بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک
دانشکده فنی و مهندسی
کارشناسی ارشد گروه برق

هزینه‌گذاری و تعیین رزرو مورد نیاز بازارهای برق رقابتی با در نظرگرفتن مدل عدم قطعیت انرژی باد و بار مصرفی

پژوهشگر

وحید حیدری زیدعلی

استاد راهنما

دکتر علی اصغر قدیمی

استاد مشاور

مهندس هدایت صبوری

آذر 93

چکیده

امروزه مزایای به کارگیری منابع تجدیدپذیر جهت تامین توان در سیستم‌های قدرت بر کسی پوشیده نیست. در این میان انرژی باد به نسبت سهم بیشتری را در سبد تجدیدپذیر به خود اختصاص داده است. اما طبیعت متغیر و غیرقابل پیش‌بینی انرژی باد منجر شده که اپراتور سیستم در بهره‌برداری و اتصال آن به شبکه دچار مشکل شود. به منظور تطبیق طبیعت غیر قابل پیش‌بینی باد، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بایستی میزان تولید و مصرف خود را در زمان واقعی اصلاح کنند. در بازارهای برق رقابتی این ذخیره‌ها هستند که خدمات مربوط به تنظیمات مورد نیاز شبکه را ارائه می‌دهند. روش رایج جهت تامین خدمات جانبی مربوط به ذخیره‌ها در بازار برق، اجرای بازار انرژی و ذخیره به صورت هم-زمان می‌باشد.

هدف از این پروژه، ارائه مدل سازی صحیحی از عدم قطعیت پیش‌بینی انرژی باد به منظور تعیین ذخیره پاسخ‌گو در بازار هم‌زمان انرژی و ذخیره می‌باشد. به این منظور، با مدل‌سازی عدم قطعیت انرژی باد توسط تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی شده و همچنین تابع توزیع احتمال سرعت وزش باد در برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، ذخیره پاسخ‌گو به این عدم قطعیت محاسبه خواهد شد. مدل اصلی بازار هم‌زمان به صورت برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح می‌باشد که به صورت برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای اصلاح گشته است. مدل پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه در محیط برنامه نویسی GAMS پیاده شده و نتایج برای سناریوهای مختلف تحلیل و بررسی گشته است.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه

1-1 تجدید ساختار و بازار برق 2

1-1-1عناصر موجود در بازار برق. 3

1-1-1-1 اپراتور مستقل سیستم 3

1-1-1-2 سایر عناصر موجود در بازار برق 4

1-1-2 مدل‌های بازار برق 5

1-1-2-1 مدل قراردادهای دوطرفه 5

1-1-2-2 مدل بازار اشتراکی 6

1-1-3 انواع بازارهای رقابتی 7

1-1-3-1 بازار انرژی 7

1-1-3-2 بازار خدمات جانبی 8

1-1-3-3 بازار انتقال 9

1-1-3-4 بازار پیش رو 9

1-1-3-5 بازار زمان واقعی 10

2-1 مروری بر تاثیرات عدم قطعیت نیروگاه‌های بادی بر شبکه و بازارهای برق 11

1-2-1 راندمان تولید 11

2-2-1 تاثیر منابع بادی بر روی تعقیب بار 11

3-2-1 تاثیر منابع بادی بر مدل‌های بازار برق رقابتی 12

1-3-2-1 تاثیر تولید انرژی باد بر مدل دو جانبه بازار برق..... 12

2-3-2-1 تاثیر تولید انرژی بادی بر مدل اشتراکی بازار برق 12

3-1 راهکارهای مدیریت نوسان در شبکه‌های الکتریکی با حضور منابع بادی..... 13

1-3-1 استفاده از نیروگاه‌های حرارتی برای افزایش میزان ذخیره 13

2-3-1 منابع ذخیره انرژی 14
3-3-1 مدیریت سمت تقاضا 15
4-1 بررسی مطالعات قبلی 15
5-1 هدف پروژه 20

فصل دوم مدل‌سازی عدم قطعیت انرژی باد در بازار همزمان انرژی و ذخیره

1-2 مدل‌سازی عدم قطعیت انرژی باد در بازار همزمان انرژی و ذخیره 22
1-1-2 برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح تصادفی 22
2-1-2 مدل‌سازی عدم قطعیت تولید انرژی باد در بازار همزمان انرژی و ذخیره با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی 24
1-2-1-2 متغیرهای مرحله اول و دوم مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره 24
2-2-1-2 تابع هدف مدل تصادفی 26
3-2-1-2 قیدهای مربوط به بهره‌برداری از سیستم 28
4-2-1-2 مدل‌سازی عدم قطعیت انرژی باد با استفاده از تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی 31
3-1-2 مدل‌سازی عدم قطعیت انرژی باد در بازار همزمان انرژی و ذخیره با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال سرعت باد 33
1-3-1-2 منحنی توان برحسب سرعت توربین بادی 33
2-3-1-2 محاسبه تابع توزیع احتمال توان از تابع توزیع احتمال سرعت 34
3-3-1-2 مدل سازی تابع توزیع احتمال توان در بازار هم‌زمان انرژی و ذخیره 37
2-2 مقایسه ارزش برنامه‌ریزی با اطلاعات کامل با ارزش برنامه‌ریزی تصادفی 39
1-2-2 ارزش برنامه‌ریزی با اطلاعات کامل (EVPI) 39
2-2-2 مقایسه ارزش برنامه‌ریزی تصادفی با دیگر مدل‌های برنامه‌ریزی 40
3-2 روش حل 41

