بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

۹۳۳۱۸۰۱۱

پایان نامه کارشناسی ارشد برق

گرایش قدرت

عنوان :

بهره‌برداری بهینه‌ی نیروگاه‌های بادی با همکاری پاسخگویی بار (DR) در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته

استاد راهنما:

دکترمحسن صنیعی

استاد مشاور:

دکترالهه مشهور

نگارنده :

امین ژولائیان

شهریورماه سال۱۳۹۳

فرم۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه آقای امین ژولائیان دانشجوی رشته: برق گرایش: قدرت

دانشکده: مهندسی به شماره دانشجویی: ۹۰۳۱۸۰۴

با عنوان :

بهره‌برداری بهینه نیروگاه‌های بادی با همکاری پاسخگویی بار (DR) در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۹۳/۶/۲۹ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه عالی تصویب گردید.

۱. اعضا ی هیأت داوران :	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما : دکتر محسن صنیعی	استاد یار	.....
استاد مشاور : دکتر الهه مشهور	استادیار	.....
استاد داور : دکتر مرتضی رزاز	دانشیار	.....
استاد داور : دکتر رضا کیانی نژاد	دانشیار	.....
نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر مرجان نادران طحان	استادیار	.....
۲. مدیرگروه : دکتر ابراهیم فرشیدی	دانشیار	.....
۳. معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکترعلی حقیقی	دانشیار	.....
۴. مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر عبدالرحمن راسخ	استاد	.....

سپاس و قدردانی

وظیفه خود می‌دانم که مراتب سپاس و تقدیر خود را از تمامی عزیزانی که با مشارکت خود، بنده را در اجرای این پژوهش یاری کردند، اعلام دارم.

از استاد راهنمای گرانقدر جناب آقای **دکتر محسن صنیعی** که با راهنمایی‌های ارزنده و روشنگرانه خویش در انجام این پژوهش راه گشای من بودند نهایت سپاس و تقدیر را دارم و از خداوند منان برای ایشان سلامتی و موفقیت روزافزون آرزومندم.

از استاد مشاور گرامی سرکار خانم **دکتر الهه مشهور** که با نکته سنجی‌های دقیق و عالمانه در مسیر اجرای این پژوهش مرا یاری نمودند، تقدیر و تشکر می‌کنم و شادکامی و پیروزی ایشان را از پروردگار متعال می طلبم.

از اساتید داور ارجمند جناب آقای دکتر مرتضی رزاز و جناب آقای دکتر رضا کیانی نژاد که با حسن و دقت نظر، داوری این پایان نامه را عهده دار شدند، سپاسگزارم و سرافرازی و سربلندی ایشان را از یگانه هستی بخش عالم خواستارم.

از کلیه همکاران و دوستان که در اجرای این تحقیق مرا یاری دادند سپاسگذاری می‌نمایم.

تقدیم به

پدر و مادر مهربان و همسر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی شان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

فهرست مطالب

فرم ارزشیابی ..... ا
قدردانی ..... ب
اهدا نامه ..... ت
فهرست مطالب ..... ث
فهرست شکل‌ها و جدول‌ها ..... د
فهرست علائم و اختصارات ..... ز
چکیده پایان‌نامه به زبان فارسی ..... ش

فصل اول

مقدمه ۱

۱-۱ موضوع پژوهش ۱
۱-۲ ضرورت مسئله ۲
۱-۳ بیان مساله و اهداف و محدودیت‌ها ۵
۱-٤ تعریف اصطلاحات ومفاهیم مهم ٦
۱-۵ ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم

مروری برپژوهش‌های گذشته ۹

۲-۱ مقدمه ۹
۲-۲ مروری بر پژوهش‌های پاسخگویی بار ۹
۲-۳ مروری بر برخی پژوهش‌های مشکلات نیروگاه بادی ۱۲
۲-٤ مرور ی بر پژوهش‌های نیروگاه بادی و پاسخگویی بار ۱۵

