکه بازی می‌کند با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم توزیع و کاهش تلفات در [۲۳] ارائه شده است. در [۲۴] یک الگوریتم چندهدفه جهت تعیین تعداد، مکان و اندازه بهینه پارکینگ‌های هوشمند در سیستم توزیع و تعیین میزان توان تولیدی توسط هر یک از منابع تولید انرژی موجود در سیستم توزیع، ارائه شده است.

همچنین در موضوعات بهره‌برداری بهینه از پارکینگ‌های هوشمند خودروهای برقی در زمینه مدیریت انرژی پارکینگ‌های هوشمند جهت شارژ و دشارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ مطالعاتی توسط محققان انجام شده است. به‌طور مثال در [۲۵] با توجه به اینکه پارکینگ‌ها رابط مبادله توان بین شبکه و خودروی برقی می‌باشند به جای مفاهیم انرژی خودرو به شبکه و انرژی شبکه به خودرو، استفاده از واژه‌های انرژی خودرو به پارکینگ و انرژی پارکینگ به خودرو پیشنهاد داده شده است و بر اساس داده‌های آماری و مقررات عمومی در مورد شارژ خودروهای برقی، یک روش تصادفی جهت تخمین تأثیر 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 بازی‌ها در [۲۶] برنامه‌ریزی و حل شده است. در [۲۷] دو مطالعه برای تعیین استراتژی بهینه شارژ با هم مقایسه شده‌اند که یکی مربوط به پارکینگ خودروهای برقی که در کنار مراکز تجاری می‌باشد و در روز فعالیت می‌کند و دیگری پارکینگ خودروهای برقی که در کنار مراکز مسکونی می‌باشد و در شب فعالیت می‌کند ارائه شده است. یک سیستم برنامه‌ریزی دشارژ برای خودروهای برقی متمرکز در پارکینگ‌ها با استفاده از یک الگوی پارک و حرکت واقعی خودروهای برقی با تمرکز بر روی پارکینگ‌های شخصی در [۲۸] ارائه شده است. در [۲۹] رفتار بهینه خودروهای برقی در بازار انرژی و رزرو با در نظر گرفتن برنامه پاسخ‌گویی بار و رضایت صاحب خودرو ارائه شده است. در [۳۰] یک هماهنگی تقاضای هوشمند برخط بین خودروهای برقی در سیستم‌های 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 سایه‌بان سیستم فتوولتاییک که مبتنی بر مدل عرضه/تقاضای خودروهای برقی می‌باشد در [۳۱] ارائه شده است. در [۳۲] باتری خودروهای برقی در پارکینگ هوشمند به‌عنوان منبع ذخیره انرژی در سیستم‌های چندمنظوره در نظر گرفته شده است و در همین راستا نیز با توجه به نقش سودآور پارکینگ هوشمند، منابع رزرو به‌عنوان خدمات جانبی جهت تأمین توان در نظر گرفته شده است. در [۳۳] یک مدل مدیریت منابع انرژی ریزش‌بکه با در نظر گرفتن برخی قیود مربوط به منابع تولید انرژی موجود در ریزش‌بکه و برخی قیود مربوط به خودروی برقی و صاحبان خودروی برقی ارائه شده است. یک

$$P_W^{k,t} = \begin{cases} 0 & V^t < V_c^k \text{ or } V^t \geq V_F^k \\ \frac{V^t - V_c^k}{V_R^k - V_c^k} \times P_R^k & V_c^k \leq V^t < V_R^k \\ P_R^k & V_R^k \leq V^t < V_F^k \end{cases} \quad (2)$$

۲-۳- سیستم فتوولتاییک

مدل پیشنهادی بر اساس معادلات ریاضی حاکم بر سیستم فتوولتاییک و با در نظر گرفتن اثرات تابش خورشید و تغییرات دما بر سیستم فتوولتاییک به شرح زیر ارائه شده است [۳۸]:

$$P_{PV}^{p,t} = \eta^p \times s^p \times G^t \times (1 - 0.005 \times (T_a - 25)) \quad (3)$$

۲-۴- منابع تولید محلی

هزینه‌های بهره‌برداری منابع تولید توان و هزینه‌های راه‌اندازی منابع تولید محلی که شامل میکروتوربین و پیل سوختی می‌باشد به ترتیب در معادلات (۴) تا (۶) ارائه شده است [۳۹، ۴۰].

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

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

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

قیود فنی مربوط به منابع تولید محلی در معادلات (۷) تا (۱۲) ذکر شده است [۳۹، ۴۰].

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

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

$$P_{LDG}^{j,t} - P_{LDG}^{j,t-1} \leq RU^j \times U^{j,t} \quad (9)$$

$$P_{LDG}^{j,t-1} - P_{LDG}^{j,t} \leq RD^j \times U^{j,t-1} \quad (10)$$

$$U^{j,t} - U^{j,t-1} \leq U^{j,t-1} \times UP_{j,f} \quad (11)$$

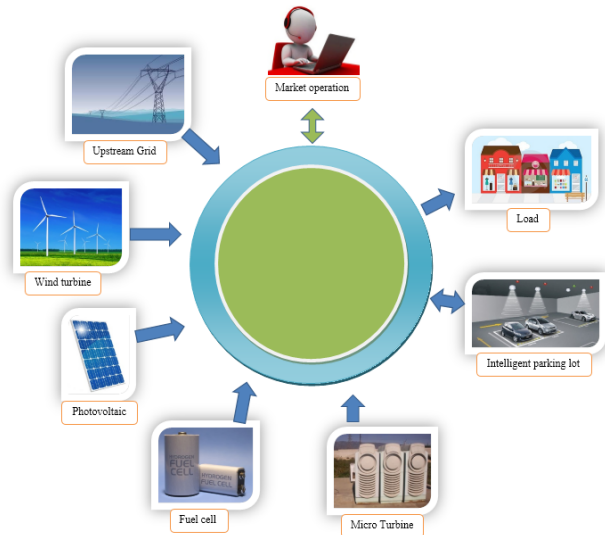
$$U^{j,t-1} - U^{j,t} \leq 1 - U^{j,t-1} \times DN_{j,f} \quad (12)$$

$$UP_{j,f} = \begin{cases} f & f \leq MUT_j \\ 0 & f > MUT_j \end{cases} \quad (13)$$

$$DN_{j,f} = \begin{cases} f & f \leq MDT_j \\ 0 & f > MDT_j \end{cases} \quad (14)$$

