بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعت آب وبرق (شهید عباسپور)
دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت
گرایش تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت

عنوان:

برنامه‌ریزی عملیاتی بازار همزمان انرژی الکتریکی و توان راکتیو

تحقیق و تدوین:
حسین فلاحی

استاد راهنما:
دکتر محمد صادق قاضی‌زاده

استاد مشاور:
دکتر آرش احسانی

دی ماه 1388

این پایان‌نامه تحت عنوان: برنامه‌ریزی عملیاتی بازار همزمان انرژی الکتریکی و توان راکتیو

در تاریخ 88/10/26 توسط هیئت داوران متشکل از آقایان:

1- جناب آقای دکتر محمد صادق قاضی زاده (استاد محترم راهنما) امضاء

2- جناب آقای دکتر آرش احسانی (استاد محترم مشاور) امضاء

3- جناب آقای دکتر محمداحمدیان (استاد محترم داور) امضاء

4- جناب آقای دکتر اشکان رحیمی کیان (استاد محترم مدعو) امضاء

5- جناب آقای دکتر مؤمن بهادر نژاد (نماینده محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده برق) امضاء

مورد بررسی قرار گرفت. نمره در جلسه دفاعیه 18/5 می‌باشد ولی نمره نهایی براساس ضوابط تاخیر دفاع پایان‌نامه و تشویق بخاطر انتشار مقالات محاسبه و در کارنامه درج خواهد شد.

احمد سالم‌نیا

رئیس دانشکده مهندسی برق

تشکر و قدردانی

پس از حمد و سپاس پروردگار یکتا بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ و بی شائبه اساتید گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد صادق قاضی زاده و جناب آقای دکتر آرش احسانی که در طول تحصیل و انجام این پروژه همواره اینجانب را دلسوزانه راهنمایی کردند و کاستی ها و کمبودهای بنده را با صبر تحمل کوشزد نمودند صمیمانه تشکر و قدر دانی کرده و آرزوی موفقیت و کامیابی در تمامی مراحل زندگی شان را دارم.

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حسین فلاحی تائید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین تر و بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.

حسین فلاحی

تقدیم به:

پدر مهربانم

که استقامت در برابر ناملایمات زندگی را به من آموخت.

و

مادر فداکارم

که دعای خیراش همواره بدرقه راهم بوده و هست.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه 0
1-1. مقدمه 0
2-1. انگیزه‌های تجدید ساختار در صنعت برق 0
1-2-1. محرک‌های فنی 2
2-2-1. محرک‌های اقتصادی 3
3-1. گزینه‌های ممکن برای تجارت انرژی الکتریکی 4
1-3-1 مدل بازار اشتراکی توان 4
2-3-1. مدل قراردادهای دوطرفه 9
3-3-1. مدل ترکیبی 10
4-1. خدمات جانبی در سیستم‌های قدرت 11
1-4-1. خدمات مورد نیاز در زمان بهره برداری عادی از شبکه 11
2-4-1. خدمات مورد نیاز برای حفظ پایداری شبکه 12
3-4-1. خدمات مورد نیاز برای راه اندازی شبکه 12
5-1. اهداف و ضرورت انجام پروژه 12
6-1. روند کلی انجام پروژه 13
فصل دوم: توان راکتیو بعنوان سرویس جانبی 13
1-2مقدمه 15
2-2. منابع تأمین تون راکتیو 15
1-2-2. ژنراتورهای سنکرون 16
2-2-2 کندانسورهای سنکرون 18
3-1-2.خازن های شنت 19
4-2-2. راکتورهای شنت 20
5-2-2 خازنهای سری: 20
6-2-2. سیستم های انتقال انعطاف پذیر : 20
1-6-2-2.جبران کننده های توان راکتیو استاتیک 20
2-6-1-2.جبران کننده‌های سنکرون استاتیک (STATCOM) 21
7-1-2. خطوط انتقال 21
8-2-2 ترانسفورماتورها: 22
3-2. مدیریت توان راکتیو در بازارهای مقررات زدایی شده 23
4-2. مروری بر مدیریت و قیمت‌گذاری توان راکتیو: 25
5-2. مروری بر فراهم آوری توان راکتیو 28