فصل سوم

روش‌های پاسخگویی بار و نقش آن در سیستم قدرت ۱۷

۳-۱ مقدمه ۱۷
۳-۲ مدیریت مصرف بار ۱۷
۳-۲-۱ بهره وری انرژی ۱۸
۳-۲-۲ پاسخگویی بار ۱۸
۳-۳ اهمیت پاسخگویی بار ۲۲
۳-٤ برنامه‌های پاسخگویی بار و انواع مدل‌های آن ۲٤
۳-٤-۱ انواع پاسخگویی بار ۲٦
۳-٤-۲ برنامه های پاسخگویی بار بر مبنای قیمت ۲۷
۳-٤-۲-۱ برنامه‌های پاسخگویی زمان استفاده ۲۹
۳-٤-۲-۲ برنامه‌های قیمت گذاری زمان واقعی ۲۹
۳-٤-۲-۲ برنامه‌های قیمت گذاری زمان پیک بحرانی ۳۰
۳-٤-۳ برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای پرداخت‌های تشویقی ۳۲
۳-٤-۳-۱ کنترل مستقیم بار ۳۳
۳-٤-۳-۲ قطع/کاهش بار ۳۵
۳-٤-۳-۳ برنامه‌های فروش دیماند/بازخرید ۳۵
۳-٤-۳-٤ برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری ۳٦
۳-٤-۳-۵ برنامه‌های بازار ظرفیت ۳۷
۳-۵ نحوه مشارکت مصرف کنندگان در برنامه‌های پاسخگویی بار ۳۷
۳-٦ مزایای پاسخگویی بار ۳۹
۳-٦-۱ مزایای پاسخگویی بار از دیدگاه مصرف کنندگان ۳۹
۳-٦-۲ مزایای پاسخگویی بار از دیدگاه بازار و شبکه ٤۱
۳-۷ مشکلات موجود در اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار ٤٤
۳-۷-۱ مشکلات اقتصادی ٤٤
۳-۷-۲ مشکلات سازمانی ٤۵
۳-۷-۳ مشکلات فنی ٤۵
۳-۷-٤ مشکلات مشارکتی ٤٦
۳-۸ نقش منابع پاسخگویی بار در شبکه‌های هوشمند برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم ٤۷
۳-۹ پاسخگویی بار خودکار و شبکه هوشمند ۵۰

فصل چهارم

الگوریتم بهینه‌سازی نیروگاه بادی با کمک پاسخگویی بار ۵۱
٤-١ مقدمه ۵۱
٤-٢ تشریح مدل بهینه‌سازی ۵۱
٤-٣ سناریوهای فرض شده در مدل ۵٤
٤-٤ فرمول بندی مدل ۵٤
٤-٤-١ الاستیسیته ۵٤
٤-٤-٢ حالت تک پریودی ۵۵
٤-٤-٣ حالت چند پریودی ۵٦
٤-٤-٤ مدل اقتصادی نهایی بار ۵٦
٤-٤-۵ فرایند پرداخت در مدل بهینه‌سازی ۵۷
٤-۵ الگوریتم برنامه ۵۹
٤-٦ جمع بندی ٦١

فصل پنجم

شبیه سازی کامپیوتری ٦٢
۵-١ مقدمه ٦٢
۵-٢ مشخصات مدل پیشنهادی ٦٢
۵-٢-١ مشخصات بار پاسخگو ٦٢
۵-٢-٢ داده های تولید واقعی و تولید پیش بینی شده نیروگاه بادی ٦٣
۵-٣ استفاده از سناریوهای قیمتی ٦٤
۵-٤ شرکت در بازار انرژی ٦۵
۵-۵ در نظر گرفتن جرایم عدم تعادل ٦۵
۵-٦ درنظرگرفتن بدترین شرایط برای اجرای مدل ٦٦
۵-۷ نتایج اجرای سناریوی اول ٦۷
۵-۸ نتایج اجرای سناریوی دوم ۷۰
۵-۹ نتایج اجرای سناریوی سوم ۷٤
۵-١٠ تاثیرافزایش جریمه عدم تعادل بر برنامه پاسخگویی بار ۷۸
۵-١١ جمع بندی ۸۷

