

# بهره‌برداری بهینه ریزشبه AC در حضور خودروهای برقی تحت مدیریت طرف تقاضا

علی مهدی‌زاده، نوید تقی‌زادگان کلانتری و جواد صالحی

چکیده: در سال‌های اخیر، نفوذ منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی

در ریزشبه AC افزایش یافته است. همچنین مدیریت طرف تقاضا می‌تواند

برای مدیریت بار پیک استفاده شود تا عملکرد بهینه ریزشبه AC را بهبود دهد.

بنابراین، این مقاله بهره‌برداری بهینه ریزشبه AC در حضور خودروهای برقی

تحت مدیریت طرف تقاضا را به طور هم‌زمان پیشنهاد داده است. مدل ارائه‌شده

چگونگی عملکرد کوتاه‌مدت ریزشبه را شامل نحوه و میزان تبادل با شبکه

بالادست، تولید واحدهای DG شامل توربین‌های بادی، باتری ذخیره‌ساز،

دیزل ژنراتورها، شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و نحوه مشارکت

مصرف‌کنندگان بزرگ صنعتی و تجمیع‌کننده‌های مصرف‌کنندگان کوچک در

برنامه‌های مدیریت طرف تقاضا را به صورتی که هزینه بهره‌برداری ریزشبه

کمینه شود تعیین می‌کند. فرمولاسیون ارائه‌شده مدل ریاضی منابع مختلف انرژی

را در ریزشبه مدل کرده و قیود پخش بار AC و محدودیت ولتاژ شین‌ها و جریان

فیدرها را در ریزشبه در نظر گرفته است. ریزشبه ۳۳ شین AC به عنوان تست

سیستم استفاده می‌شود تا اثرات خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا را روی

بهره‌برداری بهینه ریزشبه AC بررسی کند. مدل پیشنهادی به شکل برنامه‌ریزی

غیر خطی آمیخته با اعداد صحیح مدل‌سازی شده و با استفاده از حل‌کننده SBB

تحت نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS حل شده است.

اندازه ماتریس ادمیتانس

$\theta_{n,m}$ : زاویه ماتریس ادمیتانس

$V(n), \bar{V}(n)$ : محدودیت حداقلی و حداکثری ولتاژ

$P_{DG}(j), \bar{P}_{DG}(j)$ : محدودیت حداقلی و حداکثری توان DG

$I(m,n)$ : محدودیت حداکثری جریان فیدر

$UR/DR$ : نرخ افزایش/ کاهش توان تولیدی دیزل ژنراتورها

$UT/DT$ : حداقل زمان روشن و خاموش‌بودن دیزل ژنراتورها

$a, b, c$ : ضرایب تابع هزینه واحدهای دیزل ژنراتور

$r, x$ : مقاومت و راکتانس فیدرها

$P_L, Q_L$ : توان اکتیو و راکتیو مصرفی هر باس

$P_w$ : توان تولیدی توربین بادی

$P_r$ : توان نامی توربین بادی

$SOC(b), \bar{SOC}(b)$ : محدودیت حداقلی و حداکثری میزان انرژی

ذخیره‌شده در باتری ذخیره‌ساز

$P_{BC}, \bar{P}_{Bd}$ : محدودیت حداکثری توان شارژ و دشارژ باتری

$SOC(ev), \bar{SOC}(ev)$ : محدودیت حداقلی و حداکثری میزان

انرژی ذخیره‌شده در خودروهای برقی

$P_{EVC}, \bar{P}_{EVD}$ : محدودیت حداکثری توان شارژ و دشارژ

خودروهای برقی

$P_{IL}(i,t)$ : حداکثر توان قابل قطع بار مصرف‌کنندگان بزرگ

$KE_{IL}(i,t)$ : قیمت برنامه قطع بار مصرف‌کنندگان بزرگ

$P_{DRP}(d,t)$ : حداکثر توان شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار

مصرف‌کنندگان کوچک

$P_{grid}, Q_{grid}$ : توان اکتیو و راکتیو دریافتی از شبکه بالادست

$P_L, Q_L$ : توان اکتیو و راکتیو مصرفی در هر باس

$P_{DG}, Q_{DG}$ : توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط دیزل ژنراتور

$P_w$ : توان اکتیو تولیدی به وسیله توربین بادی

$P_{IL}$ : توان قطع بار مصرف‌کنندگان بزرگ

$P_{DRP}$ : توان شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار مصرف‌کنندگان کوچک

$CS_{DG}$ : هزینه شروع به کار واحد دیزل ژنراتوری

$CSH_{DG}$ : هزینه خاموش‌کردن واحد دیزل ژنراتوری

$CE_{DG}$ : هزینه تولید توان واحدهای دیزل ژنراتوری

$CE_{IL}$ : هزینه قطع بار مصرف‌کنندگان بزرگ

$CE_{DRP}$ : هزینه شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار

مصرف‌کنندگان کوچک

$u, y, z$ : متغیرهای باینری وضعیت کاری، شروع به کار و خاموشی

دیزل ژنراتورها

## فهرست علائم و اختصارات

### اندیس‌ها

$n, m$ : اندیس باس‌ها

$i$ : اندیس بارهای قابل قطع

$d$ : اندیس بارهای مشارکت‌کننده در برنامه پاسخ‌گویی بار

$t$ : اندیس ساعت

$j$ : اندیس دیزل ژنراتورها

$w$ : اندیس توربین‌های بادی

$ev$ : اندیس خودروی برقی

### پارامترها

$\rho_g^E$ : قیمت انرژی در شبکه بالادستی

این مقاله در تاریخ ۸ شهریور ماه ۱۳۹۶ دریافت و در تاریخ ۱۷ اسفند ماه ۱۳۹۶

بازنگری شد. علی مهدی‌زاده، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان، تبریز،

ایران، (email: alimehdizadee@gmail.com).

نوید تقی‌زادگان کلانتری (نویسنده مسئول)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه

شهیدمدنی آذربایجان، تبریز، ایران، (email: taghizadegan@azaruniv.ac.ir).

جواد صالحی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان، تبریز، ایران،

(email: j.salehi@azaruniv.ac.ir).

با توجه به مرور منابع مشاهده می‌شود که اثرات هم‌زمان مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا روی بهره‌برداری بهینه ریزشبكة مطالعه نشده و بنابراین این مقاله بهره‌برداری بهینه ریزشبكة AC را تحت قیود فنی و اقتصادی بهینه‌سازی کرده و اثرات مدیریت هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا را به طور هم‌زمان بررسی کرده است. همچنین در این مقاله، بهره‌برداری بهینه ریزشبكة AC در حضور منابع انرژی تجدیدپذیر، خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا بر مبنای بهینه‌سازی غیر خطی آمیخته با عدد صحیح مدل‌سازی شده است. مدل ارائه‌شده چگونگی عملکرد کوتاه‌مدت ریزشبكة را شامل نحوه و میزان تبادل با شبکه بالادست، تولید واحدهای DG شامل توربین‌های بادی، باتری ذخیره‌ساز، دیزل ژنراتورها، شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و نحوه مشارکت مصرف‌کنندگان در برنامه‌های مدیریت طرف تقاضا را به صورتی که هزینه بهره‌برداری ریزشبكة کمینه شود تعیین می‌کند.