توان تولیدی توسط منابع تولید محلی، دارای حداقل و حداکثری مقداری می‌باشد که این توان تولیدی در معادلات (۷) و (۸) بین این دو مقدار محدود شده است. معادلات (۹) و (۱۰)، به ترتیب نرخ شیب افزایشی و کاهش‌ی توان تولیدی محلی را برای دو ساعت متوالی نشان می‌دهد. نهایتاً، قیود (۱۱) و (۱۲)، به ترتیب محدودیت‌های حداقل زمان روشن و خاموش بودن را نشان می‌دهد. معادلات (۱۳) و (۱۴)، به ترتیب برای مدل‌سازی خطی قیود حداقل زمان روشن و خاموش بودن منابع تولید محلی را نشان می‌دهد.

وضعیت شارژ اولیه، زمان سپری‌شده از عمر باتری و وضعیت مورد انتظار از باتری خودروی برقی هنگام خروج از پارکینگ را از صاحب خودروی برقی هنگام ورود به پارکینگ دریافت کرده و به اپراتور ارسال می‌کند تا برنامه‌ریزی مناسب در راستای کاهش هزینه‌ها شبکه صورت گیرد. در این شبکه یک کنترل‌کننده مرکزی نیز وجود دارد که رابط بین شبکه بالادستی و ریزشبه می‌باشد. مسئولیت اصلی این رابط بهینه‌سازی عملکرد ریزشبه می‌باشد.



شکل ۱: ساختار ریزشبه

۲-۱- تابع هدف

هدف در این مقاله کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبه می‌باشد که مدل ریاضی تابع هدف به شرح زیر ارائه شده است [۳۶]:

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

فرمول (۱) شامل سه بخش می‌باشد. بخش اول شامل هزینه‌های مربوط به توان مبادله‌شده بین شبکه بالادستی و ریزشبه می‌باشد. بخش دوم شامل هزینه‌های بهره‌برداری و راه‌اندازی منابع تولید محلی در ریزشبه می‌باشد. بخش سوم شامل هزینه‌های شارژ/دشارژ توان مبادله‌شده بین خودروهای برقی و ریزشبه می‌باشد. در ادامه در مورد این هزینه‌ها و قیود مربوط به این هزینه‌ها بحث خواهد شد.

۲-۲- توربین بادی

توربین‌های بادی نفوذ قابل توجهی در ریزشبه‌های امروزی دارند. معادل ریاضی توان خروجی توربین بادی بر اساس سرعت باد به شرح زیر ارائه شده است [۳۷]:

۲-۵- شبکه بالادستی

قید (۱۵) جهت محدودسازی توان مبادله شده بین شبکه بالادستی و ریزشبکه ارائه شده است [۳۶].

$$\left| P_{UG}^t \right| \leq P_{UG}^{\max} \quad (15)$$

۲-۶- خودروهای برقی پارکینگ هوشمند

خودروهای برقی پارکینگ هوشمند، 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 [۴۱].

۲-۶-۱- قیود مربوط به شارژ و دشارژ

هر شارژر دارای بیشترین نرخ شارژ/دشارژ می باشد که قیود (۱۷)- (۱۶) جهت مشخص کردن این نرخ ذکر شده است [۴۱].

$$P_{Ch, EV}^{i,t} \leq P_{Ch, \max}^i \times W_{ch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (16)$$

$$P_{Dch, EV}^{i,t} + SR_{EV}^{i,t} \leq P_{Dch, \max}^i \times W_{Dch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (17)$$

۲-۶-۲- عدم همزمانی شارژ/دشارژ

قید (۱۸) جهت جلوگیری از شارژ و دشارژ باتری خودروهای برقی به طور همزمان ارائه شده است [۴۱].

$$W_{ch}^{i,t} + W_{Dch}^{i,t} \leq 1 \times M^{i,t} \quad (18)$$

۲-۶-۳- تعداد کلیدزنی بین حالات شارژ/دشارژ

قید (۱۹) به اپراتور اجازه می دهد که در برنامه ریزی های خود حداکثر تعداد کلیدزنی ممکن بین حالات شارژ/دشارژ را با توجه به عمر باتری خودروی برقی در نظر بگیرد [۴۱].

$$\sum_{t=t_a^i}^{t_d^i} W_{ch}^{i,t} + W_{Dch}^{i,t} \leq N_{\max} \quad (19)$$

۲-۶-۴- قیود مربوط به ذخیره چرخان خودروی برقی

قیود مربوط به رزرو چرخان خودروهای برقی که فقط در حالت دشارژ می توانند در بازار رزرو مشارکت داشته باشند در معادلات (۲۰)-(۲۱) نشان داده شده است [۳۶].

$$SR_{EV}^{i,t} \leq \alpha \times P_{Dch, \max}^i \times SRS^{i,t} \times M^{i,t} \quad (20)$$

$$SR_{EV}^{i,t} \leq \alpha \times P_{Dch, \max}^i \times W_{Dch}^{i,t} \times M^{i,t} \quad (21)$$

۲-۶-۵- محدودیت های مربوط به ظرفیت باتری خودروهای برقی هنگام شارژ/دشارژ

میزان انرژی ذخیره شده در هر خودروی برقی در هر لحظه از زمان که تابعی از میزان شارژ و دشارژ خود به همراه بازده های شارژ و دشارژ می باشد در معادله (۲۲) نشان داده شده است [۳۶].

$$SOC^{i,t} = SOC^{i,t-1} + P_{Ch, EV}^{i,t} \times \eta_{G2V} - P_{Dch, EV}^{i,t} / \eta_{V2G} \quad (22)$$

۲-۶-۶- محدودیت های مربوط به وضعیت انرژی خودروهای برقی

میزان انرژی موجود در خودروی برقی در هر لحظه از زمان باید بین حداقل و حداکثر مقداری خود باشد که این قید در معادله (۲۳) نشان داده شده است [۴۱].

