دانشگاه صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت (تجدید ساختار)

تاثیر قیمت‌دهی مصرف‌کننده و تداوم تغذیه بارهای بحرانی الکتریکی بر بهره‌برداری از ریز شبکه‌ها

استاد محترم:

آقای دکتر مجتبی خدرزاده

تهیه کننده: محمد خلیلی

زمستان ۱۳۹۰

دانشگاه صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت (تجدید ساختار) آقای محمد خلیلی

تحت عنوان:

تاثیر قیمت‌دهی مصرف‌کننده و تداوم تغذیه بارهای بحرانی الکتریکی بر بهره‌برداری از ریز شبکه‌ها

در تاریخ ۱۵ / ۱۱ /۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه: دکتر مجتبی خدرزاده

۲- استاد داور (داخلی): دکتر مهرداد ستایش‌نظر

۳- استاد داور (خارجی): دکتر محسن کلانتر

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده برق: دکتر حمید جوادی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محمد خلیلی تأیید می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه، حاصل کارپژوهشی اینجانب بوده و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته ازآنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است.
این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح، پایین‌تر و بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.

محمد خلیلی

تقدیم به پدر و مادر عزیز

مهربان فرشتگانی که ؛

لحظات نابِ باورِ بودن، لذت و غرورِ دانستن، جسارتِ خواستن، شکوهِ توانستن، عظمتِ رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

قدردانی :

سپاس خداوندی را که انسان را آفرید و ابواب دانش را به روی او گشود.
سپاس پیامبران آسمانی را که پرتو علم خداوند را به انسان ها تابانیدند.
و سپاس معلمان و اساتید ارجمند را که ادامه دهنده راه انبیاء هستند.

استاد گرامی، آقای دکتر **مجتبی خدرزاده**، اکنون که با عنایت و لطف ایزد منان و با مساعدت و راهنمایی های دلسوزانه و نیز با تکیه بر علم و تجربه شما توانستم پا به عرصه تحقیق و پژوهش بگذارم، بر خود لازم می دانم تا صمیمانه از زحمات بی دریغ شما در این مسیر تشکر و قدردانی نمایم. بی شک هر گامی که در این راه برداشتم مدیون یاری و سعه صدر شما استاد بزرگوار هستم.

همچنین از دوستان عزیزم آقایان مهندس وحید شکری، محمد مردای، علی شاه‌محمدی و حامد ملکی و تمامی عزیزانی که در این مسیر پر فراز و نشیب یاریم کردند صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر به یکی از مطلوبترین راهکارها برای مقابله با کمبود سوخت‌های فسیلی، جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن زمین، تبدیل شده است. ریزشبکه‌ها به عنوان شبکه‌های به هم پیوسته‌ای از سیستم‌های انرژی پراکنده (منابع و بارها) می‌باشند که قادرند به صورت متصل و مجزا از شبکه‌های توزیع به فعالیت بپردازند. با توجه به وجود بارهای مختلف از نظر اولویت تغذیه، مصرف‌کنندگان می‌توانند با ارائه میزان بار قابل قطع یا جابجایی خود در قیمت‌های مختلف، به مرکز کنترل ریزشبکه در بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزشبکه و تامین انرژی بارهای بحرانی کمک کنند. قیمت‌دهی مصرف‌کننده می‌تواند در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، مخصوصا زمانی که قیمت‌های بازار بالاست، بسیار مفید باشد. در ضمن با این روش مصرف‌کنندگان می‌توانند از پرداخت هزینه‌های زیاد برای بارهای کم اهمیت خود جلوگیری کنند. در این پروژه تاثیر قیمت‌دهی مشترکان بر بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها با در نظر گرفتن انواع مصرف‌کننده و اولویت‌های مختلف بار تحلیل می‌شود. برای قیمت‌دهی، مصرف‌کنندگان به جای پیشنهادهای توان-قیمت، پیشنهادهای خود را به صورت بلوک‌های توان-اولویت-قیمت به بازار ارائه می‌کنند. در این روش هر مصرف‌کننده قادر است برای هر اولویت مصرفی خود، میزان قیمت مطلوب مورد نظر خود را تعیین کرده و استراتژی تامین هر اولویت بار را بر اساس نوع نیاز و قیمت پیشنهادی خود به بازار اعلام کند. علاوه بر این، تاثیر اقتصادی اعمال محدودیت‌های کفایت تولید یعنی برآوردن تقاضای بخش ویژه‌ای از بار ریزشبکه توسط تولیدات محلی در صورت جزیره‌ای شدن ریزشبکه ارزیابی می‌شود. این موضوع برای دستیابی به یک انتقال بدون تنش‌های گذرا از حالت اتصال به شبکه به حالت جزیره‌ای ریزشبکه اهمیت دارد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مشارکت مصرف‌کننده در پاسخ تقاضا، مخصوصا زمانی که خودروهای برقی به شبکه وارد می‌شوند، موجب کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و کم شدن فاصله بین پیک و دره منحنی بار می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که از مدیریت بهینه و هوشمند شارژ و دشارژ خوروهای الکتریکی می‌توان به عنوان فرصتی برای کاهش هزینه‌های بهره‌برداری استفاده کرد.