با توجه به توضیحات بالا، نوآوری مقاله به صورت خلاصه در زیر ارائه شده است:

- ۱) بهینه‌سازی ریزشبكة AC با در نظر گرفتن پخش بار AC و محدودیت ولتاژ شین‌ها و جریان فیدرها
- ۲) مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی
- ۳) مدیریت طرف تقاضا به وسیله مصرف‌کنندگان بزرگ صنعتی با شرکت در برنامه قطع بار
- ۴) مدیریت طرف تقاضا به وسیله تجمیع‌کننده‌های مصرف‌کنندگان کوچک با شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: مدل‌سازی مربوط به بهره‌برداری بهینه ریزشبكة با در نظر گرفتن اثرات خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا با در نظر گرفتن قیود پخش بار AC در بخش ۲ ارائه شده است. بخش ۳ مطالعات عددی و نتایج مربوط به مدل پیشنهادی را در ۴ مطالعه موردی بررسی کرده و اثرات مدیریت هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا را آنالیز کرده است. نهایتاً بخش ۴ مقاله را نتیجه‌گیری کرده است.

## ۲- مدل‌سازی مسأله

در این بخش مدل‌سازی ریاضی بهره‌برداری بهینه ریزشبكة AC شامل تابع هدف و قیود مسأله ارائه شده است. همچنین مدل‌سازی مربوط به منابع تولید پراکنده شامل توربین‌های بادی، دیزل ژنراتورها، باتری ذخیره‌ساز، قیود پخش بار، قیود مربوط به خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا در این بخش ارائه شده است.

### ۲-۱ تابع هدف

انرژی مورد نیاز ریزشبكة AC با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبكة در طول بازه زمانی ۲۴ ساعته صورت می‌گیرد. تابع هدف در (۱) ارائه شده که شامل ۴ قسمت است. قسمت اول هزینه‌های مربوط به تأمین توان و مبادله از طریق شبکه بالادست می‌باشد. قسمت دوم مربوط به هزینه‌های واحدهای DG شامل هزینه بهره‌برداری، هزینه شروع به کار و خاموش‌شدن توسط این واحدها است. قسمت سوم و چهارم مربوط به هزینه‌های قطع بار توسط مصرف‌کنندگان صنعتی و شرکت در

- $SOC(b, t)$ : میزان انرژی ذخیره‌شده در باتری  
 $P_{Bd}, P_{Be}$ : توان دشارژ و شارژ باتری ذخیره‌ساز  
 $bs_c, bs_d$ : وضعیت متغیر باینری شارژ و دشارژ باتری ذخیره‌ساز  
 $\delta_m, \delta_n$ : دامنه و زاویه ولتاژ هر باس  
 $l(m, n, t)$ : جریان فیدر  
 $SOC(ev, t)$ : میزان انرژی ذخیره‌شده در خودروهای برقی  
 $P_{ev}^d, P_{ev}^c$ : توان دشارژ و شارژ خودروهای برقی  
 $bev_c(ev, t), bev_d(ev, t)$ : وضعیت متغیر باینری شارژ و دشارژ خودروهای برقی

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، مصرف انرژی رشد فزاینده‌ای داشته و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش یافته است [۱] و [۲]. بنابراین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شامل توربین‌های بادی [۳] و پنل‌های خورشیدی [۴] جهت کاهش آلودگی در سطح شبکه توزیع گسترش یافته است. فلذا برای مدیریت انرژی بهتر این نوع شبکه‌ها، مفاهیمی جدید ایجاد شده‌اند که منجر به ایجاد ریزشبكة شده است [۵]. علاوه بر این، خودروهای برقی در سال‌های اخیر نفوذ و گسترش زیادی در ریزشبكة‌ها داشته‌اند که لزوم مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی در ریزشبكة ضروری است [۶] و [۷]. علاوه بر این مدیریت طرف تقاضا برای مدیریت پیک بار به منظور هموارکردن منحنی بار و کاهش هزینه بهره‌برداری و بهبود عملکرد بهینه ریزشبكة AC می‌تواند استفاده شود [۸] و [۹].

بهره‌برداری بهینه ریزشبكة در منابع مختلفی مطالعه شده است. در [۱۰] بهره‌برداری بهینه ریزشبكة شامل پنل‌های خورشیدی و پیل سوختی با بارهای مختلف بررسی شده است. بهره‌برداری بهینه ریزشبكة در حضور منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در [۱۱] مطالعه شده است. در [۱۲] بهره‌برداری ریزشبكة با تنظیم متغیرهای کنترلی منابع تولید پراکنده و با هدف کاهش هزینه بهره‌برداری ریزشبكة با در نظر گرفتن شاخص پایداری ولتاژ بررسی شده است. همچنین بهره‌برداری بهینه ریزشبكة با اهداف کاهش هزینه بهره‌برداری و بهبود پایداری و پروفیل ولتاژ در [۱۳] مطالعه شده است. روشی برای کنترل و مدیریت بارهای قابل کنترل در ریزشبكة جهت بهره‌برداری بهینه در [۱۴] مطالعه شده است. مدیریت انرژی ریزشبكة در حضور منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شامل توربین بادی و پنل‌های خورشیدی در حضور سیستم تولید و ذخیره‌سازی کربن در [۱۵] مطالعه شده است. بهره‌برداری بهینه منابع تولید پراکنده، بارهای قابل کنترل و ساختار تبدیلی انرژی از دیدگاه ریزشبكة ترکیبی AC/DC در [۱۶] بررسی شده است. در [۱۷] مدیریت انرژی ریزشبكة با در نظر گرفتن خودروهای برقی و برنامه پاسخ‌گویی بار بدون پخش بار AC مطالعه و بررسی شده است. روش بهینه‌سازی مقاوم برای مدل‌سازی عدم قطعیت قیمت بازار برق در بهره‌برداری بهینه ریزشبكة در [۱۸] پیشنهاد شده است. در [۱۹] عملکرد اقتصادی ریزشبكة با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری مبتنی بر شکاف اطلاعاتی حل شده است. نهایتاً انواع روش‌های مدیریت انرژی ریزشبكة در [۲۰] و برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ریزشبكة در [۲۱] مرور شده است.

$$\min : \sum_{t=1}^{N_T} [P_{grid}(t) \times \rho_g^E(t) + \sum_{j=1}^{N_{DG}} CE_{DG}(j, t) + CS_{DG}(j, t) + CSH_{DG}(j, t) + \sum_{i=1}^{N_{IL}} CE_{IL}(i, t) + \sum_{d=1}^{N_{DRP}} CE_{DRP}(d, t)] \quad (1)$$

برنامه پاسخ‌گویی بار توسط مصرف‌کنندگان کوچک از برنامه‌های مدیریت طرف تقاضاست.

### ۲-۲-۲ قیود

قیود مربوط به بهره‌برداری بهینه ریزشکه AC شامل قیود مساوی و نامساوی است که در این بخش ارائه شده است.