فصل ششم

نتیجه‌گیری و کارهای آینده ۸۸

٦-١ نتیجه‌گیری ٨٨
٦-٢ کارهای آینده ٨٩

فهرست منابع ٩٠

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

شکل ۳-۱: پاسخگویی باری مصرف کنندگان با استفاده از ژنراتورهای محلی..... ۳۸
شکل ۳-۲: افزایش قابلیت اطمینان سیستم با اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار..... ٤۳

شکل ٤-۱: تشکیل یک مجموعه مشترک توسط نیروگاه بادی و بارکنترل پذیر..... ۵۲
شکل ٤-۲: چگونگی ارتباط نیروگاه بادی و بارکنترل پذیر در شبکه قدرت..... ۵٤
شکل ٤-۳: محاسبه‌ی مقدار پاداش ۵۷
شکل ٤-٤: فلوچارت مدل بهینه‌سازی..... ٦۰

شکل ۵-۱: نمودار بار کنترل پذیر در بازه زمانی ۲٤ ساعتی..... ٦۳
شکل ۵-۲: داده های واقعی و داده های پیش‌بینی شده نیروگاه بادی..... ٦٤
شکل ۵-۳: تولید واقعی و تولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در حالت کمبود تولید در سناریوی اول ٦۷
شکل ۵-٤: تغییرات بار پس از اجرای مدل در سناریوی اول در حالت کمبود تولید..... ٦۷
شکل ۵-۵: تولید واقعی وتولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در حالت افزایش تولید در سناریوی اول ٦۸
شکل ۵-٦: تغییرات بار پس از اجرای مدل در حالت اضافه تولید در سناریوی اول..... ٦۹
شکل ۵-۷: تولید واقعی وتولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در حالت افزایش تولید در سناریوی دوم..... ۷۰
شکل ۵-۸: تغییرات بار پس از اجرای برنامه TOU بدون در نظر گرفتن مدل ۷۱
شکل ۵-۹: تغییرات بار پس از اجرای مدل، در سناریوی دوم در حالت اضافه تولید..... ۷۱
شکل ۵-۱۰: تولید واقعی وتولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در سناریوی دوم در حالت کمبود تولید..... ۷۳
شکل ۵-۱۱: تغییرات بار پس از اجرای مدل بهینه سازی در سناریوی دوم در حالت کمبود تولید ۷۳
شکل ۵-۱۲: تولید واقعی وتولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در حالت اضافه تولید در سناریوی سوم..... ۷٤
شکل ۵-۱۳: تغییرات بار پس از اجرای برنامه CPP بدون در نظرگرفتن نیروگاه بادی..... ۷۵
شکل ۵-۱٤: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی سوم در حالت افزایش تولید..... ۷۵
شکل ۵-۱۵: تولید واقعی و تولید پیش بینی شده نیروگاه بادی در حالت کمبود تولید در سناریوی سوم..... ۷٦
شکل ۵-۱٦: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی سوم در حالت کمبود تولید..... ۷۷

شکل ۵-۱۷: تولید واقعی و تولید پیش‌بینی شده نیروگاه بادی در حالت اضافه تولید در شرایط افزایش ضریب جریمه ۷۸
شکل ۵-۱۸: تغییرات بار پس از اجرای برنامه در سناریوی دوم با ضریب جریمه ۱.۵ در حالت اضافه تولید..... ۷۹
شکل ۵-۱۹: تغییرات بار پس از اجرای برنامه در سناریوی دوم با ضریب جریمه ۲.۵ درحالت اضافه تولید..... ۷۹
شکل ۵-۲۰: تولید واقعی وتولید پیش بینی شده نیروگاه بادی در حالت کمبود تولید در شرایط افزایش ضریب جریمه ۸۱
شکل ۵-۲۱: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی دوم در حالت کمبود تولید در ضریب جریمه ۱.۵..... ۸۱
شکل ۵-۲۲: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی دوم در حالت کمبود تولید در ضریب جریمه ۲.۵..... ۸۲
شکل ۵-۲۳: تولید واقعی و تولید پیش بینی شده نیروگاه بادی در حالت اضافه تولید در سناریوی سوم درشرایط افزایش ضریب جریمه..... ۸۳
شکل ۵-۲٤: تغییرات بار پس اجرای برنامه در سناریوی سوم در حالت اضافه تولید در ضریب جریمه ۱.۵..... ۸۳
شکل ۵-۲۵: تغییرات بار پس اجرای برنامه در سناریوی سوم در حالت اضافه تولید در ضریب جریمه ۲.۵..... ۸٤
شکل ۵-۲٦: تولید واقعی و تولید پیش بینی شده نیروگاه بادی در حالت کمبود تولید در سناریوی سوم در حالت افزایش ضریب جریمه ۸۵
شکل ۵-۲۷: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی سوم در حالت کمبود تولید در ضریب جریمه ۱.۵..... ۸۵
شکل ۵-۲۸: تغییرات بار پس از اجرای سناریوی سوم در حالت کمبود تولید در ضریب جریمه ۲.۵..... ۸٦

