

دانشگاه صنعتی شاد آباد

دانشکده برق و روباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد برق قدرت

عنوان پایان نامه:

توسعه بازار محوری توان راکتیو

مؤلف:

محمد اسمعیل فلک

استاد راهنما:

دکتر مجید علومی بایگی

دکتر سید محمد رضا رفیعی

شهریور ۱۳۸۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:
پدر و مادر عزیزم

**Shameful is not the one who doesn't
know, but the one who doesn't ask**

**Bilməmək eyib deyil, soruşmamaq
eyibdir**

چکیده:

در دهه اخیر گرایش به تجدید ساختار سیستمهای قدرت افزایش یافته است. تولید، انتقال و توزیع از یکدیگر جدا شده و تولید به صورت رقابتی عرضه می گردد. هدف بهره بردار در این سیستم تهیه بستر مناسب برای خرید و فروش و رقابت در بازار برق می باشد. سرویس توان راکتیو یکی از سرویسهای ضروری و لازم برای تهیه این بستر می باشد. لذا باید توسعه این سرویس همگام با افزایش مصرف و توسعه تولید و انتقال به صورت مناسب انجام شود. در این پایان نامه روشهای پخش بار احتمالی و پخش بار بهینه توان اکتیو و راکتیو برای توسعه توان راکتیو پیشنهاد شده است. برای تعیین مکان مناسب برای توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی، ابتدا تابع چگالی احتمال ولتاژ باسهای بار بدست آمده و سپس احتمال نقض محدودیت ولتاژ محاسبه می شود. باسهایی که احتمال کاهش ولتاژ آنها زیاد است، کاندیدهای مناسبی برای توسعه توان راکتیو می باشند. در ادامه از پخش بار بهینه برای تعیین مکان مناسب برای توسعه توان راکتیو استفاده می شود. برای این منظور دو روش پیشنهاد شده است. در اولین روش قیدهای تولید و جذب توان راکتیو آزاد شده و با اجرای پخش بار بهینه، مکان بهینه برای توسعه توان راکتیو تعیین می گردد. در روش دوم باسهایی که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو بالایی دارند به عنوان مکان بهینه برای توسعه توان راکتیو معرفی می شوند. تعیین مکان بهینه برای توسعه توان راکتیو از بین باسهای کاندید این امکان را فراهم می سازد تا سرمایه گذاران با اطمینان خاطر بیشتری از برگشت سرمایه نسبت به توسعه این سرویس اقدام نمایند و از سرمایه گذاری بی مورد در توسعه توان راکتیو جلوگیری شود.

کلمات کلیدی:

توان راکتیو - معیارهای بازار معور - پخش بار احتمالی

نگین سن ریو

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه

- ۲ ۱-۱ اهداف توسعه توان راکتیو
- ۳ ۲-۱ مروری بر کارهای انجام شده در توسعه توان راکتیو
- ۴ ۳-۱ تعریف مسئله برنامه ریزی توان راکتیو
- ۴ ۱-۳-۱ برنامه ریزی توان راکتیو با هدف کاهش تلفات شبکه
- ۵ ۲-۳-۱ برنامه ریزی توان راکتیو با هدف کاهش میزان انحراف
ولتاژ نقاط مختلف از مقدار نامی مجاز خود
- ۳-۳-۱ برنامه ریزی همزمان توان راکتیو و اکتیو با هدف کاهش
- ۶ هزینه های کل بهره برداری
- ۸ ۴-۱ مروری بر کارهای انجام شده در این پایان نامه

فصل دوم توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی

- ۱۰ ۱-۲ مقدمه
- ۱۱ ۲-۲ بسط سری تابع چگالی احتمال
- ۱۱ ۱-۲-۲ کامیولنتهای یک متغیر تصادفی
- ۱۲ ۲-۲-۲ ویژگی های کامیولنت ها
- ۱۲ ۳-۲-۲ چند جمله ای هرمیتین
- ۱۳ ۴-۲-۲ بسط سری گرام چارلیر
- ۱۴ ۳-۲ خطی سازی معادلات پخش بار حول نقطه کار متوسط
- ۱۴ ۴-۲ پخش بار احتمالی

۱۷	۵-۲ توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی
۱۸	۶-۲ سیستم مورد مطالعه
۲۰	۱-۶-۲ پخش بار معمولی
۲۳	۲-۶-۲ پخش بار احتمالی
۳۱	۷-۲ نتیجه گیری

فصل سوم توسعه بازار محوری توان راکتیو

بر اساس آزاد سازی محدودیتها

۳۳	۱-۳ مقدمه
۳۴	۲-۳ توسعه بازار محوری توان راکتیو
۳۵	۱-۲-۳ مشخص نمودن مکانهای کاندید برای توسعه توان راکتیو توسط ISO
۳۶	۲-۲-۳ بررسی و پیشنهاد بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو
۳۷	۱-۲-۲-۳ بدست آوردن نمودار Q _{gen} -BID
	۲-۲-۲-۳ معیار انتخاب بهترین گزینه برای
۳۷	سرمایه گذاری توان راکتیو
۳۹	۳-۳ تکنیک سناریو
۳۹	۱-۳-۳ معیار هزینه مورد انتظار
۳۹	۲-۳-۳ معیار لاپلاس
۴۰	۳-۳-۳ معیار حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک)
۴۰	۴-۳-۳ معیار فن نویمن مرگن اشترن
۴۱	۵-۳-۳ معیار هورویکس
۴۱	۶-۳-۳ معیار بهینه پرتو