فصل سوم شبیه سازی و نتایج

3-1 معرفی شبکه..... 43

3-2 شبیه‌سازی مدل عدم قطعیت انرژی باد، با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی..... 45

3-2-1 مقادیر برنامه‌ریزی شده تولید و مصرف..... 47

3-2-2 مقادیر اجرایی شده هر ژنراتور در زمان واقعی و سناریوی معین..... 48

3-2-3 مقادیر ریزش بار و قطع باد..... 51

3-3 بررسی تاثیر تعداد سناریوها بر نتایج شبیه‌سازی..... 52

3-3-1 مقایسه مقادیر برنامه‌ریزی شده تولید در دو حالت مختلف از تعداد سناریوها..... 53

3-3-1 مقایسه مقادیر اجرایی شده واحدهای تولیدی، بار مصرفی، ریزش بار و قطع باد در دو حالت مختلف از تعداد سناریوها..... 55

3-4 مقایسه بین ارزش برنامه‌ریزی با اطلاعات کامل و برنامه‌ریزی تصادفی 60

3-4-1 محاسبه پارامتر WS و ارزش برنامه ریزی باداشتن اطلاعات کامل (EVPI).....60

3-4-2 محاسبه پارامتر EEV و ارزش برنامه‌ریزی تصادفی.....61

3-5 شبیه‌سازی عدم قطعیت انرژی باد در بازار همزمان انرژی و ذخیره رزرو با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال سرعت باد.....62

3-5-1 منحنی توان برحسب سرعت توربین بادی.....63

3-5-2 محاسبه تابع توزیع احتمال توان از تابع توزیع احتمال سرعت.....68

3-5-3 برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره با استفاده از سناریوهای استخراج شده از تابع توزیع احتمال توان 71

3-6 بررسی تاثیر نحوه تشکیل سناریو از تابع توزیع احتمال توان به تابع توزیع احتمال سرعت بر روی نتایج. 74

3-6-1 مقایسه مقادیر برنامه‌ریزی شده تولید.....76

3-6-2 مقایسه تغییرات تولید و مصرف،ریزش بار و ریزش انرژی باد در سناریوهای یکسان از دوتابع توزیع احتمال توان و سرعت..... 77

فصل چهارم نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

4-1 نتیجه‌گیری 86

4-2 پیشنهادات..... 88

مراجع 89

فهرست اشکال

شکل(1-1) مدل بازار اشتراکی 7
شکل(1-2) تاثیر انرژی باد بر روی قیمتهای لحظه‌ای بازار در ساعات مختلف روز 8
شکل(2-1): تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی شده انرژی باد 31
شکل(2-2): گسسته سازی تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی شده انرژی باد 32
شکل(2-3): منحنی توان برحسب سرعت توربین بادی 34
شکل(2-4): نمایش واقعی از منحنی توان برحسب سرعت توربین بادی 35
شکل(3-1): سیستم سه باس 43
شکل(3-2): مقادیر پیش‌بینی شده انرژی باد 45
شکل(3-3): تابع توزیع احتمال خطا از مقدار پیش‌بینی شده انرژی باد 45
شکل(3-4): گسسته‌سازی تابع توزیع احتمال خطا 46
شکل(3-5): سناریوهای عدم قطعیت انرژی باد 47
شکل(3-6): میزان توان برنامه‌ریزی شده واحدهای تولیدی 48
شکل(3-7): تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 49
شکل(3-8): تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(2) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 49
شکل(3-9): تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 50
شکل(3-10): تغییرات مصرفی بار در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 50
شکل(3-11): حذف اجباری بار در سناریوهای مختلف از انرژی باد 51
شکل(3-12): مقادیر قطع انرژی باد در سناریوهای مختلف 51
شکل(3-13): تشکیل سه سناریو از تابع توزیع احتمال خطا 52
شکل(3-14): مقایسه بین مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در دو حالت مختلف از تعداد سناریوها 53
شکل(3-15): مقایسه بین مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(2) در دو حالت مختلف از تعداد سناریوها 54
شکل(3-16): مقایسه بین مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) در دو حالت مختلف از تعداد سناریوها 54
شکل(3-17): مقایسه بین مقادیرتولیدی ژنراتور (1) در خطای (0/2-) 55
شکل(3-18): مقایسه بین مقادیرتولیدی ژنراتور (1) در خطای (0) 55
شکل(3-19): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(1) در خطای (0/2) 56
شکل(3-20): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(2) درخطای(0/2-) 56
شکل(3-21): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(2) در خطای (0) 57
شکل(3-22): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(2) در خطای(0/2) 57
شکل(3-23): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(3) در خطای(0/2-) 57
شکل(3-24): مقایسه بین مقادیر تولیدی ژنراتور(3) در خطای(0) 58
شکل(3-25): مقایسه بین مقادیر مصرفی بار در خطای(0/2-) 58