فهرست عناوین

عنوان **صفحه**

۱ فصل اول : مقدمه ۱
۲ فصل دوم: پاسخ تقاضا ۶
۲-۱ مقدمه ۷
۲-۲ تعریف پاسخ تقاضا ۷
۲-۳ دسته بندی انواع پاسخ تقاضا ۸
۲-۴ فایده‌ها و هزینه‌های برنامه‌های پاسخ تقاضا ۱۱
۲-۴-۱ مزایای DR ۱۱
۲-۴-۲ هزینه‌های DR ۱۳
۳ فصل سوم: تاثیر پاسخ تقاضا بر بازار روز بعد ۱۵
۳-۱ مقدمه ۱۶
۳-۲ مدلسازی ۱۶
۳-۲-۱ تابع هدف ۱۷
۳-۲-۲ پیشنهادات تولیدکنندگان ۱۷
۳-۲-۳ پیشنهادات مصرف‌کنندگان ۱۸
۳-۲-۴ قیود سیستم ۱۹
۳-۳ کمی‌سازی تاثیر پاسخ تقاضا ۲۰
۳-۳-۱ مدل سازی تاثیر جابجایی بار ۲۲
۳-۴ نتایج شبیه‌سازی ۲۳
4 فصل چهارم: بهره‌برداری از ریزشبکه با حضور پاسخ تقاضا ۲۹
۴-۱ مقدمه ۳۰
۴-۲ قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویتهای مختلف بار ۳۰
۴-۳ مدلسازی بار بحرانی و غیر بحرانی ۳۱
۴-۴ مدلسازی بازار روز بعد با حضور بارهای بحرانی و غیر بحرانی ۳۲
۴-۵ معرفی ریزشبکه مورد مطالعه ۳۳
۴-۶ سناریوهای مطالعه شده ۳۷
۴-۷ نتایج شبیه‌سازی ۳۹
۵ فصل پنجم : خودروهای برقی ۴۲
۵-۱ مقدمه ۴۳

