Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 41-53

Vol. 14/ No. 3/ Fall 2025
ISSN 2322-2344
EISSN 2717-1639

Residential Battery Storage Business Models in Demand Response Environment

Abolfazl Ghasemi[1,2], Mahdi Marzbani[2], Vahid Baghishani[2]

[1] Department of Electrical Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
[2] Khorasan Razavi Electricity Distribution Company, Mashhad, Iran

Abstract:
With the increasing penetration of distributed generation and renewable energy resources, distribution networks are transitioning from passive to active systems. In active distribution networks, the inherent uncertainty in renewable energy production necessitates energy storage solutions to balance generation and consumption. The integration of energy storage devices enhances demand response capabilities and improves the network's flexibility in the face of generation fluctuations, particularly during severe weather events, thereby bolstering system reliability and resilience. Residential customers represent a significant portion of the loads connected to distribution networks and play a crucial role in adopting distributed generation technologies and participating in demand response programs. For residential customers to effectively leverage battery energy storage systems, a viable business model is essential. This paper explores the business opportunities of battery energy storage within the residential sector, presenting a business model canvas that can serve as a foundation for developing various business models.

Keywords: Flexibility, battery energy storage, business model, business model canvas, demand response, resiliency.

Submit date:2024/09/06
Accept date:2025/10/14

Corresponding author name: Abolfazl Ghasemi
Corresponding author address: Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص ۵۳-۴۱

Vol. 14 / No. 3/ Fall 2025
ISSN 2322-2344
EISSN 2717-1639

مدل کسب و کار باتری‌های ذخیره‌ساز خانگی در حضور پاسخگویی بار

نوع مطالعه: پژوهشی

ابوالفضل قاسمی[۱و۲]، مهدی مرزبانی[۲]، وحید باغیشنی[۲]
[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد- مشهد-ایران
[۲] شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی- مشهد- ایران

Abolfazl.Ghasemi@outlook.com
Marzbani@kedc.ir
Vbaghshani@yahoo.com

چکیده: با نفوذ منابع تجدیدپذیر و تولید پراکنده، گذار شبکه‌های توزیع از یک شبکه‌ی غیرفعال (پ سیو) به شبکه‌ی فعال (اکتیو) در حال رخ دادن ا ست. در شبکه‌های توزیع فعال به دلیل وجود منابع تولید تجدیدپذیر، مقدار تولید همواره دارای عدم قطعیت خواهد بود که موجب می شود نیازبه ذخیره ساز انرژی برای ایجاد تعادل بین تولید و م صرف مطرح گردد.با ورود ذخیره‌سازها به شبکه‌های توزیع شاهد افزایش پاسخگویی بار و همچنین انعطاف‌پذیری شبکه در برابر تغییرات تولید به خصوص در شرایط رخدادهای شدید آب و هوایی خواهیم بود که این مو ضوع بهبود قابلیت اطمینان سی ستم و افزایش تاب آوری سیستم‌های توزیع را به همراه خواهد داشت. مشترکین خانگی بخش قابل توجهی از بارهای متصل به شبکه‌های توزیع را تشکیل می‌دهند و امروزه نقش مهمی دربه‌کارگیری منابع تولید و همچنین م شارکت در برنامه‌های پا سخگویی بار دارند. برای این که مشترکین خانگی در به‌کارگیری باتری‌های ذخیره‌ساز نیز پیش‌قدم شوند، نیاز است تا مدل کسب و کار مناسبی برای آن‌ها وجود دا شته با شد. این مقاله کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز در بخش خانگی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. در همین را ستا، بوم مدل کسب و کار برای باتری‌های ذخیره‌ساز تشکیل می‌گردد که بر اساس آن مدل‌های مختلف کسب و کار می‌تواند شکل بگیرد.

واژه‌های کلیدی: انعطاف‌پذیری، باتری‌های ذخیره‌ساز، بوم مدل کسب و کار، پاسخگویی بار، تاب آوری، مدل کسب و کار.

تاریخ ارسال مقاله:۱۴۰۳/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله:۱۴۰۴/۰۷/۲۲
نام نویسنده مسئول: ابوالفضل قاسمی
آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد- مشهد-ایران

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

۱. مقدمه

طی یک دهه‌ی اخیر، تعداد مولدهای مقیاس کوچک در شبکه‌های توزیع رشد بسیار زیادی داشته‌اند. نفوذ این میزان از منابع تولید پراکنده و همچنین هدف‌گذاری‌های انجام شده برای افزایش ظرفیت این منابع در آینده، موجب شده است که پیچیدگی‌های برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های توزیع افزایش یابد؛ بگونه‌ای که شاید بتوان اظهار داشت تعدد و پیچیدگی مسائل بخش توزیع از مسائل بخش‌های دیگر بیشتر شده است. تعداد زیادی از مولدهای مقیاس کوچک که وارد شبکه می شوند مبتنی بر منابع تجدیدپذیر (باد و خورشید) هستند. امروزه در دنیا میزان سرمایه‌گذاری بر روی منابع تجدیدپذیر از سرمایه‌گذاری روی منابع سوخت فسیلی پیشی گرفته است؛ به طوری که در سال ۲۰۲۳ سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های پاک حدود ۷۰ در صد بیشتر از منابع فسیلی بوده است (IEA, 2021). ظرفیت بزرگ منابع تجدیدپذیر، بهره‌برداری از شبکه‌های قدرت را با چالش‌های متعددی روبرو می‌کند؛ زیرا تولید این منابع دارای عدم قطعیت بوده و از طرفی این منابع قابل توزیع (دیسپچ) نمی‌باشند. با توجه به این موضوع، منابع ذخیره ساز تبدیل به یکی از نیازهای مهم شبکه شده‌اند و به همین دلیل امروزه این منابع با سرعت زیادی در حال اضافه شدن به شبکه هستند. استفاده از باتری شاید تا ۱۰ سال گذشته طرفداران بسیار کمی داشت، اما امروزه باتری‌های ذخیره ساز در کنار منابع تجدیدپذیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

باتری‌های ذخیره ساز با تکنولوژی‌های مختلفی به بازار عرضه می شوند که بعضی از آن‌ها نسبتا جدیدتر هستند و هنوز به بلوغ کافی نرسیده‌اند. برخی از انواع مهم تکنولوژی‌های باتری‌ها عبارتند از: سرب-اسیدی، لیتیوم-یون، نیکل-کادمیوم، سدیم- سولفور، سدیم-نیکل کلراید ، روی- بروم، و باتری وانادیومی یا به اختصار VRB (Šimić et al., 2021). در میان تکنولوژی های مختلف، باتری‌های لیتیومی پرکاربردترین نوع ذخیره‌ساز در سیستم قدرت به حساب می‌آیند. طبق اعلام آژانس انرژی‌های تجدیدپذیر یا IEA، بدون در نظر گرفتن نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، بیش از ۹۰٪ ذخیره سازها در دنیا باتری‌های لیتیومی هستند (IEA, 2020). این موضوع به دلیل کاهش قیمت خرید باتری‌های لیتیومی می‌باشد که باعث شده است هزینه‌ی هر کیلووات ساعت انرژی یا COE[1] تحویلی توسط باتری طی چند سال اخیر کاهش زیادی داشته باشد. به طور نمونه در سال ۲۰۲۳ مقدار متوسط COE برای باتری‌ها ۱۵۵ دلار در هر مگاوات ساعت اعلام شده است؛ در حالی که در سال ۲۰۱۶ بیش از ۳۰۰ دلار در هر مگاوات ساعت بوده است (BloombergNEF, 2023)؛ بنابراین باتری‌ها در حال ورود به عرصه‌ی رقابت با دیگر تکنولوژی‌ها می‌باشند. همچنین پیش‌بینی شده است که باتری‌ها در ۲۰۴۰ نسبت به امروز ۷۰٪ ارزان‌تر خواهند شد (IEA, 2020).

بررسی‌ها نشان می‌دهند کشورهایی که ظرفیت فتوولتاییک زیادی دارند، نیاز بیشتری برای نصب باتری‌های ذخیره ساز داشته‌اند. بطور نمونه، آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[2] فلسفه‌ی نفوذ باتری‌های مقیاس کوچک را پشتیبانی از منابع تجدیدپذیر می‌داند. این نهاد، ظرفیت توان باتری‌های مقیاس کوچک یا پشت کنتوری[3] را از ۳ کیلووات تا ۵ مگاوات می‌داند(IEA, 2020) . این باتری‌ها می‌توانند در فاز بهره‌برداری و برنامه‌ریزی کمک زیادی به حل مشکلات شبکه نمایند از جمله:

- کاهش استرس موجود بر روی فیدرهای توزیع در فصل اوج بار و افزایش قابلیت اطمینان شبکه
- افزایش انعطاف‌پذیری شبکه در برابر تغییرات تولید و مصرف
- کاهش نیاز به خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده بر روی فیدرهای توزیع
- افزایش قابلیت اطمینان و تاب آوری شبکه
- به تعویق افتادن توسعه‌ی شبکه‌های توزیع و احداث فیدرهای جدید
- جابجایی بار و کاهش اوج بار فیدر
- کاهش انتشار گازهای آلاینده و کمک به محیط زیست
- تسهیل اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار
- آمادگی شبکه‌های توزیع برای افزایش نفوذ منابع تجدیدپذیر

امروزه باتری‌های ذخیره ساز کوچک به سرعت در بخش‌های خانگی و تجاری در حال گسترش می‌باشند. به طور مثال، کشورهای آلمان و ایتالیا به عنوان کشورهای پیشرو در نصب باتری های خانگی در اروپا معرفی شده‌اند (SolarPower Europe 2020,). طبق گزارش IEA، بخش زیادی از سیستم‌های فتوولتاییک که اخیرا روی پشت بام‌ها در آلمان نصب شده، به همراه باتری بوده است. این موضوع باعث شده است که تا پایان سال ۲۰۲۲ بیش از ۷۵٪ از ظرفیت کل باتری‌های نصب شده در کشور آلمان، مربوط به بخش خانگی باشد که درصد قابل توجهی است (PVmagazine, 2023).