جدول ۵-۱: کشش های خودی ومتقابل بار در دوره های مختلف..... ٦٤
جدول ۵-۲: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریو اول در حالت کمبود تولید ٦۸
جدول ۵-۳: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی اول در حالت اضافه تولید..... ٦۹
جدول ۵-٤: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی دوم در حالت اضافه تولید ۷۲
جدول ۵-۵: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی دوم در حالت کمبود تولید..... ۷٤
جدول ۵-٦: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی سوم در حالت اضافه تولید..... ۷٦
جدول ۵-۷: سود بار وسود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی سوم در حالت کمبود تولید ۷۷
جدول ۵-۸: سناریوهای جرایم عدم تعادل..... ۷۸
جدول ۵-۹: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی دوم درحالت افزایش ضریب جریمه در صورت اضافه تولید ۸۰

جدول ۵-۱۰: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی دوم درحالت افزایش ضریب جریمه در صورت کمبود تولید..... ۸۲
جدول ۵-۱۱: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی سوم درحالت افزایش ضریب جریمه در صورت اضافه تولید..... ۸٤
جدول ۵-۱۲: سود بار و سود نیروگاه بادی پس از اجرای سناریوی سوم درحالت افزایش ضریب جریمه در صورت کمبود تولید..... ۸٦

فهرست علامت‌ها و اختصارها

$d_0(i)$	بار اولیه، (مصرف قبل از اجرای برنامه)(kwh).
$d(i)$	بارلحظه ای، (مصرف بعد از اجرای برنامه)(kwh).
$B_0(\mathrm{i})$	مقدار درآمد ناشی از مصرف برق به اندازه d_0. (Rials).
$B(\mathrm{d(i)})$	مقدار درآمد ناشی از استفاده از برق (Rials).
$\rho_0(i)$	قیمت برق قبل از تغییر بار (Rials/kwh).
$\rho(i)$	قیمت برق بعد از تغییر بار (Rials/kwh).
$E(i)$	الاستیسیته خودی بار.
$E(\mathrm{i,j})$	الاستیسیته متقابل بار.
$A(i)$	مقدار جایزه تشویقی در پریود i ام(Rials/kwh)
Max_A	حداکثر پاداش
$A_C(\mathrm{i})$	پاداش محاسبه شده توسط برنامه
$P_0(i)$	جریمه نیروگاه بادی قبل از اجرای برنامه
$P(i)$	جریمه نیروگاه بادی بعد از اجرای برنامه
P_f	ضریب جریمه
P_{rw}	تولید واقعی نیروگاه بادی
P_{fw}	تولید پیش بینی شده نیروگاه بادی
S_L	سود بار بعد از اجرای برنامه
S_W	سود نیروگاه بادی پس از اجرای برنامه

Demand Response	DR
Demanad Side Management	DSM
Time Of Use	TOU
Critical Peak Pricing	CPP
Real Time Pricing	RTP
Direct Load Control	DLC
Interruptible/ Curtailable	I/C
Demand Bidding/ Buyback Programs	DB
Emergency Demand Response Programs	EDRP
Capacity Market Programs	CMP
Ancillary Services Market Programs	ASMP
U. S. Department of Energy	DOE

