

## جایابی بهینه ذخیره ساز انرژی در میکروگرید با هدف افزایش تاب آوری شبکه و افزایش چرخه عمر باتری

امیرحسین الهی

دانشجو دانشگاه جامع امام حسین (ع)

دکتر رضا غفارپور

استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

دکتر رضا دشتی

دانشیار دانشگاه علم و صنعت

### چکیده

امروزه جایابی بهینه ذخیره ساز انرژی در شبکه های برق به منظور بهبود تاب آوری و همچنین راهکاری برای افزایش عمر باتری ها در شبکه ها، مورد توجه قرار گرفته است. مفهوم تاب آوری در دهه های اخیر در عرصه های متعدد علمی به یک موضوع مهم و حیاتی تبدیل شده است. این مفهوم به طور کلی به حوادث و وقوع رویدادهایی اشاره دارد که احتمال وقوع آنها کم و حوزه تاثیرات آنها بالاست<sup>۱</sup>. در این تحقیق برنامه استفاده از ذخیره سازها در میکروگرید فعال با استفاده از شاخص میزان انرژی تأمین نشده ارائه شده است. میزان عملکرد سیستم در شرایط متفاوت و میزان هزینه های سیستم نیز بررسی شده است. برای بررسی میزان تاب آوری از شاخص میزان انرژی تأمین نشده را بعد از وقوع حادثه استفاده شده است. این کار با اعمال حادثه طوفان بر روی شبکه بررسی شده است. در نهایت هزینه های تحمیلی سیستم با جایابی بهینه ذخیره ساز انرژی در شبکه و مقدار انرژی شارژ و دشارژ باتری به ترتیب به مقدار ۱۱ درصد افزایش و ۴۰ درصد کاهش در طول بازه زمانی یک سال داشته است.

**واژگان کلیدی:** ذخیره ساز انرژی، تاب آوری، میکروگرید، هزینه تحمیلی سیستم.

<sup>1</sup> High Impact Low Probability

## مقدمه

باتوجه به حادثه هایی که با احتمال وقوع پایین و تأثیر بالا هر ساله خسارات قابل توجهی به شبکه های توزیع برق وارد می کنند، اهمیت افزایش تاب آوری و تداوم تأمین برق بیش از پیش در سراسر جهان به طور جدی احساس می شود. شبکه های برق به عنوان ستون اساسی اقتصاد و زندگی مدرن جامعه ها شناخته می شوند. همچنین، نیاز به توسعه و بهبود پایداری این شبکه ها به منظور تأمین نیازهای انرژی روبه افزایش جامعه می باشد. علی رغم اهمیت بسیار بالای شبکه توزیع، قطعی برق در ارائه خدمات به مشترکان به طور مکرر اتفاق می افتد. این قطعی ها از تحت تأثیر قرار گرفتن یک مشترک به دلیل خطاهای کوچک تا قطعی برق میلیون ها مشترک به دلیل خطاهای بزرگ متغیر است.

در دهه های اخیر، وقوع حوادث طبیعی در سراسر جهان به وضوح افزایش یافته است. به عنوان مثال، زمین لرزه در شرق ژاپن در سال ۲۰۱۱ و سونامی پس از آن باعث خاموشی سیستم برق در سراسر کشور و تحت تأثیر قرار گرفتن ۸.۵ میلیون مشترک در بخش های خانگی، تجاری و صنعتی به مدت دو هفته شد (Aki, H. 2017). همچنین طبق منابع، حوادث دیگری همچون طوفان سندی در ایالات متحده که به عنوان دومین طوفان پرخسارت تاریخ این کشور شناخته می شود، باعث از دست رفتن برق ۷ میلیون مشترک شد (President, 2013). همچنین در استرالیا، سیل در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲ باعث از دست رفتن برق برای ۱۵۰۰۰ مشترک شد و طوفان یخ در چین نیز در سال ۲۰۱۲ به قطع برق در ۱۱ استان این کشور انجامید. در سال ۲۰۰۸، کولاک شدیدی در چین رخ داد که باعث خرابی ۲۰۰۰ پست توزیع و ۸۵۰۰ برج انتقال شد (Panteli, M and Mancarella, 2015). از این رو، عمده ترین علت خاموشی های گسترده در سراسر جهان تا کنون به حوادث طبیعی برمی گردد.