$$SOC_{\min}^i \leq SOC^{i,t} \leq SOC_{\max}^i \quad (23)$$

۲-۶-۷- محدودیت های مربوط به نرخ شارژ/دشارژ باتری خودروهای برقی

قید (۲۴) به اپراتور این امکان را می دهد که در برنامه ریزی های خود حداکثر نرخ شارژ/دشارژ باتری خودروهای برقی را در نظر بگیرد. به عبارت دیگر برخی باتری ها سریع شارژ می شوند و برخی از باتری ها دیرتر شارژ می شوند و این موضوع باید در برنامه ریزی ها اپراتور در نظر گرفته شود [۴۱].

$$-\Delta SOC_{\max}^i \leq SOC^{i,t} - SOC^{i,t-1} \leq \Delta SOC_{\max}^i \quad (24)$$

۲-۶-۸- قید مربوط به وضعیت باتری خودروهای برقی هنگام خروج از پارکینگ

قید (۲۵) تضمین می کند که وضعیت باتری خودروی برقی هنگام خروج از پارکینگ برابر و یا بزرگتر از وضعیتی باشد که توسط صاحب خودرو هنگام ورود به پارکینگ تعیین می گردد. همچنین، قید (۲۶) میزان انرژی باتری خودروی برقی در هنگام ورود به پارکینگ را نشان می دهد [۳۶].

$$SOC_{\text{Departure}}^{i,t} = SOC_{\max}^i \quad (25)$$

$$SOC^{i,t} \geq SOC_{\text{Arrival}}^{i,t} \quad (26)$$

۲-۷- برنامه پاسخ گویی بار

برنامه پاسخ گویی بار استفاده شده در این مقاله از نوع برنامه پاسخ گویی بار زمان استفاده (TOU) می باشد. اساس کار برنامه پاسخ گویی بار زمان استفاده (TOU) بدین صورت است که با شیفت بار از بازه های پیک به بازه های غیرپیک و هموار ساختن منحنی بار باعث کاهش هزینه ها می گردد. لازم به ذکر است که برنامه پاسخ گویی بار زمان استفاده فقط قادر به شیفت درصدی از بار می باشد که در این مقاله فقط ۱۵ درصد اجازه شیفت بار داده شده است و معادل ریاضی جملات ذکر شده در معادلات (۲۷) و (۲۸) ارائه شده است.

$$load^t = (1 - DR^t) \times load_0^t + idr^t \quad (27)$$

$$load_0^t - load^t = DR^t \times load_0^t - idr^t \quad (28)$$

قیود فنی مربوط به برنامه پاسخ گویی بار در معادلات (۲۹) تا (۳۲) بیان شده است.

۳- شبیه‌سازی و نتایج عددی

در این مقاله تابع هدف پیشنهادی با و بدون تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج این دو حالت با یکدیگر مقایسه شده‌اند. هدف در این مقاله کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبهه با در نظر گرفتن قیود فنی مربوط به منابع تولید محلی و پارکینگ هوشمند و شبکه بالادستی می‌باشد که در ریزشبهه تحت مطالعه، قرار دارند. این بهینه‌سازی به صورت برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح مدل‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شده است.

۳-۱- داده‌های ورودی

پارامترهای مربوط به توربین بادی و سیستم فتوولتاییک در جدول ۱ ارائه شده است [۴۲]. در جدول ۲ پارامترهای مربوط به منابع تولید محلی که شامل پیل سوختی و میکروتوربین می‌باشد ارائه شده است. امروزه انواع مختلف خودروهای برقی با ظرفیت‌های مختلف از ۸ تا ۴۸ کیلووات ساعت وجود دارد [۴۳] که در این مقاله فرض بر این است که خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند ظرفیتی بین ۱۰ تا ۲۰ کیلووات ساعت دارند. هزینه رزرو i امین خودروی برقی ($\psi_{EV}^{i,t}$) ۱۰ درصد قیمت دشارژ مطلوب ($\pi_{Dch, EV}$) i امین خودروی برقی در نظر گرفته شده است. هزینه ذخیره چرخان زامین منبع تولید محلی ($\psi_{LDG}^{i,t}$) ۱۰ درصد قیمت برق در بازار آزاد در بازه زمانی t (π_{UG}^t) در نظر گرفته شده است. ظرفیت پارکینگ هوشمند ۲۳۰ خودروی برقی می‌باشد و وضعیت شارژ اولیه i امین خودروی برقی در زمان خروج از پارکینگ ($SOC_{Arrival}$) اعدادی تصادفی بین ۰/۱ تا ۰/۷ در نظر گرفته شده‌اند. قیمت مطلوب شارژ i امین خودروی برقی موجود در پارکینگ هوشمند اعدادی تصادفی بین ۰/۱۵ تا ۰/۳ انتخاب شده‌اند و قیمت مطلوب دشارژ i امین خودروی برقی موجود در پارکینگ هوشمند اعدادی تصادفی بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ انتخاب شده است. در جدول ۳ سایر پارامترهای مربوط به خودروی برقی که به صورت اعدادی تصادفی بین دو مقدار حدقلی و حداکثری محدود شده، انتخاب شده‌اند. زمان نمونه‌برداری (Δt) نیز روی ۱ ساعت تنظیم شده است زیرا زمان مناسبی برای نمونه‌برداری از ۲۳۰ خودروی برقی می‌باشد. در راستای محدودسازی توان مبادله‌شده با شبکه بالادستی، ریزشبهه حداکثر قادر به مبادله ۱۰۰۰ کیلووات با شبکه بالادستی (P_{UG}^{max}) می‌باشد. لازم به ذکر است که برنامه پاسخ‌گویی بار در هر بازه فقط قادر به شیف ۱۵ درصد از بار ($DR_{max} = 15\%$) می‌باشد.