چکیده

نام خانوادگی : ژولائیان	نام: امین	شماره دانشجویی :۹۰۳۱۸۰۴
عنوان پایان نامه : در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار (DR) بهره برداری بهینه‌ی نیروگاه‌های بادی با همکاری پاسخگویی بار یافته		
استاد راهنما: دکتر محسن صنیعی		
استاد مشاور: دکتر الهه مشهور		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: برق	گرایش: قدرت
دانشگاه : شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی	گروه : برق
تاریخ فارغ التحصیلی :		تعداد صفحه:

کلید واژه ها : پاسخگویی بار، الاستیسیته بار ، نیروگاه بادی

هزینه‌ی بالای سوخت های فسیلی، بالابردن امنیت و هم‌چنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دولت‌ها را مجبور کرد تا برای تولید انرژی، در انرژی‌های تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کنند. یکی از این انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی باد است. ولی ماهیت متغیر این انرژِی، باعث بروز مشکلاتی برای شبکه قدرت شده است. برخلاف سایر منابع انرژی، انرژی تولیدی باد قابل پیش‌بینی دقیق نیست. حتی بسته به سرعت باد ممکن است به صورت ساعتی نیز تغییر کند و باعث شود تا ظرفیت زیادی از انرژی باد در مدت کوتاهی افزایش و یا کاهش یابد. این مشکلات به کمک استفاده از منابع ذخیره انرژی به حداقل می‌رسند. اما استفاده از سیستم ذخیره انرژی اغلب یا در) می‌باشد که DRدسترس نیست و یا بسیار گران است. راه حل جایگزین برای حل این موضوع به‌کار گیری برنامه‌های پاسخگویی بار (می‌تواند تاثیر دوگانه‌ای هم در کاهش مصرف انرژی و هم بازده بیشتر و انعطاف پذیرتری در مدیریت شبکه داشته باشد و هم‌چنین سبب هماهنگی میان تولید و تقاضا شود. در این تحقیق، یک نیروگاه بادی جهت کم کردن جرایم عدم تعادل خود، با یک بار قابل کنترل، یک همکاری دوجانبه جهت حضور در بازار دارند. نیروگاه بادی به منظورکاهش این جرایم، یک مکانیزم پرداخت مالی به بار قابل کنترل ارائه می‌دهدکه طی این همکاری، اولا میزان جرایم ناشی از عدم تعادل کاهش می‌یابد. ثانیا بار قابل کنترل از این همکاری درآمدی را عاید می‌شود. در این حالت، یک برنامه بهینه سازی جهت حداکثرسازی سود نیروگاه بادی در همکاری بار کنترل‌پذیر، اجرا می‌شود. در این تحقیق، بار کنترل‌پذیر علاوه بر قیمت بازار نسبت به خطای پیش‌بینی باد نیز عکس‌العمل نشان می دهد. در این قیمت زمان استفاده و یا قیمت ثابت ، مدل‌های قیمتی مختلفی نظیرMATLAB تحقیق، به کمک شبیه‌سازی بوسیله‌ی نرم افزار استفاده می شود و نتایج آن‌ها مقایسه می‌گردد. نتایج عددی حاصل از بررسی این مدل، نشان داد که نیروگاه بادی با پرداخت بخشی از جریمه‌ی عدم تعادل خود به بار، توانست با کمک تغییر رفتار بار، ضمن کاهش جرایم خود، سود نیز کسب نماید. در نتیجه‌ی این تعامل، بار نیز سود دریافت کرد.