۵-۲ انواع خودروهای الکتریکی ۴۳
۵-۲-۱ خودروهای الکتریکی هیبریدی ۴۴
۵-۳ مفهوم V2G ۴۴
۵-۳-۱ فلسفه V2G ۴۵
۵-۴ خدمات قابل ارائه توسط V2G ۴۶
۵-۴-۱ بازار تأمین بار پیک ۴۶
۵-۴-۲ بازار رزرو چرخان ۴۷
۵-۴-۳ بازار خدمات متعادل‌سازی ۴۷
۵-۴-۴ پشتیبانی و ذخیره سازی انرژی‌های منابع تجدید پذیر ۴۷
۵-۵ شمای کلی سیستم قدرت به همراه V2G ۴۸
۵-۶ نقش تجمیع کننده ۴۹
۵-۷ مزایای استفاده از V2G ۴۹
۵-۷-۱ مزایای V2G برای بهره بردار شبکه ۵۰
۵-۷-۲ مزایای V2G برای مالکین خودروهای الکتریکی ۵۰
۵-۷-۳ مزایای V2G برای محیط زیست ۵۰
۵-۸ نقش خودروهای الکتریکی در مدیریت تقاضا ۵۰
۵-۸-۱ اثرات PHEV بر مدیریت تقاضا ۵۱
۵-۹ الگوی روزانه استفاده از خودروها ۵۲
۵-۱۰ شارژ بهینه خودروهای الکتریکی ۵۳
۵-۱۰-۱ مفهوم نرخ شارژ ۵۴
۶ فصل ششم: تاثیر حضور همزمان خودروهای برقی و پاسخ تقاضا بر بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها ۵۶
۶-۱ مقدمه ۵۷
۶-۲ ارائه مدل جامع رفتار مصرف‌کننده ۵۷
۶-۳ مدلسازی رفتار تولیدکننده‌ها ۵۹
۶-۴ مدلسازی رفتار خودروهای برقی متصل به شبکه ۶۰
۶-۵ ارائه مدل ترکیبی سیستم و خودروها ۶۳
۶-۶ سیستم مورد مطالعه ۶۴
۶-۷ سناریوهای مطالعه شده ۶۷
۶-۸ ارائه نتایج شبیه‌سازی ۶۸
۶-۹ مسطح سازی منحنی بار ۷۱
۷ فصل هفتم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷
۷-۱ نتیجه گیری ۷۸
۷-۲ ارائه پیشنهادات ۷۹

۸ مراجع ۸۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : دسته بندی برنامه‌های پاسخ تقاضا [۶] ۹
شکل ۲-۲ : مزایای برنامه‌های پاسخ تقاضا [۶] ۱۲
شکل ۲-۳ : تاثیر DR بر قیمت‌های بازار برق [۶] ۱۳
شکل ۲-۴ : دسته‌بندی هزینه‌های DR [۶] ۱۴
شکل ۳-۱ : منحنی تقاضای مصرف‌کننده قیمت‌پذیر و منعطف [۲۱] ۱۸
شکل ۳-۲ : رابطه بین ضریب مشارکت بار و تقاضا [۲۱] ۲۰
شکل ۳-۳ : منحنی تقاضای سیستم ۲۴
شکل ۳-۴ : منحنی تغییرات تقاضای سیستم ۲۵
شکل ۳-۵ : قیمت تسویه بازار ۲۵
شکل ۳-۶ : تغییرات قیمت تسویه بازار ۲۶
شکل ۳-۷ : هزینه موثر برای مصرف‌کنندگان منعطف و قیمت‌پذیر ۲۶
شکل ۳-۸ : سود حاصل از جابجایی بار ۲۷
شکل ۳-۹ : تغییر در رفاه اجتماعی کل ۲۷
شکل ۴-۱ : قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویتهای بحرانی و غیربحرانی ۳۲
شکل ۴-۲ : ریزشبکه ولتاژ پایین مورد مطالعه [۲۳] ۳۴
شکل ۴-۳ : بار قطع شده بحرانی در هر ساعت ۳۹
شکل ۴-۴ : انرژی تامین نشده بحرانی در کل دوره در هر سناریو ۴۰
شکل ۴-۵ : هزینه متوسط تامین بار در هر سناریو ۴۱
شکل ۵-۱ : شمای کلی سیستم قدرت به همراه V2G ۴۸
شکل ۵-۲ : احتمال استفاده از خودروها در طول روز ۵۳
شکل ۵-۳ : مفهوم مقدار نرخ شارژ ۵۵
شکل ۶-۱ : قیمت‌دهی مصرف‌کننده برای اولویتهای مختلف بار ۵۸
شکل ۶-۲: قیمت ساعتی بازار : هر ۲۴ پله مربوط به یک فصل می‌باشد [۳۷] ۶۰
شکل ۶-۳ : درصد اتصال خودروها به شبکه در طول روز[۳۸] ۶۱
شکل ۶-۴: احتمال حضور خودروها در پارکینگ بر اساس نوع مصرف‌کننده در طول دوره ۶۲
شکل ۶-۵ : نحوه قرارگیری پارکینگها در ریزشبکه ۶۵
شکل ۶-۶ : منحنی روزانه بار مصرف‌کننده در سناریوهای BASE، UCCH و CCH ۶۸
شکل ۶-۷ : منحنی بار هفتگی مصرف‌کننده در سناریوهای BASE و SCH ۶۹
شکل ۶-۸ : منحنی بار روزانه مصرف‌کننده در سناریوهای BASE، SCH و SDR4 ..... ۷۰
شکل ۶-۹ : تاثیر پاسخ تقاضا در تفاوت مصرف در سناریوهای SCH و SDR3 ..... ۷۰
شکل ۶-۱۰ : هزینه متوسط تامین انرژی در سناریوهای مختلف ۷۱
شکل ۶-۱۱ : منحنی روزانه بار مصرف‌کننده در سناریوهای BASE، SDR4 و FLATTED.SDR4 ..... ۷۲
شکل ۶-۱۲ : منحنی هفتگی بار مصرف‌کننده در سناریوهای SDR4 و FLATTED.SDR4 ..... ۷۳

