

## جایابی خازن بمنظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات با در نظر گرفتن پارکینگ خودروهای برقی

سمانه شاهسواری - محسن پارسامقدم - محمودرضا حقی فام - مهناز مرادی جز

دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

[Samaneh.shahsavari@modares.ac.ir](mailto:Samaneh.shahsavari@modares.ac.ir) - [parsa@modares.ac.ir](mailto:parsa@modares.ac.ir) - [haghifam@modares.ac.ir](mailto:haghifam@modares.ac.ir) - [m.moradijoz@modares.ac.ir](mailto:m.moradijoz@modares.ac.ir)

### چکیده

افزایش نگرانی در مورد گرم شدن زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و محدودیت سوخت‌های فسیلی منجر به مطرح شدن خودروهای برقی به عنوان جایگزینی برای خودروهای احتراق داخلی گردیده است. از اینرو، برنامه‌های مختلفی در سراسر جهان به منظور افزایش نفوذ خودروهای برقی تدوین شده است. خودروهای برقی عمده توان مورد نیاز خود را از شبکه قدرت دریافت می‌نمایند. با افزایش نفوذ خودروهای برقی، بار قابل توجهی به شبکه قدرت تحمیل می‌گردد. توان ناشی از شارژ خودروهای برقی بر پروفیل ولتاژ و میزان تلفات شبکه قدرت تأثیر می‌گذارد. از طرفی، در شبکه توزیع به منظور بهبود عملکرد شبکه از خازن استفاده می‌شود. در این مقاله، تأثیر حضور پارکینگ خودروهای برقی بر جایابی بهینه خازن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا ضریب حساسیت تلفات و شاخص پایداری ولتاژ برای تمامی باس‌ها محاسبه می‌گردد. سپس، باس‌های دارای شاخص پایداری ولتاژ پایین و ضریب حساسیت تلفات بالا بعنوان باس کاندید جهت خازن‌گذاری انتخاب می‌شوند و بر روی این باس‌ها جایابی خازن با استفاده از الگوریتم کلونی زنبورعسل صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهند در نظر گرفتن پارکینگ خودروهای برقی در شبکه قدرت بر مکان و ظرفیت بهینه خازن تأثیرگذار می‌باشد.

### کلید واژه

پارکینگ خودروی برقی - جایابی خازن - الگوریتم کلونی زنبورعسل - شاخص پایداری ولتاژ - ضریب حساسیت تلفات

VSI	شاخص پایداری ولتاژ	$V_i$	ولتاژ در باس i
$t_{f,v}$	زمان خروج خودرو v از پارکینگ	$PF_{overall}$	ضریب توان معادل
$t_{i,v}$	زمان ورود خودرو v به پارکینگ	$Q_c$	ظرفیت خازن
$SOC_{i,v}$	حالت شارژ اولیه خودروی v	$Q_D$	توان راکتیو بار
$SOC_{f,v}$	حالت شارژ نهایی خودروی v	$C_c$	هزینه خرید خازن
$P_{charge}$	نرخ شارژ	$C_{ci}$	هزینه نصب خازن
P(v)	توان مورد نیاز خودروی v	$C_o$	هزینه نگهداری خازن‌ها
$PF_{EV}$	ضریب توان	$C_e$	هزینه انرژی
$S_{total}$	بار پارکینگ	$P_{La}$	تلفات توان بعد از خازن گذاری
$P_j$	توان اکتیو باس j	$P_{Lb}$	تلفات توان قبل از خازن گذاری
$Q_j$	توان راکتیو باس j	$N_B$	تعداد خازن نصب شده
$R_{ij}$	مقاومت خط بین باس i و j	N	تعداد خودروهای برقی
$X_{ij}$	راکتانس خط بین باس i و j	e	بازده خودروهای برقی
$\alpha$	ضریب اهمیت هزینه خازن گذاری	$\mu_F$	ضریب اهمیت VSI

## ۱- مقدمه

ممنوع [۵]، توده ذرات [۶]، الگوریتم موجگان [۷]، الگوریتم ژنتیک [۹ و ۸]، الگوریتم کلونی زنبور عسل [۱۰] به منظور بهینه‌سازی مسأله خازن‌گذاری در شبکه قدرت استفاده می‌گردد. در این مطالعه، به منظور بررسی تأثیر حضور پارکینگ خودروی برقی در خازن‌گذاری الگوریتم کلونی زنبور عسل به کار گرفته شده است.

در بخش بعد نحوه مدل‌سازی بار پارکینگ شرح داده می‌شود. سپس روند اجرایی مسأله جایابی بهینه خازن بیان می‌گردد. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه تست IEEE دارای ۳۴ باس اجرا و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

## ۲- مدل‌سازی بار پارکینگ خودروهای برقی

به منظور مدل‌سازی بار پارکینگ به اطلاعاتی از قبیل: نرخ شارژ پارکینگ، مقدار شارژ اولیه باتری خودروها، زمان اتصال به شبکه، مدت زمان اتصال به شبکه، ظرفیت باتری و سطح نفوذ خودروهای برقی نیاز می‌باشد [۱۱].