منحنی بار پایه پیش‌بینی شده و قیمت بازار در طول دوره مطالعه ۲۴ ساعت در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است [۳۶]. شکل‌های ۴ و ۵ مربوط به سرعت باد و میزان تابش خورشید در طول مطالعه ۲۴ ساعت می‌باشد [۴۴]. توان تولیدی توسط سیستم فتوولتاییک و توربین بادی به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

$$\sum_{t=1}^T idr^t = \sum_{t=1}^T DR^t \times load_0^t \quad (29)$$

$$load_{inc}^t \leq inc^t \times load_0^t \quad (30)$$

$$DR^t \leq DR_{max} \quad (31)$$

$$inc^t \leq inc_{max} \quad (32)$$

مقدار بار انتقالی بستگی به قیمت‌های متفاوت بازار در هر بازه دارد. بار انتقالی در هر بازه مقدار و اندازه متفاوتی خواهد داشت که مدل ریاضی این موضوع در معادله (۲۹) ذکر شده است. معادله (۳۰) باعث محدودسازی افزایش بار در هر بازه خواهد شد. برنامه فقط قادر به شیف ۱۵ درصدی از بار، از یک بازه به بازه‌های دیگر می‌باشد که قیود (۳۱) و (۳۲) بیان‌گر این موضوع می‌باشند. در نهایت باید به این موضوع اشاره کرد که شیف‌های افزایشی و کاهش‌ی بار در طول مدت بهره‌برداری مساوی هم می‌باشد.

۲-۸- قید ذخیره چرخان ریزشبهه

در صورت بروز هرگونه مشکل در تزریق توان به ریزشبهه توسط منابع تجدیدپذیر، ژنراتورهای تولید محلی و پارکینگ هوشمند باید بتوانند با تزریق توان کافی به ریزشبهه و حفظ تعادل بین توان تولیدی و توان مصرفی در ریزشبهه از بروز هرگونه مشکل جلوگیری کنند که قید (۳۳) برای این مشکل پیش‌بینی شده که به شرح زیر ارائه شده است [۳۶]:

$$\sum_{j=1}^G SR_{LDG}^{j,t} + \sum_{i=1}^N SR_{EV}^{i,t} \geq (\omega_w \times P_W^{k,t} + \omega_{PV} \times P_{PV}^{p,t}) \quad (33)$$

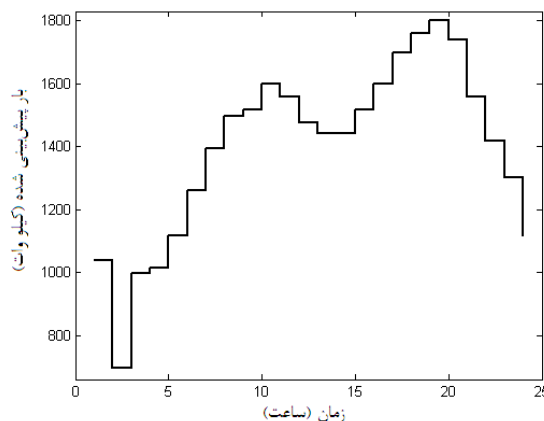
۲-۹- قید تعادل توان

تابع هدف دارای قید تعادل توان می‌باشد که این قید جهت ایجاد تعادل بین توان تولیدی و توان مصرفی در داخل ریزشبهه می‌باشد که به شرح زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که در سمت راست معادله به جای بار پایه، بار جدید با تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار جایگزین شده است.

$$P_{UG}^t + \sum_{k=1}^K P_W^{k,t} + \sum_{p=1}^P P_{PV}^{p,t} + \sum_{j=1}^G P_{LDG}^{j,t} + \sum_{i=1}^N P_{Dch, EV}^{i,t} = load^t + \sum_{i=1}^N P_{Ch, EV}^{i,t} \quad (34)$$

جدول ۱: پارامترهای مربوط به توربین بادی و سیستم فتوولتائیک

سیستم فتوولتائیک			توربین بادی		
پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
η	۱۵/۷	%	P_R	۵۰۰	KW
s	۱۵۰۰	m^2	V_c	۳	m/s
T_a	۲۵	$^{\circ}C$	V_R	۱۲	m/s
			V_F	۳۰	m/s
ω_{Pv}	۲۰	%	ω_W	۲۰	%



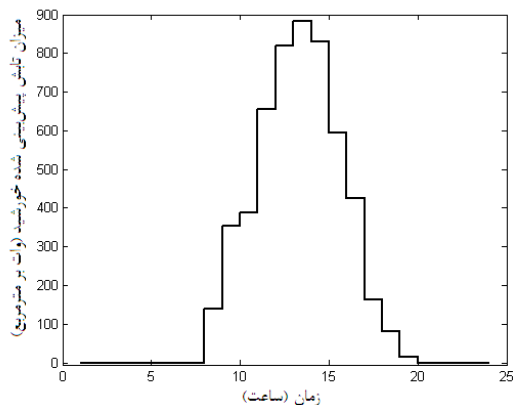
شکل ۲: بار پیش‌بینی شده

جدول ۲: پارامترهای مربوط به منابع تولید محلی

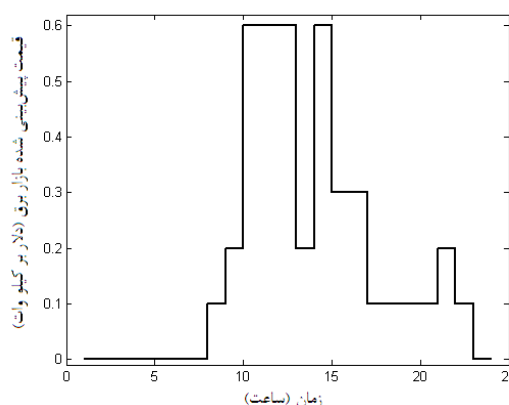
منبع	نوع منبع	a	b	p^{\min}	p^{\max}	MUT	MDT	t_{on}/t_{off}	UDC	RU	RD
		\$	\$/KW	KW	KW	h	h	h	\$		
۱	میکروتوربین	۰/۰۲	۰/۱۵	۱۵۰	۷۰۰	۳	۳	۴	۰/۱	۳۵۰	۳۵۰
۲	میکروتوربین	۰/۰۴	۰/۲۵	۱۰۰	۴۵۰	۲	۲	-۶	۰/۰۲	۲۰۰	۲۰۰
۳	فیوسل	۰/۰۹	۰/۴۵	۵۰	۳۰۰	۱	۱	-۸	۰/۰۲	۱۵۰	۱۵۰