شکل(3-26): مقایسه بین مقادیر مصرفی بار در خطای(0) 58
شکل(3-27): مقایسه بین مقادیر مصرفی بار در خطای(0/2) 58
شکل(3-28): مقایسه بین مقادیر قطع انرژی باد در خطای(0) 59
شکل(3-29): مقایسه بین مقادیر ریزش قطع انرژی باد در خطای(0/2) 59
شکل(3-30): منحنی تابع توزیع احتمال سرعت 62
شکل(3-31): منحنی توان برحسب سرعت توربین Shandong Swiss Electric –YZ113 63
شکل(3-32): مقایسه بین منحنیهای خطی،مرتبه2،مرتبه3 65
شکل(3-33): مقایسه بین منحنیهای مرتبه4، مرتبه5،مرتبه6 65
شکل(3-34): مقایسه بین منحنی مرتبه6 و توانی 66
شکل(3-35): مقایسه بین منحنی مرتبه6 و تقریبی مرتبه3 67
شکل(3-36): خطی سازی قسمت غیر خطی منحنی توان 67
شکل(3-37): تابع خطی توان برحسب سرعت توربین 68
شکل(3-38): تابع توزیع احتمال توان توربین 69
شکل(3-39): تابع توزیع تجمعی تابع احتمال توان توربین 70
شکل(3-40): مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتورها 71
شکل(3-41): تغییرات مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 71
شکل(3-42): تغییرات مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(2) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 72
شکل(3-43): تغییرات مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 72
شکل(3-44): تغییرات بار مصرفی در سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 73
شکل(3-45): مقدارحذف اجباری باردر سناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 73
شکل(3-46): قطع انرژی باد درسناریوهای مختلف از عدم قطعیت انرژی باد 74
شکل(3-47): تابع توزیع احتمال سرعت Log normal 75
شکل(3-48): سناریوسازی از تابع توزیع احتمال سرعت 75
شکل(3-49): مقایسه مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) 76
شکل(3-50): مقایسه مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(2) 77
شکل(3-51): مقایسه مقادیر برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) 77
شکل(3-52): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در سناریوهای (1)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 78
شکل(3-53): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در سناریوهای (4و6)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 78
شکل(3-54): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(1) در سناریوهای (5 و7)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول (3-17) 79

شکل(3-55): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(2) در سناریوهای (1)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 79
شکل(3-56): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) در سناریوهای (4 و6)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 79
شکل(3-57): مقایسه تغییرات توان برنامه‌ریزی شده ژنراتور(3) در سناریوهای (5 و7)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 80
شکل(3-58): مقایسه تغییرات بار مصرف شده در سناریوهای(1)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 80
شکل(3-59): مقایسه تغییرات بار مصرف شده در سناریوهای(4 و6)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 81
شکل(3-60): مقایسه تغییرات بار مصرف شده در سناریوهای(5 و7)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 81
شکل(3-61): مقایسه تغییرات حذف اجباری بار در سناریوهای(1)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 82
شکل(3-62): مقایسه تغییرات حذف اجباری بار در سناریوهای (4و6)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 82
شکل(3-63): مقایسه تغییرات حذف اجباری بار در سناریوهای (5و7)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 82
شکل(3-64): مقایسه تغییرات قطع انرژی باد در سناریوهای(4و6)، از توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 83
شکل(3-65): مقایسه تغییرات قطع انرژی باد در سناریوهای (5و7)، توابع توزیع احتمال سرعت و توان جدول(3-17) 83

فهرست جداول

جدول(3-1): مشخصات واحدهای تولیدی 43
جدول(3-2): مشخصات بار مصرفی در بازه زمانی 24 ساعته 44
جدول (3-3): مشخصات هزینه بار مصرفی در بازه زمانی 24 ساعته 44
جدول(3-4): سناریوهای عدم قطعیت انرژی باد 46
جدول(3-5): سناریوهای عدم قطعیت انرژی باد 52
جدول(3-6): مقایسه بین هزینه تابع هدف سیستم و زمان شبیه سازی در دو حالت مختلف از تعداد سناریو 59
جدول(3-7): محاسبه تابع هدف به ازای رخ داد هر سناریو به صورت قطعی 60
جدول(3-8): سناریو رخ داده شده در هر بازه زمانی 61
جدول(3-9): مقادیر برنامه ریزی شده تولید مطابق با سناریو جدول(3-8) 61
جدول(3-10): اطلاعات توربین Shandong Swiss Electric –YZ113 63
جدول(3-11)توان برحسب سرعت توربینShandong Swiss Electric –YZ113 63
جدول(3-12): توابع محاسبه شده برای بازه [2-11] منحنی توان بر حسب سرعت توربین Shandong Swiss Electric –YZ113 64
جدول(3-13): پارامترهای برازندگی 66
جدول(3-14): سناریوهای استخراج شده از تابع توزیع احتمال توان 70
جدول(3-15): مقادیر سناریوهای تابع توزیع احتمال سرعت باد 75
جدول(3-16): مقادیر توان محاسبه شده از سناریوهای سرعت باد 75
جدول(3-17): مقادیر احتمال از دو تابع توزیع احتمال متفاوت، سرعت و توان توربین بادی 76
جدول(3-18): مقایسه زمان شبیه‌سازی و هزینه تابع هدف سیستم، درحالتی که سناریوهای عدم قطعیت انرژی باد از تابع توزیع احتمال توان استخراج شده باشند یا از تابع توزیع احتمال سرعت 84