فصل سوم: پخش بار بهینه و روشهای بهینه سازی.....31
3-1. مقدمه 31
3-2. مدل پخش بار بهینه.....32
3-3. دسته‌بندی مسائل بهینه‌سازی 33
3-4. تعریف انواع مسایل بهینه‌سازی 33
3-4-1. مسأله برنامه ریزی خطی 33
3-4-2. مسأله برنامه ریزی درجه دوم 34
3-4-3. مسأله برنامه ریزی غیرخطی 34
3-5. روش های حل ریاضی مسأله 34
3-5-1.مسأله بهینه سازی بدون قید.....34
3-5-2. حل مسأله بهینه سازی همراه با محدودیت 35
3-5-3.روش تناوبی برای برنامه ریزی درجه دوم 36
3-5-4. روش برنامه ریزی خطی به صورت تناوبی 37
3-6. نرم افزارGAMS -ابزارهای بهینه سازی CONOPT و MINOS و DICOPT 37
فصل چهارم: برنامه ریزی عملیاتی بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو.....40
4-1.مقدمه 40
4-2. ساختار بازار توان اکتیو 40
4-2-1.مدل بازار 40
4-2-1. ساختار تسویه بازار انرژی 41
4-3.ساختار بازار توان راکتیو.....41
4-3-1. توان راکتیو عرضه شده توسط ژنراتور.....41
4-3-2 ساختار پیشنهاد توان راکتیو 42
4-3-3. هزینه فرصت از دست رفته 43
4-3-4.ناحیه بندی بازارهای محلی توان راکتیو 43
4-3-4-1.مفهوم فاصله الکتریکی: 44
3-4-3-2. تعیین ناحیه مطابق فاصله الکتریکی.....45
4-5-پایداری ولتاژ 45
4-5-1. شاخص حاشیه پایداری ولتاژ 46
4-6. در مدار قرارگرفتن واحدها 46
4-7. فرمول‌بندی ریاضی مدل پیشنهادی 48
4-7-1. قیود در نظرگرفته شده.....50
4-7-1-1.قیود بهره‌برداری از بازار توان راکتیو 50
4-7-1-2. قیود تعیین قیمت تسویه بازارهای محلی توان راکتیو 51
4-7-1-3.قیود پخش بار 51

4-1-7-4. قیود امنیتی 52
4-1-7-5. قیود در مدار قرار دادن واحدها 52
4-8. فرمول بندی ریاضی بازار مجزای توان اکتیو و راکتیو 55
فصل پنجم: شبیه سازی بازار پیشنهادی 57
5-1. مقدمه 57
5-2.سیستم مورد مطالعه 57
5-3. ناحیه بندی شبکه برای تعیین بازارهای محلی توان راکتیو 60
5-4.ارائه پیشنهاد های قیمت برای توان اکتیو و راکتیو از سوی تولیدکنندگان 61
5-5.تسویه و دیسپاچ همزمان توان راکتیو و اکتیو 63
5-5-1. بازار توأم (همزمان) انرژی و توان راکتیو (با فرض عدم پرداخت LOC) 63
5-5-2. بازار توأم (همزمان) انرژی و توان راکتیو (با فرض پرداخت LOC) 69
5-5-3. بازار مجزای انرژی و توان راکتیو 80
5-6.اعتبار سنجی مدل بازار پیشنهادی 82
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات 83
مراجع 86
پیوست (الف) 97
پیوست (ب) 104