با توجه به هدف اصلی شرکت های برق که تأمین انرژی قابل اطمینان و پایدار برای مشتریان است، تعیین و تدوین معیارهایی برای ارزیابی شبکه های توزیع در راستای تأمین مستمر و پیوسته انرژی برای مشترکان اهمیت بسزایی دارد. این معیارها به شرکت ها کمک می کند تا با تحلیل و بررسی دقیق عملکرد شبکه های توزیع، نقاط ضعف و قوت سیستم را شناسایی کنند. در گذشته، ارزیابی شبکه های توزیع برق عمدتاً با استفاده از معیارهای قابلیت اطمینان صورت می گرفت، که شامل عواملی مانند میزان دسترس پذیری، تعداد و مدت زمان قطعی های برق، و کارایی تجهیزات بود. این معیارها به مدیران شبکه این امکان را می داد که عملکرد شبکه را به صورت کمی و کیفی ارزیابی کرده و تصمیمات بهتری برای بهبود عملکرد شبکه اتخاذ کنند. به همین دلیل، توسعه و به کارگیری این معیارها همچنان از اهمیت بالایی برخوردار است و می تواند نقش بسزایی در ارتقای کیفیت خدمات ارائه شده به مشتریان ایفا کند. اما، با توجه به وقوع حوادث نادر ولی پر تأثیر که سالانه خسارات زیادی به شبکه ها وارد می کنند و سلامت شبکه های توزیع را به شدت به خطر می اندازند، ارزیابی تاب آوری شبکه و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن و کاهش تأثیرپذیری شبکه توزیع برق در برابر این حوادث، به یکی از اولویت های اصلی مطالعات شبکه های توزیع تبدیل شده است (Campbell, 2012).

در زمینه های سیستم های قدرت الکتریکی، تاب آوری به معنی توانایی یک سیستم قدرت برای بازایی سریع از حوادث مخرب نظیر رویدادهایی با تأثیر بالا و احتمال رخداد کم و همچنین، تحلیل این حوادث برای اتخاذ اقداماتی به منظور جلوگیری از تأثیرات مخرب رویدادهای مشابه در آینده می باشد (A. Shakerit, 2017).

در مرجع (Hussain, A et al, 2017) و (Ghadimi, M. and Moghaddas, 2023) برای بهره برداری بهینه در جهت افزایش تاب آوری شبکه از طریق ایجاد میکروگریدهای جزیره ای و تأمین بارهای بحرانی انجام می شود. یک سیستم میکروگرید MAMMS<sup>2</sup> برای بهبود عملکرد اقتصادی و تاب آوری میکروگرید معرفی شده است. همچنین یک شاخص تاب آوری برای ارزیابی تأمین بارهای بحرانی در میکروگریدهای هیبریدی با در نظر گرفتن اثربخشی ذخیره سازها ارائه شده است.

در مرجع (Alruwaili, M. and L. Cipeigan, 2022) سناریوهای مختلف قطع برق در فرودگاه و تغییر عملکرد خورشیدی و افزایش بار احتمالی به عنوان تهدید شبکه در نظر گرفته شده که با ارزیابی فنی و اقتصادی یک میکروگرید متصل به شبکه برای افزایش تاب آوری برق فرودگاه انجام شده. معرفی یک طرح برنامه ریزی خطی به منظور کاهش هزینه عملیاتی سالانه، بررسی اندازه و توزیع

<sup>2</sup> multi-area multi-microgrid system

اجزای میکروگرید تاب آور و ارزش گذاری تاب آوری به عنوان یک سرویس پولی، بررسی بقای میکروگرید در طول تغییر عملکرد خورشیدی و در نظر گرفتن افزایش بار احتمالی برای افزایش و بررسی تاب آوری شبکه مورد مطالعه انجام شده است. در مرجع (Arefifar, S.A., et al, 2013) چالش های یک شبکه توزیع برای جلوگیری از خاموشی در شبکه بررسی شده است. برای افزایش تاب آوری مطالعه و بهینه سازی شبکه توزیع برای ادغام منابع تولید پراکنده و ذخیره سازی برق با جابجایی بهینه، برنامه ریزی و بهینه سازی شبکه توزیع از طریق جابجایی سازه ها و اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، بهره برداری و مطالعات فنی و اقتصادی مرتبط با شبکه بررسی شده است.

بنابراین یکی از عواملی برای دستیابی به افزایش تاب آوری در سامانه های میکروگرید، نقش و اهمیت ذخیره سازی انرژی است. از این رو، این مقاله به منظور بهبود تاب آوری از طریق بهره گیری از ذخیره سازی انرژی بررسی خواهد شد و با توجه به جنبه های اقتصادی مرتبط، مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهد گرفت، انجام خواهد شد. همچنین برای بررسی چرخه عمر ذخیره ساز انرژی باتری، میزان انرژی شارژ و دشارژ ذخیره ساز انرژی باتری همراه با حضور ابرخازن به مدت یک سال بررسی خواهد شد. اهداف مورد نظر در مقاله، بررسی تاثیر ذخیره سازهای انرژی بر روی تاب آوری میکروگرید در مواجهه با حوادث طبیعی و بررسی چگونگی استفاده از ذخیره ساز باتری برای افزایش عمر آنها.