### ۲-۲-۱ قیود پخش بار

عملکرد قابل اطمینان ریزشکه نیازمند تعادل مداوم بین توان تولیدشده و بار مورد تقاضا می‌باشد. به همین منظور قیود زیر به منظور ایجاد تعادل بین توان اکتیو و راکتیو ریزشکه و تقاضا در باس  $n$  و در ساعت  $t$  در نظر گرفته شده است [۲۲]. لازم به ذکر است که در قید تعادل توان اکتیو، تأثیرات توان توربین بادی، توان قطع بار و توان شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار، توان شارژ و دشارژ خودروهای برقی و باتری‌ها هم در نظر گرفته شده است. روابط (۲) و (۳) به ترتیب قیود تعادل توان‌های اکتیو و راکتیو در هر شین  $n$  و در هر ساعت  $t$  را مدل‌سازی کرده است. لازم به ذکر است که این روابط برای هر شین در هر زمان به صورت کلی برقرار بوده و فقط برای شین‌های داخل شبکه (به غیر از شین ۱) که به شبکه بالادستی متصل نیستند  $P_{grid}(t)$  و  $Q_{grid}(t)$  برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند. به منظور اطمینان از عملکرد امن و صحیح ریزشکه قیود زیر در ریزشکه ارائه شده مد نظر قرار گرفته است. معادله (۴) تضمین می‌کند که ولتاژ در بازه قابل قبول باقی بماند. همچنین محدودیت جریان فیدر توسط (۵) مد نظر قرار گرفته که نحوه مدل‌سازی جریان فیدر در [۲۳] با جزئیات ارائه شده است

$$\underline{V}(n) \leq v(n,t) \leq \overline{V}(n), \forall n,t \quad (4)$$

$$l(m,n,t) \leq \overline{l(m,n)}, \forall m,n,t \quad (5)$$

### ۲-۲-۲ قیود واحدهای DG

در این قسمت قیود مربوط به عملکرد واحدهای DG به طور کامل ارائه شده است. هزینه عملکرد واحدهای DG غیر تجدیدپذیر به صورت تابعی از توان تولیدی آن مطابق (۶) مدل می‌شود. همچنین هزینه شروع به کار واحد DG توسط (۷) و (۸) مدل گردیده و علاوه بر این هزینه خاموش شدن واحدهای DG توسط (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. قید (۱۱) تضمین می‌کند که نقطه عملکرد بهینه واحد DG شامل توان تولیدی تأمین‌شده، محدودیت‌های فنی شامل کمینه و بیشینه توان تولیدی را مد نظر قرار می‌دهد. میزان افزایش و یا کاهش توان تولیدی توسط واحدهای DG در طول هر واحد زمانی از یک مقدار مشخص نمی‌تواند بیشتر باشد. معادلات (۱۲) و (۱۳) نرخ افزایش و کاهش تولید واحد DG را محدود می‌کند. هر واحد DG بعد از روشن شدن باید به مدت چند ساعت روشن بماند. همچنین هر واحد DG بعد از خاموش شدن باید مدت زمان مشخصی خاموش بماند. قیود (۱۴) و (۱۵) مربوط به کمینه زمان روشن بودن و خاموش بودن واحدهای DG است. نهایتاً محدودیت منطقی بین وضعیت DG و روشن و خاموش شدن این واحدها در (۱۶) و

(۱۷) ارائه شده است

$$CE_{DG}(j,t) = a_j \times u(j,t) + b_j \times P_{DG}(j,t) + c_j \times P_{DG}^r(j,t) \quad (6)$$

$$CS_{DG}(j,t) = SUC(j) \times (u(j,t) - u(j,t-1)) \quad (7)$$

$$CS_{DG}(j,t) \geq 0, \forall j,t \quad (8)$$

$$CSH_{DG}(j,t) = SDC(j) \times (u(j,t-1) - u(j,t)) \quad (9)$$

$$CSH_{DG}(j,t) \geq 0, \forall j,t \quad (10)$$

$$\underline{P}_{DG}(j) \times u(j,t) \leq P_{DG}(j,t) \leq \overline{P}_{DG}(j) \times u(j,t) \quad (11)$$

$$P_{DG}(j,t) - P_{DG}(j,t-1) \leq UR(j) \times (1 - y(j,t)) + \underline{P}_{DG}(j) \times y(j,t) \quad (12)$$

$$P_{DG}(j,t-1) - P_{DG}(j,t) \leq DR(j) \times (1 - z(j,t)) + \underline{P}_{DG}(j) \times z(j,t) \quad (13)$$

$$\sum_{h=t}^{t+UT(j)-1} u(j,h) \geq UT(j) \times y(j,t) \quad (14)$$

$$\sum_{h=t}^{t+DT(j)-1} (1 - u(j,h)) \geq DT(j) \times z(j,t) \quad (15)$$

$$y(j,t) - z(j,t) \leq u(j,t) - u(j,t-1) \quad (16)$$

$$y(j,t) + z(j,t) \leq 1 \quad (17)$$

### ۲-۲-۳ مدل‌سازی توربین بادی

پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی منجر به کاهش هزینه تولید انرژی توسط مولدهای بادی شده و این تکنولوژی قابلیت رقابت با سایر انرژی‌ها را یافته است. معادله (۱۸) میزان توان تولیدی توسط توربین بادی را بسته به سرعت‌های مختلف باد محاسبه می‌کند [۲۴]

$$P_w(v) = \begin{cases} P_r \times \frac{v - v_{ci}}{v_r - v_{ci}}, & v_{ci} \leq v \leq v_r \\ P_r, & v_r \leq v \leq v_{co} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

در این معادله  $v$  سرعت لحظه‌ای باد،  $v_{ci}$  سرعت cut-in،  $v_{co}$  سرعت cut-out و  $v_r$  سرعت Reted توربین بادی است.

سرعت cut-in: حداقل سرعت باد که از آن پس توربین بادی شروع به تولید برق می‌کند.

سرعت cut-out: حداکثر سرعتی که از آن پس برای حفاظت سلامت توربین و جلوگیری از واژگونی آن حرکت توربین بادی متوقف می‌شود.

$$P_{grid}(t) + \sum_{j \in n} P_{DG}(j,t) + \sum_{w \in n} P_w(w,t) + \sum_{i \in n} P_{IL}(i,t) + \sum_{d \in n} P_{DRP}(d,t) + \sum_{ev \in n} (\eta_{ev}^d \times P_{ev}^d(ev,t) - \eta_{ev}^c \times P_{ev}^c(ev,t)) + \sum_{b \in n} (\eta^d \times P_{Bd}(b,t) - \eta^c \times P_{Bc}(b,t)) - P_L(n,t) = \sum_m V(n,t) \times V(m,t) \times Y(n,m) \times \text{Cos}(\theta_{n,m} + \delta_m - \delta_n), \forall n,t \quad (2)$$

$$Q_{grid}(t) + \sum_{j \in n} Q_{DG}(j,t) - Q_L(n,t) = -\sum_m V(n,t) \times V(m,t) \times Y(n,m) \times \text{sin}(\theta_{n,m} + \delta_m - \delta_n), \forall n,t \quad (3)$$

$$\cdot \leq P_{ev}^c(b, t) \leq \overline{P_{EVC}} \times bev_c(ev, t) \quad (27)$$

$$\cdot \leq P_{ev}^d(b, t) \leq \overline{P_{EVD}} \times bev_d(ev, t) \quad (28)$$

### ۲-۲-۶ مدل‌سازی قطع بار و برنامه پاسخ‌گویی بار از برنامه‌های مدیریت طرف تقاضا

در این مقاله، برنامه پاسخ‌گویی بار (DRP) معرفی می‌شوند با هدف این که مصرف‌کنندگان برق کوچک در بازار برق مشارکت می‌کنند. برای این منظور، DRP پاسخ مصرف‌کنندگان برق کوچک را جمع می‌کند. آنها مصرف‌کنندگان کوچک را ثبت نام می‌کنند، پیشنهادهاشان را جمع می‌کنند و پیشنهادات تجمیع‌شده را از طرف آنها به اپراتور ریزشبه ارائه می‌کنند. مدل ارائه‌شده برای جمع‌کننده‌های DRP در (۲۹) تا (۳۳) مدل‌سازی شده است

