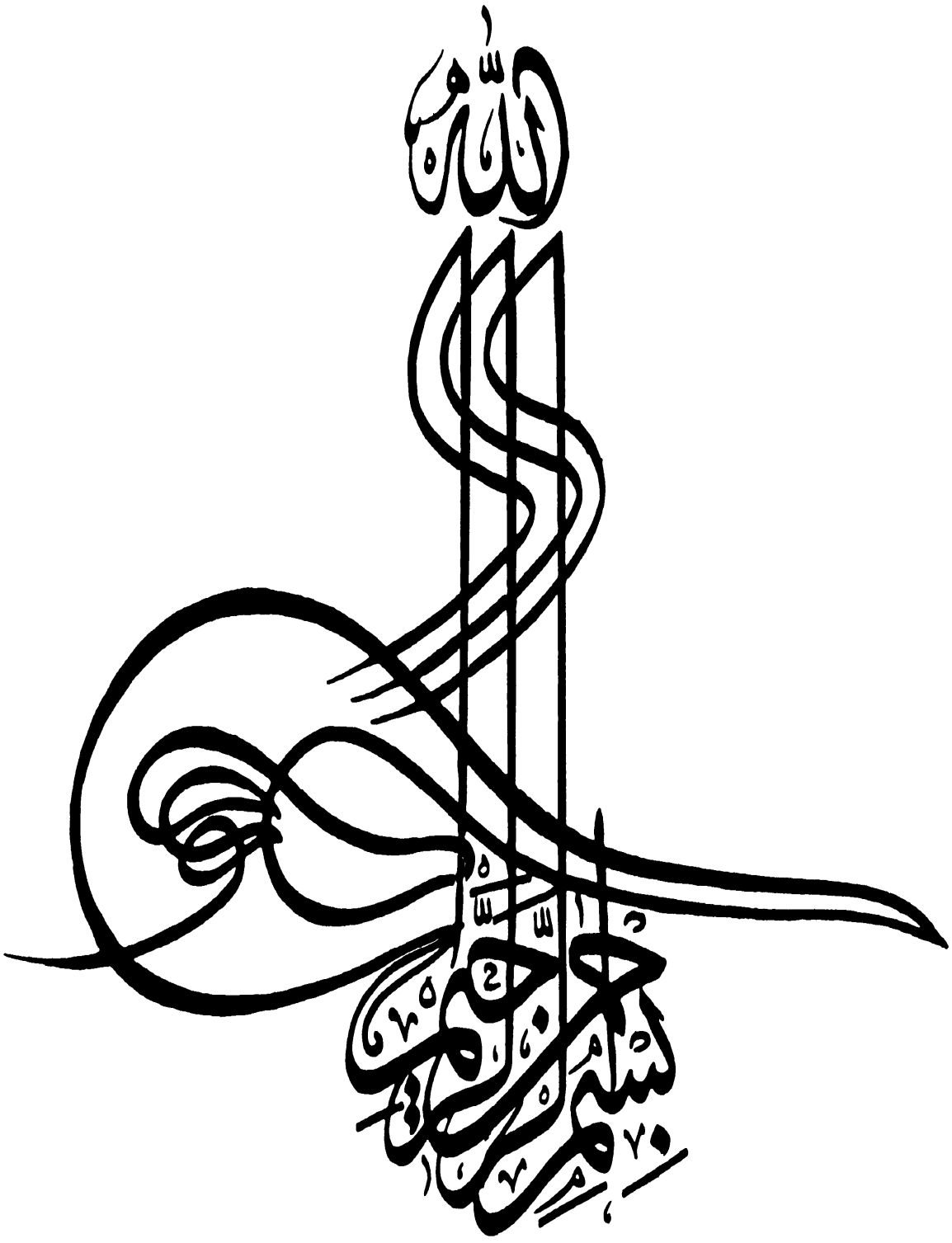

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق- قدرت
(سیستم‌های قدرت)

برنامه‌ریزی مشارکت و بررسی ریسک عملکرد هماهنگ و مستقل نیروگاه بادی و تلمبه‌ای-ذخیره‌ای در بازار انرژی و خدمات جانبی

استاد راهنما:
دکتر رحمت اله هوشمند

استاد مشاور:
دکتر امین خدابخشیان خوانساری

پژوهشگر:
زهره فرقانی

اسفند ماه 1389

بدین ترتیب مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به این عزیزان ابراز داشته و توفیق روز افزون آنان را از درگاه ایزد منان مسئلت می‌دارم.

استاد گرامی آقای دکتر هوشمند که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را برعهده داشته و از راهنمایی‌های مدبرانه ایشان در تمام دوران تحصیل برخوردار بوده‌ام و با پیشنهادات ارزنده خویش مرا در انجام پژوهش و تنظیم مطالب یاری نمودند.

استاد محترم آقای دکتر خدابخشیان که از مشاوره ارزنده ایشان بهره‌مند شده‌ام.

استاد محترم آقای دکتر یوسفی که زحمت داوری این پایان-نامه را پذیرفته‌اند.

و از آقای مهندس معین پرستگاری که در مسیر انجام این پژوهش من را مورد راهنمایی مدبرانه خویش قرار دادند.

چکیده:

در بسیاری از کشورها به منظور کاهش آلودگی زیست محیطی از توان باد برای تولید توان الکتریکی بجای روش‌های رایج استفاده می‌شود. لذا در برخی از مناطق به دلیل وجود شرایط جغرافیایی مطلوب، تولید توان با استفاده از مزارع بادی افزایش قابل توجهی داشته است. توان باد یکی از منابع عظیم تجدیدپذیر است که دارای رشد سریع تکنولوژی در سیستم‌های الکتریکی قدرت می‌باشد. یکی از مهمترین مشخصه‌های تولید توان بادی، تغییرپذیر بودن و غیرقطعی بودن میزان توان تولیدی است. لذا این عدم قطعیت به عنوان یکی از پارامترهای تصادفی در برنامه‌ریزی سیستم در نظر گرفته می‌شود. این عدم قطعیت‌ها در توان بادی، منجر به کاهش دقت برنامه‌ریزی میزان توان تولیدی سایر نیروگاه‌های شبکه می‌شود. این کاهش دقت برنامه‌ریزی، کاهش سطح امنیت شبکه و افزایش سطح ذخیره چرخان مورد نیاز را به دنبال دارد.