برای توسعه‌ی منابع ذخیره ساز لازم است تا مشترکین انگیزه‌ی کافی برای نصب و بهره‌برداری از این منابع را داشته باشند. این امر مستلزم وجود مدل‌های کسب و کار مناسب برای باتری‌های ذخیره ساز می‌باشد.در مطالعات اخیر، مدل‌های مختلفی برای کسب و کار ذخیره سازها پیشنهاد و بررسی شده است. یک مدل

[1] Cost of energy
[2] IEA
[3] Behind the meter

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

کسب و کار ممکن است برای همه‌ی تکنولوژی‌های ذخیره ساز مناسب نباشند؛ اما طبق مرجع (Baumgarte et al., 2020)، باتری‌ها پتانسیل بالایی برای بکارگیری در بخش تولید، انتقال و توزیع دارند و کسب و کارهای مختلفی برای آن‌ها می‌تواند ایجاد شود.

یک کسب و کار از بخش‌های مختلفی تشکیل می‌گردد. در یک ساز و کار اقتصادی، این بخش‌ها در کنار یکدیگر منجر به کسب درآمد و فعالیت پایدار یک شرکت می‌گردد. بنابراین، برای داشتن یک مدل کسب و کار موفق، باید بخش‌های مختلف کسب و کارمان را بخوبی بشناسیم و بتوانیم ارتباط لازم را بین آن‌ها برقرار کنیم. تمامی این بخش‌ها را می‌توان بر روی یک صفحه به نام بوم مدل کسب و کار[1] یا به اختصار بوم کسب و کار نوشت که می‌تواند مدل‌های کسب و کار مختلف را برای یک شرکت به ارمغان بیاورد (Osterwalder & Pigneur, 2010). یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدل کسب و کار، ارزش پیشنهادی می‌باشد؛ زیرا مشتریان بابت این ارزش ارائه شده مایل به پرداخت هزینه خواهند بود. بسیاری از مدل‌هایی که ارائه می شوند از نوع تک-کاربردی هستند. منظور از تک-کاربردی بودن مدل این است که ذخیره سازها فقط یک ارزش پیشنهادی دارند (Kooshknow & Davis, 2018). بوم کسب و کار استاندارد که به بوم مدل کسب و کار Osterwalder معروف است، دارای بخش‌های متعددی شامل مشتریان، ارزش پیشنهادی، کانال‌های ارتباطی، ارتباط با مشتری، شرکای اصلی، دارایی ها و منابع، فعالیت های کلیدی، جریان های درآمدی، و هزینه‌ها می‌باشد (Osterwalder & Pigneur, 2010). در هر بخش سوالاتی مطرح می‌شود که با پاسخ به آن‌ها می‌توان این بوم را برای کسب و کارهای مختلف تشکیل داد.

با توجه به جدید بودن موضوع کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز، تعداد مطالعاتی که صرفا فقط روی مدل کسب و کار باتری‌ها معطوف بوده‌اند خیلی زیاد نمی‌باشد، هرچند مدل‌های کسب و کار متعددی در بخش‌های دیگر انرژی ارائه شده است که می‌تواند به شکل‌گیری مدل کسب و کار باتری‌ها نیز کمک نماید. در بین این مطالعات، مرجع (Schwidtal et al, 2023) یکی از کامل‌ترین مراجع برای بررسی مدل‌های کسب و کار منابع کوچک است که با مرور تعداد زیادی از مطالعات قبلی، بر روی مدل‌های کسب و کار در بازارهای انرژی محلی متمرکز شده است. بازار انرژی محلی نوعی بازار است که در آن تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان محلی می‌توانند به خرید و فروش انرژی بپردازند و در آن بازیگران مختلفی از جمله مالکان ذخیره سازهای انرژی حضور خواهند داشت. این مرجع از مدل بوم کسب و کار Osterwalder استفاده نموده است و با توجه به مطالعات قبلی، ۹ بازیگر را مشخص نموده و بوم کسب و کار را برای این بازیگران تشکیل داده است که شامل مشترکین فعال[2]، مصرف کنندگان، مولدها، ذخیره‌سازها، بهره‌بردار پلتفرم، اگریگیتور، نمایندگان[3]، خرده‌فروشان و بهره‌بردار شبکه می‌باشند. در مدل‌های مورد بررسی، ارزش‌های ارائه شده و همچنین درآمدها و هزینه‌ها از دیدگاه هر بازیگر تشریح گردیده است و در ادامه، ارتباط بین بخش‌های مختلف کسب و کار آورده شده است. مرجع (Kooshknow & Davis, 2018) به موضوع مدل کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز در کشور هلند پرداخته است. در این مطالعه بخش‌های مختلفی از کسب و کار شامل بخش مشتریان، ارزش پیشنهادی، جریان درآمد، هزینه‌ها، تکنولوژی ذخیره سازی و محل ذخیره سازی مورد مطالعه قرار گرفته است که دو مورد آخر در بوم مدل کسب و کار Osterwalder نبوده است. این مقاله در پایان از دیدگاه شرکت‌های انرژی و مصرف‌کنندگان نهایی، ۱۸ مدل کسب و کار را معرفی نموده است. مرجع (Baumgarte et al., 2020) نیز به دنبال آن بوده است تا ابتدا یک چارچوب مفهومی برای توصیف مدل های تجاری ذخیره سازی انرژی ارائه نماید. برای متمایز نمودن سیستماتیک فرصت‌های سرمایه‌گذاری بر روی ذخیره‌سازهای انرژی، این پیشنهاد ارائه شد که مشخصه‌های مدل کسب و کار توسط سه پارامتر شامل کاربرد ذخیره ساز، نقش بازاری سرمایه‌گذار و درآمد حاصل از بهره‌برداری تعریف شوند. سپس به کمک این سه پارامتر، ۲۸ مدل کسب وکار مختلف را ارائه نموده و همچنین بررسی می‌کند که کدام فناوری های ذخیره‌سازی می‌توانند مدل‌های کسب و کار شناسایی‌شده را اجرا کنند. مدل کسب و کار ارائه شده در مرجع (He et al., 2011) نیز بگونه‌ای است که در آن حراجهای متعددی در بازه‌های زمانی مختلف برای ذخیره سازها در نظر گرفته می شود تا بتوانند ارزش‌های خود را به بازیگران متعددی ارائه نموده و کسب درآمد کنند. یکی از موارد جالب در مدل پیشنهادی این بوده است که ذخیره‌ساز می‌تواند در یک لحظه انرژی را به چند مشتری بفروشد؛ بطوری که برآیند کل خرید و فروش‌ها قابلیت اجرایی جهت شارژ و دشارژ ذخیره ساز را داشته باشد. از این طریق مالکان ذخیره‌سازها خواهند توانست از چند مشتری مختلف کسب درآمد کنند در حالی که به تعهدات خود در برابر تمام این مشتریان نیز عمل کنند.

[1] Business model canvas
[2] Prosumer
[3] Representative

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA[1]) نیز در یکی از پروژه‌هایی که اخیرا در سال ۲۰۲۰ منتشر کرده است (IRENA,2019)، به بحث آینده‌ی منابع تجدیدپذیر پرداخته است. در این میان باتری‌های ذخیره‌ساز نیز به عنوان یکی از بخش‌های لاینفک سیستم‌های آینده مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های کسب و کار که توسط IRENA برای منابع تجدیدپذیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است عبارتند از: تجمیع‌گر، همتا به همتا یا P2P، انرژی به عنوان خدمات یا EaaS[2]، مدل‌های مالکیت اجتماع[3]، و مدل‌های پرداخت طبق مصرف یا PaYG[4]. همچنین در رابطه با انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص فتوولتاییک، مدل تولید اشتراکی[5] نیز در برخی مراجع مطرح شده است که در آن چندین نهاد یا مشترک، انرژی تولیدی حاصل از یک منبع تولید پراکنده را با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند؛ به طور مثال چند خانه که به طور مشترک از یک منبع مانند فتوولتاییک برای تامین نیازهای خود استفاده می‌کنند (Moura & Brito, 2019) (Feldman, 2015).