فصل اول

مقدمه

1-1 تجدید ساختار و بازار برق

صنعت برق یکی از صنایع زیر بنایی در کلیه‌ی کشورهاست و از تاثیر گذارترین صنایع، بر رشد، شکوفایی، رفاه اجتماعی و رضایت عمومی شناخته شده است. اگر چه تولید برق تمایز زیادی با دیگر کالاهای اقتصادی ندارد، اما از دیدگاه اجتماعی در طی سالیان طولانی به برق و تامین آن از دید خدمات عمومی و نه یک کالای اقتصادی، توجه شده است. وابسته بودن بخش‌های مختلف صنعت برق شامل تولید، انتقال و توزیع به یکدیگر از طرفی و نیاز به سرمایه گذاری سنگین بخش‌های مختلف این صنعت از سوی دیگر و در نهایت انتظار جوامع از دولت‌ها مبنی بر وظیفه تامین برق در جایگاه خدمات عمومی در سال‌های گذشته، سبب گردید که این صنعت به صورت یکپارچه و با سرمایه گذاری دولتی و یا با سرمایه گذاری خصوصی ولی با سود تضمین شده پایه گذاری شود.

در چنین ساختاری چنانچه سخت افزار این صنعت به صورت بهینه طراحی شده باشد و از آن در شرایط بهینه بهره‌برداری گردد، به بیشینه شدن رضایت عمومی خواهد انجامید. با این حال تجربه بیش از صد سال پایه گذاری این صنعت در جوامع مختلف نشان می‌دهد که حتی با وجود سیستم‌های نظارتی و تنظیم کننده، اهداف اقتصادی و اجتماعی به صورت بهینه و توامان حاصل نشده است. حاصل این تجربیات سبب نگرش جدید به ساختار این صنعت گردیده است، به طوریکه سال‌های پایانی دهه 90 میلادی به بعد را می‌توان سال‌های بازنگری جدی در ساختار این صنعت در جهان دانست.

تجدید ساختار به تغییر قوانین و اعمال تشویق‌های اقتصادی دولت‌ها برای کنترل و رشد فزاینده صنعت برق اطلاق می‌گردد. این امر که خصوصی سازی صنعت برق را در بخش‌های تولید و فروش در پی دارد، از اواخر قرن بیستم در کشورهای متعدد، به شیوه‌های مختلف اجرا شده و صنعت برق و مسائل مرتبط با آن را با تحولات اساسی مواجه نموده است. از منظر دیگر تغییر و تحول در صنعت برق مستلزم دو جنبه متفاوت است که به همدیگر مربوط هستند: اولی تجدید ساختار و دیگری خصوصی سازی. تجدید ساختار به تغییرات در ساختار اشاره دارد. در این شیوه از اصلاحات، روش‌های تجاری برای فروش انرژی به گونه‌ای متحول می‌شود که شاهد جدا سازی ساختارهای ادغام شده صنعت و معرفی رقابت و حق انتخاب خواهیم بود.اما خصوصی سازی به تغییر مالکیت از دولتی به مالکیت خصوصی اطلاق شده و نقطه نهایی طیف وسیعی از تغییرات در مالکیت و مدیریت می‌باشد[1].

1-1-1 عناصر موجود در بازار برق

ایجاد تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت، ساختارهای قدیمی را که به صورت یکپارچه بودند تغییر داده و عناصر جدیدی با امکان عملکرد مستقل ایجاد کرده است. به صورت کلی هر سیستم یک راهبر کلی دارد که به آن اپراتور مستقل سیستم[1] می‌گویند. عناصر دیگر بازار شامل شرکت‌های تولیدی[2]، شرکت‌های انتقال[3]، شرکت‌های توزیع [4]و خرده فروش‌ها [5]می‌باشند که در زیر اختصار به توضیح آنها پرداخته شده است[2].