$$O_{\min}^d \leq o_k^d \leq O_k^d \quad (29)$$

$$\cdot \leq o_k^d \leq O_{k+1}^d - O_k^d \quad (30)$$

$$P_{DRP}(d, t) = \sum_k o_k^d \quad (31)$$

$$CE_{DRP}(d, t) = \sum_k \pi_k^d \times o_k^d \quad (32)$$

$$P_{DRP}(d, t) \leq \overline{P_{DRP}(d, t)} \quad (33)$$

مقدار کاهش بار هر برنامه پاسخ‌گویی بار در پله اول در (۲۹) و در سایر پله‌ها در (۳۰) بیان شده است. معادله (۳۱) مقدار توان تجمیع‌شده جهت شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار را نشان می‌دهد. هزینه شرکت در برنامه پاسخ‌گویی بار نیز در (۳۲) ارائه شده و (۳۳) محدودیت حداکثری شرکت در این برنامه را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، برنامه قطع بار به وسیله مصرف‌کنندگان صنعتی بزرگ با توجه به قرارداد از قبل طراحی شده انجام می‌گیرد. بنابراین مقدار قابل قطع بار با (۳۴) و (۳۵) مدل‌سازی شده است. محدودیت حداکثر مقدار توان قابل قطع در (۳۴) و هزینه معادل با برنامه قابل قطع در (۳۵) نشان داده شده است

$$P_{IL}(i, t) \leq \overline{P_{IL}(i, t)} \quad (34)$$

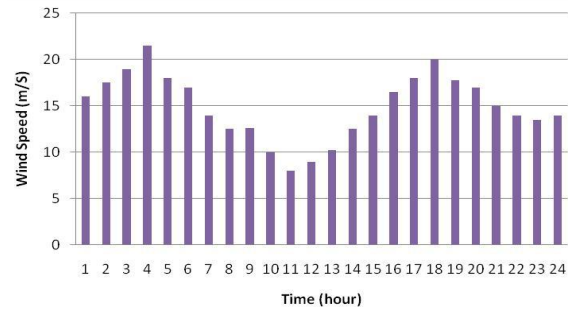
$$CE_{IL}(i, t) = P_{IL}(i, t) \times KE_{IL}(i, t) \quad (35)$$

تابع هدف پیشنهادی (۱) تحت قیود (۲) تا (۳۵) باید کمینه شود که با برنامه‌ریزی غیر خطی آمیخته با اعداد صحیح مدل‌سازی شده و با استفاده از حل‌کننده SBB در نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS حل شده است.

## ۳- مطالعات عددی

### ۳-۱ داده‌های ورودی

در این مقاله، یک ریزشبه ۳۳ باس استاندارد به منظور بررسی اثربخشی روش ارائه‌شده مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از [۲۷]، واحدهای DG به باس‌های مناسب متصل شده‌اند. سه توربین بادی در این شبکه مورد استفاده قرار گرفته که به باس‌های ۱۴، ۱۶ و ۳۱ متصل شده‌اند. اطلاعات مربوط به توربین‌های بادی مورد استفاده از [۲۸] گرفته شده است. توان نامی توربین‌های بادی برابر ۳ مگاوات و سرعت cut-in، cut-out و Rated این توربین‌ها به ترتیب برابر ۳، ۲۵ و ۱۳ متر بر ثانیه می‌باشد. پیش‌بینی سرعت باد در طول ۲۴ ساعت پیش رو در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۹].



شکل ۱: سرعت باد پیش‌بینی شده.

سرعت Reted: متوسط سرعت باد که چنانچه با آن سرعت، باد به توربین بوزد معادل توان نامی توربین برق تولید می‌شود.

### ۲-۲-۴ مدل‌سازی سیستم باتری ذخیره‌کننده انرژی

سیستم ذخیره‌کننده باتری دارای سه وضعیت شارژ، دشارژ و بی‌کار می‌باشد که این محدودیت در (۱۹) بیان شده است. در وضعیت شارژ باتری مانند یک بار عمل می‌کند و توان مصرف می‌کند. در حالت دشارژ مانند یک واحد DG عمل می‌کند و توان ذخیره‌شده را به شبکه توزیع تحویل می‌دهد. در حالت بی‌کار باتری نه انرژی جذب می‌کند و نه انرژی به شبکه تحویل می‌دهد. قیود زیر سیستم ذخیره‌کننده باتری را مدل‌سازی می‌کند [۲۵]. معادله (۲۰) میزان سطح شارژ هر ساعت باتری را نشان می‌دهد. بیشینه و کمینه سطح توان باتری را (۲۱) مشخص می‌کند. معادلات (۲۲) و (۲۳) محدودیت نرخ شارژ و دشارژ باتری را تعیین می‌کند

$$bs_c(b, t) + bs_d(b, t) \leq 1, \quad bs_c, bs_d \in \{0, 1\}, \forall t \quad (19)$$

$$SOC(b, t) = SOC(b, t-1) + \eta^c \times P_{Bc}(b, t) - \eta^d \times P_{Bd}(b, t) \quad (20)$$

$$\underline{SOC}(b) \leq SOC(b, t) \leq \overline{SOC}(b) \quad (21)$$

$$\cdot \leq P_{Bc}(b, t) \leq \overline{P_{BC}} \times bs_c(b, t) \quad (22)$$

$$\cdot \leq P_{Bd}(b, t) \leq \overline{P_{Bd}} \times bs_d(b, t) \quad (23)$$

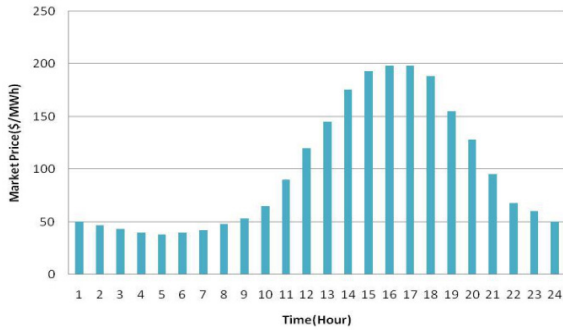
### ۲-۲-۵ مدل‌سازی خودروهای برقی

خودروهای برقی دارای دو وضعیت در حالت رانندگی و در حالت پارک در پارکینگ هستند. زمانی که خودروهای برقی در پارکینگ هستند می‌توانند در یکی از حالت‌های شارژ، دشارژ و بی‌کار باشند که این محدودیت در (۲۴) بیان شده است. در وضعیت شارژ خودروی برقی مانند یک بار عمل می‌کند و توان مصرف می‌کند. خودروی برقی در حالت دشارژ مانند یک واحد DG عمل می‌کند و توان ذخیره‌شده را به ریزشبه تحویل می‌دهد. در حالت بی‌کار، باتری نه انرژی جذب می‌کند و نه انرژی به شبکه تحویل می‌دهد. قیود زیر محدودیت‌های خودروهای برقی را مدل‌سازی می‌کنند [۲۶]. معادله (۲۵) میزان سطح شارژ هر ساعت خودروی برقی را نشان می‌دهد. بیشینه و کمینه سطح توان خودروی برقی را (۲۶) مشخص می‌کند. معادلات (۲۷) و (۲۸) محدودیت نرخ شارژ و دشارژ خودروی برقی را تعیین می‌کند