مرجع (Chasin et al., 2020) پتانسیل تکنولوژی‌های انرژی هوشمند را برای توسعه‌ی مدل‌های کسب و کار مورد مطالعه قرار داده است. در همین راستا، این مرجع مدل‌های کسب و کار شرکت‌های انرژی متعددی را مورد تحلیل قرار داده است که در نتیجه‌ی آن، ۸ مدل کسب و کار به عنوان الگو برای آن‌ها معرفی نموده است. مرجع (Zornow et al., 2023) به مدل‌های کسب و کار در بازار انعطاف‌پذیری محلی پرداخته است. بازارهای انعطاف‌پذیری محلی برای معاملات خدمات انعطاف‌پذیری هستند. در این مرجع چندین بازار محلی یا پلتفرم انعطاف‌پذیری انتخاب شده و جنبه‌های مختلف آن‌ها از جمله مدل کسب و کار مورد بررسی قرار گرفته است. از دیدگاه این مرجع، مدل کسب و کاری که به طور عملی برای بازارهای انعطاف‌پذیری مورد استفاده قرار گرفته شده باشد، هنوز وجود ندارد. همچنین (Tolonen et al., 2023) اجتماعات انرژی[6] و مدل‌های کسب و کاری که در اجتماعات انرژی استفاده می‌شوند را مورد مطالعه قرار داده است. مدل‌های کسب و کار در این اجتماعات هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و به بلوغ کافی نرسیده است.

یکی از مهم‌ترین واسطه‌ها در بازارهای مرتبط با انرژی، اگریگیتورها یا تجمیع‌گران هستند. این بازیگران، منابع کوچک را به صورت مجتمع مدیریت می‌کنند. در بحث منابع تولید پراکنده و همچنین باتری‌های مقیاس کوچک، تجمیع‌گران نقش بسیار مهمی خواهند داشت. USEF یک نهاد غیرانتفاعی در حوزه‌ی انرژی است که به دنبال راه حل‌های مناسب برای سیستم‌های انرژی هوشمند آینده می‌باشد. این نهاد معتقد است که خدمات انعطاف‌پذیری نیاز به یک بازار مجزا دارد و بنابراین ساختار بازارهای انعطاف‌پذیری را مورد مطالعه قرار داده است (USEF, 2015). لازم به ذکر است که در مدل USEF، اگریگیتور یکی از حیاتی‌ترین نقش‌ها را ایفا می‌نماید؛ بطوری که ساختارهای پیشنهادی USEF حول تجمیع‌گر شکل گرفته است. با توجه به اهمیت نقش این واسطه‌ها، برخی مطالعات بر روی مدل‌های کسب و کار تجمیع‌گران متمرکز شده‌اند. بطور نمونه، مرجع (Verhaegen. & Dierckxsens, 2016) با هدف بررسی موانع موجود بر سر راه تجمیع‌گران و بهبود نقش آن‌ها در سیستم‌های انرژی آینده، مدل‌های کسب و کار تجمیع‌گران موجود را مورد مطالعه قرار داده است. بدین منظور پرسشنامه‌ای تهیه شده و مصاحبه با ۶ تجمیع‌گر در ۹ کشور مختلف اروپایی انجام گردیده است. این مرجع به کمک بلوک‌های بوم کسب و کار ارائه شده توسط آقای Osterwalder، فعالیت‌های شرکت‌ها را توصیف و مورد تحلیل قرار داده است و در نهایت مدل‌های کسب و کار برای هر یک از اگریگیتورها ارائه نموده است. بطور مشابه مرجع (De Clercq et al., 2020) مدل‌های کسب و کار اگریگیتورها را در بازارهای برق اروپا مورد بررسی قرار داده است. این مرجع ۲ تامین کننده انرژی در اروپا (شامل شرکت Good Energy در بریتانیا و Oekostorm در اتریش) را مورد مطالعه قرار داده است که تجمیع‌گران به دنبال آن هستند تا نقش ترکیبی تامین‌کننده-تجمیع‌گر را ایفا نمایند. نتایج مطالعه نشان داده است که تجمیع‌گران با نقش ترکیبی می‌توانند مدل‌های کسب و کار بادوام‌تری را داشته باشند و همچنین ارزش‌های قابل ارائه توسط آن‌ها گسترش بیشتری خواهند یافت. مرجع (Lu et al., 2020) نیز بر روی اصول و مکانیزم کسب و کار اگریگیتورها تمرکز کرده است. این مطالعه نتیجه گرفته است که فعالیت اگریگیتورها هنوز با موانع و مشکلاتی روبرو می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها مربوط به مسائل فنی و همچنین چارچوب‌های قانونگذاری است.

یکی از مهم‌ترین گروه‌های مصرفی در سیستم قدرت، مشترکین خانگی هستند که بخش قابل توجهی از بارهای متصل به شبکه‌های توزیع را تشکیل می‌دهند و امروزه در تمام دنیا، این گروه از مشترکین نقش پررنگی در بکارگیری منابع تولید و همچنین برنامه‌های پاسخگویی بار دارند. برای این که مشترکین بخش خانگی در بکارگیری باتری‌های ذخیره‌ساز نیز پیش‌قدم شوند، نیاز است تا مدل کسب و کار مناسبی برای آن‌ها شکل

[1] International Renewable Energy Agency
[2] Energy-as-a-service
[3] Community-ownership models
[4] Pay-as-you-go models
[5] Shared generation
[6] Energy communities

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

بگیرد. این مقاله بر روی مدل کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز خانگی متمرکز است. در همین راستا، با تشریح ارزش‌های ارائه شده از طرف باتری‌های ذخیره ساز، بوم کسب و کار برای باتری‌های خانگی تشکیل می شود. کسب و کار باتری‌ها می‌تواند در ارتباط با خرید و فروش انرژی و یا خدمات انعطاف‌پذیری و پاسخگویی بار شکل بگیرد. البته برای نفوذ باتری‌های ذخیره‌ساز و شکل‌گیری کسب و کار باتری‌ها، نیاز است تا برخی زیر ساخت‌ها فراهم گردد و بازیگران جدید ایفای نقش نمایند. همچنین برای شکل‌گیری کسب و کار باتری‌های خانگی در ایران نیز چالش‌هایی وجود دارد که در این مقاله برخی از آن‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. برنامه‌های وزارت نیرو و اسناد بالادستی مرتبط

طی سالیان اخیر، در شبکه‌های توزیع ایران نیز شاهد افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده بوده‌ایم. یکی از دلایل مهم این امر، حمایت‌های صورت گرفته از این تکنولوژی‌ها می‌باشد که موجب ایجاد انگیزه در مشترکین شبکه‌های توزیع شده است؛ هرچند نوسانات ارزی اخیر تاثیر منفی روی این موضوع داشته است. همچنین لازم به ذکر است که این حمایت‌ها و سیاست‌های تشویقی همواره بر روی نفوذ منابع تولید تاکید داشته و به‌کارگیری منابع ذخیره‌ساز مانند باتری‌های کوچک مورد توجه نبوده است. با توجه به سیاست‌های کلان در بخش انرژی و اسناد بالادستی که در ادامه به آن‌ها اشاره می شود، در ایران نیز انتظار می‌رود تا به‌زودی شاهد ورود منابع ذخیره‌ساز به شبکه باشیم.

مدیریت مصرف: با رشد شدید بار، شبکه‌ی قدرت ایران در سالیان اخیر با چالش ناترازی تولید در زمان‌های اوج بار روبرو بوده است. این امر باعث شده تا اهمیت استفاده از برنامه‌های مدیریت مصرف و همچنین افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده بیش از پیش مشخص شود. به‌طور نمونه به نقل از وزارت نیرو، ۱۸۰ پروژه و برنامه برای مدیریت مصرف برق تابستان ۱۴۰۳ تدوین گردید که در این میان «کمیته‌ی مدیریت و بهینه سازی مصرف» به عنوان مهمترین بخش معرفی شد. لازم به ذکر است که باتری‌های ذخیره ساز یکی از تکنولوژی هایی است که همواره در گروه تجهیزات مرتبط با بهینه سازی مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی قرار گرفته است.

نفوذ منابع تجدیدپذیر: علاوه بر ناترازی، با نفوذ شدید منابع تجدیدپذیر و افزایش عدم قطعیت در تولید، نیاز به استفاده از منابع ذخیره ساز افزایش خواهد یافت. البته طبق گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق (*https://isn.moe.gov.ir*)، در حال حاضر ظرفیت نیروگاه های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی در حدود ۱۰۰۰ مگاوات است که نزدیک به ۱٪ از ظرفیت کل نیروگاهی کشور را تشکیل می‌دهد؛ اما نظر به این که در ایران برای توسعه‌ی عظیم نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر طی ۵ سال آینده برنامه‌ریزی شده است، شاهد یک تحول در بخش تولید خواهیم بود.

سند ملی راهبرد انرژی: سند ملی راهبرد انرژی کشور مصوب سال ۱۳۹۶ هیأت وزیران، در بخش راهبردها به مواردی اشاره نموده است که می‌توان آن‌ها را هم‌سو با تحول بخش انرژی دانست. برخی از راهبردها عبارتند از: ارتقای سطح امنیت و پایایی در شبکه سراسری برق، کاهش تلفات توزیع برق، افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر و کاهش میزان انتشار گازهای آلاینده.