1-1-1-1 اپراتور مستقل سیستم

به عنوان یک تعریف کلی برای ISO می‌توان گفت، برای اطمینان از دستیابی آزاد و بدون تبعیض به سیستم‌های انتقال و خدمات انتقال و نیز اطمینان از بهره‌برداری ایمن و کارا از سیستم‌های قدرت تجدیدساختار شده وجود نهادی مستقل به نام ISO، یکی از ساز و کارهای خوب تلقی می‌گردد.
همانطور که از تعریف فوق بر می‌آید، ISO یا بهره بردار مستقل شبکه دارای مسئولیت مهمی است. به عنوان مثال این نهاد در قبال تهیه اطلاعات صحیح از وضعیت شبکه از قبیل محاسبه قابلیت انتقال توان خطوط انتقال و قرار دادن آن‌ها بر روی شبکه‌های کامپیوتری به نحوی که در دسترس همه شرکت کنندگان قرار گیرد، مسئول می‌باشد. علاوه بر آن مسئولیت خطیر بهره‌برداری از شبکه‌های قدرت به نحوی که امنیت و پایداری سیستم در زمان واقعی اجرای قراردادها حفظ شود، بر عهده این نهاد است. بنابراین لازم است تا تمامی امکانات لازم را جهت اداره سیستم در اختیار داشته باشد. به عنوان مثال باید راهکارهایی در جهت اصلاح و تنظیم مجدد برخی قراردادها ارائه دهد و یا مجبور خواهد بود با مدیریتی صحیح، کلیه خدمات و سرویس‌های جانبی را برای کارایی هرچه بیشترسیستم تحت نظارت خود تهیه ببیند[2].
به طور کلی دو وظیفه اصلی برای ISO منظور شده است که جزئیات این وظایف برای هر ISO متفاوت است. این دو وظیفه عبارتند از:
1-راهبری سیستم [5]، که وظیفه اصلی کلیه ISO هاست.
2-مدیریت بازار[6]،که وظیفه اختیاری ISO هاست و در برخی کشورها این وظیفه به نهادی دیگر واگذار می‌شود.

1-Independet System Operator (ISO)
2-Generation Company(GENCO)
3-Transmission company (TRANCO)
4-Disttribution company(DISTCO)
5-Retailers
6- System Operation
7-Market Administrator

وظایف راهبری سیستم و مدیریت بازار برای ISO بستگی به سیاست‌های تجدید ساختار هر کشور دارد، اما از دیدگاهی کلی این وظایف به چهار گروه عمده تقسیم می‌شود:

الف) بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت

ب) پیش‌بینی و برنامه‌ریزی توسعه تسهیلات انتقال

ج) پیش‌بینی و تامین خدمات جانبی

د) اداره بازار انرژی

2-1-1-1 سایر عناصر موجود در بازار برق

شرکت‌های تولیدی (GENCO):

شرکتهای تولیدی، واحدهای تولیدی را بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری می‌کند. در واقع GENCO از زمانی که تولید توان از شرکت‌های موجود تفکیک شد، ایجاد شدند. یک GENCO ممکن است خود مالک واحد تولیدی بوده یا از طرف مالکین واحدها با بازار تماس داشته باشد. همچنین GENCO امکان فروش برق به عناصری که با آن‌ها در خصوص فروش برق مذاکره شده است، را به عهده دارند. در بازار تجدید ساختار شده، هدف GENCO حداکثر سازی سود تولید توان است. بدین منظور GENCO ممکن است در هر نوع بازاری از قبیل بازار انرژی و خدمات جانبی شرکت کرده و هر نوع عملی را انجام دهند[2].

شرکت‌های انتقال(TRANSCO):

حیاتی‌ترین عنصر در بازارهای برق سیستم انتقال است. بهره‌برداری موثر و ایمن از سیستم انتقال کلید بازدهی بازارهای فوق است. یک TRANSCO، برق را با استفاده از ولتاژ فشار قوی به صورت یک سیستم عمده انتقال، به مشتریان تحویل می‌دهد. این سیستم از شبکه به هم پیوسته‌ای که همه شرکت کنندگان در آن سهیم بوده و ارتباطات شعاعی که واحدهای تولید بزرگ و مشتریان عمده به آن متصل هستند تشکیل شده است. استفاده از امکانات TRANSCO تحت کنترل ISO منطقه‌ای است . هر چند که مالکیت، متعلق به مالکین اولیه در ساختار یکپارچه عمودی است.

در یک ناحیه جغرافیایی مشخص، به منظور تامین خدمات لازم برای حفظ قابلیت اطمینان کلی سیستم، یک TRANSCO نقش ساخت، مالکیت، تعمیر و نگهداری و بهره برداری از سیستم انتقال را بر عهده دارد. در واقع TRANSCO انتقال عمده برق را به عهده داشته، امکان دسترسی باز را فراهم نموده و هیچ گونه مالکیت و وابستگی با دیگر شرکت کنندگان بازار ندارند. مقامات در سطح کشوری یا استانی مقررات TRANSCO ها را تعیین کرده و نحوه‌ی بازیافت هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره‌برداری

از امکانات انتقال را با تعیین بهای دسترسی، هزینه‌های استفاده از سیستم انتقال و درآمدهای مربوط به تراکم که توسط ISO جمع آوری می‌شود، مشخص می‌کنند[2].