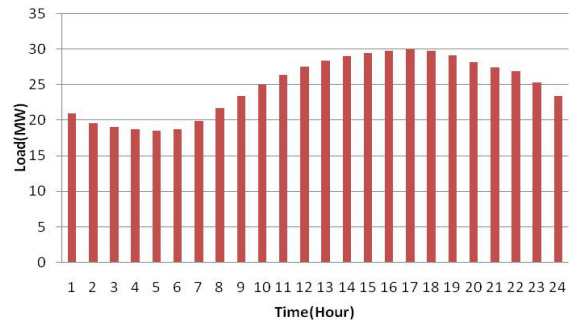
$$bev_c(ev, t) + bev_d(ev, t) \leq 1, \quad bev_c, bev_d \in \{0, 1\}, \forall t \quad (24)$$

$$SOC(ev, t) = SOC(ev, t-1) + \eta_{ev}^c \times P_{ev}^c(b, t) - \eta_{ev}^d \times P_{ev}^d(b, t) \quad (25)$$

$$\underline{SOC}(ev) \leq SOC(ev, t) \leq \overline{SOC}(ev) \quad (26)$$



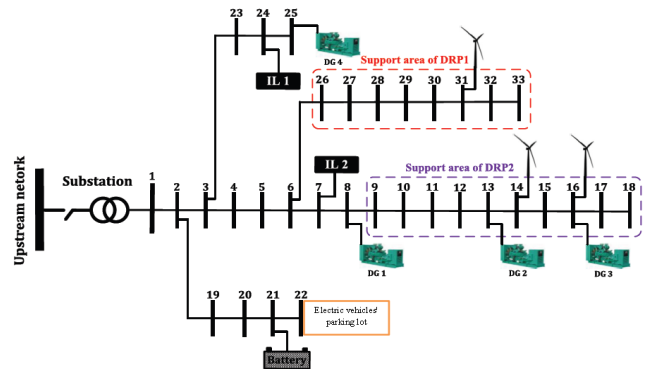
شکل ۴: قیمت پیش‌بینی شده شبکه بالادست.



شکل ۲: بار ساعتی پیش‌بینی شده.

جدول ۱: اطلاعات مربوط به ضرایب هزینه و داده‌های فنی دیزل ژنراتورها.

ضرایب تابع هزینه					
Unit	$a_i$ (\$)	$b_i$ (\$/MWh)	$c_i$ (\$/MWh <sup>2</sup> )		
DG۱	۲۷	۸۷	۰٫۰۰۲۵		
DG۲	۲۵	۸۷	۰٫۰۰۳۵		
DG۳	۲۸	۹۲	۰٫۰۰۳۵		
DG۴	۲۶	۸۱	۰٫۱۸۴		
داده‌های فنی					
Unit	SUT (\$)	MUT/MDT (h)	RU/RD (MW/h)	$P_{max}$ (MW)	$P_{min}$ (MW)
DG۱	۱۵	۲	۱٫۸	۳٫۵	۱
DG۲	۲۵	۱	۱٫۵	۳	۰٫۷۵
DG۳	۲۸	۱	۱٫۵	۳	۰٫۷۵
DG۴	۲۶	۲	۱٫۸	۴٫۱	۱



شکل ۳: ریزشکبه ۳۳ باسه.

همچنین در شبکه نمونه ارائه شده چهار دیزل ژنراتور موجود می‌باشد که به باس‌های ۸، ۱۳، ۱۶ و ۲۵ متصل شده‌اند. ضرایب مربوط به هزینه عملکرد این ژنراتورها و اطلاعات مربوط به توان بیشینه و کمینه، نرخ افزایش و کاهش توان و کمینه زمان روشن و خاموش بودن در جدول ۱ [۳۰]، پیش‌بینی بار ساعتی در طول ۲۴ ساعت در شکل ۲ [۳۱]، ریزشکبه ۳۳ باس استاندارد مورد مطالعه در شکل ۳ [۳۲] و پیش‌بینی ساعتی قیمت برق در شکل ۴ نشان داده شده است.

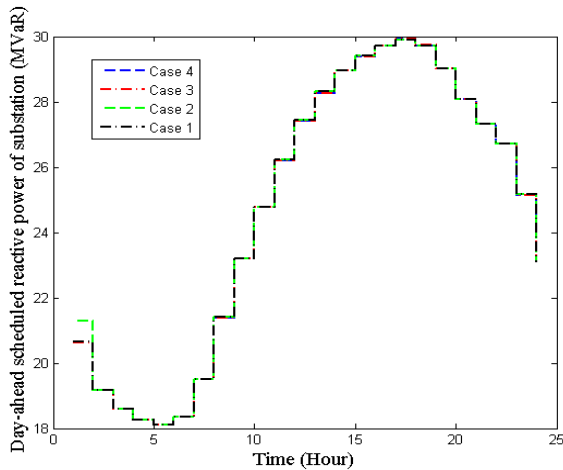
سیستم ذخیره‌کننده انرژی (باتری) با ظرفیت ۰٫۵ مگاوات ساعت به باس ۲۱ متصل شده است. کمینه و بیشینه توان سیستم ذخیره‌کننده انرژی ۲۰ و ۸۰ درصد ظرفیت اسمی آن و بیشینه نرخ شارژ و دشارژ برای هر ساعت برابر ۰٫۱ مگاوات در نظر گرفته شده است. پیشنهادات مقدار قابل قطع بار و قیمت متناظر آن برای مصرف‌کنندگان بزرگ در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه بر این مقدار پیشنهادی پله‌ای برنامه پاسخ‌گویی بار برای مصرف‌کنندگان کوچک و ناحیه حمایتی بارهای قابل پاسخ‌گو به ترتیب در جداول ۳ و ۴ و نهایتاً داده خودروهای برقی در جدول ۵ ارائه شده است [۶].

### ۳-۲ نتایج شبیه‌سازی

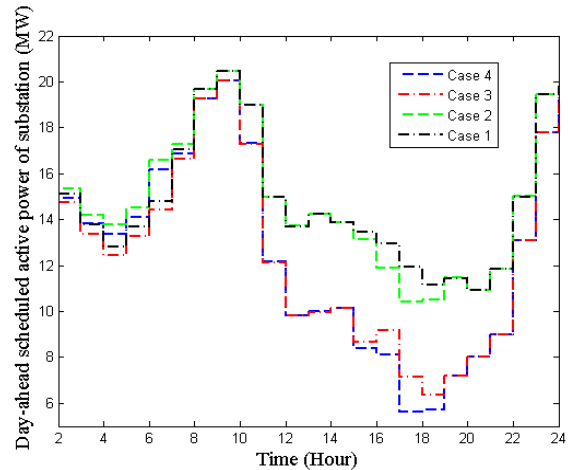
برای نشان‌دادن کارایی مدل پیشنهادی ۴ مطالعه موردی به صورت زیر سازماندهی شده است:

- مطالعه موردی ۱: بهره‌برداری بهینه ریزشکبه AC بدون در نظر گرفتن مدیریت طرف تقاضا و بدون در نظر گرفتن خودروهای برقی
- مطالعه موردی ۲: بهره‌برداری بهینه ریزشکبه AC بدون در نظر گرفتن مدیریت طرف تقاضا و با در نظر گرفتن خودروهای برقی
- مطالعه موردی ۳: بهره‌برداری بهینه ریزشکبه AC با در نظر گرفتن مدیریت طرف تقاضا و بدون در نظر گرفتن خودروهای برقی
- مطالعه موردی ۴: بهره‌برداری بهینه ریزشکبه AC با در نظر گرفتن مدیریت طرف تقاضا و با در نظر گرفتن خودروهای برقی