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ موضوع پژوهش:

در طی دهه گذشته هزینه تولید انرژی به کمک توربین‌های بادی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. در حال حاضر توربین‌های بادی از کارآیی و قابلیت اطمینان بیشتری در مقایسه با چند سال پیش برخوردارند. با این همه استفاده وسیع از سیستم‌های مبدل انرژی باد هنوز آغازنگردیده است. باد یک منبع متغیر می باشد که نمی‌توان انرژی آن را ذخیره کرد. بنابراین توربین‌های بادی باید در همان زمان مورد بهره‌برداری قرار گیرند. توان تولیدی توربین‌های بادی کسری از سرعت باد است. یکی از مهمترین مشکلات انرژی باد تغییرات آن ناشی از سرعت باد و شرایط آب وهوایی است که تولید آن را غیر قابل پیش‌بینی کرده است. یکی از این موارد که ممکن است برای سیستم مشکل ایجاد کند، ساعات پیک هستند که ممکن است تولید ما به حد مورد نیاز نرسد. خروجی توان یک توربین بادی ماهیت تصادفی دارد و بسته به سرعت باد و همچنین تغییرات فصلی نیز متغیر است. راه‌حل جایگزین برای حل این موضوع بکارگیری استراتژی‌های مدیریت سمت تقاضا[1] می‌باشد که می‌تواند تاثیر دوگانه‌ای هم در کاهش مصرف انرژی و هم بازده‌ی بیشتر و انعطاف پذیرتری در مدیریت شبکه داشته باشد وهمچنین سبب هماهنگی میان تولید و تقاضا شود[۳-۱].

بدیهی است که اگر مصرف کننده نتواند و یا نخواهد مصرف در ساعات پیک را کاهش دهد نمی تواند قیمتهای برق را پایین آورد. طراحی مناسب روشهای پاسخگویی‌بار و مهندسی دقیق نرخگذاری روشهای تعرفه زمانی و تشویقی، به طوری که بتواند نیازهای مصرف کنندگان صنعتی، تجاری، مسکونی و غیره را برآورده سازد، از سردرگمی و تردید مشترکین کاسته و انگیزه

[1] Demand Side Management

هایی قوی به منظور شرکت بیشتر بوجود می آورد. اساسا مشترکین در برنامه های مشتری که همان حفظ راندمان DR یا ظرفیت پاسخگویی بار می‌باشد، به عواملی چون مشخصات تسهیلات و تشویقات، سیستمهای اندازه گیری هوشمند دوطرفه، اجرای جدی و منصفانه برنامه، فرهنگ و شیوه زندگی بستگی دارد.

۱-۲ ضرورت مسئله

در سال‌های گذشته، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت افزایش چشمگیری یافته است که در این میان، انرژی باد در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش موثرتری را در تولید برق ایفا می‌کند. در واقع با توجه به طبیعت رایگان و ارزان قیمت باد، و هم-چنین کاهش میزان آلودگی هوا در صورت استفاده از این منابع، امروزه اکثر کشورهای جهان استفاده از نیروگاه‌های بادی را در اولویت کار خود قرار داده‌اند. اما در کنار مزایای مذکور، استفاده از این منابع باعث بروز مشکلاتی نیز در سیستم‌های قدرت خواهد شد. چرا که انرژی باد دارای طبیعتی تصادفی و متغیر می‌باشد و این امکان وجود دارد که مقدار توان بادی در لحظه زمان حقیقی با مقدار پیش‌بینی شده و برنامه‌ریزی شده آن متفاوت باشد. به عبارت دیگر با توجه به عدم قطعیت و نایقینی به وجود آمده در انرژی تولیدی این منابع، کار بهره‌برداران شبکه برای ایجاد تعادل میان تولید و مصرف، با مشکلاتی مواجه خواهد شد. بنابراین در این زمان بهره‌برداران شبکه می‌کوشند تا مقدار معینی ذخیره چرخان و غیرچرخان در سیستم داشته باشند تا از این طریق بتوانند عدم قطعیت به وجود آمده در انرژی تولیدی این منابع را پوشش داده و امنیت سیستم را حفظ نمایند[۲۶]. به طور کلی بحث فراهم کردن ذخیره در سیستم‌های قدرت برای پوشش عدم قطعیت نیروگاه‌های بادی از همان ابتدای شروع به کار نیروگاه‌های مذکور مطرح شد. البته لازم به ذکر است تا قبل از استفاده از باد و دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم قدرت، بهره‌برداران شبکه همواره از خدمات ذخیره برای مدیریت کمبودهای بزرگ نیروگاه‌های سوخت فسیلی، نوسانات بار و غیر قابل پیش‌بینی توان، استفاده کرده و تعادل را میان تولید و مصرف برقرار می‌کردند. اما با روی کار آمدن نیروگاه‌های بادی و نایقینی به وجود آمده در توان تولیدی