در این مقاله، ضریب توان خودروها، بازده خودروها، ظرفیت باتری و تعداد خودروها به ترتیب ۰.۸۵، ۰.۹۰، ۱۰kwh، ۱۰۰۰ دستگاه در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی زمان رسیدن خودروهای برقی به پارکینگ‌ها از اطلاعات موجود درباره زمان مراجعه خودروها به یک پمپ بنزین نمونه استفاده شده است و سپس داده‌های موجود در رابطه

نگرانی‌های گسترده در مورد محدودیت سوخت‌های فسیلی، گرم شدن زمین و آلودگی هوا منجر به مطرح شدن خودروهای برقی با قابلیت بالاتر و بازدهی بیشتر به عنوان جایگزینی برای خودروهای احتراق داخلی گردیده است. این خودروها بخشی یا تمامی انرژی لازم برای حرکت خود را از طریق اتصال به شبکه قدرت و ذخیره انرژی در باتری بدست می‌آورند. به این ترتیب، چالش‌هایی را در سیستم قدرت مطرح می‌نمایند [۱].

برنامه‌ریزی برای تأمین توان مورد نیاز خودروهای برقی از جمله مسائل مطرح اپراتور شبکه می‌باشند [۲]. شارژ خودروهای برقی منجر به افزایش تلفات و بروز ناپایداری ولتاژ در برخی از باس‌های شبکه می‌گردد. از طرفی، در سیستم قدرت با اضافه کردن منابع توان راکتیو، به بهبود عملکرد شبکه قدرت می‌پردازند [۳].

تزریق توان راکتیو به شبکه قدرت تنها زمانی بیشترین مزیت را برای شبکه قدرت به همراه خواهد داشت که مکان و ظرفیت آن به درستی تعیین گردد. در اکثر مقالات منتشر شده به منظور دستیابی به حداکثر مزیت ناشی از قرار گرفتن خازن از الگوریتم‌های ابتکاری استفاده شده است [۴]. در مطالعات صورت گرفته، از الگوریتم‌هایی مانند جستجوی

و تلفات استفاده نمود.

برای ارزیابی سطح امنیت سیستم قدرت شاخص‌های مختلفی بیان شده‌اند [۱۲]. در این مقاله، از شاخص پایداری ولتاژ برای شناسایی باس‌های حساس به افت ولتاژ استفاده شده‌است [۱۳]. این شاخص در شبکه‌های توزیع شعاعی (در حالی که باس  $j$  به باس  $i$  متصل می‌باشد)، از رابطه ریاضی ۴ محاسبه می‌شود:

$$VSI(j) = |V_i|^4 - 4(P_j \cdot X_{ij} - Q_j \cdot R_{ij})^2 - 4(P_j \cdot R_{ij} + Q_j \cdot X_{ij}) \cdot |V_i|^2 \quad (4)$$

این شاخص در باس‌هایی که ولتاژ نامناسب دارند، مقدار کمتر و در باس‌های با ولتاژ مناسب مقدار بیشتری خواهد داشت. در واقع باسی که مقدار شاخص پایداری ولتاژ آن کمتر باشد، باس ضعیف شبکه می‌باشد که برای خازن‌گذاری نسبت به باس‌های دیگر در الویت است. بنابراین بایستی شاخص پایداری ولتاژ در تمامی باس‌ها بیشینه شود.

هم‌چنین برای تشخیص باس‌های حساس به تلفات از ضریب تحلیل حساسیت تلفات استفاده می‌گردد که از مشتق تلفات توان اکتیو نسبت به توان راکتیو محاسبه می‌شود [۱۴].

ضریب حساسیت تلفات (LSF) در نقاطی با ولتاژ و تلفات مناسب مقداری کوچک و در نقاط با تلفات بالا و ولتاژ کم، مقدار بزرگتری دارد. در این مطالعه، باس‌هایی که شاخص پایداری ولتاژ کمتر و ضریب حساسیت تلفات بیشتر داشته باشند، شانس بیشتری جهت نصب خازن خواهند داشت. در شبکه تحت مطالعه، ۹ باس کاندید جهت خازن‌گذاری انتخاب می‌شود.

### ۳-۲- تابع هدف

همانطور که قبلاً ذکر شد، هدف از جایابی خازن در شبکه کاهش تلفات، کاهش هزینه‌های خازن‌گذاری و بهبود پروفیل ولتاژ می‌باشد. لذا تابع هدف مسأله بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{Max}\{C_e \cdot (P_{Lb} - P_{La}) \cdot T - C_O \cdot N_B - \alpha \cdot [C_{Ci} \cdot N_B + C_C \cdot \sum_{i=1}^{N_B} Q_C(i)] + \mu_F \cdot \sum_{j=2}^N VSI(j)\} \quad (5)$$

با زمان مراجعه خودروها به پمپ بنزین با تابع توزیع نرمال با میانگین  $13/706$  و انحراف معیار استاندارد  $4/5975$  برازش شده‌است. به طور مشابه، مقدار شارژ اولیه باتری خودروها بصورت تابع توزیع نرمال دارای میانگین  $32\%$  و انحراف معیار استاندارد  $15\%$  برازش می‌شود.