شرکت‌های توزیع (DISTCO) :

مالکیت و بهره برداری شبکه توزیع را برعهده دارند. در محیط سنتی،آنها دارای انحصار فروش انرژی الکتریکی به تمامی مصرف کنندگان متصل به شبکه خود هستند. در یک محیط به طور کامل تجدید ساختار یافته یا مقررات‌زدایی شده، فروش انرژی به مصرف کنندگان، از بهره برداری، نگهداری و توسعه شبکه توزیع جدا می‌شود.در این صورت خرده فروش‌ها برای ایفای فعالیت فروش انرژی به رقابت می-پردازند. این خرده فروش‌ها ممکن است خود یک شرکت تابع از شرکت‌های توزیع محلی باشند[2].

خرده فروش‌ها

انرژی الکتریکی را در بازار عمده فروشی خریداری کرده و آن را دوباره به مصرف کنندگانی که تمایل به شرکت در این بازار عمده فروشی را ندارند و یا مجاز به شرکت در آن نیستند، می‌فروشند.خرده فروش‌ها مجاز به تملک هیچ یک از ادوات و تجهیزات تولید توان، انتقال یا توزیع نیستند. بعضی از خرده فروش-ها، شرکت‌های تابع شرکت‌های تولید یا توزیع اند. هیچ کدام از مشتریان یک خرده فروش، مجاز به اتصال به شبکه شرکت توزیعی نیستند[2].

2-1-1 مدل‌های بازار برق

به منظور رسیدن به اهداف بازار چندین مدل برای بازار در نظر گرفته شده است که 3 مدل اساسی آن به شرح زیر است:

1-2-1-1 مدل قراردادهای دوطرفه[1]

این مدل به خریداران و تولیدکنندگان اجازه عقد قراردادهای مستقیم بدون آنکه وارد بازار گردند، را می‌دهد .با پایه گذاری دسترسی بدون تبعیض و تنظیم قوانین قیمت گذاری برای سیستم‌های انتقال و توزیع، فروش مستقیم برق امکان پذیر است. تأمین کنندگان عمده برق، مبالغ هزینه‌های انتقال را به شرکت انتقال می‌پردازند تا امکان دسترسی به شبکه انتقال را پیدا کنند و مبالغ مشابهی را به شرکت توزیع می‌دهند تا بتوانند به شبکه توزیع محلی نیز متصل گردند. در این مدل، ممکن است یک شرکت توزیع به صورت یک هماهنگ کننده برای تعداد زیادی

1- Bilateral Contracts Model

مشتری خرده پا عمل نمایند تا اینکه برق مورد نیاز آنها را به صورت دراز مدت تـأمین کنـد. همچنـین بخـش تولیـد شرکت برق انحصاری، ممکن است به صورت یک شرکت تولیدکننده و یا تعدادی شرکت تولیدی مستقل از هم عمل نماید. سیستم انتقال نیز به عنوان یک منتقل کننده به مؤسسه‌هایی که قراردادی را منعقد نموده‌انـد، سـرویس مـی-دهد. هر دو مؤسسه که با همدیگر قرارداد بسته‌اند، روی مفاد قرارداد همچون قیمت، مقدار و مکا نها توافق می‌نمایند و تولیدکنندگان برق، ISO را در خصوص نحوه تولیدهای ساعتی شان مطلع می‌سازند. بدین ترتیـب ISO مطمـئن خواهد شد که منابع کافی جهت تامین نمودن تبادلات و نیز حفظ قابلیت اعتماد سیستم موجود است[2].

1-1-2-2 مدل بازار اشتراکی[1]

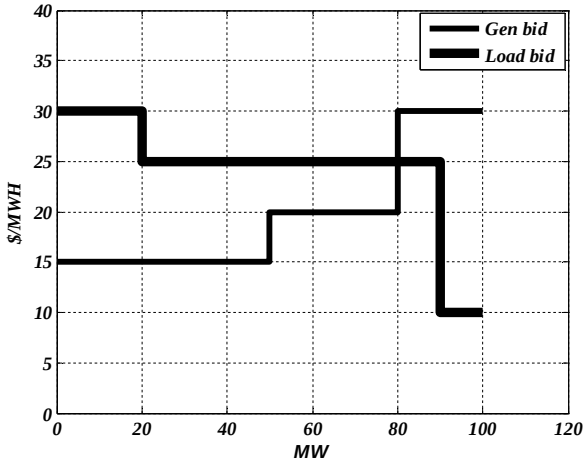
در معاملات دو جانبـه، تعـادل بـازار بعـد از تعامـل مکـرر مصـرف کننـدگان و تولیـد کننـدگان حاصـل مـی‌شـود، امـا در مـدل بـازار اشـتراکی تعیـین نقطـه تعـادل بـه روشـی هدفمنـد فـراهم مـی شـود. بـا وجـود روش‌هـای متعدد، اساس کار یک مدل بازار اشتراکی(حوضچه‌ای)به ترتیب زیر است:

شـرکت‌هـای تولیـدی پیشـنهاد فـروش خـود را بـرای مقـدار معینـی انـرژی الکتریکـی و بـا قیمـت مشـخص در بازه مورد نظر ارائه می‌دهند. این پیشـنهادها بـه ترتیـب افـزایش قیمـت مـنظم مـی‌گردنـد. بـه ایـن ترتیـب، یـک منحنی استخراج مـی‌گـردد کـه قیمـت پیشـنهادی بـازیگران را بـر حسـب مقـدار تجمعـی پیشـنهاد، نشـان مـی-دهد. این منحنی به عنوان منحنی عرضه بازار، در نظر گرفته می‌شود.