### هزینه تحمیلی سیستم در شرایط عادی

میکروگرید مورد مطالعه در این مقاله یک شبکه ۱۴ باس IEEE می باشد. که برای بررسی دقیق تاب آوری شبکه ابتدا با استفاده از روابط پخش بار شبکه بررسی خواهد شد. ابتدا میزان هزینه های تحمیلی سیستم در شرایط عادی بدست خواهد آمد. میزان انرژی تأمین نشده یکی از موارد حیاتی در سیستم های برقی است که بررسی و کنترل آن از اهمیت بالایی برخوردار است. انرژی تأمین نشده به میزان انرژی مصرفی که نتوانسته توسط شبکه برق فراهم شود اشاره دارد. این امر می تواند منجر به مشکلات جدی از جمله قطع برق، نقصان در عملکرد تجهیزات الکتریکی، و حتی آسیب به سیستم های صنعتی و اقتصادی شود. برای تعیین میزان انرژی تأمین نشده از رابطه (۱) بدست می آید:

$$ENS(rel) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot r_j^{time} \cdot L_j \quad (1)$$

که در رابطه (۱)  $\lambda_j$  نشان دهنده نرخ خرابی خط زام.  $r_j^{time}$  نشان دهنده زمان تعمیر خط زام.  $L_j$  بار اکتیو خط می باشد. نرخ خرابی و همچنین زمان تعمیرات برای شبکه طبق جدول (۱) می باشد.

جدول (۱): نرخ خرابی و زمان تعمیر هر خط از شبکه مورد مطالعه.

شماره خط	زمان تعمیر هر خط (ساعت)	نرخ خرابی خط	شماره خط	زمان تعمیر هر خط (ساعت)	نرخ خرابی خط
۱	۱	۰.۰۱	۱۱	۲	۰.۰۲
۲	۳	۰.۰۲	۱۲	۳	۰.۰۲
۳	۲	۰.۰۱	۱۳	۲	۰.۰۱
۴	۱.۵	۰.۰۱	۱۴	۱	۰.۰۳
۵	۳	۰.۰۳	۱۵	۱	۰.۰۲
۶	۴	۰.۰۱	۱۶	۲	۰.۰۱
۷	۳	۰.۰۱	۱۷	۳	۰.۰۱
۸	۳	۰.۰۴	۱۸	۴	۰.۰۲
۹	۱	۰.۰۳	۱۹	۳	۰.۰۲
۱۰	۳	۰.۰۱	۲۰	۱	۰.۰۱

میزان تلفات شبکه نیز طبق رابطه (۲) بدست خواهد آمد.

$$loss = \sum_{j=1}^n k \cdot r_j \cdot L_j^2 \quad (2)$$

که در رابطه (۲) مقدار ثابت  $k$  و  $۱.۰۵$  در نظر گرفته شده است.  $r_j$  نشان دهنده مقاومت خطوط.  $L_j$  بار اکتیو خط است. برای محاسبه تابع هزینه تحمیلی سیستم در حالت بدون وقوع حادثه از رابطه (۳) بدست خواهد آمد:

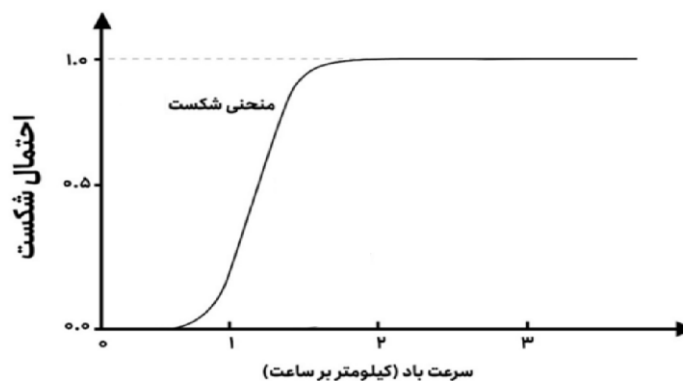
$$IMC = loss \times Trmal + ENS \times Voll \quad (3)$$

در رابطه بالا  $Trmal$  تعرفه برق و  $Voll$  ارزش بار ازدست رفته<sup>۳</sup> می باشد.

### مدل سازی حادثه طوفان

تا کنون مدل های مرتبط با قابلیت اطمینان و تلفات، گفته شده که می توان با استفاده از آن ها آمارهای مرتبط با میزان هزینه های سیستم در شرایط عادی شبکه به دست آورد. حال، به منظور اندازه گیری تاب آوری، ابتدا باید یک HILP مدل شود که در این مقاله از حادثه طوفان استفاده شده.