فهرست شکل ها

شکل 1-1.یکپارچگی مدیریت در سیستم‌های قدرت ساختار عمودی..... 2
شکل 1-2. دسترسی آزاد به شبکه انتقال درسیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده..... 4
شکل 1 -3. پیشنهاد قیمت تولید و مصرف در بازار انرژی الکتریکی..... 5
شکل 1-4. قطع منحنی عرضه و تقاضا و تعیین قیمت تعادلی بازار..... 6
شکل 1-5. عملکرد مدل بازار مناقصه‌ای ساده برای خرید و فروش الکتریسیته.(Min ISO) 7
شکل 1-6. عملکرد مدل بازار SCUC برای خرید و فروش الکتریسیته.(Max ISO)..... 8
شکل 1-7.وضعیت بازار الکتریسیته کشورهای مختلف نسبت به بازار رقابتی غیرمتمرکز..... 10
شکل 2-1. طرحی از یک ژنراتور دو قطب..... 17
شکل 2-2. منحنی قابلیت ژنراتور سنکرون..... 18
شکل 2-3: نمای از یک کندانسور سنکرون با ظرفیت10 Mvar..... 19
شکل2-4: مدل p خط انتقال..... 22
شکل 2-4. هزینه تأمین توان راکتیو از ژنراتور سنکرون... 27
شکل 3-1. فلوچارت حل مسایل بهینه سازی به روشSQP 37
شکل4-1. منحنی قابلیت ژنراتور سنکرون..... 42
شکل 4-2. نمونه‌ای از منحنی P-V در شبکه‌های قدرت..... 47
شکل5-1. شبکه 24 شینه RTS..... 58
شکل 5-2. منحنی بار توان اکتیو24 ساعته شبکه RTS..... 59
شکل 5-3. منحنی بار توان راکتیو24 ساعته شبکهRTS..... 59
شکل 5-4. مجموع تولید توان اکتیو ژنراتورها در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیصLOC 64
شکل 5-5. مجموع تولید توان راکتیو ژنراتورها در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص.LOC..... 64
شکل 5-6. مجموع تلفات توان اکتیو شبکه در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 65
شکل 5-7. مجموع تلفات توان راکتیو شبکه در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 65
شکل 5-8. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 1 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 66
شکل 5-9. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 2 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 66
شکل 5-10. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 3 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 66
شکل5-11. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 1 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 67
شکل 5-12. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 2 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 67
شکل 5-13. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 3 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 67
شکل 5-14. مجموع پرداختی بابت تولید توان اکتیو در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیص LOC..... 68
شکل 5-15. مجموع پرداختی بابت تولید توان راکتیو در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو بدون تخصیصLOC..... 69
شکل 5-16.. مجموع تولید توان اکتیو ژنراتورها در هر ساعت در بازار فقط انرژی..... 71
شکل 5-17. مجموع پرداختی بابت تولید توان اکتیو در هر ساعت در بازار فقط انرژی با تخصیصLOC 71
شکل 5-18. مجموع تلفات توان اکتیو شبکه در هر ساعت در بازار فقط انرژی با تخصیص LOC..... 72
شکل 5-19. مجموع تولید توان اکتیو ژنراتورها در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 73
شکل 5-20. مجموع تولید توان ر اکتیو ژنراتورها در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 73
شکل 5-21. مجموع تلفات توان اکتیو شبکه در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 73
شکل 5-22. مجموع تلفات توان راکتیو شبکه در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 74
شکل 5-23. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 1 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 74

شکل 5-24. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 2 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....74
شکل 5-25. قیمت تسویه آمادگی تزریق ناحیه 3 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....75
شکل 5-26. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 1 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....75
شکل 5-27. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 2 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....75
شکل 5-28. قیمت تسویه تزریق توان راکتیو ناحیه 3 در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....76
شکل 5-29. مجموع پرداختی بابت تولید توان اکتیو در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....76
شکل 5-30. مجموع پرداختی بابت تولید توان اکتیو در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC.....77
شکل 5-31. مجموع پرداختی بابت هزینه فرصت از دست رفته در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با تخصیص LOC..... 77
شکل 5-32.مجموع پرداختی بابت تامین توان راکتیو در هر ساعت در بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو با لحاظ VSM و LOC.....79
شکل 5-33. هزینه تغییرات توان اکتیو در بازار مجزای توان اکتیو و راکتیوبا در نظرگرفتن LOC وVSM..... 81