شکل ۶-۱۳ : مقایسه هزینه متوسط در سناریوهای SDR و FLATTED.SDR ۷۴
شکل ۶-۱۴ : میزان بار تامین نشده در انواع سناریوها ۷۴
شکل ۶-۱۵ : منحنی روزانه بار مصرف‌کننده در سناریوهای مختلف ۷۵
شکل ۶-۱۶ : مقایسه هزینه متوسط تامین انرژی در سناریوهای DR و SDR ۷۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ : بار درخواستی مصرف‌کننده[۲۱] ۲۳
جدول ۳-۲ : پیشنهادات تولیدکننده‌ها[۲۱] ۲۴
جدول ۴-۱ : مشخصات واحدهای تولیدکننده ۳۴
جدول ۴-۲ : توان درخواستی انواع مصرف‌کنندگان در هرساعت ۳۵
جدول ۴-۳ : قیمت پیشنهادی مصرف‌کنندگان برای اولویتهای مختلف ۳۶
جدول ۴-۴ : قیمت برق خریداری شده از شبکه بالادست ۳۶
جدول ۴-۵ : نرخ توان تولیدی واحد بادی در طول روز ۳۷
جدول ۴-۶ : نرخ توان تولیدی واحد خورشیدی در طول روز ۳۷
جدول ۴-۷ : سناریوهای مختلف مورد مطالعه ۳۸
جدول ۶-۱ : مشخصات انواع خودروهای الکتریکی استفاده شده ۶۱
جدول ۶-۲: مشخصات واحدهای تولیدکننده ۶۴
جدول ۶-۳ : تعداد و نوع خودروها در هر باس ۶۵
جدول ۶-۴ : ضرایب اصلاح بار در روزهای مختلف ۶۶
جدول ۶-۵ : قیمت پیشنهادی مصرف‌کنندگان برای اولویتهای مختلف ۶۶
جدول ۶-۶ : سناریوهای مطالعه شده ۶۷

علائم اختصاری

DR	Demand Response
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
V2G	Vehicle-to-Grid
LPF	Load Participation Factor
SOC	State Of Charge
UCCH	Uncosnstrained Charging
CCH	Constrained Charging
SCH	Smart Charging
IBP	Incentive Based Programs
PBP	Price Based Programs
TOU	Time Of Use
CPP	Critical Peak Pricing
EDP	Extreme Day Pricing
ED-CPP	Extreme Day CPP

فصل اول : مقدمه

بیش از یک قرن از تولد اولین سیستم‌های انرژی الکتریکی می‌گذرد. در طی این مدت، صنعت برق دچار تغییر و تحول بسیاری شده است. به طوری که امروزه این صنعت به یکی از پیچیده‌ترین و بزرگترین سیستم‌های ساخت بشر از نظر اقتصادی و تکنولوژی مبدل گردیده است.