مدل سازی مخاطره طوفان به منظور اندازه گیری تاب آوری سیستم برق، یکی از مراحل مهم در تحلیل و بهبود پایداری و قابلیت اطمینان شبکه برق است که مقدار و شدت این حادثه بر روی شبکه مفروض در نظر گرفته شده است که فرض شده شبکه تا سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت مقاوم بوده است. منحنی شکنندگی معمولاً به صورت یک نمودار خطی یا منحنی ای تعریف می شود که در آن محور افقی نمایانگر شدت حادثه (T) و محور عمودی نمایانگر احتمال وقوع آسیب (Pv) می باشد. با افزایش شدت حادثه، احتمال وقوع آسیب نیز افزایش می یابد و این منحنی با افزایش شدت حادثه، احتمال وقوع آسیب به شدت بیشتری افزایش می یابد. این منحنی به صورت شکل (۱) می باشد.



شکل (۱): منحنی شکنندگی شبکه بر اثر طوفان

با استفاده از منحنی شکنندگی و احتمال وقوع آسیب، تخمین خسارات احتمالی جریان شکست از طریق رابطه (۴) محاسبه خواهد شد:

$$\Delta N(T) = N \times P_V(T) \quad (4)$$

<sup>3</sup> Value of Lost Load (VOLL)

در رابطه (۴)  $N$  میزان دارایی هر سکشن می باشد.

در مرحله بعدی، مدت زمان کل خاموشی محاسبه خواهد شد که نتیجه تعداد و مدت زمان لازم برای تعمیر هر یک از پایه ها می باشد. این اطلاعات از رابطه (۵) به دست خواهد آمد:

$$t_o(T) = \Delta N(T) \times r_j^{time} \quad (5)$$

با استفاده از رابطه (۵)، می توان مدت زمان کلی را که سیستم برق خاموش است، محاسبه کرد. این مدت زمان کل، بستگی به تعداد و مدت زمان تعمیر هر پایه دارد. از این رو، بهینه سازی و تنظیم تعداد و زمان تعمیر هر پایه از اهمیت بالایی برخوردار است. در رابطه (۵) میزان هزینه ازدست رفته بارها با یکدیگر متفاوت خواهد بود اگر رابطه (۵) در احتمال حادثه ها سیگما در نظر گرفته شود، میزان انرژی تامین نشده در میکروگرید با احتمال آسیب برای کل شبکه طبق رابطه (۶) به دست خواهد آمد:

$$VOENS = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^n ENS_{jk}(T_j) \times VOLL_{av}(MG_k) \right) P_{T_j} \quad (6)$$

ارزش بار از دست رفته در شبکه طبق جدول (۲) می باشد.

جدول (۲): ارزش بارهای ازدست رفته در بارهای مختلف.

نوع باس	ضریب هر باس در ارزش بار ازدست رفته
بیمارستان	۲
صنعتی	۱.۵
تجاری	۰.۷
خانگی	۰.۱

با استفاده از رابطه (۷) میزان هزینه تحمیلی سیستم را در شرایط وقوع یک حادثه به دست خواهد آمد:

$$IMC = loss \times Trmal + VOENS_j + ENS(rel) \times Voll \quad (7)$$

با استفاده از ذخیره ساز انرژی خروجی روابط انرژی تامین نشده و تلفات را به دست خواهد آمد. در رابطه (۸) میزان جدید انرژی تامین نشده در شرایط عادی نشان داده شده است.

$$ENS(rel)_{new} = ENS(rel)_{old} - (Storg \times r_j^{time}) \quad (8)$$

در رابطه (۳-۱۵) میزان جدید انرژی تامین نشده در صورت وقوع حادثه نشان داده شده است.

$$VOENS_{j_{new}} = VOENS_{j_{old}} - (Storg \times r_j^{time}) \quad (9)$$

در این پژوهش، به منظور پوشش مقداری از متغیر ENS در شرایط عادی و همچنین در شرایط وقوع حادثه و میزان تلفات شبکه از ذخیره ساز انرژی باتری در میکروگریدها استفاده خواهد شد. این امر به این معناست که هر ذخیره ساز، یک بخشی از مقدار ENS را تأمین می کند. بر اساس این فرض، باید بهترین باس در هر میکروگرید برای استفاده از این ذخیره سازها مشخص شود تا حالت بهینه آن به دست آید.

برای اندازه گیری میزان جدید تلفات، ابتدا یک ذخیره ساز به شبکه افزوده خواهد شد. سپس، با جابه جایی آن در باس های مختلف، میزان تلفات جدید مورد مقایسه قرار خواهد گرفت و کمترین مقدار تلفات مورد تأیید قرار خواهد گرفت.