برنامه‌ی هفتم توسعه: در برنامه‌ی هفتم توسعه نیز اهداف سنجه‌های عملکردی انرژی الکتریکی تعیین شده است که با توجه به این موارد می‌توان گفت رسیدن به این اهداف نیازمند استفاده‌ی بیشتر از منابع تجدیدپذیر، استفاده از تکنولوژی‌های جدید در شبکه، اصلاح سیستم تولید، به‌روزرسانی شبکه‌های توزیع و اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار و مدیریت انرژی می‌باشد. در تمامی موارد فوق، باتری ذخیره ساز نقش مهمی را ایفا می‌نماید و بنابراین می‌توان گفت که اضافه شدن منابع ذخیره‌ساز به شبکه‌ی قدرت در راستای اهداف صنعت برق کشور می‌باشد.

۳. بهره‌برداری از سیستم توزیع

با ورود تکنولوژی‌های جدید به شبکه و تغییر رفتار مشترکین، بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع نیز دستخوش تغییراتی شده است. در شبکه‌های توزیع مدرن، منابع تولید و ذخیره موجود در شبکه به عنوان یک ابزار مهم در دسترس بهره‌بردار می‌باشد. به طور نمونه در اروپا طبق مصوبه‌ی CEP[1]، مادامی که خدمات دریافتی از منابع تولید پراکنده، پاسخگویی بار و ذخیره سازها ارزان‌تر از توسعه‌ی شبکه باشد، بهره‌برداران سیستم‌های توزیع باید این خدمات را در بستر بازاری از این منابع خریداری کنند (Schittekatte & Meeus, 2020) (Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council). باتری های ذخیره ساز یکی از انواع مهم منابع انعطاف‌پذیر و پاسخگو است که ورود آن‌ها به شبکه، در حل بسیاری از مشکلات مانند کاهش اوج بار به بهره‌بردار کمک خواهد کرد. علاوه بر این، با افزایش ظرفیت باتری‌ها در کنار انرژی‌های

[1] Clean Energy for all Europeans Package (CEP)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

تجدیدپذیر، انعطاف‌پذیری شبکه در برابر تغییرات تولید و همچنین در شرایط رخدادهای شدید آب و هوایی بیشتر خواهد شد که این موضوع بهبود قابلیت اطمینان سیستم و افزایش تاب آوری سیستم‌های توزیع را به همراه خواهد داشت.

شبکه‌ی توزیع فعال (اکتیو) دارای منابع تولید و ذخیره می‌باشد و بنابراین انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به شبکه‌های توزیع سنتی دارد. منظور از انعطاف‌پذیری، توانایی سیستم قدرت در تنظیم تولید یا مصرف برق در پاسخ به تغییرات پیش‌بینی شده و پیش‌بینی نشده می‌باشد (Babatunde et al., 2020). شبکه‌های توزیع معمولی شبکه‌های فعال نیستند و طوری طراحی می شوند که توان را در حجم زیاد از شبکه‌ی انتقال دریافت کرده و آن را توزیع می‌کنند. همچنین در این شبکه‌ها، مدیریت محلی و کنترل تولید منابع انجام نمی شود و بنابراین بهره‌برداری در این شبکه با کارایی و اطمینان پایین‌تری انجام می شود (Zornow et al., 2023). این موارد باعث شده است تا علاوه بر گذار انرژی، گذار بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع (DNO[1]) به سیستم‌های توزیع (DSO[2]) نیز مطرح شود (انجمن انرژی).

۳،۱. تاب آوری شبکه و باتری

یکی از موضوعات مهم در شبکه‌های توزیع که اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته است، بحث تاب‌آوری[3] شبکه می‌باشد. با نفوذ منابع تولید پراکنده و همچنین منابع ذخیره ساز، بهره‌بردار شبکه علاوه بر مواردی همچون کاهش اوج بار و کاهش هزینه ها، از افزایش تاب‌آوری شبکه نیز بهره خواهد برد. بحث قابلیت اطمینان همواره به عنوان یکی از محورهای اصلی و مهم در برنامه‌ریزی سیستم قدرت مطرح بوده است؛ هرچند با افزایش رخداد حوادث طبیعی، تاب‌آوری سیستم نیز در سالیان اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. برای سنجش تاب‌آوری شبکه معیارهای متعددی پیشنهاد شده است از جمله در صد بار از دست رفته در شرایط جدید، هزینه‌ی مورد انتظار قطع بار در زمان‌های رخداد حوادث شدید، سطح اختلال و قطعی، مدت زمان اختلال و قطعی، بار تامین شده در زمان اختلال و تعداد مشترکین که بار آن‌ها تامین شده است (Spiliopoulos et al., 2022).

یکی از مدل‌های تحلیل تاب آوری که در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل WRAP است که شامل ۴ بخش می‌باشد (Mishra et al., 2019):

- تحمل[4]: آمادگی و مقاومت سیستم در برابر حوادث شدید (معیار سنجش: انرژی تامین نشده یا ENS[5])
- بازیابی[6]: بازیابی سریع سیستم پس از حادثه (معیار سنجش: زمان و هزینه‌ی بازیابی سیستم)
- تطبیق[7]: عملکرد پایدار در طول حادثه و بعد از آن (معیار سنجش: انحراف از ولتاژ و فرکانس)
- اجتناب[8]: جلوگیری از اختلال عملکرد سیستم (معیار سنجش: احتمال خطای عملکرد سیستم)

برای کاهش اثرات اقتصادی در برابر آسیب به شبکه‌ی برق و امنیت انرژی، سیستم انرژی باید از چهار دیدگاه یاد شده تاب آور باشد (Mishra et al., 2022).

با حضور منابع ذخیره ساز در صورت بروز اختلال در شبکه، باتری‌ها در کنار دیگر منابع موجود می‌توانند به عملکرد صحیح شبکه کمک نمایند که این موضوع به کاهش بار از دست رفته کمک می‌نماید. همچنین این امکان وجود دارد تا بتوان یک فیدر فشار ضعیف را به صورت مستقل از شبکه‌ی بالادست تامین نمود. این کار به ظرفیت منابع تولید وابسته است و همچنین نیازمند وجود سیستم کنترلی مناسب می‌باشد. با این استراتژی و در زمان رخداد حادثه، ریز شبکه در مدت زمان کوتاهی مجددا برق‌دار می شود؛ در حالی که شبکه‌ی بالادست ممکن است مدت طولانی‌تری بدون برق باشد. با از دست رفتن شبکه می‌توان به کمک تغییر آرایش سیستم، به تامین بخشی از بارها همچنان ادامه داد. یکی از پارامترهای مورد نیاز برای بازیابی سیستم در ریز شبکه‌ها، ایجاد شرایط لازم جهت بلک استارت است که به کمک باتری‌های ذخیره ساز این امر ممکن خواهد بود (Mishra et al., 2021). با حضور منابع تولید و ذخیره و با برنامه‌ریزی صحیح منابع، میزان ظرفیت از دست رفته از طریق این منابع تامین می‌گردد و هنگام حوادث، سیستم بدون مشکل یا با مشکل کمتری به کار خود ادامه می‌دهد. بنابراین احتمال اختلال در عملکرد سیستم با وجود منابع ذخیره ساز کاهش می‌یابد. تمامی موارد یاد شده نشان می‌دهند که باتری‌های ذخیره ساز می‌توانند به بهبود معیارهای تاب آوری شبکه کمک نمایند.

البته از دیدگاه مدل کسب و کار باید به این نکته توجه نمود که یکی از بخش‌های مهم کسب و کار، درآمد است؛ این در حالی است که طبق گزارش NREL، کسب درآمد از محل افزایش تاب آوری شبکه در شبکه‌های کنونی، موضوعی چالش برانگیز می‌باشد.

[1] Distribution network operation
[2] Distribution system operation
[3] Resilience
[4] Withstand
[5] Energy not supplied
[6] Recover
[7] Adapt
[8] Prevent

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

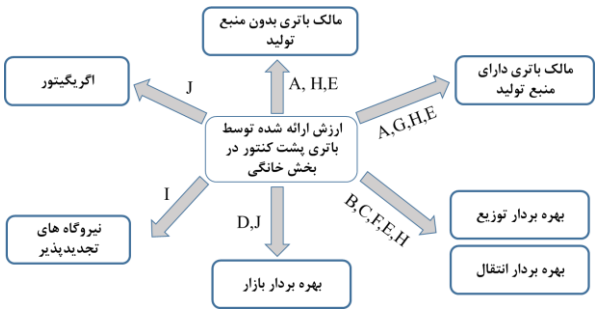
جدول ۱. ارزش‌های مختلف ارائه شده از طرف باتری‌ها