به طـور مشـابه، منحنـی تقاضـای بـازار، بـر مبنـای پیشـنهاد خریـد (شـامل مقـدار و قیمـت) مصـرف کننـدگان، تشـکیل مـی‌شـود. پیشـنهادهای دریـافتی بـه ترتیـب کـاهش قیمـت مرتـب گردیـده و منحنـی تقاضـا اسـتخراج می‌گردد. امـا از آنجـا کـه تقاضـای بـرق، انعطـاف پـذیری بسـیاری کمـی نسـبت بـه قیمـت دارد،غالبـا ایـن قـدم حذف می‌شود و تقاضا در مقداری کـه پـیش‌بینـی بـار معـین مـی‌کنـد،ثابت قـرار داده مـی‌شـود. بـه بیـان دیگـر، منحنی تقاضا خطی عمودی در مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد.

محل برخورد این منحنی‌های تقاضا و تولید، بیانگر تعادل بازار است. همه پیشنهادهای فروشی که قیمت مساوی یـا کمتر از قیمت تسویه بازار دارند، پذیرفته می شوند و مولدها بر اساس پیشنهاد پذیرفته شده اقدام به تولیـد در بـازه مذکور می‌نمایند. به طور مشابه، همه پیشنهادهای خریدی که قیمت آنها مساوی یـا بیشـتر از قیمـت تسـویه بـازار باشد، پذیرفته می‌شوند و مقدار انرژی مجاز برای برداشت از سیستم، به مصرف کنندگان اطلاع داده می‌شود[2].

1-Pool contract model



شکل(1-1): مدل بازار اشتراکی

3-1-1 انواع بازارهای رقابتی

بر اساس نوع کالای مبادله شده بازار را می‌توان به بازار انرژی[1]، خدمات جانبی[2] و بازار انتقال[3] تقسیم بندی کرد و همچنین در تقسیم بندی دیگر بر اساس زمان اجرایی، بازار را می‌توان به بازار روز و ساعت پیش رو[4] و زمان واقعی[5] تقسیم کرد. در زیر به بررسی انواع بازارهای رقابتی پرداخته شده است[2].

1-3-1-1 بازار انرژی

بازار انرژی جایی هست که رقابت بر سر مبادله‌ی برق میان شرکت کنندگان در بازار اتفاق می‌افتد. بازار انرژی یک مکانسیم متمرکز شده است که مبادلات انرژی میان فروشنده و خریدار را تسهیل می‌کند.
در بازار انرژی، ISO یک ساختار مستقل را دارا است که وظیفه تعیین قیمت و میزان تبادل انرژی را بر عهده دارد و بدین منظور از دو روش زیر استفاده می کند :

MINISO MODEL: در این ساختارISO به کمک ساختار مدل بازار اشتراکی، میزان تبادلات انرژی و قیمت تسویه بازار را مشخص می‌کند.
MAXISO MODEL: در این مدل، شرکت کنندگان بازار بایستی اطلاعات بیشتری را برای ISO ارسال کنند. برای مثال برای تولید کنندگان، پیشنهاد قیمت تولید انرژی، هزینه راه اندازی، شیب افزایش، حداکثر و حداقل زمان کارکرد و برای مصرف کنندگان ارزش بار از دست رفته.

1- Energy market
2-Ancillary services
3-Transmission market
4- Day-ahead & Hour ahead
5-Real time

بهره‌بردار مستقل سیستم با استفاده از این اطلاعات برنامه پخش بار اقتصادی را به هدف ماکزیمم کردن سطح رفاه اجتماعی (هزینه تولید – هزینه‌ی پرداخت شده از سمت تقاضا) اجرا می‌کند، و هزینه‌های مربوط به تراکم خط را از طریق ضریب متناظر با قید محدودیت انتقال توان هر خط و همچنین قیمت تسویه انرژی بازار را نیز از طریق ضریب متناظر با قید تعادل توان و تقاضا محاسبه می‌کند[2].

2-3-1-1 بازار خدمات جانبی

به مجموعه‌ای از سرویس‌ها که در جنب سرویس اصلی یعنی تأمین توان مورد نیاز مشترکین باید فراهم شود و هدف آن حفظ قابلیت اطمینان سیستم است سرویس‌های جانبی گفته می‌شود.
سرویس‌های جانبی که توسط FERC[1] ارائه شده است به شرح زیر می‌باشند:

1- تامین توان راکتیو وکنترل ولتاژ [2] : جایی که تولید کنندگان به حفظ ولتاژ خط در شرایط استاندارد کمک می‌کنند .
2- تنظیم فرکانسی [3]: به منظور تعقیب لحظه به لحظه تغییرات فرکانس 60 هرتز تعبیه شده‌اند
3- متعادل کننده انرژی [4]: برای تصحیح ساعتی عدم تطابق بین انرژی مبادله شده بین شرکت کنندگان ارائه می‌شود
4- رزرو عملیاتی[5]: جایی که ذخیره‌های چرخان [6] و غیر چرخان [7] به عنوان یک انرژی اضافی برای تامین بار در مواردی که حوادث غیر طراحی شده (همچون خروج ژنراتورها) به سیستم متحمل می‌شود،تعریف می‌شوند.