برای ارزیابی مکان بهتر برای ذخیره سازی، ضروری است که اطلاعات مربوط به ارزش بار ازدست رفته در هر میکروگرید را در اختیار داشت که این اطلاعات از اهمیت بالایی برخوردارند زیرا می تواند به کمک آن ها ارتباط بین ارزش اقتصادی و اثرات مختلف حوادث، به خصوص حوادث طوفانی را درک کرد.

تابع هدف این پژوهش برای بررسی تابع آوری در واقع مینیمم کردن تابع هزینه تحمیلی سیستم می باشد.

برای بررسی میزان شارژ و دشارژ باتری، لازم است باتوجه به تعادل توان در سیستم و محدودیت های فیزیکی واحدهای تولید برق، قیدها و محدودیت های مرتبط در نظر گرفته شود. این امر به طور ویژه برای تضمین هموار بودن تابع محدودیت های مربوطه حائز اهمیت است. در این زمینه، باید در نظر داشت که تولید و مصرف برق همواره در یک وضعیت تعادل قرار گرفته اند.

$$P_{DG}(t) + P_{ess-dch}(t) \geq load(t) + P_{ess-ch}(t) \quad (10)$$

$$0 < P_{ess-ch}(t) < P_{ess-ch}^{max}(t) \quad (11)$$

$$0 < P_{ess-dch}(t) < P_{ess-dch}^{max}(t)$$

در رابطه بالا،  $load(t)$  میزان تقاضای شبکه،  $P_{ess-ch}$  میزان شارژ باتری و  $P_{ess-dch}$  میزان دشارژ باتری بر حسب کیلووات ساعت می باشد.  $P_{DG}$  بیانگر توان تولیدی شبکه می باشد.

محدودیت های سیستم ذخیره ساز نیز به صورت رابطه (۱۲) می باشد:

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (13)$$

$SOC_{min}$  نشان دهنده حد پایین و  $SOC_{max}$  نشان دهنده حد بالای متغیر وضعیت باتری می باشد. علاوه بر این، مقدار متغیر وضعیت باتری در زمان نهایی بزرگتر یا برابر وضعیت در حالت اولیه باشد.

$$SOC_{end} \geq SOC_{initial} \quad (14)$$

مقدار کمینه حالت دشارژ  $SOC_{min}$ ، وابسته به مقدار عمق دشارژ و بیشینه حالت دشارژ  $SOC_{max}$  می باشد که در رابطه (۱۵) نشان داده شده است:

$$SOC_{min} = (1 - DOD) SOC_{max} \quad (15)$$

عملکرد سیستم برای بررسی میزان شارژ و دشارژ ذخیره ساز انرژی، شامل مراحل زیر می باشد:

توان تولیدی: در صورتی که توان تولیدی بیشتر از تقاضای بار، از توان اضافی به جای انتقال به میکروگرید، برای شارژ ذخیره ساز تا حد بیشینه مجاز ( $E_{ES}^{Max}$ ) مورد استفاده قرار خواهد گرفت. این توان اضافی به ذخیره سازها ارسال می شود تا در زمان های کم تقاضا یا در شرایط بحرانی بهره مند شوند.

کمبود توان بار: در صورتی که توان تولیدی کل کمتر از تقاضای بار باشد که سطح شارژ در دسترس ذخیره سازها قادر به پاسخگویی کمبود توان تقاضای بار باشد، ذخیره سازها به عنوان منبع اصلی برای تأمین توان بار مورد استفاده قرار خواهند گرفت. این ذخیره سازها از شارژ موجود در خود استفاده می کنند تا کمبود توان را جبران کنند.

#### یافته ها

میزان هزینه های تحمیلی سیستم در شرایط عادی و در صورت وقوع حادثه و همراه با جایابی ذخیره ساز باتری به ترتیب در جدول (۳) و (۴) نشان داده شده است.

جدول (۳): هزینه تحمیلی سیستم در شرایط عادی.

هزینه تحمیلی	دلار
هزینه تحمیلی در میکروگرید اول	۱۲۳۹۸
هزینه تحمیلی در میکروگرید دوم	۵۲۴۷
هزینه تحمیلی در میکروگرید سوم	۱۸۱۵
هزینه تحمیلی در کل شبکه	۲۰۲۷۰

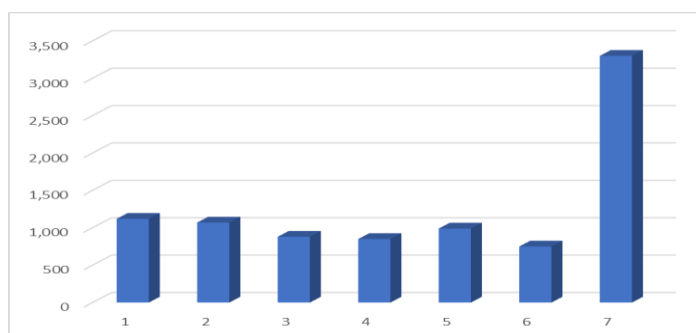
جدول (۴): نتایج جایابی ذخیره ساز انرژی باتری در شبکه.