خودروها بعد از مراجعه به پارکینگ تا زمانی که حالت شارژ نهایی آن‌ها برابر حالت شارژ درخواستی آن‌ها شود، به شبکه متصل می‌گردند. بنابراین مدت زمان حضور خودرو در پارکینگ به حالت شارژ اولیه خودرو، حالت شارژ درخواستی خودرو و نرخ شارژ بستگی دارد. زمان خروج خودرو از پارکینگ به مدت زمان حضور خودرو در پارکینگ و زمان ورود خودرو به پارکینگ بستگی دارد. در این صورت، زمان خروج خودروی  $v$ ام از پارکینگ به صورت رابطه ۱ مدل‌سازی می‌گردد. توان مورد نیاز خودروی  $v$ ام در زمان اتصال خودرو به شبکه از نسبت نرخ شارژ پارکینگ به بازده خودرو بدست می‌آید که مدل ریاضی آن در رابطه ۲ بیان شده‌است. میزان بار پارکینگ در هر ساعت برابر با توان مورد نیاز خودروها می‌باشد که بصورت رابطه ۳ مدل شده‌است. در نهایت، خروجی پارکینگ با استفاده از روش مونت کارلو شبیه‌سازی می‌گردد.

$$t_{f,v} = t_{i,v} + \left( \frac{SOC_{f,v} - SOC_{i,v}}{P_{charge}} \right) \quad (1)$$

$$P(v) = \begin{cases} P_{ch} / e & t_{i,v} < t < t_{f,v} \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (2)$$

$$S_{total} = \sum_{v=1}^N P(v) \cdot \left( 1 + i \sqrt{\frac{1 - PF_{EV}^2}{PF_{EV}}} \right) \quad (3)$$

### ۳- روند اجرایی مسأله

در این بخش، ابتدا تعدادی از باس‌های دارای پتانسیل خازن‌گذاری به‌منظور کاهش فضای جستجو شناسایی می‌شوند. سپس تابع هدف جهت تعیین مکان و ظرفیت بهینه خازن بیان می‌گردد. در نهایت، الگوریتم مورد استفاده جهت خازن‌گذاری شرح داده می‌شود.

### ۳-۱- شناسایی باس‌های کاندید

باس‌هایی که ولتاژ نامطلوب و نقش بیشتری در افزایش تلفات داشته‌باشند، شانس بیشتری جهت نصب خازن با هدف کمینه کردن تلفات و بیشینه کردن شاخص پایداری ولتاژ خواهند داشت. لذا برای شناسایی باس‌های دارای پتانسیل خازن‌گذاری بایستی از شاخص‌های مربوط به ولتاژ

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (7)$$

مرحله ۳. محاسبه احتمال هر راه حل از طریق رابطه ۸

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (8)$$

که در آن :

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+F_i} & F_i \geq 0 \\ 1 + |F_i| & F_i < 0 \end{cases} \quad (9)$$

مرحله ۴. انتخاب زنبورهای تماشاگر از بین زنبورهای کارگر با توجه به احتمال آنها

مرحله ۵. تولید راه حل جدید برای زنبورهای تماشاگر با استفاده از رابطه ۷ و ارزیابی آنها

مرحله ۶. بدست آوردن راه حل های رهاشده

مرحله ۷. اگر تعداد راه حل های رهاشده بیشتر از حداکثر راه حل های رهاشده بود، راه حل تصادفی جدید برای زنبورهای پیش آهنگ از طریق رابطه روبرو تولید شود:

$$x_{ij} = x_{ij} + rand(0,1) \cdot (x_{i,max} - x_{i,min}) \quad (10)$$

مرحله ۸. ذخیره کردن بهترین راه حل های بدست آمده

مرحله ۹. تا زمانی که به تعداد تکرار مورد نظر (MCN) نرسیدیم به مرحله ۲ برو.

الگوریتم کلونی زنبور عسل ۳ پارامتر کنترلی مهم دارد: تعداد منابع غذایی که برابر با تعداد زنبورهای تماشاگر و کارگر می باشد، حداکثر تعداد تکرار (MCN) و حداکثر تعداد راه حل های رهاشده.

#### ۴- نتایج عددی و شبیه سازی

در این بخش، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در شبکه تست ۳۴ شینه IEEE که در شکل ۱ نشان داده شده است، مورد ارزیابی قرار می گیرد. ابتدا جایابی خازن بدون در نظر گرفتن پارکینگ خودروهایی برقی شبیه سازی می شود، سپس با تعریف سناریوهای مختلف، تأثیر حضور پارکینگ خودروهایی برقی بر مکان و اندازه بهینه خازن مورد بررسی قرار می گیرد.

که در این رابطه، جمله اول سود ناشی از کاهش تلفات، جمله دوم هزینه تعمیر و نگهداری خازن ها، جمله سوم هزینه خرید و نصب خازن ها با ضریب اهمیت  $\alpha$  و جمله آخر شاخص پایداری ولتاژ با ضریب اهمیت  $\mu_F$  می باشد.