از طرف دیگر واحدهای تلمبه‌ای–ذخیره‌ای، دارای توانایی مدیریت نامتعادلی‌های مثبت و منفی انرژی شبکه در طول زمان می‌باشند. در کنار تولید غیر قابل پیش‌بینی نیروگاه‌های بادی، واحدهای تلمبه‌ای–ذخیره‌ای به عنوان یک مکمل تولید، به شکل مناسبی می‌تواند در کنار نیروگاه‌های بادی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

ذخیره چرخان به اپراتور سیستم اجازه می‌دهد تا در برابر نامتعادلی‌های پیش‌بینی نشده سطح تولید و بار به جبرانسازی سیستم بپردازد. با توجه به این که هزینه‌های تأمین ذخیره چرخان، جزئی و قابل چشم پوشی نیست لذا هزینه‌های بهره‌برداری سیستم نیز افزایش می‌یابد. به این منظور جهت حداقل کردن این هزینه‌ها باید مقدار بهینه ذخیره چرخان را تعیین نمود. مقدار بهینه ذخیره چرخان عبارت است از مقدار توانی که اگر یک مگاوات توان مازاد بر این سطح بهینه تولید شود هزینه تولید این یک مگاوات توان، با سود ناشی از آن معادل می‌شود (سود با مقدار کاهش یافته در هزینه‌های ناشی از ایجاد وقفه‌ها معادل است). از آنجا که تمام این مسائل، غیرقطعی می‌باشد لذا باید در برنامه‌ریزی سطح بهینه ذخیره چرخان شبکه مد نظر قرار گیرند.

در این تحقیق به دنبال تعیین استراتژی بهینه شرکت در بازار روز-پیش و خدمات جانبی مجموعه نیروگاهی (شامل ترکیب واحدهای بادی و تلمبه‌ای–ذخیره‌ای) هستیم. در این راستا، سطح بهینه ذخیره چرخان و غیرچرخان به گونه‌ای که اپراتور سیستم قادر به پاسخگویی در برابر نامتعادلی‌های تصادفی و عدم قطعیت تولید توان بادی باشد، تعیین می‌گردد. با وجود پارامترهای تصادفی قیمت بازار (انرژی و ذخیره) و تولید توان بادی، این مسئله برنامه‌ریزی، به یک برنامه‌ریزی تصادفی تبدیل شده است. به منظور ارزیابی سطح سود و زیان این استراتژی بهینه، با بررسی ریسک عملکرد برنامه‌ریزی، سطح اعتماد مجموعه مورد ارزیابی قرار گرفته و مقدار VAR[1] تعیین می‌گردد. این برنامه‌ریزی در دوره کوتاه مدت بازار قابل ارائه می‌باشد. در نهایت، در راستای ماکزیمم کردن سود حاصله از بازار، پیشنهادهای بهینه‌ای به بازار روز-پیش ارائه می‌شود.

واژه های کلیدی: مزرعه بادی، نیروگاه تلمبه‌ای–ذخیره‌ای، برنامه‌ریزی تصادفی، بازار انرژی، خدمات جانبی، VAR.

[1] . Value At Risk

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

1-1- مقدمه 1

2-1- بررسی اجمالی بازار برق در سیستم‌های قدرت الکتریکی 2

1-2-1- اهداف عملکرد بازار 2

2-2-1- تاریخچه بازار برق در جهان 4

3-2-1- عناصر کلیدی بازار 6

1-3-2-1- بهره‌بردار مستقل سیستم(ISO) 6

2-3-2-1- شرکت‌های تولید کننده(Genco) 7

3-3-2-1- شرکت‌های انتقال (TRANSCOها) 8

4-2-1- مدل‌های بازار برق 9

1-4-2-1- مدلPoolco 9

2-4-2-1- مدل قراردادهای دو جانبه 9

3-4-2-1- مدل هیبرید (مرکب) 10

3-1- برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در بازار 10

4-1- اهداف پایان نامه 12

5-1- روند ارائه کار 14

فصل دوم: مروری بر فعالیت های انجام شده

1-2- مقدمه 15

2-2- مطالعات انجام شده 16

1-2-2- تولید احتمالی توان بادی 17

2-2-2- حمایت واحدهای بادی توسط سایر واحدها 18

3-2-2- ذخیره چرخان و غیرچرخان 24

عنوان صفحه

فصل سوم : برنامه‌ریزی مشارکت واحدها

3-1- مقدمه 27
3-2- برنامه‌ریزی سنتی نیروگاه‌ها (قبل از تجدیدساختار سیستم) 28
3-3- برنامه‌ریزی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختار یافته 29
3-3-1- برنامه‌ریزی امنیت-مقید مشارکت واحدها (SCUC) 30
3-3-2- بیان ریاضی مسئله PBUC 38
3-3-2-1- مدل PBUC برای واحد تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 42
3-3-2-2- مدل PBUC مزرعه بادی 46

فصل چهارم : روش پیشنهادی

4-1- مقدمه 48
4-2- بازار نقدینگی 50
4-2-1- نقش یک تولید کننده توان بادی در بازار 50
4-2-2- لزوم هماهنگی با واحد تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 52
4-3- نظریه برنامه‌ریزی تصادفی 52
4-4- معرفی مفهوم VAR و استفاده از آن جهت ارزیابی 54
4-5- مدل پیشنهادی 55
4-5-1- هدف شرکت‌های تولیدکننده 55
4-5-2- سناریوهای قیمت و پیش‌بینی توان بادی 56
4-5-3- معرفی مزرعه بادی 57
4-5-4- مدلسازی واحد تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 57
4-5-5- ساختار تحت مطالعه 58
4-5-6- بیان پیشنهادی مسئله 60
4-5-6-1- بهره‌برداری ناهماهنگ (UO) 61
4-5-6-2- بهره‌برداری هماهنگ (JO) 64