نتایج مقایسه‌ای بهره‌برداری بهینه ریزشکبه AC در ۴ مطالعه موردی در جدول ۶ آمده است. مشاهده می‌شود که هزینه بهره‌برداری ریزشکبه در مطالعه موردی ۱، ۵۸۴۵۶ دلار و همچنین هزینه بهره‌برداری ریزشکبه در مطالعه موردی ۲، ۵۶۷۸۴ دلار می‌باشد که نسبت به مطالعه موردی ۱ منجر به کاهش ۲٫۸۶٪ هزینه بهره‌برداری ریزشکبه شده که ناشی از مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی است، جایی که در ساعت‌های کم‌باری در قیمت کم شارژ شده و در ساعت‌های پرباری دشارژ شده و میزان خرید از شبکه بالادستی کاهش یافته و در نتیجه میزان هزینه بهره‌برداری را کاهش می‌دهد. علاوه بر این اثرات مثبت مدیریت طرف تقاضا در مطالعه موردی ۳ بررسی شده که هزینه بهره‌برداری در این حالت ۵۳۵۵۴ دلار گردیده که کاهش ۸٫۳۸٪ هزینه بهره‌برداری ریزشکبه را نتیجه می‌دهد و دلیل کاهش هزینه ناشی از شرکت مصرف‌کنندگان صنعتی در برنامه‌های قابل قطع و جمع‌کننده‌های مصرف‌کنندگان کوچک در برنامه پاسخ‌گویی بار است که منجر به کاهش بار پیک و در نتیجه کاهش خرید برق در ساعات پیک و کاهش هزینه بهره‌برداری شده است. نهایتاً هزینه بهره‌برداری ریزشکبه در مطالعه موردی ۴ برابر ۵۱۸۹۰ دلار شده که نسبت به مطالعه موردی ۱ کاهش ۱۱٫۲۳٪ را نشان می‌دهد که ناشی از اعمال هم‌زمان مدیریت طرف تقاضا و مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی است. در مطالعه موردی ۴، از اثرات مثبت مدیریت طرف تقاضا و خودروهای برقی به طور هم‌زمان استفاده شده که کاهش هزینه در این حالت نسبت به مطالعات موردی ۲ و ۳ کاهش بیشتری داشته و علت آن استفاده از مزایای مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا به صورت هم‌زمان و اثرات مثبت آن روی کاهش بار کل ریزشکبه و کاهش خرید برق از شبکه بالادستی و در نتیجه کاهش بیشتر هزینه بهره‌برداری ریزشکبه شده است.



شکل ۴: توان راکتیو خریداری شده از شبکه بالادستی در ۴ مطالعه موردی.



شکل ۵: توان اکتیو خریداری شده از شبکه بالادستی در ۴ مطالعه موردی.

جدول ۲: پیشنهادهای مقدار قابل قطع بار و قیمت متناظر آن.

بار صنعتی دوم		بار صنعتی اول		ساعت
قیمت (دلار بر مگاوات ساعت)	ماکسیمم بار قابل قطع (مگاوات)	قیمت (دلار بر مگاوات ساعت)	ماکسیمم بار قابل قطع (مگاوات)	
۱۸	۰٫۴۰	۴۳	۰٫۸۵	۱۰
۳۰	۰٫۴۰	۷۷	۰٫۹۰	۱۱
۵۳	۰٫۴۵	۱۲۲	۰٫۹۰	۱۲
۴۳	۰٫۴۵	۱۰۸	۰٫۹۵	۱۳
۷۹	۰٫۴۵	۲۷۳	۱	۱۴
۴۳	۰٫۴۵	۱۲۲	۱	۱۵
۷۹	۰٫۵۰	۴۰۴	۱	۱۶
۷۳	۰٫۵۰	۳۰۴	۱	۱۷
۶۷	۰٫۵۰	۱۲۶	۱	۱۸
۴۷	۰٫۴۵	۱۱۸	۱	۱۹
۴۰	۰٫۴۵	۸۴	۰٫۹۵	۲۰
۳۳	۰٫۴۵	۱۰۴	۰٫۹	۲۱
۳۲	۰٫۴۰	۳۱۸	۰٫۹	۲۲
۱۶	۰٫۴۰	۷۲	۰٫۸۵	۲۳

جدول ۴: ناحیه حمایتی بارهای قابل پاسخ‌گو.

DRP	باس‌ها
DRP۱	۳۲، ۳۱، ۳۰، ۲۹، ۲۸، ۲۷، ۲۶، ۲۵
DRP۲	۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸

جدول ۳: پیشنهادی پله‌ای برنامه پاسخ‌گویی بار برای مصرف‌کنندگان.

DRP	مقدار (مگاوات)			
	قیمت (دلار بر مگاوات ساعت)			
DRP۱	۱٫۵-۱٫۲	۱٫۲-۰٫۷	۰٫۷-۰٫۱	۰٫۱-۰
	۱۹۲	۱۵۴	۹۰	۱۲
DRP۲	۱٫۸-۱٫۳	۱٫۳-۰٫۸	۰٫۸-۰٫۳	۰٫۳-۰
	۲۳۱	۱۶۷	۱۰۲	۳۸

جدول ۶: نتایج مقایسه هزینه بهره‌برداری ریزشبه AC در ۴ مطالعه موردی.

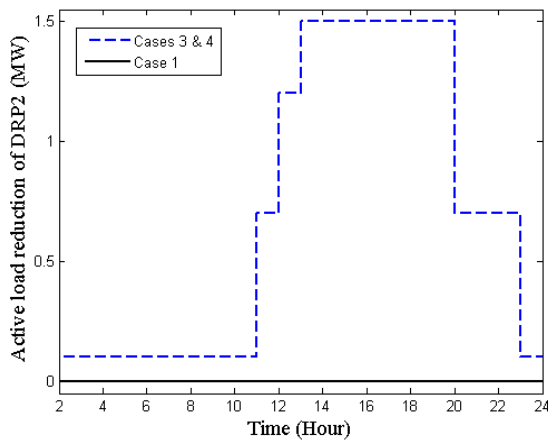
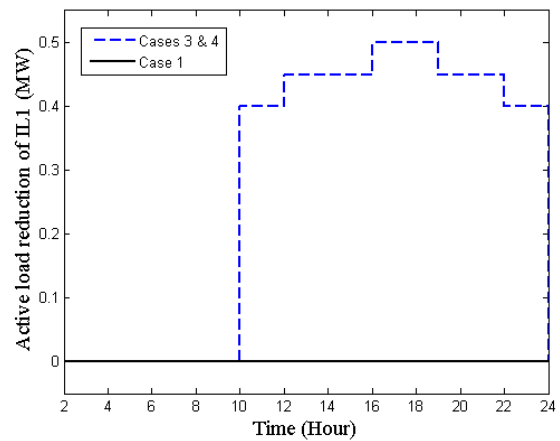
مطالعه موردی	هزینه بهره‌برداری (دلار)	کاهش هزینه (درصد)
مطالعه موردی ۱	۵۸۴۵۶	۰
مطالعه موردی ۲	۵۶۷۸۴	۲٫۸۶
مطالعه موردی ۳	۵۳۵۵۴	۸٫۳۸
مطالعه موردی ۴	۵۱۸۹۰	۱۱٫۲۳

جدول ۵: پارامترهای خودروهای برقی.

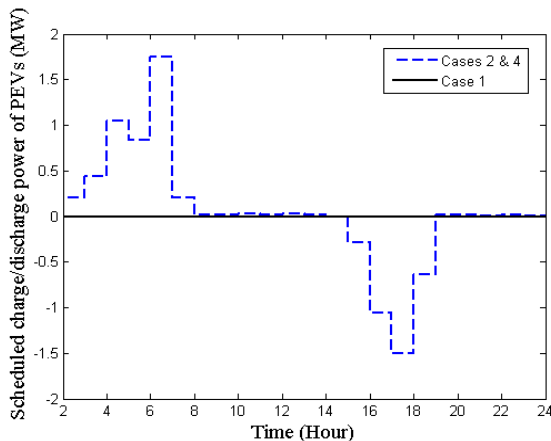
پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
$P_{c_v}^{min}$	۰	kW	$\eta_v^c$	۹۰	%
$P_{c_v}^{max}$	۲۵	kW	$\eta_v^d$	۹۰	%
$P_{d_v}^{min}$	۰	kW	$SOC_v^{min}$	۵۰	kWh
$P_{d_v}^{max}$	۲۵	kW	$SOC_v^{max}$	۱	kWh
$\Omega_v$	۰٫۱۶۶۷	kW/km	$N_f$	۳۰	No.