قیود فنی شبکه قدرت شامل محدودیت ولتاژ، محدودیت جبران سازی توان راکتیو، محدودیت ضریب قدرت و ... را نمی توان نادیده گرفت، لذا آنها بصورت تابع جریمه در تابع هدف مسأله وارد می گردد. محدودیت های شبکه در رابطه ۶ بیان شده است.

$$\begin{cases} 0.95 \leq |V_i| \leq 1.05 & ; \quad i = 1 \dots N \\ 0.95 \leq PF_{overall} \leq 0.99 \\ \sum_{i=1}^{N_B} Q_C(i) \leq \sum_{j=1}^N Q_D(j) \end{cases} \quad (6)$$

#### ۳-۳- الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

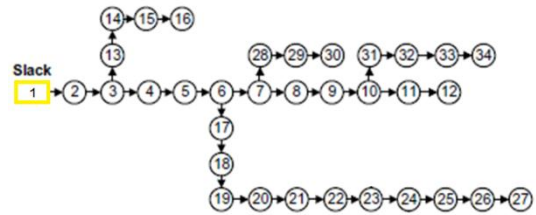
الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی یک تکنیک برای حل مسائل بهینه سازی است که برگرفته از رفتار زنبورهای عسل در طبیعت می باشد. در این روش هر یک از زنبورها با همکاری مستقیم و اشتراک گذاشتن اطلاعات، سعی در به دست آوردن بهترین جواب بر حسب قوانین احتمال دارد [۱۵].

هر کلونی در طبیعت از سه بخش منابع غذایی، زنبورهای کارگر و زنبورهای غیر کارگر تشکیل شده است. بیشترین وظیفه در هر کندو بر عهده زنبورهای کارگر می باشد. زنبورهای غیر کارگر به دو دسته پیش آهنگ و تماشاگر تقسیم می شوند. زنبورهای پیش آهنگ محیط پیرامون را برای یافتن منابع غذایی جدید جستجو می کنند و زنبورهای تماشاگر در کندو منتظر رسیدن اطلاعات از سوی کارگرها می باشند. زنبورهای عسل از یک سیستم پیچیده برای یافتن اطلاعات در مورد محل و کیفیت منابع غذایی در بیرون کندو استفاده می کنند.

مراحل اصلی این الگوریتم بصورت زیر می باشد:

مرحله ۱. تولید جمعیت اولیه و ارزیابی آنها

مرحله ۲. تولید راه حل های جدید  $v_{ij}$  در همسایگی  $x_{ij}$  برای زنبورهای کارگر از طریق فرمول روبرو (که  $k$  یک راه حل در همسایگی  $i$  است) و ارزیابی آنها



شکل ۱. شبکه تست ۳۴ شینه IEEE

با توجه به نتایج شبیه‌سازی، بعد از خازن‌گذاری شاخص پایداری ولتاژ و تلفات شبکه قدرت بهبود می‌یابد. به علاوه، اجرای خازن‌گذاری مزایای اقتصادی نیز برای شرکت توزیع به همراه خواهد داشت. در این حالت تلفات سیستم بعد از اجرای خازن‌گذاری به میزان ۲۴/۶٪ کاهش می‌یابد.

#### الف. سناریو ۱:

در این بخش، سطح نفوذ خودروهای برقی ۲۰٪ و نرخ شارژ آن‌ها ۱kw فرض می‌گردد. با توجه به اینکه پارکینگ در کدامیک از باس‌ها قرار دارد، تعدادی از باس‌های شبکه جهت خازن‌گذاری انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدول ۳ آورده شده‌است. منحنی شاخص پایداری ولتاژ قبل و بعد از خازن‌گذاری در شکل ۳ نشان داده شده‌است.

در این حالت نیز، بعد از اجرای خازن‌گذاری عملکرد فنی شبکه از قبیل پروفیل ولتاژ و تلفات شبکه بهبود می‌یابد و نیز منفعت اقتصادی برای شرکت توزیع به همراه دارد. چون پیک بار پارکینگ در این حالت ناچیز می‌باشد، تأثیر چندانی در مکان و ظرفیت بهینه خازن ندارد. در این سناریو، به طور متوسط ۲۴/۴٪ کاهش در تلفات شبکه خواهیم داشت.

#### ب. سناریو ۲:

به منظور ارزیابی میزان تأثیر نرخ شارژ تجهیزات پارکینگ خودروهای برقی، نرخ شارژ خودروها ۱۰kw و سطح نفوذ خودروهای برقی بدون تغییر برابر با ۲۰٪ فرض می‌شود. جدول ۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریو ۲ را با تغییر مکان پارکینگ نشان می‌دهد. منحنی شاخص پایداری ولتاژ قبل و بعد از خازن‌گذاری در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهند که با افزایش نرخ شارژ خودروها، پیک بار پارکینگ بیشتر می‌شود. همچنین شاخص پایداری ولتاژ، کاهش و تلفات شبکه افزایش می‌یابد. به این ترتیب، مکان بهینه خازن تغییر می‌کند و ظرفیت بهینه خازن بیشتر می‌شود. در این حالت، انجام خازن‌گذاری منجر به کاهش تلفات شبکه به میزان ۲۵/۱٪ می‌گردد.

پارامترهای کنترلی الگوریتم و ثابت‌های مربوط به تابع هدف در جدول زیر آورده شده‌است [۱۰].