با توجه به استفاده روزافزون از انرژی الکتریکی در فعالیت‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی، شرایطی ایجاد شده که تصور زندگی و دستیابی به رفاه بدون استفاده از برق امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این رو عرضه مداوم و با کیفیت انرژی الکتریکی نقش بسیار مهمی در حصول حرکت و پیشرفت در جنبه‌های مختلف دارد. از طرفی حفظ تداوم و افزایش قابلیت اطمینان عرضه برق، مستلزم سرمایه‌گذاری برای ظرفیت‌سازی و همچنین ارتقای کیفیت بهره‌برداری می‌باشد. برای دستیابی به این مهم، حرکت به سوی تجدید ساختار و ایجاد رقابت در صنعت برق، اجتناب ناپذیر است. تجدید ساختار و ایجاد رقابت در صنعت برق، موجب افزایش کارایی و شناسایی و استفاده از پتانسیل‌های نهفته در شبکه و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های قدرت می‌گردد. از حدود دو دهه قبل برخی کشورها به این نتیجه رسیدند که ایجاد رقابت در صنعت برق، بهترین روش برای ترغیب در استفاده از ظرفیت‌های بالقوه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان و همچنین سرمایه‌گذاری و سودآوری‌های بیشتر می‌باشد.

تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر به یکی از مطلوبترین راهکارها برای مقابله با کمبود سوخت‌های فسیلی، جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن زمین، تبدیل شده است. ریزشبکه‌ها، شبکه‌های به هم پیوسته‌ای از سیستم‌های انرژی پراکنده (منابع و بارها) می‌باشند که قادرند به صورت متصل و مجزا از شبکه‌های توزیع به فعالیت بپردازند.

با وجود تولیدات پراکنده به دلیل افزایش تعداد منابع تولید توان در شبکه، کنترل و بهره‌برداری از کل شبکه به صورت متمرکز تقریبا غیرممکن است. ریزشبکه در واقع کنترل غیرمتمرکز این شبکه را انجام می‌دهد. به عبارت دیگر هر ریزشبکه، شبکه خود را به بهترین نحو ممکن بهره‌برداری و کنترل می‌کند.

همه ریزشبکه‌ها به طور یکسان طراحی نمی‌شوند؛ بلکه بسته به تنوع بارها، منابع انرژی پراکنده، محدودیت‌های جغرافیایی و اقتصادی مناطق خود و تحت تاثیر عوامل دیگر با ساختارها، توانایی‌ها و تجهیزات مختلفی ساخته می‌شوند. مهم‌ترین عناصر موجود در ریزشبکه‌ها عبارتند از:

- منابع تولید پراکنده و ذخیره‌کننده‌های انرژی
- کلیدهای اتصال به شبکه
- سیستم‌های کنترلی

ریزشبکه توسط یک کلید و ترانس توانایی اتصال و جداشدن از شبکه توزیع را داراست و مشترکین مختلف خانگی، تجاری و صنعتی را سرویس‌دهی می‌کند.

چالش‌هایی که ریزشبکه برای تامین انرژی مصرف‌کنندگان با آن مواجه است عبارتند از:

- تعادل بین تولید و مصرف: در کوتاه مدت این بحث به نوع کنترل فرکانس بستگی داشته و در بلند مدت به میزان تولید، مصرف و ذخیره ارتباط پیدا می‌کند. کنترل داخلی ریزشبکه بیشتر وابسته به تعادل میان توان تولیدی، مصرفی و ذخیره می‌باشد.
- ارتباط با شبکه بالادست: نحوه کنترل و بهره‌برداری از ریزشبکه در حالت اتصال به شبکه بالادست و یا جدا بودن از آن متفاوت است.
- ذخیره انرژی برق: برخلاف شبکه‌های سنتی که در آن توان زمانی تولید می‌شد که نیاز به مصرف بود، در ریزشبکه‌ها حضور ذخیره‌کننده‌های انرژی ضروری است و نحوه کنترل و عملکرد آن با توجه به ذخیره حاضر متفاوت خواهد بود.

با روند تجدید ساختار در سیستم قدرت و رقابتی شدن بازار و سرمایه‌گذاری‌ها برای گسترش شبکه‌های هوشمند[1]، برنامه‌های پاسخ تقاضا اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. این برنامه‌ها در سیستم‌های تجدیدساختار یافته یکی از مهمترین روش‌ها برای بیشینه کردن سود شرکت‌کنندگان در بازار برق و در شبکه‌های هوشمند، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای تغییر الگوی مصرف مشترکین می‌باشد.