نسبت به سایر مطالعات موردی کاهش یافته که ناشی از استفاده همزمان از مدیریت شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا است. به عبارت دیگر، خودروهای برقی در زمان‌های پیک دشارژ شده‌اند و مصرف‌کنندگان بزرگ صنعتی در برنامه بارهای قابل قطع مشارکت کرده و مصرف‌کننده‌های کوچک نیز در برنامه پاسخ‌گویی بار به خصوص در بار پیک مشارکت داشته‌اند که منجر به کاهش بار پیک شده و در نتیجه منجر به کاهش خرید توان از شبکه بالادستی گردیده است.

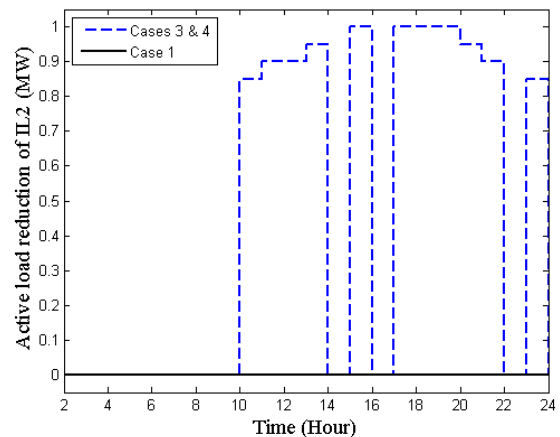
توان اکتیو و راکتیو خریداری شده از شبکه بالادستی در ۴ مطالعه موردی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده و مشاهده می‌شود که خرید توان اکتیو و راکتیو به خصوص در بار پیک در مطالعه موردی ۴

شکل ۱۰: کاهش بار توسط DRP<sub>۲</sub>.

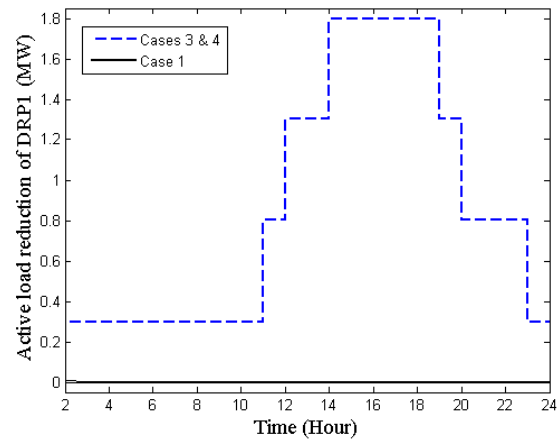
شکل ۷: بار اکتیو قطع شده توسط مصرف کننده صنعتی اول.



شکل ۱۱: منحنی شارژ و دشارژ خودروهای برقی.



شکل ۸: بار اکتیو قطع شده توسط مصرف کننده صنعتی دوم.

شکل ۹: کاهش بار توسط DRP<sub>۱</sub>.

نهایتاً مدیریت منحنی شارژ و دشارژ خودروهای برقی به صورت تجمیع شده در مطالعات موردی ۲ و ۴ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مشاهده می شود که به خاطر مدیریت هوشمند خودروهای برقی، شارژ در زمان های کم باری و دشارژ در زمان های پر باری اتفاق می افتد که منجر به کاهش بار پیک شده و خرید از شبکه بالادستی را کاهش داده و در نتیجه هزینه بهره برداری ریز شبکه کاهش قابل ملاحظه ای در این مطالعات داشته است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله به دلیل نفوذ گسترده منابع انرژی های تجدید پذیر و خودروهای برقی در ریز شبکه AC در سال های اخیر، لزوم مدیریت طرف تقاضا ضروری است. بنابراین در این مقاله، اثرات مدیریت طرف تقاضا و خودروهای برقی به طور هم زمان روی بهره برداری بهینه ریز شبکه AC مطالعه شد. به طور کلی، مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ خودروهای برقی و شرکت مصرف کنندگان بزرگ صنعتی در برنامه قطع بار و تجمیع کننده مصرف کنندگان کوچک جهت شرکت در برنامه پاسخ گویی بار منجر به هموار شدن منحنی بار و کاهش بار پیک شده و در نتیجه خرید برق از شبکه بالادستی در ساعات پیک را کاهش می دهد که منجر به کاهش هزینه بهره برداری ریز شبکه AC می شود. برای این منظور در این مقاله، ۴ مطالعه موردی در نظر گرفته شده که در مطالعه موردی ۱، ریز شبکه بدون در نظر گرفتن اثرات خودروی برقی و مدیریت طرف تقاضا مطالعه گردید که هزینه بهره برداری برابر با ۵۸۴۵۶ دلار شد. همچنین اثرات مثبت شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا روی بهره برداری

علاوه بر این منحنی بار اکتیو قطع شده توسط مصرف کننده های صنعتی اول و دوم در مطالعات موردی ۳ و ۴ به ترتیب در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده که در بهره برداری بهینه ریز شبکه AC مشارکت داشته اند. همچنین کاهش بار توسط تجمیع کننده برنامه پاسخ گویی بار اول و دوم از مدیریت طرف تقاضا در مطالعات موردی ۳ و ۴ در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. مشارکت مصرف کننده های صنعتی جهت قطع بار و کاهش بار توسط تجمیع کننده برنامه پاسخ گویی بار به خصوص در بار پیک منجر به کاهش بار پیک و در نتیجه کاهش خرید برق از شبکه بالادستی و در نتیجه منجر به کاهش هزینه بهره برداری ریز شبکه شده و عملکرد آن را نیز بهبود می بخشد.

- storage in stochastic smart microgrid operation," *International J. of Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 490-499, 1 Jan. 2018.
- [16] M. E. Khodayar, S. D. Manshadi, and A. Vafamehr, "The short-term operation of microgrids in a transactive energy architecture," *The Electricity J.*, vol. 29, no. 10, pp. 41-48, Dec. 2016.
- [17] A. Zakariazadeh and S. Jadid, "Integrated scheduling of electric vehicles and demand response programs in a smart microgrid," *Iranian J. of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 114-123, Dec. 2014.
- [18] A. Mehdizadeh and N. Taghizadegan, "Robust optimisation approach for bidding strategy of renewable generation-based microgrid under demand side management," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 11, pp. 1446-1455, Jun. 2017.
- [19] A. Mehdizadeh, N. Taghizadegan, and J. Salehi, "Risk-based energy management of renewable-based microgrid using information gap decision theory in the presence of peak load management," *Applied Energy*, vol. 211, pp. 617-630, 1 Feb. 2018.
- [20] K. P. Detroja, "Optimal autonomous microgrid operation: a holistic view," *Applied Energy*, vol. 173, pp. 320-330, 1 Jul. 2016.
- [21] F. Mumtaz and I. S. Bayram, "Planning, operation, and protection of microgrids: an overview," *Energy Procedia*, vol. 107, pp. 94-100, Feb. 2017.
- [22] S. Nojavan, M. Jalali, and K. Zare, "Optimal allocation of capacitors in radial/mesh distribution systems using mixed integer nonlinear programming approach," *Electric Power Systems Research*, vol. 107, pp. 119-124, Feb. 2014.
- [23] A. Zakariazadeh, S. Jadid, and P. Siano, "Stochastic multi-objective operational planning of smart distribution systems considering demand response programs," *Electric Power Systems Research*, vol. 111, pp. 156-168, Jun. 2014.
- [24] S. Nojavan and H. A. Aalami, "Stochastic energy procurement of large electricity consumer considering photovoltaic, wind-turbine, micro-turbines, energy storage system in the presence of demand response program," *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 1008-1018, Oct. 2015.
- [25] S. X. Chen, H. B. Gooi, and M. Q. Wang, "Sizing of energy storage for microgrids," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 142-151, Mar. 2012.
- [26] A. Soroudi and A. Keane, "Risk averse energy hub management considering plug-in electric vehicles using information gap decision theory," In *Plug In Electric Vehicles in Smart Grids*, pp. 107-127, Springer Singapore, 2015.
- [27] S. Wong, K. Bhattacharya, and J. D. Fuller, "Electric power distribution system design and planning in a deregulated environment," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 3, no. 12, pp. 1061-1078, Dec. 2009.
- [28] Y. M. Atwa, et al., "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 360-370, Feb. 2010.
- [29] Willy Online Pty Ltd, online available at: <http://wind.willyweather.com.au/>
- [30] Diesel Generators Specification Sheets, Kohler Power Systems Company, online available at: <http://www.yestranski.com/industrial/generatorsdiesel/industrial-diesel-generators-all.htm>
- [31] (2013 Jul. 18). New York Independent System Operator, online available at: [http://www.nyiso.com/public/markets\\_operations/index.jsp](http://www.nyiso.com/public/markets_operations/index.jsp)
- [32] E. R. Ramos, et al., "Path-based distribution network modeling: application to reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 556-564, May 2005.