جدول ۳: پارامترهای مربوط به خودروهای برقی

α	T_p^i	$P_{Ch,max}^i$	$P_{Dch,max}^i$	SOC_{max}^i	SOC_{min}^i	ΔSOC_{max}^i	η_{G2V}	η_{V2G}	N_{max}
۰/۲	۲-۸	۵-۱۰	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۰	۵-۱۰	۰/۹	۰/۸	۱۰



شکل ۵: میزان تابش پیش‌بینی شده خورشید



شکل ۳: قیمت پیش‌بینی شده بازار برق

نتایج حاصل از دو حالت با یکدیگر مقایسه شده و در جدول ۴ ارائه شده است.

از جدول ۴ مشاهده می‌شود که کل هزینه‌های بهره‌برداری ریزشکه در حالت ۱ برابر ۱۸۹۴/۳۱۰ دلار می‌باشد. در حالت ۲، قیود مربوط به برنامه پاسخ‌گویی بار نیز به تابع هدف موردنظر اضافه شده است. کل هزینه‌های بهره‌برداری ریزشکه در این حالت ۱۲۹۱/۴۷۳ دلار شده که ۳۱/۸۳ درصد نسبت به حالت اول هزینه‌های بهره‌برداری کاهش پیدا کرده‌اند و این کاهش هزینه‌ها ناشی از تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت برنامه پاسخ‌گویی

۲-۳- نتایج شبیه‌سازی

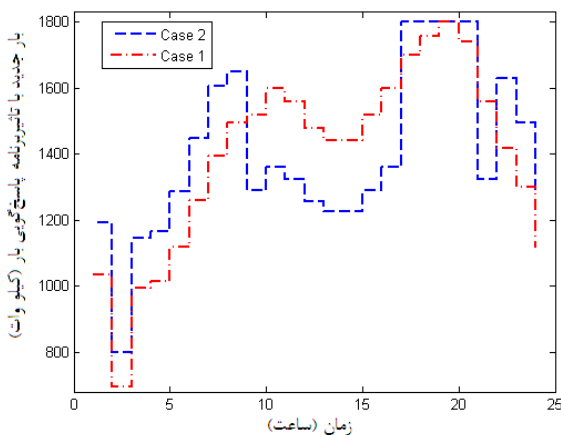
در راستای ارزیابی تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار روی منحنی بار و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ریزشکه، تابع هدف در دو حالت مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالت اول تابع هدف با در نظر گرفتن قیود فنی و فیزیکی مربوط به شبکه بالادستی، منابع تولید محلی و خودروی برقی بدون در نظر گرفتن برنامه پاسخ‌گویی بار بهینه شده است. در حالت دوم و در راستای ارزیابی تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار در کاهش هزینه‌ها، حالت اول با تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار بهینه شده است و در نهایت

بار تأثیر مثبت و مؤثری در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری داشته و نتایج به‌دست‌آمده نیز بیانگر همین موضوع می‌باشد. برنامه پاسخ‌گویی بار با شیفت بار از بازه‌های گران‌قیمت به بازه‌های ارزان‌قیمت باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و باعث هموار شدن منحنی بار می‌شود که این هموار شدن منحنی نسبت به حالت قبلی در شکل ۸ نمایش داده شده است. مطابق با شکل ۳ که قیمت پیش‌بینی بازار برق را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در ساعات ۱۰ تا ۱۵ قیمت بازار برق گران می‌باشد فلذا برنامه پاسخ‌گویی بار باید

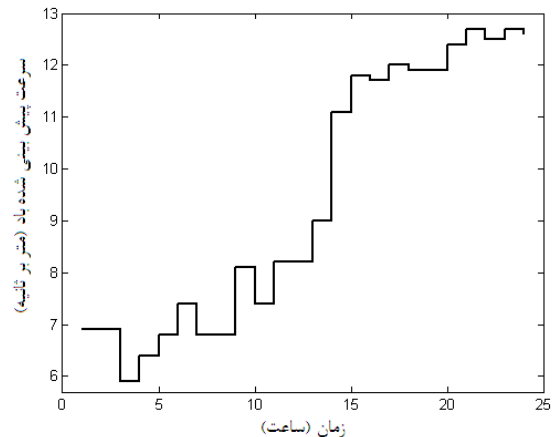
وضعیت سطح انرژی و میزان شارژ و دشارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. شکل ۱۱ نشان‌دهنده توان مبادله‌شده بین ریزشبه و شبکه بالادستی می‌باشد. میزان توان تولیدی توسط منابع تولید محلی در شکل‌های ۱۲-۱۴ نشان داده شده است. در نهایت در جدول ۵ ذخیره چرخان منابع تولید محلی و پارکینگ هوشمند ذکر شده است.

توان تولیدی توسط توربین بادی (کیلو وات)

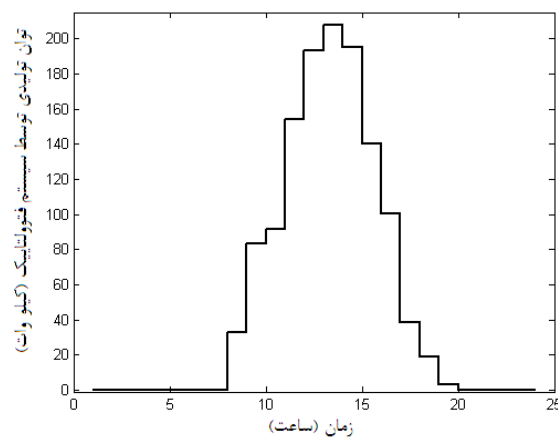
شکل ۷: توان تولیدی توسط توربین بادی



شکل ۸: منحنی بار جدید با تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار



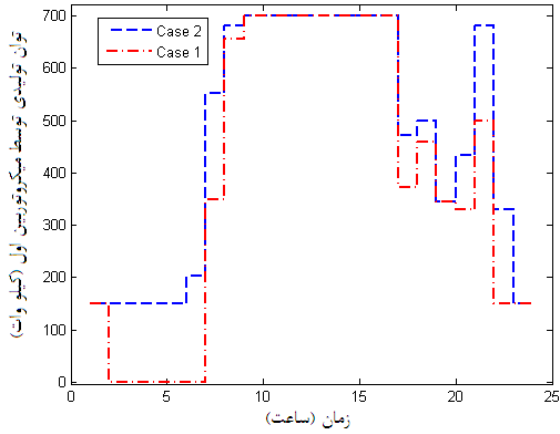
شکل ۴: سرعت پیش‌بینی شده باد



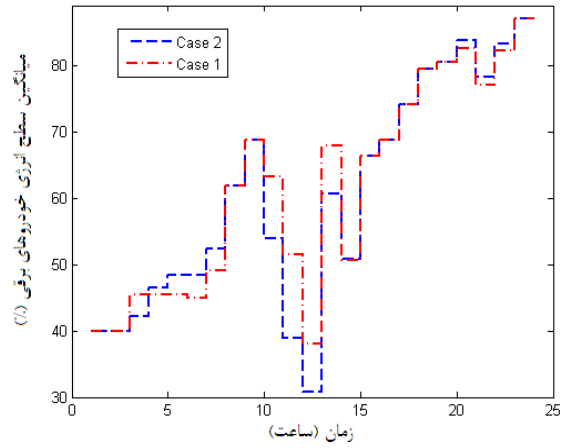
شکل ۶: توان خروجی سیستم فتوولتائیک

جدول ۴: مقایسه هزینه‌های ریزشبه با و بدون برنامه پاسخ‌گویی بار

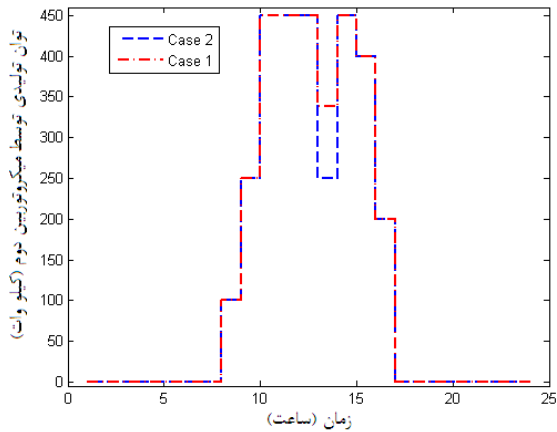
حالت ۲	حالت ۱	هزینه‌های مختلف
-۱۱۱۷/۲۴۳	-۳۳۶/۸۳۲	هزینه خرید از شبکه بالادستی (دلار)
۲۸۰۳/۱۰۱	۲۶۲۳/۰۵۵	هزینه‌های بهره‌برداری و راه‌اندازی منابع تولید محلی (دلار)
-۳۹۴/۳۸۶	-۳۹۱/۹۱۳	هزینه‌های شارژ/دشارژ خودروهای برقی (دلار)
۱۲۹۱/۴۷۳	۱۸۹۴/۳۱۰	هزینه کل (دلار)
۳۱/۸۳	۰	درصد کاهش هزینه کل (%)



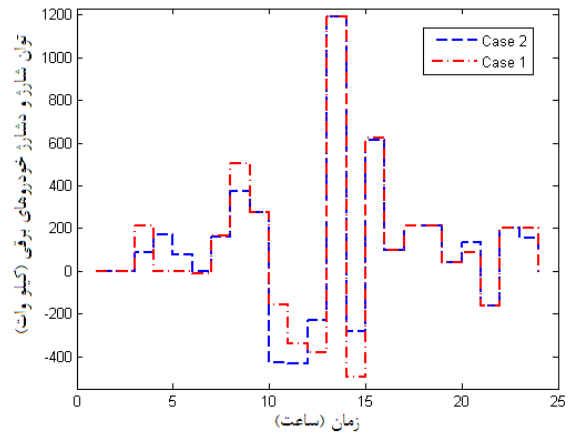
شکل ۱۲: توان تولیدی توسط میکروتوربین اول



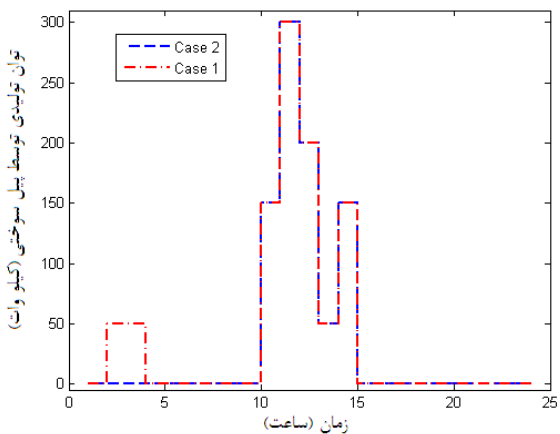
شکل ۹: وضعیت سطح انرژی خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند



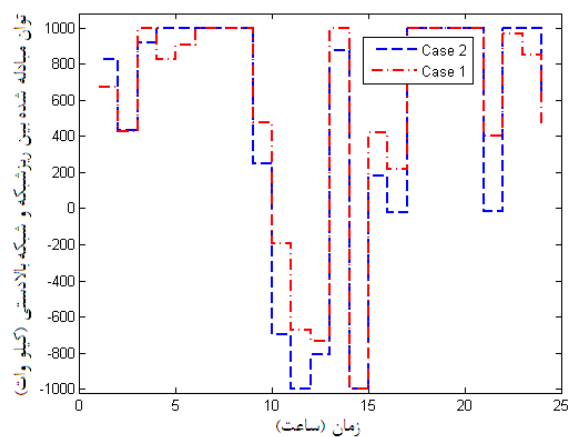
شکل ۱۳: توان تولیدی توسط میکروتوربین دوم