گروه	ارزش ارائه شده	
A	• خرید و فروش انرژی • تامین انرژی مورد نیاز • شارژ خودروهای برقی • تامین انرژی مناطق دور دست • منبع برق اضطراری	• ایجاد درآمد برای مشترکین • امکان کاهش هزینه‌های انرژی مشترکین • استقلال اجتماع انرژی • بهره‌مندی از حمایت‌های دولتی بابت همکاری در طرح‌های مربوطه
B	• تامین انعطاف پذیری مورد نیاز شبکه • تامین منابع رزرو شبکه • تقویت پاسخگویی بار شبکه • جابجایی بار • جابجایی تولید تجدیدپذیر • به تعویق افتادن توسعه‌ی شبکه	• کمک به برنامه‌های مدیریت مصرف جهت گذر از اوج بار • کاهش هزینه‌های اعمال شده به شبکه بابت عدم تامین مشترکین با هزینه خاموشی زیاد • شکل گرفتن ریزشبکه‌ها و امکان بهره‌برداری آن‌ها به صورت مستقل • استفاده به عنوان یک سناریوی جایگزین در برنامه‌ریزی توسعه • حرکت به سمت اهداف شبکه‌های هوشمند
C	• تامین توان راکتیو مورد نیاز • کاهش تلفات انتقال و توزیع • کاهش بارگذاری ترانسفورماتورهای توزیع	• کاهش اوج بار فیدر و پست فوق توزیع بالادست • افزایش ضریب بار و صاف نمودن پروفیل بار فیدر
D	• توسعه‌ی بسترهای نرم افزاری و سخت افزاری بازار جهت انجام معاملات • کمک به توسعه‌ی بازار و پررنگ شدن نقش پلتفرم‌ها در سیستم انرژی • کاهش نوسانات قیمت انرژی	
E	• کمک به بهبود اقتصاد و رفاه جامعه • حفظ محیط زیست و کاهش آلایندگی	
F	• مشارکت در کنترل فرکانس • افزایش رویت پذیری شبکه • افزایش کنترل‌پذیری شبکه	
G	• خودتامینی مشترکین با انرژی خورشیدی • ذخیره‌سازی تولید مازاد خورشیدی جهت استفاده در اوج بار شب	
H	• بهبود وضعیت کیفیت توان • افزایش امنیت شبکه و ریزشبکه • افزایش قابلیت اطمینان شبکه و ریزشبکه	• افزایش تاب آوری شبکه/ ریزشبکه • کاهش ریسک مواجه شدن با تغییرات شدید قیمت انرژی
I	• کاهش نیاز به خاموشی فیدرهای توزیع در دوره‌ی اجرای کاهش مصرف • افزایش ظرفیت قابل نصب منابع تجدیدپذیر روی فیدرهای توزیع	
J	• ورود بازیگران جدید به محیط بازار • تشکیل ذخیره‌ساز مقیاس بزرگ توزیع شده • افزایش سطح ارتباطات در شبکه	• افزایش سطح مدیریت منابع • ایجاد کانال جدید درآمد و کاهش هزینه

۳،۲. تشکیل بوم مدل کسب و کار برای باتری‌های ذخیره‌ساز

۳،۲،۱. ارزش پیشنهادی

مهم‌ترین بخش مدل کسب و کار، ارزش پیشنهادی کسب و کار می‌باشد. ارزش ارائه شده از باتری‌ها می‌تواند از دیدگاه هر یک از بازیگران بازار متفاوت باشد. به طور مثال در برنامه‌های پاسخگویی بار، مالک باتری به دنبال کسب درآمد یا کاهش هزینه است و بهره‌بردار شبکه توزیع به دنبال کاهش اوج بار شبکه است. به همین دلیل هنگام تشکیل بوم کسب و کار باید مشخص شود که ما در مورد کدام بازیگر صحبت می‌کنیم. بدین منظور، ارزش‌های ارائه شده از طرف باتری را می‌توان به بخش‌های مختلفی تقسیم نمود و هر بخش را به یک یا چند بازیگر اختصاص داد. با این روش می‌توان بوم کسب و کار را از دیدگاه هر یک از بازیگران تشکیل داد. به طور نمونه جدول ۱ ارزش‌های ارائه شده از طرف باتری‌های ذخیره ساز را نشان داده است. ارزش‌های ارائه شده در این جدول به صورت کلی نوشته شده است و برخی از آن‌ها ممکن است فقط از دیدگاه یک یا چند بازیگر خاص معنی داشته باشد. بدین منظور در شکل ۱ این ارزش‌ها به بازیگران مختلف اختصاص داده شده است.



شکل ۱. ارزش ارائه شده از طرف باتری‌های کوچک برای بخش‌های مختلف

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

شکل ۲. نمونه بوم مدل کسب و کار برای مجموعه باتری‌های ذخیره‌ساز – از دیدگاه مشترکین خانگی

۳،۲،۲. نمونه‌ی بوم مدل کسب و کار باتری‌های ذخیره‌ساز

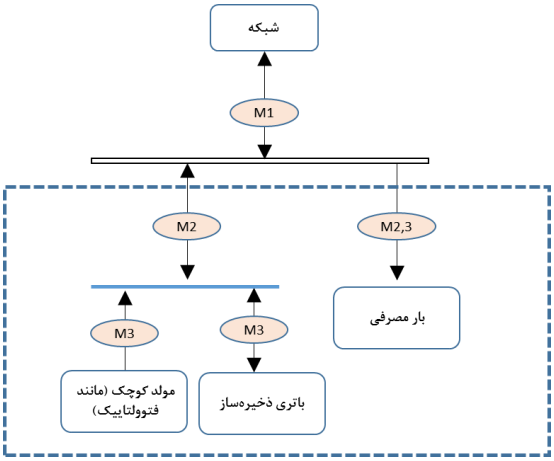
برای ر سیدن به مدل‌های ک سب و کار باتری‌های ذخیره ساز، باید بتوان بوم کسب و کار را برای این منابع توصیف کرد. در این بخش به کمک مدل ا ستاندارد Osterwalder، ق سمت‌های مختلف بوم کسب و کار تشکیل داده می‌شود. برای هر بخش از بوم، نیاز است تا به برخی سوالات پاسخ داده شود. البته هنگام تشکیل بوم کسب و کار باید م شخص شود که ما در مورد کدام بازیگر صحبت می‌کنیم؛ زیرا ممکن است پاسخ به سوالات هر بخش از دیدگاه هر بازیگر متفاوت باشد. با توجه به این امر، یک نمونه بوم کسب و کار از دیدگاه مشترک دارای باتری تشکیل شده است که در شکل ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که موارد نوشته شده منحصر به فرد نبوده و می‌توان به شیوه‌های دیگر نیز بوم ک سب و کار را تشکیل داد.

۳،۳. بستر معاملات و محل اندازه‌گیری تولید/مصرف باتری در مدل‌های کسب و کار باتری

ارزش‌های ارائه شده از طرف باتری‌ها به طرق مختلفی می‌تواند به د ست م شتریان بر سد. برای م شارکت موفق باتری‌ها در معاملات انرژی و یا برنامه‌های مختلف پا سخگویی بار، وجود ب ستر منا سب سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ضروری ا ست. باتری‌های ذخیره ساز می‌توانند بدون وا سطه (P2P) و یا با وا سطه (به ک مک اگریگیتور/VPP) در بازارهای انرژی و خدمات م شارکت دا شته با شند. همچنین یکی دیگر از مواردی که می‌تواند م شارکت را تحت تاثیر قرار دهد، سیا ست صنعت برق برای اندازه‌گیری میزان م شارکت باتری‌ها خواهد بود. اندازه‌گیری و قرائت انرژی تولیدی/ م صرفی یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی ا ست که می‌تواند ک سب درآمد مشترکین را تحت تاثیر قرار دهد. برای اندازه‌گیری مشارکت

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

باتری‌ها، حالات ممکن نصب کنتور در آرایش‌های شکل ۳ آورده شده است که در آن، شرایط حضور منبع تولید پراکنده نیز در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. آرایش‌های مختلف قرارگیری کنتور برای مشترکین کوچک

در آرایش شماره ۱ (اندازه‌گیری M1) فرض می‌شود که یک کنتور در ورودی مجموعه قرار دارد و قرائت بر اساس برآیند کل تولید/مصرف در هر ساعت انجام می‌شود. این نوع اندازه‌گیری به اندازه‌گیری خالص[1] یا NEM معروف است. با توجه به این که هدف از نصب باتری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا تسهیل نمودن نفوذ منابع تجدیدپذیر و مدیریت مصرف بوده است می‌توان گفت آرایش فوق از دیدگاه شبکه احتمالا بهترین نوع اندازه‌گیری می‌باشد. لازم به ذکر است مشترکینی که سیستم اندازه‌گیری آن‌ها طبق آرایش ۱ می‌باشد و در برنامه‌های پاسخگویی بار شرکت می‌کنند، برای محاسبه‌ی میزان مشارکت آن‌ها نیاز است تا مقایسه‌ای بین بار مصرفی واقعی و بار مبنای آن‌ها یا CBL صورت بگیرد ((Ghasemi et al., 2023), Mohajeryami et al., 2017)). در آرایش شماره ۲ (اندازه‌گیری M2) فرض می‌شود که یک کنتور مقدار مصرف داخلی مشترک را اندازه‌گیری می‌کند و یک کنتور مجزا نیز مجموع توان سیستم تولید و ذخیره ساز را ثبت می‌نماید و قرائت بر اساس برآیند کل تولید/ذخیره در هر بازه‌ی زمانی (مثلا هر ساعت) انجام می‌شود. این آرایش برای حالتی است که بهره‌بردار سیستم به دنبال سیاست ذخیره‌ی انرژی خورشیدی در باتری‌ها و استفاده از آن در ساعات مورد نیاز می‌باشد. در آرایش شماره ۳ (اندازه‌گیری M3) نیز فرض می‌شود که مقدار مصرف داخلی مشترک، مقدار انرژی تبادلی باتری، و همچنین مقدار تولید مولدهای کوچک هر یک به صورت مجزا اندازه‌گیری و محاسبه می‌شوند. این آرایش برای حالتی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که مستقل از تولید تجدیدپذیر، سیاست‌گذار به دنبال حمایت ویژه از منابع ذخیره‌ساز می‌باشد.