سناریوهای مختلف	هزینه (دلار)
هزینه تحمیلی سیستم بدون در نظر گرفتن ذخیره ساز انرژی در شبکه	۳۲۷۷۰
هزینه تحمیلی سیستم با در نظر گرفتن ذخیره ساز انرژی در میکروگرید اول	۳۱۶۵۰
هزینه تحمیلی سیستم با در نظر گرفتن ذخیره ساز انرژی در میکروگرید دوم	۳۱۷۸۰
هزینه تحمیلی سیستم با در نظر گرفتن ذخیره ساز انرژی در میکروگرید سوم	۳۲۰۲۰
هزینه تحمیلی سیستم با در نظر گرفتن ذخیره ساز انرژی در هر سه میکروگرید	۲۹۴۷۰

با استفاده از جدول (۵) میتوان اختلاف بین هزینه ها در سناریوهای مختلف را بررسی نمود.

جدول (۵): بررسی اختلاف هزینه تحمیلی سیستم در حالت های مختلف.

سناریوهای مختلف	هزینه (دلار)
ذخیره ساز باتری در میکروگرید اول	۱۱۲۰
ذخیره ساز باتری در میکروگرید اول و دوم	۱۰۷۰
ذخیره ساز باتری در میکروگرید اول و سوم	۸۸۰
ذخیره ساز باتری در میکروگرید دوم و سوم	۸۵۰
ذخیره ساز باتری در میکروگرید دوم	۹۹۰
ذخیره ساز باتری در میکروگرید سوم	۷۵۰
ذخیره ساز باتری در هر سه میکروگرید	۳۳۰۰



شکل (۲): بررسی هزینه های صرفه جویی شده در صورت جایابی در میکروگرید.

پس از جایابی بهینه برای ذخیره سازی انرژی باتری در هر یک از میکروگریدها، می توان نتایج زیر را بدست آورد:

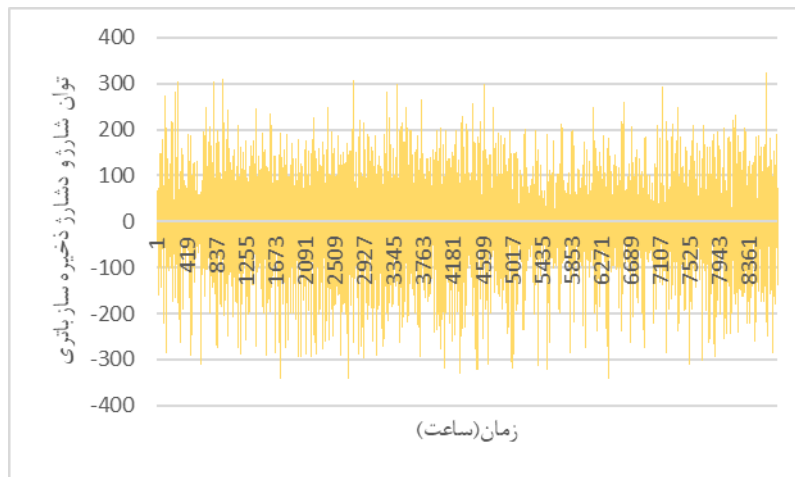
- در میکروگرید اول، بهینه ترین مکان برای ذخیره ساز باس شماره ۱۱ انتخاب شده است.

- در میکروگرید دوم، بهینه ترین مکان برای ذخیره ساز باس شماره ۷ انتخاب شده است.