جدول ۱. پارامترهای کنترلی الگوریتم و ثابت‌های مربوط به تابع هدف

۶۰	تعداد منابع غذایی (SN)
۱۰۰	حداکثر تعداد تکرار (MCN)
۳۰	حداکثر راه‌حل‌های ره‌اشده
صفر تا ۱۵۰۰ با پله‌های ۵۰	ظرفیت خازن (kVAr)
۲۵ \$/year/location	هزینه خرید خازن
۱۶۰۰ \$/location	هزینه نصب خازن
۳۰۰ \$/year/location	هزینه نگهداری خازن‌ها
۰.۰۶ \$/kWh	هزینه انرژی
۲۰٪	ضریب اهمیت $\alpha$
۵۰۰	ضریب اهمیت $\mu_F$

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حالتی که هیچ پارکینگی در شبکه نباشد، در جدول ۲ آورده شده‌است. منحنی شاخص پایداری ولتاژ قبل و بعد از خازن‌گذاری در شکل ۲ نشان داده شده‌است.

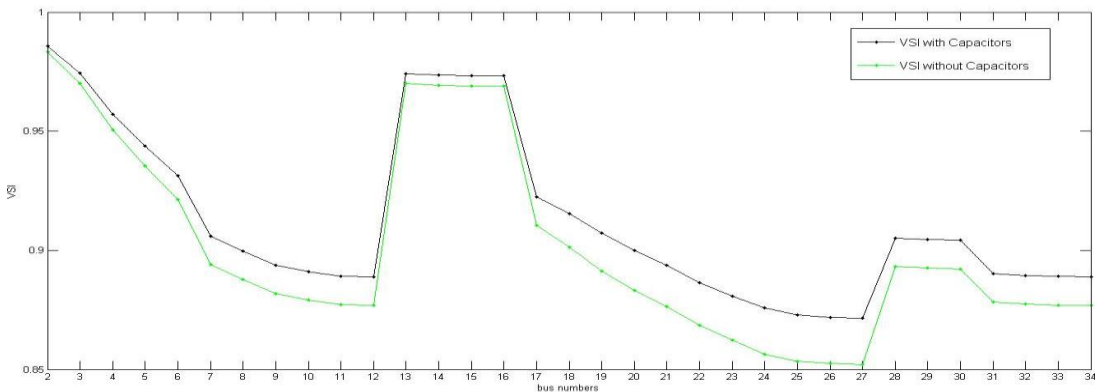
جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی در حالتی که هیچ پارکینگی در شبکه نباشد

نتایج	حالت سیستم	قبل از خازن‌گذاری	بعد از خازن‌گذاری
کمترین ولتاژ		۰/۹۴۰۴	۰/۹۴۶۲
بیشترین ولتاژ		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۸۲
تلفات توان اکتیو (kw)		۳۸۴/۴۴۹۰	۲۸۹/۷۴۶۶
تلفات توان راکتیو (kVAr)		۱۰۴/۳۹۰۵	۷۸/۴۴۲۳
کمترین شاخص پایداری ولتاژ		۰/۸۵۲۲	۰/۸۷۱۶
بیشترین شاخص پایداری ولتاژ		۰/۹۸۳۳	۰/۹۸۵۸
باس‌های کاندید		۱۹-۲۲-۲۰-۲۱-۲۳-۲۴-۲۵	۲۶-۲۷
مکان و اندازه بهینه خازن		در باس ۱۹ و ۲۴ به ترتیب ۸۰۰ و ۵۵۰ kVAr	
سود حاصل از خازن‌گذاری			۴۱۷۸۶

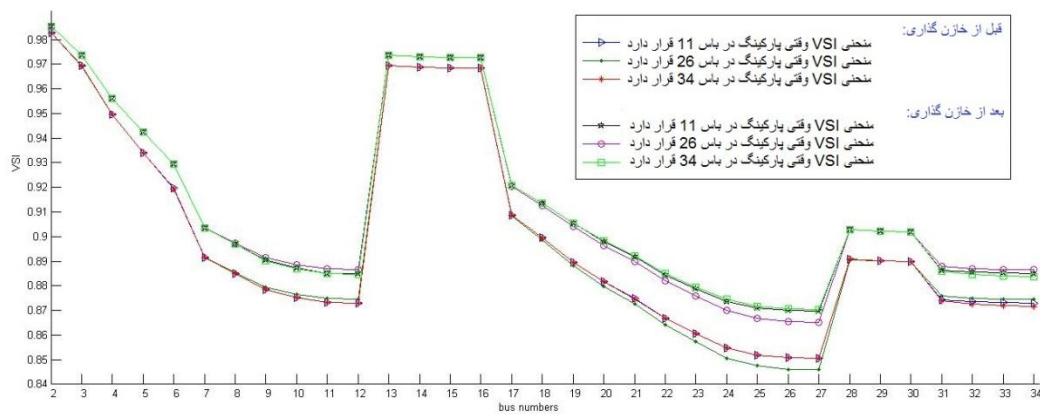
### ج. سناریو ۳:

افزایش سطح نفوذ خودروهای برقی منجر به افزایش تلفات و کاهش شاخص پایداری ولتاژ می‌گردد. افزایش سطح نفوذ خودروهای برقی بر مکان بهینه خازن تأثیر قابل توجهی ندارد. اما در ظرفیت بهینه خازن مؤثر است. بعد از اجرای خازن گذاری تلفات سیستم تقریباً ۲۵٪ کاهش می‌یابد.