عنوان صفحه

فصل پنجم : نتایج شبیه سازی

5-1- مقدمه 67
5-2- سیستم مورد بررسی 68
5-2-1- داده‌های اولیه 69
5-3- نتایج شبیه‌سازی 71
5-3-1- حل مسئله برنامه‌ریزی مستقل نیروگاه‌ها 71
5-3-1-1- مزارع بادی 71
5-3-1-2- واحدهای تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 72
5-3-2- حل مسئله برنامه‌ریزی مزارع بادی هماهنگ با واحدهای تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 75
5-3-3- بررسی ریسک عملکرد مجموعه نیروگاهی 77
5-3-3-1- بررسی ریسک عملکرد مستقل نیروگاه‌های بادی 80
5-3-3-2- بررسی ریسک عملکرد مستقل نیروگاه‌های تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 83
5-3-3-3- بررسی ریسک عملکرد هماهنگ واحدهای بادی و تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 84

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار

6-1- مقدمه 92
6-2- نتیجه‌گیری 93
6-3- پیشنهادات ادامه کار 94
منابع و مأخذ 96

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

شکل (1-1): عملکرد بازار برق تجدیدساختار شده 3

شکل (1-2): برخی از بازارهای برق ایجاد شده در دنیا 5

شکل (1-3): شماتیکی از همکاری نیروگاه تلمبه‌ای–ذخیره‌ای و بادی 13

فصل سوم : برنامه‌ریزی مشارکت واحدها

شکل (3-1): رابطه غیرخطی شده توان تولیدی بر حسب نرخ تخلیه 44

شکل (3-2): رابطه خطی شده توان تولیدی بر حسب نرخ تخلیه 44

شکل (3-3): منحنی مشخصه توربین بادی بر حسب سرعت باد 47

فصل چهارم : روش پیشنهادی در برنامه‌ریزی هماهنگی نیروگاه‌های بادی و تلمبه‌ای -ذخیره‌ای

شکل (4-1): برنامه‌ریزی زمانی و کاهش عدم قطعیت‌ها 50

شکل (4-2): ارائه عدم قطعیت‌ها و مدل دو مرحله‌ای 53

شکل (4-3): الگوریتم ساختار تحت مطالعه 59

شکل (4-4): شماتیکی از هر دو بهره‌برداری هماهنگ و ناهماهنگ 60

شکل (4-5): رابطه خطی شده توان تولیدی بر حسب نرخ تخلیه آب 62

فصل پنجم: نتایج حاصل از شبیه سازی

شکل (5-1): شماتیکی از سیستم استاندارد IEEE باس 118 69

شکل (5-2): منحنی 15 سناریو پیش‌بینی شده قیمت انرژی برای 24 ساعت روز آینده 71

شکل (5-3): منحنی پیشنهادات ساعتی نیروگاه بادی در بازار روز-پیش 72

شکل (5-4): پیشنهادات ساعتی نیروگاه تلمبه‌ای–ذخیره‌ای در بازار روز-پیش 73

شکل (5-5): فروش توان در نیروگاه تلمبه‌ای–ذخیره‌ای در بازار خدمات جانبی 74

عنوان **صفحه**

شکل (5-6): پیشنهادات ساعتی مجموعه نیروگاهی بادی و.....75
شکل (5-7): فروش توان در مجموعه نیروگاهی بادی و 76
شکل (5-8): توزیع نرمال برای قیمت‌های پیش‌بینی شده 77
شکل (5-9): توزیع قیمت پیش‌بینی شده برای بازار انرژی و بازار ذخیره.....78
شکل (5-10): توزیع نرمال برای تولید توان بادی پیش‌بینی شده 79
شکل (5-11): توزیع قیمت پیش‌بینی شده برای بازار انرژی و تولید توان بادی 79
شکل (5-12): توزیع سود در بهره‌برداری مستقل نیروگاه‌های بادی 80
شکل (5-13): توزیع سود در 330 نقطه موجود در بهره‌برداری مستقل.....81
شکل (5-14): توزیع سود سناریوها در بهره‌برداری مستقل نیروگاه‌های بادی 81
شکل (5-15): الف) توزیع احتمال ب) توزیع سود 12 نقطه با احتمال تجمعی 0/05 در 82
شکل (5-16): توزیع سود در بهره‌برداری مستقل نیروگاه‌های تلمبه‌ای–ذخیره‌ای 83
شکل (5-17): توزیع تجمعی سود در بهره‌برداری مستقل نیروگاه‌های 83
شکل (5-18): توزیع سود در بهره‌برداری هماهنگ نیروگاه‌های تلمبه‌ای–ذخیره‌ای و 84
شکل (5-19): توزیع سود در 225 نقطه موجود در بهره‌برداری هماهنگ.....85
شکل (5-20): توزیع سود سناریوها در بهره‌برداری هماهنگ نیروگاه‌های 85
شکل (5-21): الف) توزیع احتمال ب) توزیع سود 12 نقطه با احتمال تجمعی 0/05 در 87
شکل (5-22): توزیع سود در بهره‌برداری هماهنگ نیروگاه‌های تلمبه‌ای–ذخیره‌ای و.....88
شکل (5-23): توزیع سود در 330 نقطه موجود در بهره‌برداری هماهنگ.....88
شکل (5-24): توزیع سود سناریوها در بهره‌برداری هماهنگ نیروگاه‌های 89
شکل (5-25): الف) توزیع احتمال ب) توزیع سود 12 نقطه با احتمال تجمعی 0/05 در 90

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: نتایج حاصل از شبیه سازی

جدول (5-1): اطلاعات سه واحد تلمبه‌ای–ذخیره‌ای سیستم 118 باس IEEE 70
جدول (5-2): اطلاعات مزارع بادی سیستم 118 باس IEEE 70
جدول (5-3): سود نیروگاه‌ها در شرایط عملکرد مستقل 72
جدول (5-4): سود مجموعه نیروگاهی بادی و تلمبه‌ای–ذخیره‌ای در بازار روز-پیش 75
جدول (5-5): جریمه و درآمد مجموعه نیروگاهی بادی و 77
جدول (5-6): مقایسه VaR در بهره‌برداری مستقل بادی و 91

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

نیروگاه‌های بادی از جمله منابعی هستند که امروزه به لحاظ مزایای فراوان، مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته‌اند. ساختار رقابتی برق در اکثر کشورها باعث شده که این نیروگاه‌ها یا به طور مستقیم در بازار برق شرکت نکنند و یا در صورت شرکت در بازار، به علت طبیعت تغییرپذیری تولیدشان از درآمد کمی برخوردار باشند. به همین منظور معمولاً با حمایت‌های مالی توسط بهره‌برداران شبکه همراه هستند که این خود باعث دور شدن بازار از فضای رقابتی می‌گردد.