در حالت عادی و با هدف کسب درآمد، استفاده از آرایش‌های ۱ و ۲ برای مشترکین خانگی در شبکه‌های توزیع ایران جذاب نخواهد بود؛ زیرا با توجه به یارانه‌های تعلق گرفته به تعرفه‌ی برق خانگی/تجاری در شبکه‌های توزیع، نصب تاسیسات مولد و باتری جهت تامین بار داخلی توجیه‌پذیر نخواهد بود. آرایش شماره ۳ به نسبت آرایش‌های قبلی، می‌تواند برای مشترکین خانگی در ایران جذابیت بیشتری ایجاد کند؛ البته به شرطی که مدل کسب و کار مناسبی برای باتری‌های ذخیره ساز وجود داشته باشد و یا تشویق‌ها و حمایت‌ها به درستی صورت بگیرد.

۳،۴. مشارکت مستقیم یا با حضور واسطه

مشارکت باتری‌های ذخیره‌ساز در ارائه‌ی خدمات انعطاف‌پذیری به شبکه می‌تواند به صورت مستقیم باشد و یا این که مشارکت از طریق یک واسطه موسوم به اگریگیتور یا تجمیع‌گر صورت بگیرد. در مشارکت مستقیم، مشترکین بخش خانگی بدون واسطه با شرکت توزیع قرارداد منعقد می‌نمایند و بر اساس آن، مدیریت شارژ/دشارژ باتری بر عهده‌ی شرکت توزیع خواهد بود. به عبارت دیگر، ساعات شارژ و دشارژ شدن باتری‌ها با نظر مستقیم شرکت توزیع تعیین شده و تزریق توان و انرژی در ساعات مورد نظر از سمت شرکت توزیع خریداری می‌گردد. البته این استراتژی شاید خیلی مدنظر قرار نگیرد؛ زیرا مدیریت تعداد زیادی منابع کوچک مشکلات خاص خود را خواهد داشت و ممکن است بهره‌بردار نتواند به صورت بهینه از پتانسیل این منابع استفاده نماید.

حضور تجمیع‌گر می‌تواند مدیریت منابع کوچک از جمله باتری‌ها را تسهیل نماید. در این مدل مسئولیت‌های فنی و اقتصادی سمت مشترکین کوچک، بر عهده‌ی اگریگیتور قرار می‌گیرد. با تجمیع و مدیریت و برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ باتری‌ها، این بازیگر خواهد توانست نقش یک نیروگاه مجازی را نیز ایفا کند و خدمات انعطاف‌پذیری را برای بهره‌بردار سیستم تامین نماید.

۳،۵. مشارکت باتری‌های ذخیره‌ساز در برنامه‌های پاسخگویی بار

پاسخگویی بار یا DR[2] یکی از منابع مهم انعطاف‌پذیری می‌باشد. پاسخگویی بار به معنای تغییر بار مصرفی مشترکین نسبت به بار

[1] Net metering

[2] Demand response

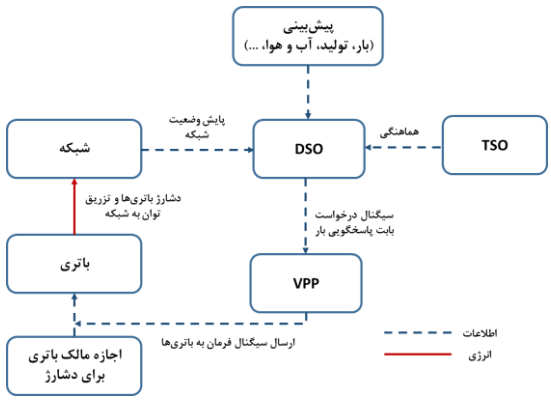
[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

عادی آن‌ها می‌باشد (Ghasemi et al., 2023). این تغییر مصرف می‌تواند در پاسخ به قیمت بازار و یا برخی برنامه‌های تشویقی با شد. پاسخگویی بار موجب کاهش اوج بار، افزایش ظرفیت رزرو، کاهش قیمت انرژی و به تعویق افتادن توسعه‌ی شبکه می‌گردد (Saebi et al., 2022).

به‌طور کلی، برنامه‌های پاسخگویی بار به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: پاسخگویی بار مبتنی بر زمان[1] (یا مبتنی بر قیمت[2]) و پاسخگویی بار مبتنی بر تشویق[3] (یا تشویق-محور). در پاسخگویی بار مبتنی بر قیمت، تعرفه‌ی قیمتی متغیر موجب تشویق مشترکین برای تغییر الگوی بار مصرفی می‌شود. همچنین تغییر بار در برابر برنامه‌های تشویقی را پاسخگویی بار تشویق-محور گویند (Saebi et al., 2022).

برنامه‌های پاسخگویی بار متداول احتمالا برای باتری‌ها جذاب نخواهند بود، زیرا هزینه‌ی نصب باتری‌ها زیاد است و رسیدن به هدف (مانند کاهش مصرف) از طریق مدیریت بقیه‌ی بارها، کم هزینه‌تر خواهد بود. البته با توجه به قابلیت های باتری های ذخیره ساز، برنامه‌های پاسخگویی بار با تمرکز روی باتری‌های ذخیره ساز نیز می‌تواند مطرح شود. در این نوع پاسخگویی بار، شارژ و دشارژ باتری‌ها کنترل می‌شود و کنتوری که قرائت می‌شود مربوط به خود باتری می‌باشد. پاسخگویی بار باتری‌های ذخیره‌ساز در حال حاضر در مناطقی مانند پورتوریکو و کالیفرنیا اجرا می‌شود ((Sunrun) , (Bakerhomeenergy)) که عموما از نوع برنامه پاسخگویی بار اضطراری[4] هستند و مجموعه باتری‌ها به‌عنوان یک نیروگاه مجازی (VPP) بهره‌برداری می شوند. در این برنامه پاسخگویی بار، در شرایط اضطراری سیگنال مناسب به سمت باتری‌ها ارسال می‌شود.

با اضافه شدن باتری‌های ذخیره ساز خانگی، می‌توان اجرای پاسخگویی بار را برای این باتری‌ها متصور بود. با توجه به کوچک بودن ظرفیت این منابع، اجرای این برنامه نیاز به حضور تجمیع‌گر دارد تا بتواند منابع را مدیریت نماید. اجرای برنامه‌ی پاسخگویی بار باتری ها می‌تواند موجب افزایش افزایش قابلیت اطمینان و تاب‌آوری سیستم توزیع شود. مشارکت باتری‌های ذخیره ساز، سیستم را در برابر حوادث مستحکم‌تر می‌نماید و موجب خواهد شد تا در شرایط رخداد حوادث، خاموشی در شبکه رخ ندهد یا شدت آن کاهش پیدا کند. همچنین در صورت از دست رفتن بخش زیادی از شبکه‌ی بالادست، رویکرد تاب آوری این است که بتوان بازیابی سریع سیستم را داشت. در ساده‌ترین حالت، در شرایط از دست رفتن شبکه، هر مشترک باید بتواند بارهای ضروری خود را تامین نماید که باتری ذخیره ساز در کنار مولد فتوولتاییک می‌تولند تاب آوری انرژی را برای خلنه‌های مسکونی ایجاد نماید. موفقیت این مدل در گروی معنی شدن ارزش بار از دست رفته برای مشترکین خانگی می‌باشد. البته لازم به ذکر است که اینورتر مورد استفاده برای باتری‌ها باید بتواند به‌صورت مستقل از شبکه نیز کار کند. جهت افزایش تاب آوری در این سطح، لازم است تا مشلبه برنامه‌ای که در پورتوریکو در حال اجرا است (Sunrun)، بهره‌بردار در شرایطی که پیش‌بینی رخداد شدید وجود دارد این اختیار را به مشترکین بدهد تا بتوانند در مورد شارژ باتری خود شان و همچنین کمک به شبکه‌ی سراسری تصمیم‌گیری کنند و به نوعی مشارکت در برنامه‌ی پاسخگویی بار غیراجباری شود. شکل ۴ ارتباط میان بازیگران را در این مدل نشان می‌دهد. در این مدل، مشترکین خانگی پس از رخداد شدید و قطع شبکه می‌توانند تا زمان بازیابی مجدد، همچنان برق‌دار باشند که این امر مفهوم تاب آوری انرژی را به نمایش می‌گذارد. بنابراین با رویکرد فوق، علاوه بر دستیابی به اهداف پاسخگویی بار، تاب آوری انرژی را در خانه‌های مشترکین شاهد خواهیم بود.