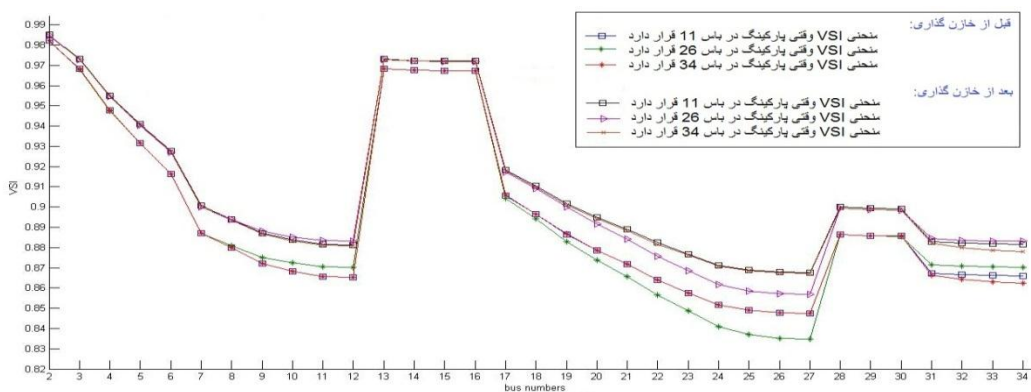
حال سطح نفوذ خودروهای برقی و نرخ شارژ به ترتیب برابر با ۴۰٪ و ۱۰kW فرض کنید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریو ۳، در جدول ۵ نشان داده شده‌است. منحنی شاخص پایداری ولتاژ قبل و بعد از خازن گذاری در شکل ۵ نشان داده شده‌است.



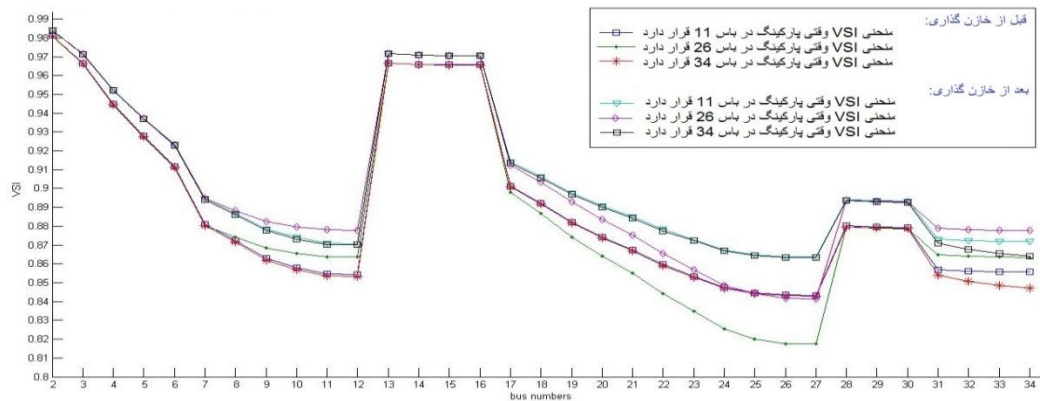
شکل ۲. منحنی شاخص پایداری ولتاژ قبل و بعد از خازن گذاری در حالی که هیچ پارکینگ در شبکه نباشد



شکل ۳. منحنی VSI قبل و بعد از خازن گذاری در حضور پارکینگ خودروهای برقی (سناریو ۱)



شکل ۴. منحنی VSI قبل و بعد از خازن گذاری در حضور پارکینگ خودروهای برقی (سناریو ۲)



شکل ۵. منحنی VSI قبل و بعد از خازن گذاری در حضور پارکینگ خودروهای برقی (سناریو ۳)

جدول ۳. نتایج حاصل از سناریو ۱ با تغییر مکان نصب پارکینگ

۳۴		۲۶		۱۱		مکان نصب پارکینگ	نتایج
بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری		
۰/۹۴۵۷	۰/۹۳۹۹	۰/۹۴۴۱	۰/۹۳۸۴	۰/۹۴۵۶	۰/۹۳۹۹	کمترین ولتاژ	
۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۶	بیشترین ولتاژ	
۳۰۳/۳۴۹۶	۴۰۰/۴۱۶۰	۳۰۷/۷۴۲۹	۴۰۷/۸۷۲۲	۳۰۲/۵۶۹۴	۳۹۹/۸	تلفات توان اکتیو (kw)	
۸۱/۹۴۲۵	۱۰۸/۵۶۲۵	۸۳/۰۶۵۵	۱۱۰/۳۷۱۸	۸۱/۸۱۶۶	۱۰۸/۴۳۴۱	تلفات توان راکتیو (kVar)	
۰/۸۷۰۳	۰/۸۵۰۵	۰/۸۶۵۳	۰/۸۴۵۹	۰/۸۶۹۸	۰/۸۵۰۶	کمترین شاخص پایداری ولتاژ	
۰/۹۸۵۴	۰/۹۸۲۹	۰/۹۸۵۴	۰/۹۸۲۹	۰/۹۸۵۴	۰/۹۸۲۹	بیشترین شاخص پایداری ولتاژ	
-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۱-۲۰-۲۲-۱۹	باس های کاندید	
۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	مکان و اندازه بهینه خازن	
در باس ۱۹ و ۲۴ به ترتیب ۷۵۰ و ۶۰۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۴ به ترتیب ۸۰۰ و ۵۵۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۴ به ترتیب ۸۰۰ و ۵۵۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۴ به ترتیب ۸۰۰ و ۵۵۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۵ به ترتیب ۹۰۰ و ۴۵۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۵ به ترتیب ۹۰۰ و ۴۵۰ kVar	سود حاصل از خازن گذاری	
۴۳۰۲۸	۴۴۶۳۸	۴۴۶۳۸	۴۴۶۳۸	۴۳۱۱۴	۴۳۱۱۴		