فهرست جداول

جدول 2-1. عمده ادوات تأمین توان راکتیو.....16
جدول5-1. ناحیه بندی فواصل هر یک از شین‌های کنترل ولتاژ از بقیه شین ها.....60
جدول 5-2. ناحیه بندی بازارهای محلی توان راکتیو.....61
جدول 5-3. پیشنهاد قیمت برای تولید توان اکتیو و عرضه توان راکتیو.....62
جدول5-4. میزان کل توان اکتیو و راکتیو سیستم در بازار همزمان بدون تخصیص هزینه فرصت از دست رفته.....69
جدول 5-5. نتیجه نهایی تسویه بازار همزمان توان اکتیو و را کتیو بدون تخصیص هزینه فرصت از دست رفته.....69
جدول5-6. میزان کل توان اکتیو و راکتیو سیستم در بازار همزمان با تخصیص هزینه فرصت از دست رفته.....78
جدول 5-7. نتیجه نهایی بازار همزمان توان اکتیو راکتیو با تخصیص هزینه فرصت از دست رفته.....78
جدول 5-8. هزینه اکتیو و راکتیو بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو.....79
جدول الف-1. اطلاعات مربوط به خطوط شبکه 24 شینه.RTS 90
جدول الف-2. اطلاعات مربوط به شین های شبکه RTS.....91
جدول الف-3.اطلاعات مربوط به تولید ژنراتورها.....92
جدول الف-4. بار توان اکتیو روزانه شبکه.....93
جدول الف-5. بار توان راکتیو روزانه شبکه.....94
جدول الف-6. قیود در مدار قرار دادن واحدها.....95
جدول الف-7. فاصله الکتریکی شین‌ها از یکدیگر.....96
جدول ب-1. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون در نظرگرفتن VSM و LOC.....98
جدول ب-2. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون در نظرگرفتن VSM و LOC.....99
جدول ب-3. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون در نظرگرفتن VSM و LOC.....100
جدول ب-4. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با در نظرگرفتن VSM و بدون LOC 101
جدول ب-5. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظر گرفتن VSM و بدون LOC.....102
جدول ب-6. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو به هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظر گرفتن VSM و بدون LOC.....103
جدول ب-7. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار فقط انرژی بدون در نظرگرفتن VSM.....104
جدول ب-8. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون VSM و با درنظرگرفتن LOC.....105
جدول ب-9. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون VSM و با درنظرگرفتن LOC.....106
جدول ب-10. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو واحدها در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون VSM و با درنظرگرفتن LOC.....107
جدول ب-11. میزان هزینه فرصت از دست رفته اختصاصی به واحدها در بازار همزمان اکتیو و راکتیو بدون درنظرگرفتن VSM.....108
جدول ب-12. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار فقط انرژی با در نظرگرفتن VSM.....109
جدول ب-13. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....110
جدول ب-14. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....111
جدول ب-15. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو به هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....112
جدول ب-16.میزان هزینه فرصت از دست رفته اختصاصی به واحدها در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....113
جدول ب-17. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOCو بدون ایجاد بازارهای محلی توان راکتیو.....114
جدول ب-18. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو به هر واحد در بازار همزمان اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC و بدون ایجاد بازارهای محلی توان راکتیو 115
جدول ب-19. میزان توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار فقط انرژی با در نظرگرفتن VSM.....116
جدول ب-20. میزان تغییرات توان اکتیو تولیدی هر واحد در بازار مجزای اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....117
جدول ب-21. میزان توان راکتیو تولیدی هر واحد در بازار مجزای اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....118

جدول ب -22. میزان پرداختی بابت عرضه توان راکتیو به هر واحد در بازار مجزای اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....119
جدول ب -23.میزان هزینه فرصت از دست رفته اختصاصی به واحدها در بازار مجزای اکتیو و راکتیو با درنظرگرفتن VSM و LOC.....120

چکیده:

بعد از مقررات‌زدایی در صنعت برق انواع سرویس جانبی به همراه بازار انرژی پدیدار گردید که هریک از این سرویس‌های جانبی از طریق بازارهای مجزا تأمین می‌شوند. در میان این سرویس‌ها، سرویس توان راکتیو از جمله سرویس‌های مهم جانبی است، که تأمین آن برای حفظ امنیت و پایداری سیستم قدرت ضروری است. در اغلب این بازارها، عمده توان راکتیو مورد نیاز سیستم توسط ژنراتورهای سنکرون تأمین می‌گردد. از طرفی حداکثر میزان توان اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها از طریق منحنی قابلیت ژنراتور به یکدیگر وابسته هستند.

بنابراین اگر توان اکتیو و سرویس جانبی توان راکتیو از طریق دو بازار مجزا، با هدف حداقل کردن هزینه تأمین گردند ممکن است بر یکدیگر تاثیراتی ناشی از محدودیت‌های حرارتی سیم‌پیچ میدان و آرمیچر ژنراتور، داشته باشند عرضه توان راکتیو بیشتر بنا به نیاز سیستم، ممکن است توان اکتیو برنامه‌ریزی شده در بازار انرژی را تغییر دهد که این توزیع بار(گسیل) مجدد بازار توان اکتیو باعث تأمین عدم تعادلی با قیمت‌های بالاتر می‌گردد. ضمن اینکه در بازارهای مجزا پس از تسویه بازار انرژی، پیشنهاد برای تأمین توان راکتیو از بازیگران دریافت می‌شود. بازیگران بعلت اطلاع از نتایج بازار انرژی ممکن است پیشنهاد قیمت بالاتری برای عرضه توان راکتیو ارائه کنند در نتیجه بازار، از بهینه واقعی دور می‌شود.