ایجاد تعادل در تولید و تقاضای انرژی الکتریکی و بهینه‌سازی مصرف آن نیازمند تغییر الگوی مصرف مشترکین می‌باشد. در شبکه‌های سنتی، شرکت‌های برق بدون هیچگونه تشویق یا جریمه، به مصرف‌کنندگان درباره کاهش مصرف در زمان اوج تقاضا هشدار می‌دادند. همین‌طور مصرف‌کنندگان هرماه یکبار یا هر دو ماه یکبار قبض برق خود را بدون هیچ نوع توضیحی که نشان دهد نحوه و زمان مصرف آنان چه تاثیری بر هزینه‌های برق مصرفی آنان داشته است، دریافت می‌کردند. شبکه‌های هوشمند با بهره‌گیری از پاسخ تقاضا[2] و قیمت‌گذاری توان مصرفی، سازوکاری را فراهم می‌نماید تا مصرف‌کنندگان بتوانند در پیروی از الگوی بهینه مصرف و تولید توان الکتریکی مشارکت فعال داشته باشند. مصرف‌کنندگان با دریافت صورت‌حساب‌های دقیق از میزان و زمان دقیق مصرف می‌توانند با گرفتن فیدبک از چگونگی عادت مصرف خود در هزینه‌های پرداختی، تصمیماتی درباره اصلاح الگوی مصرف خود اتخاذ کنند. همچنین در سطح منازل، مصرف‌کنندگان با نصب کنتورهای هوشمند و واسط‌های مناسب قادر به پایش وضعیت مصرف تجهیزات مختلف برقی می‌باشند.

پاسخ تقاضا امروزه به عنوان یکی از راه‌کارهای موثر در اصلاح پروفیل بار در بستر شبکه‌های هوشمند تبدیل شده است. کنتورهای هوشمند با قابلیت ارتباط دوطرفه میان مشترکین و شرکت‌های توزیع، قادر به اطلاع‌رسانی دقیق از قیمت‌ها، هشدارها و مشوق‌های شرکت‌های برق در رابطه با میزان و زمان بهینه مصرف انرژی توسط

[1] Smart Grid

[2] Demand Response

مصرف‌کنندگان می‌باشند. با توجه به این موضوع، تحقیق و مطالعه درباره یک برنامه جامع پاسخ تقاضا با توجه به بیشینه‌سازی سود بازیگران در بازارهای برق و همچنین قیمت‌دهی مناسب انرژی الکتریکی در ساعات اوج و غیراوج مصرف برق می‌تواند بسیار مفید باشد. این موضوع در کشور ما به دلیل تحولات اساسی در زمینه هدفمند کردن و حذف یارانه‌های انرژی و لزوم کاهش مصرف انرژی الکتریکی بسیار اهمیت دارد.

با افزایش رویکرد استفاده از منابع انرژی چندگانه جهت تامین انرژی مورد نیاز بخش حمل و نقل، خودروهای هیبریدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. خودروهای ترکیبی قابل اتصال به شبکه[1] که امروزه موضوع بسیاری از مطالعات واقع شده است و پیش‌بینی می‌شود آینده حمل و نقل شهری را از آن خود کند، از جهت بار عمده‌ای که هنگام شارژ به شبکه تحمیل می‌کند و همچنین قابلیت اتصال به شبکه و تزریق توان الکتریکی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در همین راستا نحوه تعامل این فناوری و تاثیر آن بر الگوی مصرف انرژی الکتریکی نیاز به مطالعات و شبیه‌سازی‌های بیشتری دارد.

با توجه به گسترش فناوری‌هایی نظیر شبکه‌های هوشمند، خودروهای الکتریکی و تولیدات پراکنده و همچنین تغییر رویکرد کنترل شبکه‌های قدرت از حالت متمرکز به حالت غیرمتمرکز از طریق ریزشبکه‌ها، لزوم مطالعه رفتار مصرف‌کننده و تاثیر آن بر بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها بسیار ضروری است.