ذخیره‌های چرخان : بایستی on-line عمل کنند و در تامین بار فورا وارد عمل گردند
ذخیره‌های غیر چرخان: تولیداتی که برای شرایط اضطراری طراحی شده است که بلافاصله قابل دسترسی نیستند اما بایستی به طور معمول در عرض ده دقیقه استارت بخورند.

انواع مختلف سرویس‌های جانبی در بازار به دو صورت پی در پی [8] و همزمان [9] تسویه می‌شوند. در شیوه پی در پی، بازار به ترتیب سرویس خدمات جانبی را از بالاترین سطح کیفیت به پایین‌ترین سطح تسویه می‌کند. برای مثال فرض کنید 4 نوع سرویس خدمات جانبی برای برای ذخیره وجود دارد که به ترتیب بالاترین سطح کیفیت به پایین‌ترین سطح کیفیت عبارتند از: تنظیم، ذخیره چرخان، ذخیره ی غیر چرخان و ذخیره جایگزین[10].

1- Federal Energy Regulatory Commission
2- Reactive supply and voltage control
3- Regulation and frequency response
4- Energy imbalance
5- Operating Reserves
6- Spinning Reserve
7- Non Spinning Reserve
8-Sequentially
9- Simultaneously
10- Replacement Reserve

بـازار نخسـت بـرای ذخیـره تنظـیم و سـپس بـرای چرخـان و در نهایـت بـرای ذخیـره‌هـای غیرچرخـان و جـایگزین تسـویه مـی‌شـود. همچنـین در دوره جدیـد شـرکت کننـدگان در بـازار ذخیـره، منـابع ذخیـره‌ای کـه مورد استفاده قرار نگرفته‌اند می‌تواننـد تحـت ذخیـره قیمـت جدیـد دوبـاره بـه بـازار پیشـنهاد دهنـد. بـرای مثـال اگر یک شـرکت کننـده در پیشـنهاد ذخیـره بـه عنـوان ذخیـره تنظـیم موفـق نشـده اسـت در دوره جدیـد مـی-تواند این ذخیره را تحت ذخیره چرخان ارائه دهد.

در روش همزمـان شـرکت کننـدگان بایسـتی همـه پیشـنهادات خـود را بـرای انـواع خـدمات جـانبی بـه طـور همزمان به ISO ارسال کننـد وISO نیـز بـا حـل پخـش بـار بهینـه و مسـائل بهینـه‌سـازی مقـدار بهینـه هرکـدام از ذخیره‌ها را مشخص می‌کند. در اکثر مقاله‌ها از نوع همزمانی انواع ذخیره‌ها استفاده گشته است[2].

1-1-3-3 بازار انتقال

در یک بازار تجدید ساختار یافته، شبکه انتقال مکانی برای رقابت میان تولید کنندگان برای تامین مصرف کننـدگان بزرگ و شرکت‌های توزیع می‌باشد. کالای مورد مبادله در بازار انتقال حق انتقال[1]می‌باشد که این حق ممکـن اسـت مربوط به حق انتقال قدرت، یا تزریق قدرت به شبکه و یا حق استخراج از آن باشد. اهمیت حـق انتقـال زمـانی کـه تراکم در شبکه رخ می‌دهد بیشتر قابل مشاهده می‌باشد.

حراج حق انتقال به یک حراج مرکزی که محل دریافت پیشنهاد شرکت کنندگان است ارائـه مـی‌گـردد. ایـن حـراج توسط ISO یا نهادی که توسط ISO مشخص می‌شود اداره می‌گردد و هدف آن مشخص کردن پیشنهاداتی است که در محدودیت‌های خط انتقال قرار می‌گیرد و ماکزیمم در آمد را برای شبکه انتقال به همراه دارد.

یک خریدار حق انتقال، اطلاعاتی همچون ماکزیمم مقدار حق انتقال خریـداری، قیمـت خریـداری و نقـاط تزریـق و استخراج را بایستی بداند. همچنین یک فروشنده حق انتقال نیز بایسـتی اطلاعـاتی همچـون مـاکزیمم مقـدار حـق انتقال فروشی، قیمت و نقاط تزریق و استخراج را بداند[2].

1-1-3-4 بازار پیش رو

در بیشتر بازارها، یک بازار روز قبل برای برنامه‌ریزی و مشخص کردن معاملات هر ساعت از روز بعد انجام مـی‌دهنـد که به آن بازار پیش‌رو می‌گویند. همچنین برای جبران انحرافات از بازار روز قبـل یـک سـاعت قبـل از زمـان واقعـی شدن برنامه‌ریزی‌ها،بازاری صورت می‌گیرد که به آن بازار ساعت پیش رو می‌گویند[2].

1- Transmission Right