در این پایان‌نامه مدلی برای تسویه همزمان بازار توان اکتیو و راکتیو با در نظرگرفتن حاشیه پایداری ولتاژ ارائه شده است. ساختار تسویه بازار توان اکتیو در مدل پیشنهادی بصورت پرداخت براساس پیشنهاد فرض شده، درحالی‌که ساختار تسویه بازار توان راکتیو، یکنواخت و بصورت محلی بوده که با استفاده از مفهوم فاصله الکتریکی، ناحیه‌بندی انجام شده است. بازار از لحاظ مقیاس زمانی یک روز قبل بوده و کلیه قیود مربوط به در مدار قرار گرفتن واحدها در مدل پیشنهادی لحاظ گردیده است. همچنین در این مدل هزینه فرصت از دست رفته واحدها، بعلت کاهش توان اکتیو در اثر افزایش عرضه توان راکتیو، با یک مکانیزم منطقی جبران شده است. در نهایت مدل توزیع بار(گسیل) پیشنهادی بر روی شبکه 24 شینه RTS پیاده‌سازی گردیده و بهینه‌سازی مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار GAMS انجام گرفته است. از جمله نتایجی که از انجام این پروژه حاصل گردید عبارتنداز:

- ناحیه‌بندی و ایجاد بازارهای محلی برای توان راکتیو باعث کاهش هزینه تأمین توان راکتیو می‌گردد.
- ایجاد سازوکاری برای جبران هزینه فرصت از دست رفته واحدها بعلت تأمین توان راکتیو باعث اجرای منصفانه بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو می‌گردد.
- اجرای بازار همزمان توان اکتیو و راکتیو نسبت به حالت مجزا به بهینه واقعی نزدیک‌تر است.

فصل اول:

مقدمه

1-1. مقدمه

درک صحیح از ساختار و عملکرد بازارهای برق می‌تواند در معرفی و بررسی جایگاه بازارهای خدمات جانبی و به ویژه بازار توان راکتیو کمک شایان توجهی بنماید، از اینرو در این فصل ابتدا ساختارهای متفاوت بازار انرژی الکتریکی شرح داده می‌شوند و سپس اهداف مورد نظر در این پایان‌نامه معرفی شده و روند کلی انجام کار مشخص می‌شود.

2-1. انگیزه‌های تجدید ساختار در صنعت برق

برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت به عنوان بزرگترین ماشین ساخت دست بشر، همواره با پیچیدگی‌های زیادی همراه بوده است. یک سیستم قدرت متعارف مجموعه‌ای است ازتعداد بیشماری ژنراتور(تولیدکننده) وبار(مصرف کننده) که به دلیل مسایل جغرافیایی لزوماً درمجاورت یکدیگر قرار نمی‌گیرند.

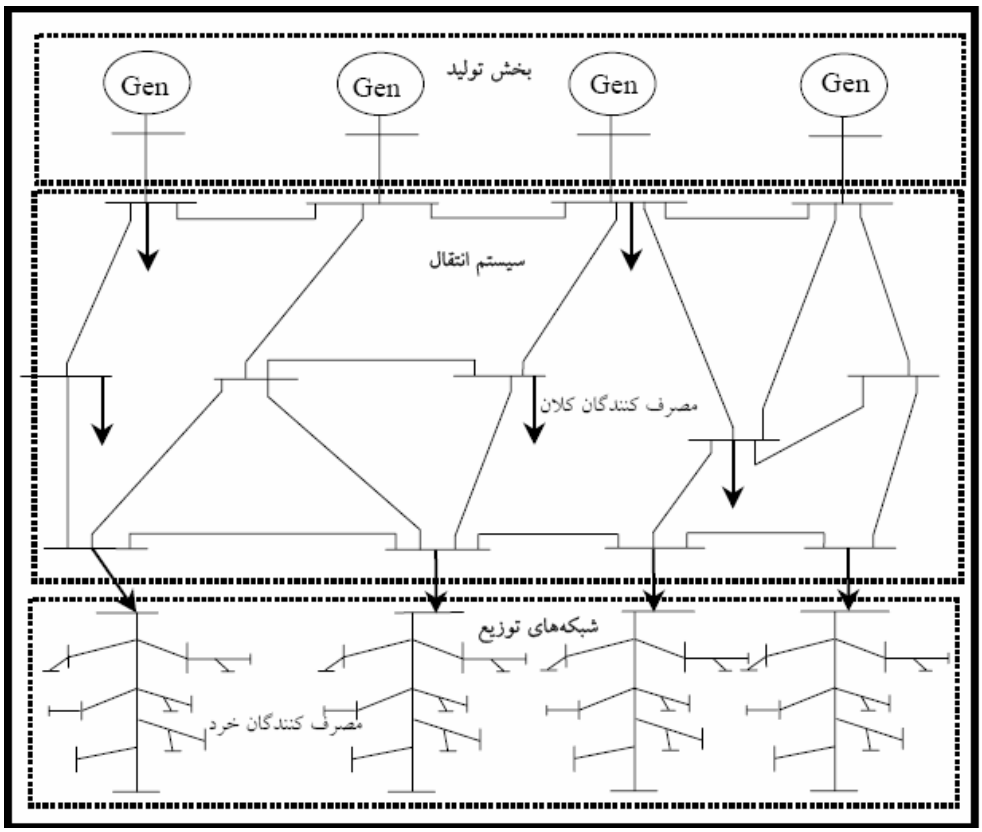
خطوط انتقال نیرو مسیرهای ارتباطی متعددی را بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان پدید می‌آورد. هدف اصلی این مجموعه، تولید الکتریسیته به میزان مورد نیاز و انتقال مطمئن آن به مصرف‌کنندگان می‌باشد. دستیابی به چنین هدفی مستلزم شناخت کافی از مسایل فنی مرتبط و درنظرگرفتن شرایط ویژه‌ای است که در سیستم‌های قدرت وجود دارد. به عنوان نمونه به برخی از این واقعیت‌ها اشاره می‌شود:

- انتخاب مسیر انتقال انرژی از محل تولید به مصرف خارج از اراده مستقیم و خواست بهره‌بردار شبکه است و در حقیقت، این قوانین پخش بار و یا قوانین کرشهف هستند که نهایتاً مسیر انتقال انرژی بر روی خطوط انتقال نیرو را مشخص می‌سازند.
- حداکثر ظرفیت بهره‌برداری از خطوط انتقال انرژی در شرایط مختلف ثابت نیست و به صورت تابعی از عوامل مختلفی چون حد حرارتی خط، ولتاژ شبکه و حد پایداری گذرا تغییرمی‌کند.
- حاشیهٔ پایداری ولتاژ و فرکانس شبکه نیز به صورت تابعی از میزان تولید و مصرف در نقاط مختلف، آرایش واحدهای تولیدی و نیز آرایش شبکه انتقال تغییر می‌کند.
- ولتاژ در سراسر شبکه باید به صورت کنترل شده در یک محدوده مجاز قرار گیرد.
- ذخیره سازی انرژی الکتریکی در حجم بزرگ به صرفه نمی‌باشد. در نتیجه یک ویژگی بسیار مهم سیستم‌های قدرت آن است که نیاز انرژی الکتریکی در هر لحظه از زمان باید در همان لحظه تولید شود.
- ژنراتورهای متصل به شبکه باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی و کنترل شوند که امکان دنبال کردن روند تغییرات بار وجود داشته باشد.
- سرعت افزایش و یا کاهش توان اکتیو خروجی یک ژنراتور مقدار محدودی است. عدم توجه دقیق به این مطلب می‌تواند شرایط دشواری را در زمان بهره‌برداری و ایجاد تعادل بین تولید و مصرف بوجود آورد.
- به عنوان مورد آخر باید به ابعاد گسترده سیستم‌های قدرت اشاره کرد که عملاً مدیریت بهینه و تنظیم مناسب متغیرهای کنترلی سیستم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

از زمان پیدایش سیستم‌های قدرت به هم پیوسته تا اوایل دههٔ 1990 میلادی، روش مدیریتی یکپارچهٔ بخش‌های مختلف سیستم قدرت شامل تولید، انتقال و توزیع، تنها روش شناخته شده و یا تنها روش ممکن در ادارهٔ سیستم‌های قدرت به شمار می‌رفت.

در نگرش حاکم بر سیستم‌های قدرت عمودی، شکل (1-1) هدف اصلی، تأمین بار مصرفی شبکه است و به همین منظور، انتخاب الگوی تولید، مقدار بارگیری از واحدها، هماهنگی بین سیستم‌های تولید و انتقال و توزیع و نهایتاً تحویل مطمئن انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان، همگی جزء وظایف اصلی بهره-بردارشبکه محسوب می‌شدند.