در این پایان‌نامه بر بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها در حضور قیمت‌دهی مصرف‌کننده به عنوان حالتی از مشارکت مصرف‌کننده در مدیریت بار پرداخته می‌شود. بدین‌ترتیب ساختار پایان‌نامه به صورت زیر خواهد بود :

در فصل دوم مفهوم پاسخ تقاضا، انواع روش‌ها برای اجرای برنامه‌های پاسخ تقاضا، مزایا و معایب هر یک از آنها به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در فصل سوم به بررسی تاثیر پاسخ تقاضا بر بازار روز بعد پرداخته شده است. در این فصل حالت ساده‌ای از پاسخ تقاضا در یک سیستم بسیار ساده مدل‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود.

در فصل چهارم مدل جامع‌تری برای قیمت‌دهی مصرف‌کننده ارائه و مدل‌سازی خواهد شد. در ادامه به بررسی تاثیر پاسخ تقاضا بر بهره‌برداری از یک ریزشبکه در سناریوهای مختلف پرداخته می‌شود.

در فصل پنجم مقدمه‌ای بر خودروهای الکتریکی ارائه شده و مفهوم V2G[2]، نقش خودروهای الکتریکی در مدیریت تقاضا، نقش تجمیع‌کننده و مفهوم شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

---

[1] Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)

[2] Vehicle to Grid (V2G)

در فصل ششم مدل جامع پاسخ تقاضا با حضور خودروهای الکتریکی ارائه شده و سناریوهای مختلف قیمت‌دهی مصرف‌کننده و شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی شبیه‌سازی خواهد شد. در این فصل تاثیر حضور خودروهای برقی بر بهبود یا تضعیف پاسخ تقاضا و بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

در نهایت در فصل هفتم مرور و نتیجه‌گیری کلی از مباحث ذکر شده در پایان‌نامه به عمل آمده و پیشنهاداتی جهت ادامه مطالعات ارائه می‌شود.

فصل دوم: پاسخ تقاضا

۲-۱ مقدمه

محدودیت منابع تولید انرژی و رشد فزاینده تقاضای انرژی الکتریکی به عنوان یک چالش اساسی برای کشورهای در حال توسعه مطرح است. تحت چنین شرایطی استفاده بهینه از منابع موجود انرژی، بسیار حائز اهمیت است. با تجدید ساختار در صنعت برق و مقررات زدایی در آن، فلسفه بهره‌برداری از سیستم قدرت تغییر یافته است. در روش معمولی بارها به هر مقدار و در هر زمانی بایستی تامین شوند؛ در حالی که در روش جدید، بیان می‌شود که اگر نوسانات بار تا حد ممکن پایین نگه داشته شود، سیستم باید در بازده حداکثر خود قرار داشته باشد. بهره‌برداری مطمئن از سیستم قدرت نیازمند یک تعادل کامل بین تولید و مصرف در هر زمان است. از آنجایی که سطح تولید و مصرف در مواردی مانند خروج اضطراری واحدهای تولیدی، وقوع خطا در شبکه انتقال و توزیع و تغییر سطح بار ناگهانی، به صورت ناخواسته و سریع دستخوش تغییراتی می‌شود، دسترسی به این تعادل به راحتی به دست نمی‌آید.

از آنجایی که توسعه زیربنای سیستم قدرت به سرمایه بسیار زیادی نیاز دارد، پاسخ سمت تقاضا یکی از ارزانترین روش‌ها برای بهره‌برداری بهینه در ساختار جدید سیستم قدرت است. پس از تجدید ساختار صنعت برق، برنامه‌های پاسخ تقاضا به دلایل متعددی از جمله کاهش توان پیک، جلوگیری از تغییرات سریع قیمت در بازار برق و افزایش بازده سیستم قدرت و بازار انرژی، مورد توجه قرار گرفته است.

در این فصل به بررسی انواع روش‌های پاسخ تقاضا و مزایا و معایب هر یک پرداخته می‌شود.