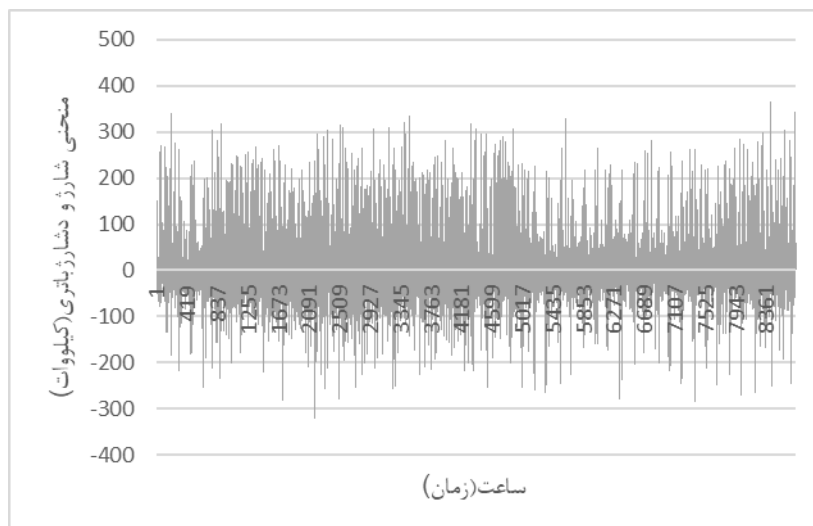
- در میکروگرید سوم، بهینه ترین مکان برای ذخیره ساز باس شماره ۱۳ انتخاب شده است.

مجموع توان شارژ و دشارژ ذخیره سازها می تواند بر عمر آنها تأثیرگذار باشد. اگر مجموع توان شارژ و دشارژ ذخیره سازها بیشتر باشد، ذخیره ساز انرژی ممکن است در مدت زمان کمتری به ظرفیت حداکثر خود نزدیک شود و در نتیجه، در طول عمر پروژه مصرف بیشتری داشته باشد. همچنین، این وضعیت می تواند منجر به کاهش سرعت شارژ و دشارژ ذخیره سازها شود. برای بهبود عمر ذخیره سازها، مهم است که توان شارژ و دشارژ در محدوده معقولی باقی بماند. مدیریت دقیق فرایندهای شارژ و دشارژ کمک می کند تا مصرف انرژی بهینه شود که در نتیجه، زمان استفاده از ذخیره سازها افزایش یابد. در ادامه میزان انرژی ذخیره شده در باتری در دو حالت گفته شده و همچنین نمودار شارژ و دشارژ باتری در شکل های (۳) و (۴) نشان داده خواهد شد.





شکل (۳): منحنی شارژ و دشارژ ذخیره ساز باتری (۸۷۶۰ ساعت).



شکل (۴): منحنی شارژ و دشارژ ذخیره ساز باتری در حضور ابرخازن (۸۷۶۰ ساعت).

جدول (۶): انرژی کل شارژ و دشارژ ذخیره ساز باتری در حالت های مختلف.

ذخیره ساز انرژی	مقدار انرژی شارژ و دشارژ (کیلووات ساعت)
باتری - ابرخازن	۲۶۰.۵
باتری	۶۴۵.۵

شکل های (۳) و (۴) به دقت تأثیر استفاده از ابرخازن در ارتباط با باتری را مورد بررسی قرار می دهند. این تصاویر نشان می دهند که چگونه ترکیب هایی از ابرخازن و باتری می توانند در بهبود مدیریت بارهای شارژ و دشارژ کمک کرده و در نتیجه، عمر باتری را افزایش دهند. جدول (۶) نیز ما را با سناریوهایی که از ترکیبات باتری و ابرخازن استفاده می کنند، آشنا می سازند. این سناریوها نشان می دهند که مدیریت انرژی با کارایی بیشتری ممکن است و باعث افزایش عمر باتری ها و مقاومت بیشتری در برابر سیکل های شارژ و دشارژ شدید گردد. به عنوان مثال، در حالتی که ابرخازن حضور دارد، باتری ها با فشار کمتری در مواجهه هستند که این امر می تواند به کاهش استهلاک

و افزایش طول عمر باتری ها منجر شود؛ در حالی که در صورت استفاده تنها از باتری، فشار بیشتری بر روی باتری وارد می شود که ممکن است منجر به فرسودگی سریع تر آن گردد.