رعایت امنیت و قابلیت اطمینان سیستم از مهمترین وظایف بهره‌بردار یک سیستم قدرت است. تغییرات غیر منتظره بار و خروج ناگهانی ژنراتورها یا خطوط از حوادث محتملی است که امنیت سیستم را در معرض خطر قرار می‌دهد. لذا برای بهره‌برداری ایمن و مطمئن از سیستم قدرت، در نظر گرفتن مقداری از ظرفیت تولید ژنراتورها به عنوان رزرو، ضروری است[1]. یکی از مهمترین ابزارهای حفظ امنیت و قابلیت اطمینان سیستم، مانیتورینگ و کنترل رزرو موجود در شبکه می‌باشد[2]. تاکنون روش‌های متنوعی با معیارهای قطعی یا احتمالی

برای تعیین ظرفیت رزرو پیشنهاد شده است. به خاطر در نظر گرفتن طبیعت تصادفی حوادث سیستم، روش‌های احتمالی از نظر قابلیت اطمینان و هزینه، بر روش‌های قطعی ارجحیت دارند.

۱-۲- بررسی اجمالی بازار برق در سیستم‌های قدرت الکتریکی

در یک بازار برق لازم است بهره‌بردار مستقل سیستم (ISO)[1] مستقل از شرکت کنندگان بازار خصوصی (مانند مالکان انتقال، تولید کنندگان، شرکت‌های توزیع و مصرف کنندگان) باشد. به منظور مدیریت مؤثر بازار رقابتی(قابلیت اطمینان سیستم قدرت تضمین شده باشد)، ISO، بعنوان اپراتور بازار، بایستی قوانین دقیقی بر روی توان و بازارهای خدمات فرعی وضع نماید. از طرف دیگر، سیستم انتقال را در یک شکل بدون تبعیض و عادلانه اداره کند و بر خلاف ریسک‌های بازار، ابزار خرید و فروش را تسهیل نماید و بر بازار نظارت کند تا مطمئن شود. ISO جهت انجام وظایفش بایستی به ابزارهایی مانند ابزارهای محاسباتی قدرتمند، نظارت و کنترل بر بازار (مونیتورینگ)، عملیات خدمات کمکی و مدیریت تراکم مجهز باشد.

در سال‌های اخیر، کمیسیون تنظیم انرژی (FERC)[2]، به تشکیل بازارهای برق خدماتی در صنعت برق تجدیدساختار شده روی آورده است. در این بازارها، انرژی و خدمات فرعی به عنوان سرویس‌های خدماتی عرضه شده‌اند، و شرکت‌های تولیدی می‌توانند برای فروش انرژی به مشتریان از طریق ارائه مزایده‌های رقابتی (قیمت‌های پیشنهادی رقابتی) به بازار برق به رقابت بپردازند. آنها می‌توانند صرف نظر از سود سیستم، سود خود را به حداکثر مقدار برسانند. در این بازار، شرکت‌های تولیدی نمی‌خواهند تحت کنترل نهاد مستقلی باشند که سیستم انتقال را کنترل می‌کند و می‌توانند ابزارهای محاسباتی نظیر پیش‌بینی قیمت، ورود و خروج واحدهای تولیدی، مدیریت ریسک و معاملات ارز جهت ایجاد تصمیم‌گیری درست در این بازار را بدست آورند. شکل (1-1) یک بازار برق پیشنهادی ممکن را نشان می‌دهد. البته این طرح کلی است و می‌تواند شامل گزینه‌های دیگری هم باشد[3].