۲-۲ تعریف پاسخ تقاضا

پاسخ تقاضا را می‌توان ایجاد تغییر در مصرف برق توسط مشترکین از حالت طبیعی مصرف آنها در پاسخ به تغییرات قیمت برق در طول زمان دانست. دپارتمان انرژی آمریکا، پاسخ تقاضا را بدین صورت تعریف کرده است: « تغییر در الگوی مصرف انرژی توسط مصرف‌کنندگان، در پاسخ به تغییر قیمت برق در طول زمان؛ یا برنامه‌های اقتصادی طراحی شده برای تشویق به استفاده نکردن برق در زمانی که قیمت بازار بالاست یا زمانی که قابلیت اطمینان شبکه به خطر افتاده است ».[۱]

سه روش کلی برای پاسخ تقاضا و مشارکت مصرف‌کننده وجود دارد. در روش اول مشترکین می‌توانند مصرف برق خود را در زمان‌های پیک مصرف که قیمت بالاست، پایین آورند؛ بدون اینکه سطح مصرف خود را در زمان‌های دیگر تغییر دهند. این روش کاهش سطح رفاه را به همراه دارد. به عنوان مثال این روش برای تغییر موقت تنظیم وسایل گرمایشی یا تهویه هوا به کار می‌رود. [۲-۳]

در روش دوم مشترکین در پاسخ به قیمت‌های بالای انرژی الکتریکی، مقداری از مصرف خود در ساعات اوج مصرف را به ساعات کم بار منتقل می‌کنند. در این روش مشترکین خانگی متحمل زیانی نمی‌شوند. اما این روش برای مشترکین صنعتی روش مناسبی نیست و موجب زیان قابل توجهی برای آنها می‌شود.

روش سوم مشارکت مصرف‌کننده، استفاده از تولیدات پراکنده محلی توسط مشترکین می‌باشد.[۴-۵] مشترکینی که توان مورد نیاز خود را خودشان تولید می‌کنند، تغییر در سطح مصرف‌شان بسیار پایین بوده و نوسانات قیمت برق بر رفتار آنها تاثیری ندارد.

۲-۳ دسته بندی انواع پاسخ تقاضا

روش‌های مختلف پاسخ تقاضا در شکل ۲-۱ نشان داده شده است[۶]. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: برنامه‌های تشویقی[1] و برنامه‌های مبتنی بر قیمت[2].

برنامه‌های مشوق به دو دسته برنامه‌های کلاسیک و برنامه‌های مبتنی بر بازار تقسیم می‌شود. برنامه‌های کلاسیک شامل برنامه‌های کنترل مستقیم بار و بارهای قابل قطع و یا کاهش می‌باشد. برنامه‌های مشوق مبتی بر بازار شامل برنامه‌های پاسخ تقاضای اضطراری، پیشنهاد سمت تقاضا، بازار ظرفیت و بازار خدمات جانبی می‌باشد. در حالت کلاسیک، مصرف‌کنندگان شرکت‌کننده در پاسخ تقاضا، حق مشارکتی را که معمولا به صورت اعتبار حساب یا نرخ تخفیف می‌باشد، دریافت می‌کنند. در حالت مبتنی بر بازار، شرکت‌کنندگان بسته به مقدار کاهش بارشان در طول شرایط بحرانی پاداش‌های پولی دریافت می‌کنند.

در برنامه‌های کنترل مستقیم بار، بنگاه‌ها این توانایی را دارند که از راه دور تجهیزات مشترکین را برای مدت کوتاهی خاموش کنند. تجهیزاتی که معمولا در این روش از راه دور کنترل می‌شوند، شامل سیستم تهویه هوا و آب‌گرمکن‌ها می‌باشد. این روش عمدتا توسط مشترکین خانگی و تجاری کوچک مورد توجه قرار می‌گیرد.

همانند برنامه‌های کنترل مستقیم بار، مصرف‌کنندگانی که در برنامه‌های قطع و یا کاهش بار شرکت می‌کنند، مشوق‌های پولی و یا نرخ‌های تخفیف را دریافت می‌کنند. از مشترکین خواسته می‌شود که بار خود را به مقدار از قبل تعریف شده کاهش دهند. مشترکینی که به این خواسته پاسخ ندهند، بسته به ضوابط برنامه و شرایط با جریمه‌هایی روبرو می‌شوند.

[1] Incentive-Based Programs (IBP)

[2] Price-Based Programs (PBP)