### بحث و نتیجه گیری

باتوجه به میکروگرید مورد مطالعه و اهمیت بارهایی مانند بارهای بیمارستانی و صنعتی، تأمین توان مورد نیاز این بارها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بررسی میزان هزینه های این شبکه در صورت وقوع حوادث از جمله قرارداد دادن این موضوع در چارچوب تحلیل مخاطرات است. به منظور ایجاد امنیت برای تأمین توان بارهای پراهمیت مانند بارهای بیمارستانی و صنعتی، استفاده از ذخیره سازی انرژی با جایابی بهینه مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، میزان هزینه های احتمالی به سیستم در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته و در بهترین حالت ممکن، موفق به کاهش میزان هزینه ها به مقدار ۳۳۰۰ دلار در صورت وقوع حادثه در شبکه شده ایم. این نتایج نشان می دهد که استفاده از راهکارهای بهینه سازی در مدیریت توان می تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد و هزینه های سیستم ایجاد کند. در واقع مهم ترین بررسی برای استفاده از ذخیره ساز، انرژی تأمین نشده ناشی از قابلیت اطمینان و ریسک های ذاتی موجود در سیستم و همچنین به کارگیری در زمان تاب آوری که محاسبات نشان می دهد. در صورت وقوع بحران های ناشی از حوادث HILP ذخیره سازها به شدت کاربرد خواهد داشت. در ادامه بررسی چرخه عمر ذخیره ساز انرژی باتری نشان می دهد که تحلیل ها روی نمودار و جدول، سناریوهایی با ترکیبات مختلف ذخیره ساز باعث کاهش میزان انرژی شارژ و دشارژ شده است که در این پژوهش با ترکیب ابرخازن و باتری انرژی شارژ و دشارژ آن به میزان ۴۰ درصد کاهش یافته است. این تحلیل ها نشان می دهد که ترکیبات مختلف می توانند کارایی بیشتری در مدیریت بارهای شارژ و دشارژ داشته باشند و به طور مستقیم به افزایش عمر باتری ها کمک کنند. انتخاب استراتژی های مناسب برای ترکیب منابع تولید و ذخیره سازی انرژی نه تنها در کاهش هزینه ها بلکه در افزایش کارآمدی و پایداری سیستم های انرژی نقش مهمی خواهند داشت. استفاده از ابرخازن ها در کنار باتری ها می تواند به کاهش فشار روی باتری ها و کاهش سیکل های شارژ و دشارژ منجر شود. این اقدام به نوبه خود می تواند عمر باتری ها را افزایش دهد. این ترکیب ها، با مدیریت بهتر بارهای شارژ و دشارژ، می توانند استهلاک باتری ها را کاهش داده و مقاومت آن ها در برابر فرسودگی سریع را افزایش دهند.

### منابع

- Aki, H., Demand-side resiliency and electricity continuity: Experiences and lessons learned in Japan. *Proceedings of the IEEE*, 2017. 105(7): p. 1443-1455.
- President, E., *Economic benefits of increasing electric grid resilience to weather outages*. TW House, Washington, 2013.
- Panteli, M. and Mancarella, P., "Influence of Extreme Weather and Climate Change on the Resilience of Power Systems: Impacts and Possible Mitigation Strategies", *Electric Power Systems Research*, Vol. 127, pp. 259 –270, 2015.
- Campbell, R. J., "Weather -Related Power Outages and Electric System Resiliency", *Congressional Research Service, Library of Congress*, 2012.
- KAHNAMOUEI, A. Shakeri; BOLANDI, T. Ghanizadeh; HAGHIFAM, M. R. The conceptual framework of resilience and its measurement approaches in electrical power systems. In: *IET International Conference on Resilience of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2017)*. IET, 2017. p. 1-11.
- Hussain, A., V.-H. Bui, and H.-M. Kim, *Resilience-oriented optimal operation of networked hybrid microgrids*. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2017. 10(1): p. 204-215.
- Ghadimi, M. and S.-M. Moghaddas-Tafreshi, *Enhancing the economic performance and resilience in a multi-area multi-microgrid system by a decentralized operation model*. *Electric Power Systems Research*, 2023. 224: p. 109692.
- Arefifar, S.A., Y.A.-R.I. Mohamed, and T.H. El-Fouly, *Comprehensive operational planning framework for self-healing control actions in smart distribution grids*. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013. 28(4): p. 4192-4200.

## Optimum placement of energy storage in the microgrid with increasing the resilience of the network and increase the battery life cycle

**Amirhossein Elahi**

**Student of Imam Hossein University (AS)**

**Dr. Reza Gaffarppour**

**Member of the Faculty of Imam Hossein  
University (AS)**

**Dr. Reza Dashti**

**Faculty member of the University of Science and Technology**

### **Abstract**

Nowadays, the optimal placement of energy storage systems in power grids is being increasingly focused on to enhance resilience and as a strategy to extend the lifespan of batteries within networks. The concept of resilience has emerged as a significant and critical topic in various scientific fields over recent decades. Broadly speaking, resilience refers to events and incidents that are infrequent but have substantial impact when they do occur.

In this study, we present a program for utilizing energy storage systems in an active microgrid, employing the Unserved Energy Index (UEI) as a key indicator. The performance of the system under different conditions and the associated system costs were also analyzed. To assess resilience, the UEI was used following the occurrence of an incident. This was examined by simulating a storm event on the network. Ultimately, the imposed system costs with the optimal placement of energy storage systems and the amount of energy charged and discharged from the batteries resulted in an 11% increase and a 40% decrease, respectively, over a one-year period.

**Keywords:** Energy storage, resilience, microgrid, system cost.