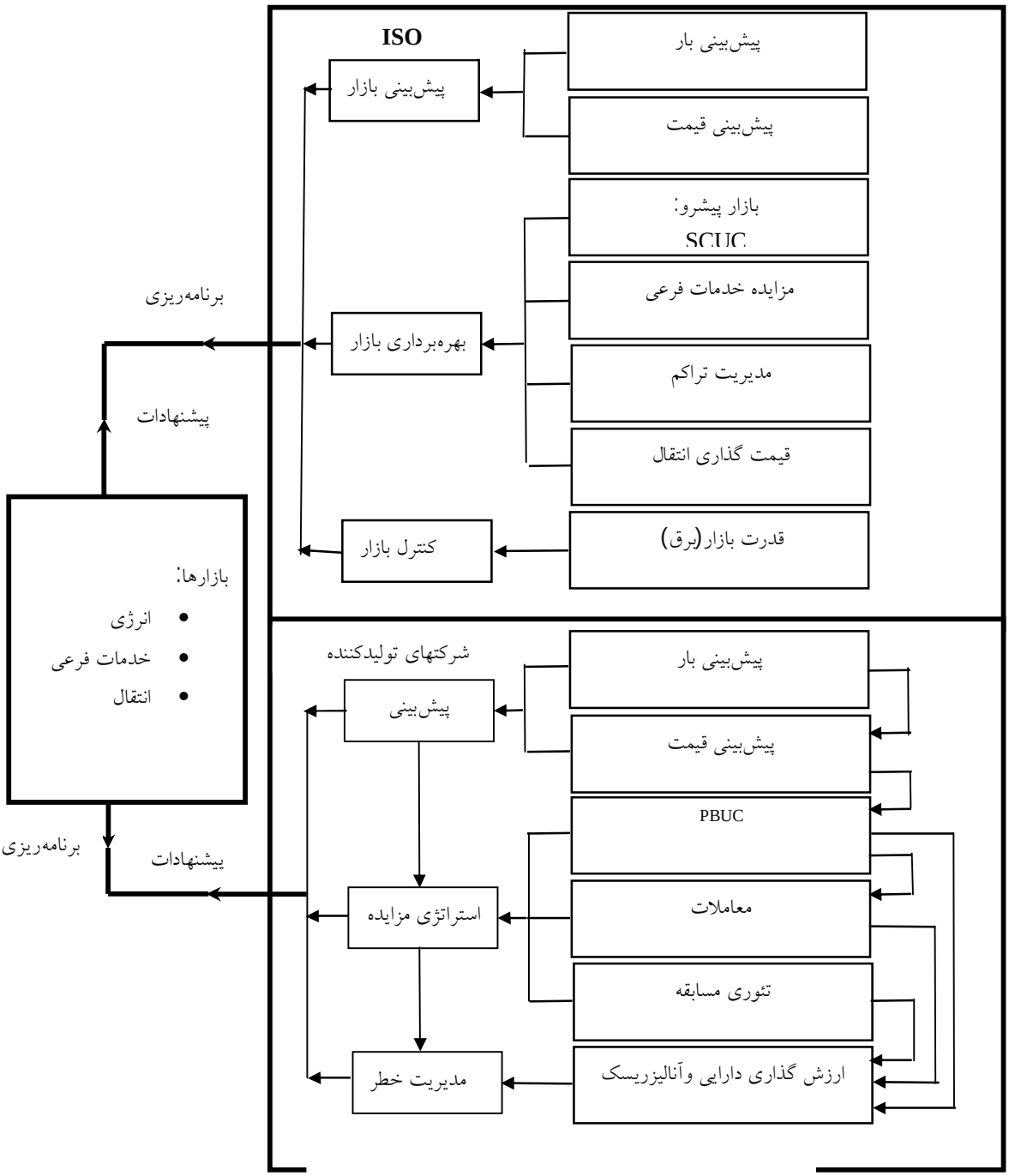
۱-۲-۱- اهداف عملکرد بازار

دو هدف برای برقراری و تأسیس بازار برق وجود دارد : 1) عملکرد مطمئن و 2) تسهیل یک بهره‌برداری اقتصادی. امنیت وجه بسیار مهم بهره‌برداری سیستم قدرت است که می‌تواند در یک بهره‌برداری تنظیم‌شده یا

[1]. Independent System Operator

[2]. Federal Energy Regulatory Commission

بازار برق تجدیدساختار شده برقرار باشد. در یک محیط تجدیدساختار یافته، امنیت می‌تواند توسط بکارگیری خدمات گوناگون موجود در بازار به راحتی حاصل شود. بهره‌برداری اقتصادی از بازار برق، هزینه مصرف برق را کاهش می‌دهد.



شکل (1-1): عملکرد بازار برق تجدید ساختارشده[3]

این یک انگیزه اولیه برای بازسازی و تجدیدساختار سیستم‌های قدرت است و یک راه برای افزایش امنیت سیستم قدرت، بواسطه اقتصادش است. بدین منظور، تعیین استراتژی‌های درست در بازارهای مبتنی بر احتیاجات سیستم قدرت لازم و ضروری می‌باشد. برای مثال ادوات مالی همچون قراردادها برای تفاوت‌ها[1]، قراردادهای تراکم انتقال و حقوق انتقال شرکت‌ها می‌تواند در ریسک‌های خرید و فروش مطرح شود[3].

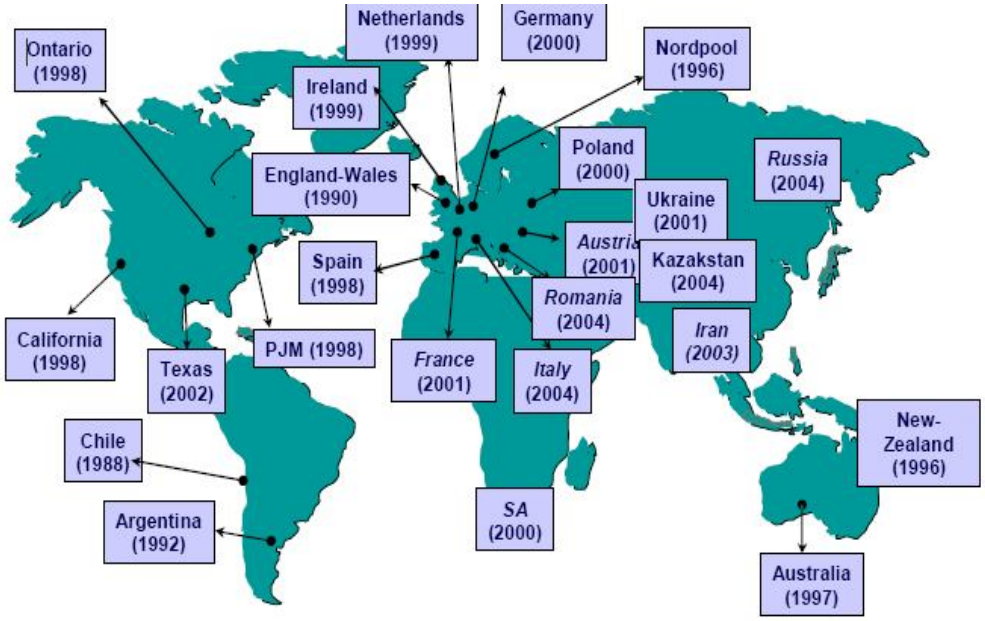
۱-۲-۲- تاریخچه بازار برق در جهان

مبحث بازار برق و اصلاحات اخیر در صنعت برق دنیا، از سال 1970 شروع شد که در ابتدا، فعالیت در بخش تولید برق برای تولیدکنندگان کوچک و تازه وارد، مجاز شمرده شد تا آنها بتوانند در این بخش فعالیت اقتصادی داشته باشند. در سال 1978 دولت ایالات متحده، قوانینی تصویب نمود که بر طبق آن شرکت‌های برق مجبور به خرید از این گونه تولیدکنندگان بودند. در ایالات متحده، صرفه جویی در انرژی و راندمان بهره‌برداری از انرژی، اهداف اصلی صنعت برق بودند. آمریکای جنوبی مثالی از ناحیه‌ای است که صنعت برق دولتی انحصاری را تجدید ساختار کرده است. در سال 1982 در شیلی قانونی به تصویب رسید که بر اساس آن به مصرف کنندگان بزرگ حق انتخاب خرید از شرکت‌های مختلف را داد که این انتخاب بر اساس یک توافق دو جانبه بر سر قیمت صورت می‌گرفت.