**علی مهدی‌زاده** در سال ۱۳۸۹ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و در سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه تبریز دریافت نمود. نام‌برده در سال ۱۳۹۲ دوره دکتری مهندسی برق گرایش سیستم‌های قدرت در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان پذیرش شده و هم‌اکنون دانشجوی دوره دکتری می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند بازار برق، شبکه‌های هوشمند و کنترل سیستم‌های قدرت می‌باشد.

**نوید تقی‌زادگان کلانتری** در سال ۱۳۶۸ مدرک کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک خود را از دانشگاه تبریز و در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت خود را از دانشگاه تهران دریافت نمود. از سال ۱۳۷۳ الی ۱۳۷۹ نام‌برده به عنوان عضو هیأت‌علمی صنعتی در زمینه سیستم‌های قدرت در وزارت نیرو به کار مشغول بود و پس از آن به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه تبریز وارد گردید و در سال ۱۳۸۶ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق - قدرت از دانشگاه مذکور گردید. دکتر تقی‌زادگان

بهینه ریزشبكة به ترتیب در مطالعه‌های موردی ۲ و ۳ بررسی شد و نشان می‌دهد که هزینه‌های بهره‌برداری به ترتیب ۲/۸۶ و ۸/۳۸ درصد در مقایسه با مطالعه موردی ۱ کاهش یافته است. نهایتاً اثرات شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا به صورت هم‌زمان بر مبنای مدل پیشنهادی در مطالعه موردی ۴ بررسی شده که نشان‌دهنده کاهش ۱۱/۲۳٪ هزینه در مقایسه با مطالعه موردی ۱ است. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کاهش هزینه در این مطالعه موردی نسبت به مطالعه‌های موردی ۲ و ۳ نیز بیشتر است که ناشی از مدیریت هوشمند شارژ و دشارژ هوشمند خودروهای برقی و مدیریت طرف تقاضا به طور هم‌زمان است.

## مراجع

- [1] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 4, pp. 1229-1238, Apr. 2011.
- [2] N. Zhang, Z. Hu, D. Dai, S. Dang, M. Yao, and Y. Zhou, "Unit commitment model in smart grid environment considering carbon emissions trading," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 420-427, Jan. 2016.
- [3] A. Mehdizadeh and N. Taghizadegan Kalantari, "A stochastic programming of islanding microgrid in the presence of the hydrogen storage system and demand response program," *Tabriz J. of Electrical Engineering*, vol. 47, no. 2, pp. 711-725, Jun. 2017.
- [4] S. Nojavan, K. Zare, and B. Mohammadi-Ivatloo, "Selling price determination by electricity retailer in the smart grid under demand side management in the presence of the electrolyser and fuel cell as hydrogen storage system," *International J. of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 5, pp. 3294-3308, Feb. 2017.
- [5] S. Kaabe Pahne Kolaei and M. Rahimiyan, "Robust optimization-based energy management of virtual power plant by monitoring microgrid contingencies: single-line outage case study," *Tabriz J. of Electrical Engineering*, vol. 47, no. 1, pp. 249-261, Mar. 2017.
- [6] S. Nojavan, K. Zare, and B. Mohammadi-Ivatloo, "Application of fuel cell and electrolyzer as hydrogen energy storage system in energy management of electricity energy retailer in the presence of the renewable energy sources and plug-in electric vehicles," *Energy Conversion and Management*, vol. 136, no. 15, pp. 404-417, Mar. 2017.
- [7] J. Aghaei, S. E. Bagheri, S. Shafiee, T. Niknam, and S. M. Bagheri, "Assessment of smart distribution system response to operating characteristics of plug-in hybrid electric vehicles," *Tabriz J. of Electrical Engineering*, vol. 47, no. 1, pp. 11-20, Mar. 2017.
- [8] S. Nojavan, K. Zare, and B. Mohammadi-Ivatloo, "Optimal stochastic energy management of retailer based on selling price determination under smart grid environment in the presence of demand response program," *Applied Energy*, vol. 187, pp. 449-464, 1 Feb. 2017.
- [9] H. A. Aalami and S. Nojavan, "Energy storage system and demand response program effects on stochastic energy procurement of large consumers considering renewable generation," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 10, no. 1, pp. 107-114, Jan. 2016.
- [10] W. Bai, M. R. Abedi, and K. Y. Lee, "Distributed generation system control strategies with PV and fuel cell in microgrid operation," *Control Engineering Practice*, vol. 53, pp. 184-193, Aug. 2016.
- [11] H. Haddadian and R. Noroozian, "Optimal operation of active distribution systems based on microgrid structure," *Renewable Energy*, vol. 104, pp. 197-210, Apr. 2017.
- [12] M. H. Moradi, M. Abedini, and S. M. Hosseini, "Optimal operation of autonomous microgrid using HS-GA," *International J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 77, pp. 210-220, May 2016.
- [13] V. B. Foroutan, M. H. Moradi, and M. Abedini, "Optimal operation of autonomous microgrid including wind turbines," *Renewable Energy* vol. 99 pp. 315-324, Dec. 2016.
- [14] A. K. Mateska, V. Borozan, P. Krstevski, and R. Taleski, "Controllable load operation in microgrids using control scheme based on gossip algorithm," *Applied Energy*, vol. 210, pp. 1336-1346, 15 Jun. 2018.
- [15] S. A. Konstantinopoulos, A. G. Anastasiadis, G. A. Vokas, G. P. Kondylis, and A. Polyzakis, "Optimal management of hydrogen



**جواد صالحی** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق گرایش قدرت در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه تبریز و در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق قدرت گرایش سیستم‌های قدرت به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ از دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع مدرن، شبکه‌های توزیع هوشمند، قابلیت اطمینان و بازار برق.

از سال ۱۳۹۱ به عنوان عضو هیأت‌علمی در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز دانشیار این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند ایده‌های نو در سیستم‌های قدرت، قابلیت اطمینان، حفاظت و رله الکتریکی، ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی و غیره می‌باشد.