بنابراین لازم بود بهره‌بردار شبکه با آگاهی از هزینه‌های حدی تولید، هزینه‌های راه‌اندازی و خاموش کردن واحدها از یک طرف ودرنظرگرفتن محدودیت‌های فیزیکی واحدهای تولیدی و ملاحظات امنیتی سیستم انتقال از طرف دیگر، همواره تلاش می‌کرد تا با حداقل هزینه، انرژی مورد نیازمصرف‌کنندگان را در زمان‌های مختلف شبانه روز تأمین نماید[1].



شکل ۱-۱.یکپارچگی مدیریت در سیستم‌های قدرت ساختار عمودی

اما تقریباً در دو دهۀ گذشته و به ویژه از اوایل سال ۱۹۹۰ میلادی شاهد بروز تغییرات چشم‌گیری در ساختار مدیریتی و قوانین حاکم برصنعت برق در کشورهای مختلف جهان هستیم که مهمترین هدف آن شکست انحصار در تولید و ایجاد بستری مناسب و شفاف برای خرید و فروش رقابتی انرژی الکتریکی است. در کشورهای مختلف جهان عوامل متعددی درشکل‌گیری بازارهای رقابتی انرژی برق نقش داشته است که در ادامه برخی از این موارد اشاره می‌شود[۲].

۱-۲-۱. محرک‌های فنی

در طی سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، با پیشرفت تکنولوژی در ساخت تجهیزات فشار قوی و خطوط انتقال امکان انتقال انرژی الکتریکی در مسافت‌های طولانی میسرشد، ولی با توجه به فناوری ساخت و تولید نیروگاه‌ها درآن زمان، تنها امکان ساخت واحدهای بخاری با ظرفیت تولید ۶۰۰ الی ۱۰۰۰ مگاوات وجود داشت. زمان احداث چنین نیروگاه‌هایی معمولاً ۴ تا ۵ سال به طول می‌انجامید که این مدت در مورد نیروگاه‌های سوخت هسته‌ای تقریباً دو برابر بود. زمان نصب طولانی و نیزحجم سرمایه‌گذاری بالا ازمهمترین عواملی بودند که عملاً قدرت تصمیم‌گیری در مورد احداث نیروگاه‌های جدید را تنها در

اختیار شرکت‌های بزرگ و یا نهاد های وابسته به دولت قرار می‌داد. بعدها با پیشرفت علم وتکنولوژی، شرایط ساخت نیروگاه‌های گازی ویا سیکل ترکیبی در ابعادکوچکتر با ظرفیت تولید 300 مگاوات فراهم آمد. به این ترتیب با کاهش هزینه‌های ساخت و زمان احداث واحدهای تولیدی نسبت به گذشته، انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری شرکت‌های کوچکتر در امر احداث نیروگاه‌ها و فروش انرژی برق مشاهده گردید. همچنین استفاده از تجهیزات انعطاف پذیر سیستم انتقال باعث افزایش بهره‌وری آن شد به گونه‌ای که شرایط لازم برای کنترل شبکه‌های انتقال مستقل از بخش تولید فراهم آمد.

از طرف دیگر امروزه به دلیل تمایل زیاد جوامع بشری به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، جهت-گیری بیشتر به سوی ساخت اقتصادی واحدهای تولیدی با ابعاد کوچکتر و با استفاده از تکنولوژی میکروتوربین‌ها و میکروژنراتورها می‌باشد. یکی از مزایای استفاده از اینگونه تولیدات آن است که نه تنها قابلیت اتصال به شبکه‌های توزیع را دارا می‌باشند بلکه به فضای کوچکتری برای نصب احتیاج دارند به این ترتیب امکان گسترده کردن تولید در لایه‌های مختلف شبکه و همجواری تولید و بار بوجود می‌آید. گسترش تولیدات پراکنده در شبکه برق که اغلب دارای مالکیت خصوصی هستند به صورت منطقی خواستار وجود شرایطی است که در آن امکان فروش انرژی الکتریکی وجود داشته باشد.

1-2-2. محرک‌های اقتصادی

جدای ازمسایل فنی، به طور کلی می‌توان گفت که انتظار بهبود عملکرد اقتصادی در بازارهای رقابتی عامل مهمی است که به تغییر ساختار صنعت برق شتاب بیشتری داده است. امروزه تقریباً تمامی اقتصاددانان بر این باورند که ارائه هرگونه کالا و خدماتی از طریق بازار رقابتی، انگیزه لازم را برای کاهش هزینه‌های تمام شده در بین تولیدکنندگان به وجود می‌آوردکه در این صورت، انتظار عمومی آن است که قیمت هرکالا به سوی هزینه حاشیه‌ای آن سوق پیدا کند.