جدول ۴. نتایج حاصل از سناریو ۲ با تغییر مکان نصب پارکینگ

۳۴		۲۶		۱۱		مکان نصب پارکینگ	نتایج
بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری		
۰/۹۴۴۰	۰/۹۳۸۲	۰/۹۳۸۲	۰/۹۳۱۶	۰/۹۴۴۳	۰/۹۳۸۳	کمترین ولتاژ	
۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۵	بیشترین ولتاژ	
۳۲۳/۹۱۵۴	۴۳۳/۰۱۲۷	۳۴۳/۹۸۵۷	۴۵۵/۳۰۳۵	۳۱۹/۵۱۰۴	۴۳۰/۸۳۷۶	تلفات توان اکتیو (kw)	
۸۷/۳۰۷۱	۱۱۶/۹۶۵۲	۹۲/۱۸۳۲	۱۲۲/۳۸۸۸	۸۶/۳۸۳۴	۱۱۶/۵۵۰۳	تلفات توان راکتیو (kVar)	
۰/۸۶۷۳	۰/۸۴۷۶	۰/۸۵۶۸	۰/۸۳۴۹	۰/۸۶۷۵	۰/۸۴۷۶	کمترین شاخص پایداری ولتاژ	
۰/۹۸۵۰	۰/۹۸۲۲	۰/۹۸۴۹	۰/۹۸۲۲	۰/۹۸۵۱	۰/۹۸۲۳	بیشترین شاخص پایداری ولتاژ	
[۲۷ ۲۴ ۲۶ ۳۳ ۳۱ ۳۲ ۲۵ ۲۴ ۲۳]	[۲۷ ۲۶ ۲۵ ۲۱ ۲۴ ۲۳ ۲۰ ۲۲ ۱۹]	[۲۷ ۲۶ ۲۵ ۲۱ ۲۴ ۲۳ ۲۰ ۲۲ ۱۹]	[۲۷ ۲۶ ۲۵ ۲۱ ۲۴ ۲۳ ۲۰ ۲۲ ۱۹]	[۱۲ ۲۷ ۲۶ ۱۱ ۲۵ ۱۰ ۲۴ ۲۳ ۲۲]	[۱۲ ۲۷ ۲۶ ۱۱ ۲۵ ۱۰ ۲۴ ۲۳ ۲۲]	باس های کاندید	
در باس ۲۳، ۲۶ و ۳۱ به ترتیب ۵۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۶ به ترتیب ۸۵۰ و ۶۰۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۶ به ترتیب ۸۵۰ و ۶۰۰ kVar	در باس ۱۹ و ۲۶ به ترتیب ۸۵۰ و ۶۰۰ kVar	در باس ۱۱، ۲۲ و ۲۵ به ترتیب ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ kVar	در باس ۱۱، ۲۲ و ۲۵ به ترتیب ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ kVar	مکان و اندازه بهینه خازن	
۴۸۲۳۲	۵۰۰۱۹	۵۰۰۱۹	۵۰۰۱۹	۴۹۱۵۴	۴۹۱۵۴	سود حاصل از خازن گذاری	

جدول ۵. نتایج حاصل از سناریو ۳ با تغییر مکان نصب پارکینگ

۳۴		۲۶		۱۱		مکان نصب پارکینگ نتایج
بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	بعد از خازن گذاری	قبل از خازن گذاری	
۰/۹۴۲۵	۰/۹۳۶۳	۰/۹۳۱۶	۰/۹۲۴۲	۰/۹۴۲۵	۰/۹۳۶۴	کمترین ولتاژ
۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۷۵	بیشترین ولتاژ
۳۶۸/۸۴۰۳	۴۹۰/۹۱۰۷	۴۰۴/۲۰۲۸	۵۳۵/۱۳۵۷	۳۵۹/۲۷۳۱	۴۸۱/۴۹۰۸	تلفات توان اکتیو (kw)
۹۸/۶۰۸۴	۱۳۱/۶۳۴۳	۱۰۷/۲۴۶۳	۱۴۲/۴۴۲۷	۹۶/۶۶۴۰	۱۲۹/۶۴۵۴	تلفات توان راکتیو (kVar)
۰/۸۶۳۴	۰/۸۴۲۹	۰/۸۴۱۲	۰/۸۱۷۴	۰/۸۶۳۵	۰/۸۴۳۳	کمترین شاخص پایداری ولتاژ
۰/۹۸۴۱	۰/۹۸۱۲	۰/۹۸۴	۰/۹۸۱	۰/۹۸۴۲	۰/۹۸۱۳	بیشترین شاخص پایداری ولتاژ
۲۷ ۲۶ ۳۴ ۳۳ ۳۱ ۲۵ ۳۲ ۲۴ ۲۳	۲۷ ۲۶ ۲۵ ۲۱ ۲۳ ۲۴ ۲۰ ۲۲ ۱۹	۱۲ ۲۷ ۲۶ ۲۵ ۱۱ ۱۰ ۲۴ ۲۳ ۲۲				باس های کاندید
در باس ۳۱ و ۲۷ به ترتیب kVar ۷۰۰ ، ۳۰۰ ، ۵۵۰		در باس ۱۹ و ۲۶ به ترتیب kVar ۷۰۰ و ۹۰۰		در باس ۱۰ ، ۲۲ و ۲۵ به ترتیب kVar ۴۰۰ و ۵۰۰ ، ۶۵۰		مکان و اندازه بهینه خازن
۵۴۵۵۰		۵۹۵۷۸		۵۴۶۲۸		سود حاصل از خازن گذاری