آنها، نیاز به فراهم کردن ذخیره بیش از پیش احساس می‌شد. اگرچه ذخایر تامین شده توسط واحدهای نیروگاهی به عنوان اولین راهکار بهره‌بردار برای نگهداری امنیت سیستم و پوشش عدم قطعیت توان بادی به کار می‌روند، اما این ذخایر نیز خود مشکلاتی را در پی دارند که از آن جمله می‌توان به در مدار قرارگرفتن واحدهای تولیدی اضافی و بهره‌برداری از واحدهای نیروگاهی در خروجی کمتر از نقطه بهینه اشاره کرد[٤]. بنابراین به منظور کاستن از مشکلات فوق، بهره‌برداران شبکه می‌توانند از راه دیگری نیز ذخیره‌ی مورد نیاز سیستم را تامین کرده و از این طریق عدم قطعیت توان تولیدی نیروگاه بادی را جبران نمایند. در واقع آنها می‌توانند به جای افزایش تولید نیروگاه‌ها، ازکاهش مصرف مشترکان استفاده نموده و در زمانی که سیستم با کمبود تولید(ناشی از خطای پیش‌بینی باد) روبروست، تعادل را میان تولید و مصرف برقرار نمایند. به این ذخیره سمت تقاضا که قادر است با پیشنهاد فروش نیروگاه‌ها به رقابت بپردازد، پاسخگویی بار[1] (DR) اطلاق می‌شود[۳۰].

اثرات قابل توجه پاسخگویی بار در سال‌های اخیر توجه سیاستگذاران را به خود معطوف نموده است. کاهش قیمت لحظه‌ای و نوسانات آن، افزایش کارایی بازار برق، بهبود امنیت و قابلیت اطمینان سیستم و کاهش یا تعویق نیاز به توسعه ظرفیت‌های تولید در سیستم از مهم‌ترین نتایج بکارگیری برنامه‌های پاسخگویی بار می‌باشد[١٤]. گسترش شبکه های هوشمند از مهمترین مواردی است که بر اهمیت پاسخگویی بار می‌افزاید. در واقع یکی از ملزومات و مهمترین عناصر سازنده شبکه‌های هوشمند، پاسخگویی بار است[١٦]. از طرفی با توسعه‌ی روز افزون منابع انرژی تجدیدپذیر با تولید متناوب، پاسخگویی بار به عنوان یک راه حل در ایجاد تعادل بین تولید و مصرف، مورد توجه زیادی واقع شده است[۳۰] . لذا با توسعه وسایل اندازه گیری و کنترل هوشمند در سیستم، مشارکت مشتریان در بهره برداری افزایش می‌یابد. با تغییر روند بهره برداری، نیاز به بازبینی مدل‌های برنامه ریزی سیستم قدرت احساس می‌شود. ارزیابی تأثیرات پاسخگویی بار بر تصمیمات سرمایه‌گذاری در بخش تولید برای قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران بسیار مهم قلمداد می‌شود[۵]. تا به حال در مدل‌های سرمایه‌گذاری بخش تولید سیستم قدرت، معمولاً بار

1-Demand Response

بدون کشش قیمتی فرض می‌شده است. در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حضور مشترک در بازار و استفاده از روش‌های پاسخگویی بار مطابق عملیات بازار علاوه بر این که منجر به مدیریت مصرف بهینه‌ی انرژی الکتریکی و حفظ حالت رقابتی بازار می‌شود، تاثیرات مهمی در کاهش قیمت برق در بازارهای الکتریکی داشته، قابلیت اطمینان شبکه را بهبود می‌بخشد و به روانی فعالیت بازار کمک شایان توجهی می‌نماید[۸]. در حقیقت بدون حضور مشترک در بازار، فعالیت بازار به خوبی صورت نمی‌گیرد و از تمامی مزایای بازار که ارائه‌ی برق ارزان و با کیفیت به مشترکین می‌باشد، استفاده نخواهد شد.