در بقیه نقاط دنیا به دلایل مختلف، تجدیدساختار در صنعت برق صورت گرفت. در اکثر نقاط دنیا، صنعت برق در انحصار دولت بود. مشکلات ناشی از ناکارآمدی صنایع دولتی، انگیزه تجدیدساختار در خیلی از کشورها را فراهم کرد. این مشکلات منجر به خدمات ضعیف برق و همچنین مشکلات مالی در سرمایه گذاری در صنعت برق شده بود. شکل(1-2) برخی از بازارهای برق ایجاد شده در دنیا را طی سال‌های متمادی نشان می‌دهد[4].

شروع تجدید ساختار در انگلستان با تصویب لایحه الکتریسیته 1983 بود. نهایتاً تجدیدساختار با تصویب لایحه الکتریسیته 1989 به طور کامل به اجرا درآمد[5] و بازار برق انگلستان یا اصطلاحاً Pool سال 1990 شکل گرفت. کشورهای اسکاندیناوی شامل دانمارک، فنلاند، نروژ و سوئد دارای سابقه طولانی همکاری جهت فراهم کردن تغذیه برق قابل اعتماد می‌باشند. تجدیدساختار صنعت برق و ایجاد بازار در این کشورها در دهه 1990 آغاز شد.

[1]. Contract For Differences



شکل(۱-۲): برخی از بازارهای برق ایجاد شده در دنیا[٤]

به دنبال آن نروژ، در سال 1991 بازاری شبیه Pool را با تصویب لایحه انرژی ایجاد کرد که بعدها در سال1996 با وارد شدن سوئد، این بازار گسترش یافت و اکنون به نام Nord pool معروف شده است. راه اندازی اولیه این بازار در سال 1993 توسط دو شرکت شبکه ملی نروژ و سوئد و هر کدام با سهم 50% صورت گرفت. هم اکنون، کشورهای فنلاند (تصویب لایحه انرژی 1995) و دانمارک (تصویب لایحه انرژی 1998) نیز در این بازار عضو شده‌اند. بازار نوردیک[1] از سال 1996 آغاز به کار کرد و از اکتبر سال 2000، تمامی کشورهای نوردیک را شامل شده است[4].

آرژانتین در سال 1992، پرو 1993، بولیوی و کلمبیا 1994 و سپس برزیل و ونزوئلا در سال 1996 صنعت برقشان را تجدیدساختار کردند. در همین راستا تبادل انرژی الکتریکی به شکل رقابتی در سال 1998 در اسپانیا و ایالات متحده آغاز گردید[6].

بهبود راندمان اقتصادی و خدمات بهتر صنعت برق در بسیاری از کشورها، از نتایج تجدیدساختار در این کشورها است. به عنوان مثال متوسط قیمت‌های انرژی، از $50 به $30 به ازای یک مگاوات ساعت رسید.

[1]. nordic

۱-۲-۳- عناصر کلیدی بازار

تجدیدساختار برق، عناصر سنتی در ساختار یکپارچه عمودی را تغییر داده است و عناصر جدیدی را با امکان عملکرد مستقل ایجاد کرده است. عناصر بازار به دو گروه اپراتور بازار (ISO) و شرکت کنندگان در بازار تقسیم بندی می‌شوند. سیستم ISO، وظیفه رهبری بازار را بر عهده دارد و تعیین کننده قواعد بازار می‌باشد. شرکت کنندگان در بازار شامل GENCO[1] ، TRANSCO[2]، DISCO[3]، RETAILCO[4] ، جمع کننده ها، کارگزارها، بازاریاب ها و مشتریان می‌باشد[3].

۱-۲-۳-۱- بهره بردار مستقل سیستم(ISO)

سیستم ISO وظیفه کنترل مستقل بهره‌برداری شبکه را بر عهده دارد که این امر لازمه یک بازار رقابتی برق است. تعیین بهای انتقال، حفظ ایمنی سیستم و برنامه‌ریزی تعمیر و هماهنگی‌های آن طی یک برنامه‌ریزی بلند مدت توسطISO انجام می‌شود. سیستم ISO مستقل از هر شرکت کننده بازار، اعم از مالکین انتقال، تولید کنندگان، شرکت‌های توزیع و مصرف کنندگان نهایی عمل می‌کند و باید امکان دسترسی آزاد و غیر قابل تبعیضی را برای تمام استفاده کنندگان از سیستم انتقال فراهم آورد.

سیستم ISO قدرت لازم برای در مدار قراردادن و توزیع بار برخی یا تمام واحدهای تولیدی سیستم را دارد. همچنین برای حفظ ایمنی سیستم (به عنوان مثال برای حذف انحراف از حدود مجاز انتقال، تعادل بین عرضه و تقاضا و حفظ فرکانس قابل قبول سیستم)، می‌تواند بارهایی را قطع کند. سیستم ISO این اطمینان را فراهم می‌آورد که سیگنال‌های صحیح اقتصادی، به همه شرکت کنندگان در بازار ارسال می‌شود که این امر به نوبه خود، باعث تشویق شرکت کنندگان در استفاده از امکانات موجود بازار و انگیزه خوبی برای سرمایه گذاری آنها در منابع لازم جهت حذف انحرافات ذکر شده می‌باشد. عموماً دو ساختار ممکن برای ISO وجود دارد و انتخاب ساختار بستگی به اهداف و توانایی و صلاحیت ISO دارد.