شکل ۱۰: میزان شارژ و دشارژ خودروهای برقی موجود در پارکینگ هوشمند



شکل ۱۴: توان تولیدی توسط پیل سوختی



شکل ۱۱: توان مبادله شده بین ریزشبهه و شبکه بالادستی

جدول ۵: ذخایر چرخان منابع تولید محلی و پارکینگ هوشمند

زمان	میکروتوربین ۱		میکروتوربین ۲		پیل سوختی		پارکینگ هوشمند	
	حالت‌های		حالت‌های		حالت‌های		حالت‌های	
	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲
۱	۲۱/۷	۲۱/۷	-	-	-	-	-	-
۲	-	۲۱/۷	۲۱/۷	-	-	-	-	-
۳	-	۱۶	۱۶	-	-	-	-	-
۴	-	۱۸/۸	-	-	-	-	۱۸/۸	-
۵	-	۲۱/۱	-	-	-	-	۲۱/۱	-
۶	-	۲۴/۶	-	-	-	-	۲۴/۶	-
۷	۲۱/۱	۲۱/۱	-	-	-	-	-	-
۸	-	۱۹/۵	۲۴/۴	۴/۹	-	-	-	-
۹	-	-	۳۶/۹	۳۶/۹	-	-	-	-
۱۰	-	-	-	-	-	-	۳۳/۴	۳۳/۴
۱۱	-	-	-	-	-	-	۴۴/۳	۴۴/۳
۱۲	-	-	-	-	-	-	۴۸/۲	۴۸/۲
۱۳	-	-	-	-	۵۴/۲	۵۴/۲	-	-
۱۴	-	-	-	-	-	-	۶۴/۴	۶۴/۴
۱۵	-	-	۵۰	۵۰	-	-	۱۲/۶	۱۲/۶
۱۶	-	-	۵۸/۳	۵۸/۳	-	-	-	-
۱۷	۵۳/۹	۵۳/۹	-	-	-	-	-	-
۱۸	۵۱/۱	۵۱/۱	-	-	-	-	-	-
۱۹	۴۹/۵	۴۹/۵	-	-	-	-	-	-
۲۰	۵۰	۵۰	-	-	-	-	-	-
۲۱	۵۰	۱۹/۱	-	-	-	-	-	۳۰/۹
۲۲	۵۰	۵۰	-	-	-	-	-	-
۲۳	۵۰	۵۰	-	-	-	-	-	-
۲۴	۵۰	۵۰	-	-	-	-	-	-

۴- نتیجه‌گیری

مراجع

- در این مقاله برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از یک پارکینگ هوشمند که در دو نقش بار و منبع تولید انرژی برای شبکه توزیع ایفای نقش می‌کند با هدف کاهش هزینه‌های بهره‌برداری مربوط به ریزش‌بکه که شامل پارکینگ هوشمند، منابع انرژی‌های تجدیدپذیر همچون توربین بادی، پیل سوختی، سیستم فتوولتاییک و میکروتوربین می‌باشد و با تأثیر برنامه پاسخ‌گویی بار صورت گرفته است. این مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح (MIP) مدل‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS حل شده است. برنامه پاسخ‌گویی بار در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این موضوع می‌باشد که برنامه پاسخ‌گویی بار، تأثیر مثبت و مؤثری در کاهش هزینه‌ها داشته است. از سوی دیگر با بررسی نتایج به‌دست‌آمده متوجه می‌شویم که پارکینگ‌های هوشمند که نقش جمع‌کننده خودروهای برقی پراکنده را در یک مکان مشخص ایفا می‌کنند 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 می‌کند.
- [1] D. Zhang, S. Evangelisti, P. Lettieri and L. Papageorgiou, "Economic and environmental scheduling of smart homes with microgrid: DER operation and electrical tasks," *Energy Conversion and Management*, vol. 110, pp. 113-124, 2016.
 - [2] F. Bilgili, E. Koçak and Ü. Bulut, "The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2 emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 838-845, 2016.
 - [3] D. Kim and J. Jeong, "Electricity restructuring, greenhouse gas emissions efficiency and employment reallocation," *Energy Policy*, vol. 92, pp. 468-476, 2016.
 - [4] D. Chai, J. Wen and J. Nathwani, "Simulation of cogeneration within the concept of smart energy networks," *Energy Conversion and Management*, vol. 75, pp. 453-465, 2013.
 - [5] A. Sheikhi, S. Bahrami and A. Ranjbar, "An autonomous demand response program for electricity and natural gas networks in smart energy hubs," *Energy*, vol. 89, pp. 490-499, 2015.
 - [6] S. Nojavan and H. Aalami, "Stochastic energy procurement of large electricity consumer considering photovoltaic, wind-turbine, micro-turbines, energy storage system in the presence of demand response program,"