شکل ۴. ارتباط بخش‌های مختلف در برنامه پاسخگویی بار باتری‌ها

۴. برخی مدل‌های کسب و کار در پاسخگویی بار و انعطاف‌پذیری

بوم کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز از دیدگاه مشترکین خانگی در شکل ۲ نشان داده شد. در این بوم کسب و کار می‌توان مشتریان، ارزش‌های پیشنهادی متعدد، جریان‌های درآمدی و همچنین هزینه‌ها را مشاهده نمود. به طور کلی، به کمک بوم کسب و کار می‌توان مدل‌های کسب و کار متعددی را ایجاد نمود. این مدل‌ها می‌توانند بر روی ارائه‌ی فقط یک ارزش تمرکز کنند و

[1] Time-based DR
[2] Price-based DR
[3] Incentive-based DR
[4] Emergency DR

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

جدول ۲. برخی از مدل‌های کسب و کار پیشنهادی در پاسخگویی بار برای باتری‌های خانگی

مدل	شیوه‌ی خلق ارزش	جریان درآمد
داد و ستد یا اربیتراژ انرژی در حضور تعرفه غیرثابت	شارژ باتری در ارزانی و دشارژ در گرانی	اختلاف قیمت خرید و فروش
کاهش اوج بار	شارژ در زمان کم‌باری و دشارژ در زمان پرباری	طرح تشویقی بهره‌بردار توزیع (بابت تعویق سرمایه‌گذاری، افزایش قابلیت اطمینان و ...)
جابجایی تولید	جذب توان تولیدی فتوولتاییک در ساعات میانی روز و تزریق توان در شب	افزایش درآمد با فروش انرژی تولیدی به قیمت بالاتر
جابجایی بار مصرفی	جذب توان در زمان‌های غیرپیک/ ارزان و مصرف در زمان مورد نیاز	کاهش هزینه‌ی انرژی طرح تشویقی بهره‌بردار توزیع جهت کمک به شبکه
حداقل هزینه‌ی انرژی	جذب توان در زمان قیمت ارزان و مصرف در زمان گران	کاهش هزینه‌ی انرژی
پاسخگویی بار اضطراری	دشارژ باتری در شرایط اضطراری	کسب درآمد بابت ارائه خدمات به شبکه
بازار کاهش دیماند	مشارکت در بازار کاهش دیماند به واسطه تجمیع‌گر	کسب درآمد بابت ارائه خدمات به شبکه
بازار خدمات جانبی	استفاده از باتری برای پشتیبانی از پایداری شبکه	کسب درآمد بابت ارائه خدمات به شبکه
خودتامینی	جذب مازاد توان تولیدی فتوولتاییک و مصرف در زمان مورد نیاز	کاهش هزینه انرژی دریافتی از شبکه جلوگیری از هزینه بابت خاموشی به دلیل افزایش قابلیت اطمینان و تاب آوری
فروش انرژی به مشترکین با هزینه‌ی خاموشی بالا	جذب توان در صورت تولید مازاد یا در زمان کم باری و فروش به مشترکین در ساعات پرباری در دوره مدیریت مصرف اجباری	فروش انرژی به قیمت بالا در ساعات اوج بار
معافیت از برنامه‌ی کاهش مصرف	عدم خاموشی در دوره اوج بار	جلوگیری از هزینه بابت خاموشی به دلیل تداوم انرژی (قابلیت اطمینان)
اجاره‌ی ظرفیت	اجاره‌ی کل و یا بخشی از ظرفیت باتری	فروش موقت ظرفیت باتری
ذخیره‌ساز اشتراکی	استفاده چند خانوار از یک باتری مشترک در ساختمان	کاهش هزینه‌ی انرژی جلوگیری از هزینه بابت خاموشی به دلیل افزایش قابلیت اطمینان و تاب آوری
اجتماع باتری	همکاری باتری‌ها از طریق یک پلتفرم برای اهداف مشترک	کاهش هزینه‌ی انرژی کسب درآمد از ارائه‌ی خدمات

یا این که ارزش‌های متعدد را در یک زمان پیشنهاد دهند. با ارزش‌های پیشنهادی متعدد، درآمد بیشتری ایجاد خواهد شد.

در یک شبکه‌ی توزیع، مدل‌های کسب و کار متعددی برای باتری‌های ذخیره ساز خانگی با مشارکت در برنامه پاسخگویی بار می‌تواند شکل بگیرد که در جدول ۲ چند مدل کسب و کار آورده شده است. مانند بسیاری از کسب و کارهای دیگر، مدل‌های کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز هم محدود به چند مورد یاد شده نخواهند بود و شاید بتوان مدل‌های دیگری نیز برای آن‌ها پیشنهاد داد. البته در اینجا سعی شده است تا مدل‌ها در محیط برنامه‌های پاسخگویی بار قابل اجرا باشند و همچنین برای مشترکین خانگی معتبر باشند.

۵. اعتبار مدل‌های کسب و کار برای شبکه برق ایران

بوم کسب و کار نشان داده شده در شکل ۲، یک نمونه‌ی جامع و هدف‌گذاری شده برای کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز کوچک در آینده است. در وضعیت کنونی، شکل‌گیری بسیاری از مدل‌های کسب و کار مستخرج از این بوم مشکل است. این موضوع ناشی از عدم آمادگی فضا برای ورود تکنولوژی جدید و همچنین ساختار بازار برق می‌باشد. مواردی از این قبیل باعث خواهند شد تا ارزش‌های باتری قابل ارائه نباشند و یا قابل تبدیل به پول نباشند. به طور مثال، با تعرفه‌ی فعلی در بخش خانگی، نمی‌توان انتظار داشت تا خرید و فروش انرژی برای باتری‌ها شکل بگیرد. در حقیقت تعرفه‌های یارانه‌ای و همچنین اختلاف ناچیز قیمت بین ساعات اوج بار و کم‌باری نمی‌تواند جذابیت لازم را برای مشارکت مشترکین در این مدل ایجاد نماید. در برنامه‌های پاسخگویی بار و انعطاف‌پذیری نیز مشارکت باتری‌های ذخیره‌ساز با موانع متعددی روبرو خواهد بود. در شبکه‌های توزیع ایران، هنوز جایگاه و نقش تجمیع‌گران برای مدیریت منابع کوچک در بخش خانگی به طور شفاف مشخص نشده است. در صورت عدم فعالیت تجمیع‌گران جهت مدیریت منابع کوچک، بسیاری از ارزش‌های باتری‌های کوچک به عنوان یک منبع انعطاف‌پذیر قابل ارائه نخواهد بود. همچنین تجمیع‌گران برای مدیریت منابع تحت کنترل خود و همکاری با بهره‌بردار شبکه، نیاز به زیرساخت‌های ارتباطی و مخابراتی دارند که باید بسترهای مناسب در شبکه‌های توزیع ایجاد گردد. علاوه بر این موارد، ورود تجمیع‌گران به بازار مستلزم ایجاد جذابیت برای این گروه بازیگران خواهد بود که مهم‌ترین آن،

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

امید به کسب درآمد می‌باشد. لازم به ذکر است که سب درآمد اگریگیتورها از محل کمیسیونی است که از مشتریان خود از جمله مشترکین و بهره‌بردار شبکه اخذ می‌کنند. بهره‌بردار شبکه بابت استفاده از خدمات منابع انعطاف‌پذیر در صورتی پرداخت خواهد داشت که درآمد حاصل از آن خدمات برایش ملموس باشد. این امر زمانی ممکن می شود که تاثیر هر کیلووات / کیلووات ساعت ظرفیت باتری بر روی مواردی همچون کمک به بهبود قابلیت اطمینان، تاب آوری، کاهش خاموشی‌های اجباری، تعویق توسعه‌ی شبکه و ... برای مالک و بهره‌بردار شبکه‌ی توزیع معلوم باشد. در وضعیت کنونی، قطعی مشترکین به خصوص مشترکین خانگی، هزینه های خیلی سنگینی را برای بهره‌بردار شبکه به همراه نخواهد داشت و با توجه به این امر، ارزش تاب آوری و قابلیت اطمینان ارائه شده از طرف باتری‌های ذخیره‌ساز نیز آشکار نخواهد شد. علاوه بر این، از جایی که ظرفیت منابع تجدیدپذیر در شبکه‌ی برق ایران ناچیز است، هنوز ارزش منابع انعطاف‌پذیری از جمله باتری‌های ذخیره ساز به خوبی آشکار نشده است؛ هرچند باید به این نکته اشاره نمود که اگر هدف‌گذاری توانیر برای نفوذ منابع تجدیدپذیر طبق برنامه انجام شود، به زودی بهره‌برداران شبکه‌ی انتقال و توزیع نیاز بیشتری به انعطاف‌پذیری خواهند داشت که این امر نهایتاً منجر به پولی کردن خدمات انعطاف‌پذیری خواهد شد. تمامی موارد ذکر شده باعث می شوند تا در وضعیت کنونی، سرمایه‌گذاری مشترکین روی باتری‌های ذخیره‌ساز جبران نشود و همچنین ارزش خدمات ارائه شده از سمت تجمیع‌گران آشکار نگردد. این موضوع به طور همزمان مشترکین خانگی را برای نصب و بهره‌برداری و همچنین تجمیع‌گران را برای مدیریت منابع تولید و ذخیره‌ساز ناامید خواهد کرد.