مشارکت مشتریان در برنامه‌های مدیریت مصرف کار ساده‌ای نیست. زیرا سال‌هاست که برق به سهولت و به ارزانی در اختیار مصرف کنندگان خانگی و صنعتی قرار داشته است و هزینه-ی انرژی الکتریکی، بخش کوچکی از قیمت تمام شده تولیدات صنعتی و یا قسمت اندکی از سبد هزینه‌ی کل یک خانوار را تشکیل می‌دهد، یعنی حساسیت (الاستیسیته[1]) قیمت برق نسبت به مصرف بسیار اندک است[۱۵].

معنای عبارات فوق این است که یک تولیدکننده‌ی صنعتی و یا حتی یک مصرف‌کننده‌ی خانگی حاضر نیست روند فعالیت خود را به علت مقدار کمی افزایش در بهای برق تغییر دهد. این حساسیت بسیار کم قیمت نسبت به مصرف انرژی الکتریکی اثرات نامطلوبی بر مصرف برق دارد.

لذا چنانچه اطلاعات دقیقی از رفتار مشترکین نسبت به تغییرات قیمت برق یا اعطای جوایز تشویقی (مدل اقتصادی بار) موجود نبوده و در برنامه‌های تشویقی، مبلغ پاداش بطور بهینه طراحی نشده باشد، مصرف کننده ممکن است با اجرای برنامه سود کمتری کسب کرده و بدیهی است که در برنامه شرکت نخواهد کرد.

یکی از نیازهای مهم اجرای این برنامه‌ها، پیش‌بینی رفتار مشترک در اثر تغییر قیمت می-باشد، به عبارت دیگر بایستی حساسیت بار به قیمت را برای بارهای مختلف تعیین نمود که

1. Elasticity

متأسفانه علی‌رغم ضرورت این بحث، تاکنون در ایران، جز در چند مورد محدود، چنین تحقیقاتی انجام نشده است.

در این تحقیق، تلاش شده است که از دیدگاهی جدید و بر پایه محاسبات علمی، میزان تأثیر برنامه‌های پاسخگویی بار در تعامل با نیروگاه بادی، با در نظر گرفتن الاستیسیته و حساسیت بار، شبیه‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار گیرد تا زمینه‌ی مناسب برای استفاده‌ی بهتر از این پتانسیل، فراهم گردد.

این تحقیق، با مدل‌سازی رفتار بار به کمک ماتریس الاستیسیته، سناریوهای مختلفی برای تعیین مقدار هزینه‌ی پرداخت شده به عنوان تشویقی در نظر گرفته و برای هر یک از سناریوهای فوق الذکر، میزان کاهش جرایم عدم تعادل نیروگاه بادی را با هزینه‌ی صرف شده برای پرداخت تشویقی مقایسه کرده است.

۱-۳ بیان مسئله، اهداف و محدودیت‌ها

در این مسئله، یک برنامه‌ی بهینه‌سازی جهت حداکثرسازی سود نیروگاه بادی در همکاری بار کنترل پذیر، اجرا می‌شود. در واقع در این برنامه، ابتدا سعی می‌شود که سود نیروگاه بادی حداکثر یا به عبارتی میزان جرایم آن کاسته شود. برای این منظور یک بازار برق که در آن نیروگاه بادی فقط در بازار انرژی شرکت می‌کند، لحاظ می‌شود.

مقدار باد و در نتیجه قدرت بادی پیش‌بینی شده برای یک مدت کوتاه وهمچنین مقدار تولید واقعی نیروگاه بادی، جزو فرضیات مساله می‌باشد.

در این مدل هیچ گونه محدودیت شبکه و خطوط و نیز قابلیت اطمینان نیروگاه های بادی در نظر گرفته نمی‌شود. مدل بار کنترل‌پذیر با توجه به ماتریس‌های الاستیسیته تعیین می‌گردد. در واقع، در این تحقیق بار کنترل‌پذیر علاوه بر قیمت بازار نسبت به خطای پیش‌بینی باد نیز عکس العمل نشان می‌دهد.