اولین ساختار سیستم، MinISO است که اساساً به حفظ امنیت انتقال در بهره‌برداری از بازار برق بستگی دارد و ISO قادر است انتقالات را در یک سیستم انتقال مقیدشده، زمان بندی کند. این ساختار از ISO مبتنی بر مدل

---

[2] . Generation Company

[3] . Transmission Company

[4] . Distribution Company

[5] . Retailer Company

تجارت چند جانبه همانگ می‌باشد و ISO نقشی در بازار ندارد. هدفش به حفظ امنیت محدود شده است و توانایی‌اش نسبتاً کم شده است. سیستم ISO کالیفرنیا، یک مثال از این ساختار است بطوریکه ISO هیچ قدرتی بر روی بازارهای انرژی پیشرو ندارد و یک کنترل بسیار محدود بر روی زمان بندی واحدهای تولیدی حقیقی دارد.

دومین ساختـار سیستم MaxISO است که برای یک ISO، شامل یک مرکز مبـادله توان[1] (بورس) است و با بهره‌برداری ISO، ایجاد شده است. مرکز مبادله توان، یک نهاد مستقل، غیردولتی و بدون بهره است که یک بازار رقابتی را با اداره کردن یک مزایده برای مبادلات برق، تضمین می‌کند. مرکز مبادله توان، قیمت تعادل در بازار را براساس ارزش بالاترین پیشنهاد در بازار محاسبه می‌کند. در برخی ساختارهای بازار،ISO و مرکز مبادله توان، نهادهای جدا از هم هستند، اگرچه عمل مرکز مبادله توان، درون سازمان مشابه، مانند ISO است. این ساختار ثانویه ISO، بر روی یک مدل پخش بار بهینه[2] استوار است. شرکت کنندگان در بازار، بایستی اطلاعات گسترده‌ای مانند اطلاعات هزینه برای هر واحد تولید و تقاضای روزانه برای هر مشتری یا بار را فراهم کنند. با این اطلاعات گسترده، ISO، توزیع بار و برنامه ورود و خروج واحدهای تولیدی به مدار[3] را فراهم می‌کند به گونه‌ای که رفاه اجتماعی را به حداکثر برساند و قیمت‌های تراکم انتقال را تنظیم می‌کند. ISO مربوط به PJM و شرکت NGC در بریتانیای کبیر، مثال‌هایی از این نوع ساختار هستند که یک رنج وسیعی از کنترل و صلاحیت را دارند[3].

۱-۲-۳-۲- GENCOها

مسئولیت بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری واحدهای تولید موجود، بر عهده GENCOها می‌باشد. یک GENCO ممکن است خود مالک واحد تولیدی بوده و یا از طرف مالکین واحدها با بازار در ارتباط باشد. GENCOها از زمانی که تولید توان از شرکت‌های موجود تفکیک شد، ایجاد شدند. GENCOها، امکان فروش برق به عناصری که با آنها در خصوص فروش برق مذاکره کرده‌اند، دارند. GENCOها امکان فروش برق به ISO(مشتریان بزرگی مثل DISCOها و جمع کننده ها، برق مورد نیاز خود را از آن تأمین می‌کنند) را نیز دارد. GENCOها، علاوه بر توان حقیقی، در معاملات توان راکتیو و ذخیره‌های بهره‌برداری نیز می تواند شرکت کند.

---

[1] . .Power Exchange

[2] . Optimal Power Flow

[1] . Unit Commitment

GENCOها عضو وابسته به ISO یا TRANSCOها نیستند. یک GENCO می‌تواند توان را در چند محل پیشنهاد کند که در نهایت از طریقTRANSCOها و DISCOها به مشتریان تحویل داده شود.

در بازار تجدیدساختار یافته توان، هدف GENCOها، حداکثرسازی سود است. پس در ابتدا، GENCOها باید پیش‌بینی دقیقی از سیستم، شامل بار و قیمت آن داشته باشند. در صنعت برق تجدیدساختار شده، برای GENCOها پیش‌بینی قیمت از همه مهمتر است. چرا که قیمت انعکاسی از شرایط بازار است. GENCOها به منظور حداکثرسازی سود خود، ممکن است در هر نوع بازاری (بازار انرژی و خدمات جانبی) شرکت کنند و هر گونه بازی را در بازار انجام دهند که مسئولیت مخاطرات این اعمال بر عهده خود GENCO است[3].

۱-۲-۳-۳- TRANSCOها

سیستم انتقال، حیاتی ترین عنصر در بازارهای برق محسوب می‌شود. بهره‌برداری مطمئن و کارآمد از شبکه انتقال، کلید دستیابی به بهره وری و کارآمدی در این بازارهاست. یک شرکت انتقال (TRANSCO)، برق را با استفاده از یک ولتاژ فشار قوی و شبکه انتقال به صورت عمده، از شرکت‌های تولیدی به شرکت‌های توزیع برای تحویل به مشتریان منتقل می‌کند. یک سیستم انتقال، شامل یک شبکه یکپارچه‌ای است که تمام شرکت کنندگان در آن سهیم بوده و از اتصالات شعاعی که واحدهای تولیدی بزرگ و مشتریان عمده به آن متصل هستند، تشکیل شده است. شرکت‌های انتقال جهت مهیاکردن اتصالات بدون تبعیض و خدمات قابل مقایسه برای بازیابی هزینه تنظیم می‌شوند.

یک شرکت انتقال نقش ایجاد، مالکیت، تعمیر و نگهداری و راه اندازی شبکه انتقال در یک ناحیه جغرافیایی معین برای تأمین خدمات و جهت نگهداری قابلیت اطمینان کلی سیستم الکتریکی را بر عهده دارد. شرکت‌های انتقال، انتقال الکتریسیته را بصورت عمده فراهم می‌کنند، دسترسی آزاد و باز را عرضه می‌کنند و هیچ مالکیت مشترک یا وابستگی به دیگر شرکت کنندگان در بازار (یعنی شرکت‌های توزیع و شرکتهای خرده فروش) ندارند. نیروهای انسانی در سطوح دولتی، مقررات شرکت‌های انتقال را تنظیم می‌کنند و آنها هزینه بهره‌برداری و سرمایه گذاری‌شان را برای تسهیلات انتقال از طریق مطالبه هزینه اضافی (که معمولاً توسط هر مصرف کننده در هر ناحیه و منطقه پرداخت می‌شود) بازیابی می‌کنند[3].