- [20] M. Jannati, S. Hosseini, B. Vahidi and G. Li, "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*, vol. 87, pp. 1-14, 2016.
- [21] H. Bonges and A. Lusk, "Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 83, pp. 63-73, 2016.
- [22] F. Fazelpour, M. Vafaiepour, O. Rahbari and M. Rosen, "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*, Vol. 77, pp. 250-261, 2014.
- [23] M. Moradijooz, M. Parsa Moghaddam, M. Haghifam and E. Alishahi, "A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 46, pp. 115-122, 2013.
- [24] A. El-Zonkoly and L. dos Santos Coelho, "Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 67, pp. 472-477, 2015.
- [25] S. Rezaee, E. Farjah and B. Khorramdel, "Probabilistic analysis of plug-in electric vehicles impact on electrical grid through homes and parking lots," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 4, pp. 1024-1033, 2013.
- [26] Z. Lei and Y. Li, "A game theoretic approach to optimal scheduling of parking-lot electric vehicle charging," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, pp. 1-1, 2015.
- [27] L. Zhang and Y. Li, "Optimal management for parking-lot electric vehicle charging by two-stage approximate dynamic programming," *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1-9, 2015.
- [28] M. Kuran, A. Carneiro Viana, L. Iannone, D. Kofman, G. Mermoud and J. Vasseur, "A smart parking lot management system for scheduling the recharging of electric vehicles," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 6, pp. 2942-2953, 2015.
- [29] M. Shafie-khah, E. Heydari-Forushani, G. Osorio, F. Gil, J. Aghaei, M. Barani and J. Catalao, "Optimal behavior of electric vehicle parking lots as demand response aggregation agents," *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1-12, 2015.
- [30] E. Akhavan-Rezai, M. Shaaban, E. El-Saadany and F. Karray, "Online intelligent demand management of plug-in electric vehicles in future smart parking lots," *IEEE Systems Journal*, pp. 1-12, 2015.
- [31] U. Chukwu and S. Mahajan, "V2G parking lot with PV rooftop for capacity enhancement of a distribution system," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 1, pp. 119-127, 2014.
- [32] E. Akhavan-Rezai, M. Shaaban, E. El-Saadany and F. Karray, "Online intelligent demand management of plug-in electric vehicles in future smart parking lots," *IEEE Systems Journal*, pp. 1-12, 2015.
- [33] M. Honarmand, A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 745-755, 2014.
- [34] M. Honarmand, A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 1008-1018, 2015.
- [7] S. Nojavan, H. Qesmati, K. Zare and H. Seyyedi, "Large Consumer Electricity Acquisition Considering Time-of-Use Rates Demand Response Programs," *Arab J Sci Eng*, vol. 39, no. 12, pp. 8913-8923, 2014.
- [8] S. Takeda, S. Sakurai, Y. Yamamoto, R. Kasada and S. Konishi, "Limitation of fusion power plant installation on future power grids under the effect of renewable and nuclear power sources," *Fusion Engineering and Design*, 2015.
- [9] M. Casisi, A. De Nardi, P. Pinamonti and M. Reini, "Effect of different economic support policies on the optimal synthesis and operation of a distributed energy supply system with renewable energy sources for an industrial area," *Energy Conversion and Management*, vol. 95, pp. 131-139, 2015.
- [10] N. Parhizi, M. Marzband, S. M. Mirhosseini Moghaddam, B. Mohammadi Ivatloo and F. Azarnejadian, "The experimental implementation of an energy management system for a grid connected microgrid by using a multi-period imperialist competition algorithm," *Tabriz Journal of Electrical Eng.*, vol. 46, no. 1, 2016.
- [11] A. Mohammadveisi and A. Hatami, "An energy management framework for a smart home: optimal appliances scheduling and operational planning of renewable energy resources," *Tabriz Journal of Electrical Eng.*, vol. 45, no. 1, pp. 53-66, 2015.
- [12] A. Tummala, R. Velamati, D. Sinha, V. Indrāja and V. Krishna, "A review on small scale wind turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 56, pp. 1351-1371, 2016.
- [13] J. Linssen, P. Stenzel and J. Fleer, "Techno-economic analysis of photovoltaic battery systems and the influence of different consumer load profiles," *Applied Energy*, 2015.
- [14] F. Basrawi, T. Ibrahim, K. Habib and T. Yamada, "Effect of operation strategies on the economic and environmental performance of a micro gas turbine trigeneration system in a tropical region," *Energy*, vol. 97, pp. 262-272, 2016.
- [15] M. Cameretti, G. Langella, S. Sabino and R. Tuccillo, "Modeling of a Hybrid Solar Micro Gas-turbine Power Plant," *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 833-840, 2015.
- [16] B. Vural, O. Erdinc and M. Uzunoglu, "Parallel combination of FC and UC for vehicular power systems using a multi-input converter-based power interface," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 12, pp. 2613-2622, 2010.
- [17] I. Han, S. Park and C. Chung, "Modeling and operation optimization of a proton exchange membrane fuel cell system for maximum efficiency," *Energy Conversion and Management*, vol. 113, pp. 52-65, 2016.
- [18] M. Mirzaei, A. Kazemi and O. Homaei, "A probabilistic approach to determine optimal capacity and location of electric vehicles parking lots in distribution networks," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 1-1, 2015.
- [19] N. Neyestani, M. Damavandi, M. Shafie-Khah, J. Contreras and J. Catalao, "Allocation of plug-in vehicles' parking lots in distribution systems considering network-constrained objectives," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 5, pp. 2643-2656, 2015.

- [40] W. Gu, Z. Wu, R. Bo, W. Liu, G. Zhou, W. Chen and Z. Wu, "Modeling, planning and optimal energy management of combined cooling, heating and power microgrid: A review," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 26-37, 2014.
- [41] M. Honarmand, A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition," *Energy*, vol. 65, pp. 572-579, 2014.
- [42] S. Chen, H. Gooi and M. Wang, "Sizing of energy storage for microgrids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 142-151, 2012.
- [43] L. Pieltain Fernandez, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. Mateo Domingo and P. Frias, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, 2011.
- [44] Iran's Meteorological Organization, "Historical wind speed and solar radiation data," <http://www.weather.ir/2013-8-10>.
- considering vehicle-to-grid concept and battery condition," *Energy*, vol. 65, pp. 572-579, 2014.
- [35] M. Honarmand, A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Self-scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot using stochastic optimization," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 352, no. 2, pp. 449-467, 2015.
- [36] M. Honarmand, A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 745-755, 2014.
- [37] B. Borowy and Z. Salameh, "Optimum photovoltaic array size for a hybrid wind/PV system," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 9, no. 3, pp. 482-488, 1994.
- [38] H. Jiang and L. Hong, "Application of BP neural network to short-term-ahead generating power forecasting for PV system," *AMR*, vol. 608-609, pp. 128-131, 2012.
- [39] S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi and A. Louche, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system," *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, pp. 5708-5718, 2007.

زیر نویس ها

- ¹ Restructure
- ² Demand response program (DRP)
- ³ Time-of-use (TOU)
- ⁴ Renewable energy sources
- ⁵ Wind turbines
- ⁶ Photovoltaic systems (PV)
- ⁷ Micro-turbines (MTs)
- ⁸ Fuel cells (FC)
- ⁹ Intelligent parking lots
- ¹⁰ Mixed integer linear programming (MIP)