## مراجع

- [1] Masoum, Amir S., Sara Deilami, Paul S. Moses, and Ahmed Abu-Siada. "Impact of plug-in electrical vehicles on voltage profile and losses of residential system." In Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian, pp. 1-6. IEEE, 2010.
- [2] Karnama, Ahmad. "Analysis of integration of plug-in hybrid electric vehicles in the distribution grid." PhD diss., KTH, 2009.
- [3] Short TA. Electric power distribution equipment and systems capacitor application. 1st ed. CRC Press, Taylor & Francis Group; 2005. ISBN-10.0849395763.
- [4] Sirjani R, Azah M, Shareef H. Heuristic optimization techniques to determine optimal capacitor placement and sizing in radial distribution networks: a comprehensive review. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electr Rev) 2012;88(7a):1-7.
- [5] R. A. Gallego, A. J. Monticelli, and R. Romero, "Optimal capacitor placement in radial distribution networks," IEEE Trans. Power Syst., vol. 16, no. 4, pp. 630-637, Nov. 2001.
- [6] Singh SP, Rao AR. Optimal allocation of capacitors in distribution systems using particle swarm optimization. Int J Electr Power Energy Syst 2012;43(1): 1267-75.

## ۵- نتیجه گیری

به منظور بهره‌مندی از مزایای خودروهای برقی و جلوگیری از تأثیرات منفی آن‌ها بر شبکه، بررسی ابعاد مختلف تأثیرگذاری این فناوری‌ها بر شبکه امری ضروری است. شارژ خودروها در پارکینگ خودروهای برقی بر مسائل فنی شبکه مانند پروفیل ولتاژ و تلفات شبکه تأثیر منفی می‌گذارد. استفاده از خازن در شبکه یکی از راه‌های مقابله با تأثیرات منفی شارژ خودروهای برقی بر شبکه می‌باشد. در این مقاله، مکان و ظرفیت بهینه خازن با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل در حضور پارکینگ خودروهای برقی تعیین شده‌است.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی، هرچه نرخ شارژ خودروها افزایش یابد، شاخص پایداری ولتاژ و ضریب حساسیت تلفات در برخی از باس‌ها به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. لذا با افزایش نرخ شارژ خودروهای برقی نیاز به خازن‌گذاری افزایش می‌یابد. همچنین مکان بهینه خازن تغییر می‌نماید.

افزایش سطح نفوذ خودروها در مکان بهینه خازن تأثیر چشم‌گیری ندارد. اما، به دلیل افزایش بار پارکینگ، ظرفیت بهینه خازن بیشتر می‌شود. بنابراین پارکینگ خودروهای برقی علاوه بر تأثیر در عملکرد فنی شبکه، در برنامه‌ریزی‌های سیستم قدرت نیز تأثیرگذار می‌باشد.



- [11] Yunus, Kalid, H. Zelaya De La Parra, and Muhamad Reza. "Distribution grid impact of Plug-In Electric Vehicles charging at fast charging stations using stochastic charging model." *Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on.* IEEE, 2011.
- [12] Anhit S, Ndarajah M, Kwang S. A maximum loading margin method for static voltage stability in power systems. *IEEE Trans Power System* 2006;21(2):965–72.
- [13] Charkravorty M, Das D. Voltage stability analysis of radial distribution networks. *Int J Electr Power Energy Syst* 2001;23(2):129–35.
- [14] Ault Graham W, McDonald James R. Planning for distributed generation within distribution networks in restructured electricity markets. *IEEE Power Eng Rev* 2000;20(2):52–4.
- [15] Karaboga D, Basturk B. On the performance of artificial bee colony algorithm. *Appl Soft Comput* 2008;8:687–97.
- [7] Chang CF. Reconfiguration and capacitor placement for loss reduction of distribution systems by ant colony search algorithm. *IEEE Trans Power Syst* 2008;23(4):1747–55.
- [8] M.-R. Haghifam and O. P. Malik, "Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitors placement in distribution systems with uncertainty and time varying loads," *IET Gen. Trans. Dist.*, vol. 1, pp. 244–252, 2007.
- [9] D. Das, "Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a fuzzy-GA method," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 30, pp. 361–367, 2008.
- [10] El-Fergany, Attia A., and Almoataz Y. Abdelaziz. "Capacitor placement for net saving maximization and system stability enhancement in distribution networks using artificial bee colony-based approach." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 54 (2014): 235-243.