عدم استطاعت مالی یا کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری مستقیم دولت در امر توسعه شبکه برق عامل اقتصادی مهم دیگری است که در پذیرش روند تجدید ساختار صنعت برق از سوی برخی از کشورهای جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه مشاهده می‌شود. از طرف دیگر آثار مطلوب و تجاربی که در اثر رقابتی کردن برخی از خدمات اجتماعی همچون خدمات شبکه گاز شهری، خدمات شبکه مخابرات و شبکه حمل ونقل عمومی حاصل شده است، سیاست‌مداران کشورهای مختلف را بر آن داشته است تا انگیزه بیشتری برای انجام تجربه مشابه در صنعت برق از خود نشان دهند. به هر ترتیب رویه تجدید ساختار صنعت برق در کشورهای مختلف با علاقه زیادی دنبال می‌شود.

برای تحقق چنین آرمانی لازم است سیستم مدیریتی حاکم بر صنعت برق تغییر نماید. همانطور که درشکل(1-2) نشان داده شده است از دیدگاه مدیریتی، مجموعهٔ سیستم قدرت به سه بخش مجزا تفکیک می‌شود: مدیریت بهره‌برداری در بخش تولید، مدیریت بهره‌برداری در بخش انتقال و مدیریت بهره‌برداری در بخش توزیع [3].

شرایط ایده‌آل آن است که تولیدکنندگان مستقل و همچنین مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی به راحتی به شبکه انتقال دسترسی داشته باشند. به طور کلی می‌توان گفت که در سیستم‌های نوین برق دو هدف مهم دنبال می‌شود. هدف اول ایجاد رقابت در تولید و مصرف انرژی الکتریکی و نهایتاً تعیین قیمت انرژی از تعادل بین عرضه و تقاضا است و هدف دوم غیرمتمرکز کردن نهاد تصمیم‌گیری برای کاهش بار مسؤلیتی بهره‌بردار شبکه و افزایش شفافیت عملکرد بازار رقابتی می‌باشد.

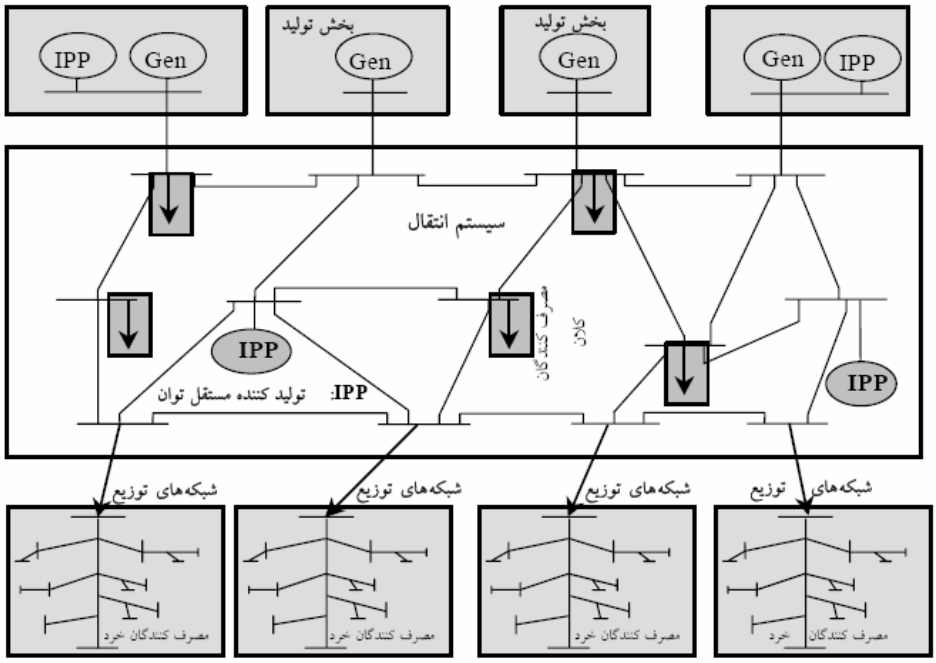
1-3. گزینه‌های ممکن برای تجارت انرژی الکتریکی

در تجارت انرژی الکتریکی از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از[3و4]:

1- مدل بازار اشتراکی توان.

2- مدل قراردادهای دوطرفه.

3- مدل ترکیبی.



شکل 1-2. دسترسی آزاد به شبکه انتقال درسیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده

1-3-1 مدل بازار اشتراکی توان