از دیدگاه تاب آوری نیز باید به این موضوع اشاره نمود که ریز شبکه‌ها به عنوان بهترین ابزار تاب‌آوری سیستم، هنوز در سیستم‌های توزیع برق ایران توسعه نیافته‌اند. از نظر تاب آوری، محتمل‌ترین مدل این است که مشترکین خود شان به دنبال تاب‌آوری انرژی باشند تا در زمان رخداد حوادث سنگین و قطع شبکه‌ی سراسری، نیازهای ضروری خود را تامین نمایند. البته لازم به ذکر است که ایجاد خانه‌های تاب آور موجب خواهد شد تا نانوگریدها شکل بگیرند که خود در مسیر شکل‌گیری ریزشبکه‌ها می‌باشد. علاوه بر موارد یاد شده، باید به نقش بهره‌برداران شبکه‌های توزیع نیز در این مسیر توجه داشت. برای ارائه‌ی ارزش منابع انعطاف‌پذیری مانند باتری‌های ذخیره ساز، نیاز است تا بهره‌برداران شبکه‌های توزیع که تمرکز آن‌ها در حال حاضر بیشتر بر روی توزیع انرژی الکتریکی است نیز تبدیل به بهره‌برداران فعال شوند و بتوانند ارتباط دو طرفه (انرژی و داده) را با مشترکین خانگی برقرار نمایند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ایجاد کسب و کار باتری‌ها در شبکه‌های توزیع ایران با چالش‌های مهمی روبرو می‌باشد و شاید به‌کارگیری بسیاری از مدل‌های یاد شده در حال حاضر عملیاتی نباشد. بنابراین انتظار می‌رود تا نهادهای سیاست‌گذار و قانون‌گذار بخش انرژی، موانع را از سر راه شکل‌گیری کسب و کار منابع تولید و ذخیره‌ساز کوچک بردارند.

۶. نتیجه‌گیری

استفاده از باتری‌های ذخیره ساز لیتیومی در کنار مولدهای خورشیدی کوچک فواید متعددی را برای مشترکین و بهره‌بردار شبکه به همراه خواهد داشت. هدف‌گذاری انجام شده برای توسعه‌ی منابع تجدیدپذیر، اجرای برنامه‌های مدیریت مصرف توانیر و همچنین اسناد بالادستی همگی نشان می‌دهند که به زودی شاهد نفوذ باتری‌های ذخیره ساز در شبکه‌های توزیع ایران خواهیم بود. قراردادهای خرید تضمینی همواره به عنوان یکی از راهکارهای تشویق مشترکین به سرمایه‌گذاری روی منابع تجدیدپذیر مطرح بوده است. اخیرا این دیدگاه در بین مسئولان قوت گرفته است که قراردادهای خرید تضمینی شاید بهترین روش برای گسترش منابع تجدیدپذیر نیستند؛ بنابراین باید فضا برای شکل‌گیری کسب و کار این منابع آماده شود. در این مقاله کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز خانگی مورد مطالعه قرار گرفت. مالکان این منابع باید بتوانند به جریان های درآمدی متعدد دسترسی پیدا کنند تا انگیزه کافی برای فعالیت آن‌ها به وجود بیاید. در همین راستا، ارزش‌های قابل ارائه از طرف باتری‌های ذخیره‌ساز به تفکیک بازیگران مختلف مطرح شد. سپس بوم کسب و کار باتری‌های ذخیره ساز از دیدگاه مشترکین خانگی تشکیل گردید. با توجه به بوم پیشنهادی، مدل‌های کسب و کار متعددی می‌تواند برای مشترکین دارای باتری‌های ذخیره ساز شکل بگیرد که در این مقاله چندین مدل پیشنهاد شد. البته توسعه‌ی مدل‌های کسب و کار مستلزم رفع موانع توسط بخش قانونگذار خواهد بود. همچنین حضور فعال تجمیع‌گران نیز کمک خواهد کرد تا بهره‌بردار سیستم توزیع بتولند از انعطاف‌پذیری منابع ذخیره‌ساز کوچک به بهترین شکل استفاده نماید.

قدردانی

این مقاله مستخرج از پژوهش انجام شده در شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی بوده که با حمایت‌های مادّی و معنوی این شرکت به انجام رسیده است. همچنین نویسندگان از زحمات و مشارکت سازنده‌ی همکاران محترم دفتر تحقیقات و دفتر بازار برق شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی که در پیشبرد این پژوهش نقش بسزایی داشتند، صمیمانه قدردانی می‌کنند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]

۷. مراجع

Babatunde, O., Munda, J., & Hamam, Y. (2020). Power system flexibility: A review. *Energy Reports*, *6*, 101–106. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.048

Baker Home Energy, *https://bakerhomeenergy.com*

Baumgarte, F., Glenk, G., & Rieger, A. (2020). Business models and profitability of energy storage. *iScience*, *23*(10), 101554. https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101554

BloombergNEF. (2023). *https://about.bnef.com*

Chasin, F., Paukstadt, U., Gollhardt, T., & Becker, J. (2020). Smart energy driven business model innovation: An analysis of existing business models and implications for business model change in the energy sector. *Journal of Cleaner Production*, *269*, 122083. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122083

Consumers Power Inc, *https://cpi.coop*

De Clercq, S., Schwabeneder, D., Corinaldesi, C., & Fleischhacker, A. (2020). Emerging aggregator business models in European electricity markets. In *Elsevier eBooks* (pp. 285–303). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819951-0.00014-1

Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council (2019).

Feldman, D. (2015). *Shared Solar: Current Landscape, Market Potential, and the impact of Federal Securities Regulation.* National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Ghasemi, A., Hojjat, M., Saebi, J., Neisaz, H. R., & Hosseinzade, M. R. (2023). An investigation of the customer baseline load (CBL) calculation for industrial demand response participants –A regional case study from Iran. *Sustainable Operations and Computers*, *4*, 88–95. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2023.03.003

He, X., Delarue, E., D'haeseleer, W., & Glachant, J. (2011). A novel business model for aggregating the values of electricity storage. *Energy Policy*, *39*(3), 1575–1585. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.033

IEA. (2020). *Innovation in batteries and electricity storage.*

IEA. (2021). Retrieved from https://www.iea.org

IRENA (2019), *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables.* International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Kooshknow, S. M. M., & Davis, C. (2018). Business models design space for electricity storage systems: Case study of the Netherlands. *Journal of Energy Storage*, *20*, 590–604. https://doi.org/10.1016/j.est.2018.10.001

Lu, X., Li, K., Xu, H., Wang, F., Zhou, Z., & Zhang, Y. (2020). Fundamentals and business model for resource aggregator of demand response in electricity markets. *Energy*, *204*, 117885. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117885.

Ministry of Energy, *https://isn.moe.gov.ir*

Mishra, D. K., Ghadi, M. J., Li, L., & Zhang, J. (2019). Proposing a Framework for Resilient Active Distribution Systems using Withstand, Respond, Adapt, and Prevent Element. In *29th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. https://doi.org/10.1109/aupec48547.2019.211907

Mishra, D. K., Ghadi, M. J., Li, L., Zhang, J., & Hossain, M. (2022). Active distribution system resilience quantification and enhancement through multi-microgrid and mobile energy storage. *Applied Energy*, *311*, 118665. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118665

Mohajeryami, S., Doostan, M., Asadinejad, A., & Schwarz, P. (2017). Error analysis of customer Baseline load (CBL) calculation methods for residential customers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *53*(1), 5–14. https://doi.org/10.1109/tia.2016.2613985

Moura, R., & Brito, M. C. (2019). Prosumer aggregation policies, country experience and business models. *Energy Policy*, *132*, 820–830. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.053

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley & Sons.

PV magazine International (2023), *www.pv-magazine.com*

Saebi, J., Ghasemi, A., & Hojjat, M. (2022). Design and implementation of a competitive framework for a day-ahead demand-response program in Iran. *Utilities Policy*, *77*, 101391. https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101391

Schwidtal, J., Piccini, P., Troncia, M., Chitchyan, R., Montakhabi, M., Francis, C., Gorbatcheva, A., Capper, T., Mustafa, M., Andoni, M., Robu, V., Bahloul, M., Scott, I., Mbavarira, T., España, J., & Kiesling, L. (2023). Emerging business models in local energy markets: A systematic review of peer-to-peer, community self-consumption, and transactive energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *179*, 113273. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113273

SolarPower Europe (2020): European Market Outlook for Residential Battery Storage 2020-2024

Spiliopoulos, N., Sarantakos, I., Nikkhah, S., Gkizas, G., Giaouris, D., Taylor, P., Rajarathnam, U., & Wade, N. (2022). Peer-to-peer energy trading for improving economic and resilient operation of microgrids. *Renewable Energy*, *199*, 517–535. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.061

Sunrun Inc. (2023), *https://investors.sunrun.com/*

Schittekatte, T., & Meeus, L. (2020). Flexibility markets: Q&A with project pioneers. *Utilities Policy*, *63*, 101017. https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101017

Usef. (2015). *USEF: the Framework Explained, ISSBN: 978-90-824625-0-0.*

Šimić, Z., Topić, D., Knežević, G., & Pelin, D. (2021). Battery energy storage technologies overview. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, *12*(1), 53–65. https://doi.org/10.32985/ijeces.12.1.6

Tolonen, E., Shakeel, S. R., & Juntunen, J. K. (2023). Promoting just transition or enhancing inequalities? Reflection on different energy community business models in terms of energy justice. In *Lecture notes in energy* (pp. 151–180). https://doi.org/10.1007/978-3-031-21402-8_6

Verhaegen, R. & Dierckxsens, C. (2016). *Existing Business Models for Renewable Energy Aggregators.*

Zornow, F., Talari, S., Ketter, W., Ebrahimi, M., & Shafie-Khah, M. (2023). Local flexibility markets and business models. In *Lecture notes in energy* (pp. 181–220). https://doi.org/10.1007/978-3-031-21402-8_7

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-11-05]