۱-۲-۴- مدل های بازار برق

جهت دستیابی به اهداف بازار برق، چندین مدل برای ساختار بازار مطرح شده است. سه مدل اصلی به شرح زیر ارائه شده است.

۱-۲-۴-۱- مدل Poolco

مدل Poolco به عنوان یک بازار متمرکز (بورس) تعریف شده است که بازار را برای خریداران و فروشنده‌ها تسویه می‌کند. خریداران و فروشندگان توان الکتریکی، پیشنهادات خود را برای توان مورد نظر که مایل هستند در بازار مبادله کنند، به بازار ارائه می‌کنند. فروشندگان در بازار برق، برای کسب حق تأمین انرژی در شبکه رقابت می‌کنند، نه برای مشتریان مخصوص. اگر یک شرکت کننده در بازار، پیشنهاد خیلی بزرگی ارائه کند، ممکن است قادر به فروش آن نباشد. به عبارت دیگر، خریداران برای خرید قدرت و توان رقابت می‌کنند و اگر پیشنهادات آنها خیلی کم باشد آنها ممکن است قادر به خرید نباشند.

در این بازار، در اصل به تولیدکنندگان کم هزینه پاداش داده می‌شود. به عبارت دیگر، عمده برندگان بازار، تولیدکنندگان کم هزینه خواهند بود. در حقیقت، ISO در Poolco توزیع اقتصادی بار[1] را انجام می‌دهد و یک ارزش و قیمت منحصربفرد (نقدی[2]) برای برق، ارائه می‌کند و یک پیام آشکار را برای شرکت کنندگان جهت تصمیم برای سرمایه گذاری و مصرف ارائه می‌دهد. دینامیک در بازار برق، یک قیمت تمام شده و نقدی را برای یک سطح رقابتی که برابراست با هزینه نهایی اکثر شرکت کنندگان در مناقصه، به پیش می‌برد. در این بازار، پیشنهاد دهندگان برنده، قیمت نقدی را که برابر است با بالاترین پیشنهاد برندگان، پرداخت می‌کنند[3].

۱-۲-۴-۲- مدل قراردادهای دوجانبه

قراردادهای دوجانبه، موافقت نامه‌های قابل انتقال بین دو معامله‌گر، برای تحویل و دریافت توان هستند. در این قراردادها، ضوابط و شرایط توافق را مستقل از ISO تنظیم می‌کنند. به هرحال، در این مدل، ISO وجود ظرفیت انتقال کافی و امنیت شبکه انتقال را برای تکمیل معامله بررسی خواهد کرد. اگر طرفین مذاکره با هدف تأمین شرایط مطلوب خود، وارد قراردادهای دوجانبه شوند، مدل قراردادهای دوجانبه بسیار انعطاف پذیر است. به

---

[1]. Economic Dispatch

[2]. Spot

هرحال، اصل اشکالات این مدل به واسطه هزینه بالای مذاکرات و قراردادهای مذاکره کننده‌ها و احتمال زیان یا خطر ارزش اعتبار طرفین معامله است[3].

۱-۲-۴-۳- مدل هیبرید (مرکب)

این مدل، خصوصیات متفاوت دو مدل قبلی را با هم ترکیب می‌کند. در مدل هیبرید بکارگیری یک Poolco الزامی نیست، و هر مشتری اجازه خواهد داشت یا به صورت مستقیم با تولیدکنندگان، قرارداد تأمین برق را برقرار سازد یا قیمت تمام شده لحظه‌ای در بازار برق را پرداخت کند. در این مدل، Poolco تمام شرکت کنندگانی (خریداران و فروشندگان) را که امضای قراردادهای دوجانبه را انتخاب نکنند، سرویس دهی می‌کند. به هرحال، اجازه دادن به مشتریان برای مذاکره جهت مقدمات خرید توان با تهیه کنندگان و متصدیان، امکان ایجاد یک انتخاب درست را فراهم می‌کند و انگیزه برای خلق یک تنوع گسترده از خدمات و گزینه‌های قیمت گذاری جهت برآورده کردن نیازهای فردی مشتری، برای مشتری ایجاد می‌کند. در بحث از ساختار بازار، ما استفاده از مدل هیبرید را می‌پذیریم[3].

۱-۳- برنامه‌ریزی مشارکت نیروگاه‌ها در بازار

آزادسازی بازار برق در مناطق مختلف جهان در حال گسترش است. اگرچه درجهٔ آزادسازی در کشورهای مختلف، متفاوت است، اما همهٔ کشورها، شرکت منابع انرژی پاک و خصوصاً انرژی باد را در بازار برق، در دستور کار خود قرار داده‌اند. استفاده از نیروگاه‌های بادی برای تولید برق، هزینهٔ سرمایه گذاری بالایی دارد، ولی هزینهٔ بهره‌برداری آن بسیار پایین است.

اگرچه استفاده از منابع بادی مزایای فراوانی دارد، اما موانعی برای بهره‌برداری آنها در سیستم قدرت تجدیدساختار یافته وجود دارد[8 و7]. در حال حاضر تعداد کمی از کشورها، نیروگاه‌های بادی را در بازار برق شرکت می‌دهند. شرکت منابع بادی در بازار، اشاره به پیشنهاد تولید و تعهد به تحویل توان پیشنهادی در زمان بهره‌برداری دارد. به علت رفتار متغیر تولید نیروگاه‌های بادی، ممکن است شرکت مستقیم این نیروگاه‌ها در بازار برق، درآمد کافی برای آنها به همراه نداشته باشد و این خود باعث کاهش سرمایه گذاری در این بخش شود. مطالعات مختلفی برای ارزیابی منابع بادی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختار یافته انجام شده است.