۴۱	۷-۳-۳ معیار مقاومت
۴۱	۸-۳-۳ معیار مقاومت β
۴۲	۴-۳ سیستم مورد مطالعه
۵۲	۵-۳ تغییر پیشنهاد قیمت برای جلوگیری از کاهش فروش
۵۳	۶-۳ نتیجه گیری

فصل چهارم توسعه بازار محوری توان راکتیو بر

اساس قیمت‌های حاشیه ای محلی

۵۵	۱-۴ قیمت‌های حاشیه‌ای محلی
۵۵	۲-۱-۴ محاسبه قیمت حاشیه‌ای محلی
۵۷	۳-۱-۴ قیمت سایه‌ای
۵۸	۲-۴ توسعه توان راکتیو با استفاده از مفهوم قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو
۵۹	۳-۴ سیستم مورد مطالعه

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات

۷۰	۱-۵ نتیجه گیری
۷۰	۲-۵ پیشنهادات

پیوستها

۷۳	پیوست الف
۷۷	پیوست ب
۷۹	پیوست پ
۸۱	پیوست ت

فهرست شکلها

- شکل (۱-۲): الگوریتم محاسبه تابع چگالی احتمال اندازه و زاویه ولتاژ باس ۱۵
- شکل (۲-۲): الگوریتم توسعه تولید توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی ۱۸
- شکل (۳-۲): نمودار تک خطی سیستم غرب ۱۹
- شکل (۴-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۲ (کرمانشاه شرقی ۲) ۲۷
- شکل (۵-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۴ (کرمانشاه ۲) ۲۷
- شکل (۶-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۵ (چمران) ۲۸
- شکل (۷-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۷ (سر پل ذهاب) ۲۸
- شکل (۸-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۱۰ (دیواندره) ۲۸
- شکل (۹-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۱۳ (ایلام ۲) ۲۹
- شکل (۱۰-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس سر پل ذهاب در ۳۰
- حالت پایه و بعد از توسعه توان راکتیو
- شکل (۱-۳): الگوریتم پیشنهادی برای توسعه تولید توان راکتیو ۳۴
- شکل (۲-۳): الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی محل‌های کاندید برای ۳۵
- سرمایه گذاری توان راکتیو توسط ISO
- شکل (۳-۳): نمودار Qgen-BID برای یک ژنراتور نوعی ۳۶
- شکل (۴-۳): نمودار Qgen×BID-BID برای یک ژنراتور نوعی ۳۸
- شکل (۵-۳): سیستم هشت باسه مورد مطالعه ۴۲
- شکل (۶-۳): نمودار Qgen×BID-BID برای طرح ۱ در سناریوی ۵ ۴۶
- شکل (۷-۳): نمودار Qgen×BID-BID برای طرح ۲ در سناریوی ۵ ۴۶
- شکل (۸-۳): نمودار Qgen×BID-BID برای طرح ۳ در سناریوی ۵ ۴۷

- ۵۰ شکل (۳-۹): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای سناریوی ۶ در طرح توسعه تولید توان راکتیو باس یک
- ۵۲ شکل (۳-۱۰): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای سناریوی ۲
- ۵۹ شکل (۴-۱): سیستم هشت باسه مورد مطالعه
- ۶۰ شکل (۴-۲): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۱ در سناریوی ۷
- ۶۱ شکل (۴-۳): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۲ در سناریوی ۷
- ۶۱ شکل (۴-۴): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۳ در سناریوی ۷
- ۶۲ شکل (۴-۵): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۴ در سناریوی ۷
- ۶۵ شکل (۴-۶): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح توسعه تولید توان راکتیو باس ۷ در سناریوی ۴
- ۶۶ شکل (۴-۷): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح توسعه تولید توان راکتیو باس ۸ در سناریوی ۴

فهرست جدولها

۲۰	جدول (۱-۲): اطلاعات باسها برای شبکه غرب
۲۱	جدول (۲-۲): اطلاعات خطوط برای شبکه غرب
۲۹	جدول (۳-۲): احتمال کمتر شدن ولتاژ باس از حد مجاز
۳۰	جدول (۴-۲): مقادیر عددی برای $p(V(i) \leq 0.95)$ در گامهای مختلف
۴۲	جدول (۱-۳): داده‌های مولدهای شبکه ۸ باسه
۴۳	جدول (۲-۳): داده‌های بارهای شبکه ۸ باسه
۴۳	جدول (۳-۳): پارامترهای خطوط انتقال شبکه ۸ باسه
۴۴	جدول (۴-۳): توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو
۴۵	جدول (۵-۳): سناریوهای غالب در تغییر قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب
۴۸	جدول (۶-۳): هزینه سه طرح پیشنهادی در ۹ سناریوی محتمل
۴۸	جدول (۷-۳): پشیمانی سه طرح پیشنهادی در ۹ سناریوی محتمل
۴۸	جدول (۸-۳): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو
۴۹	جدول (۹-۳): توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو
۵۱	جدول (۱۰-۳): درآمد توان راکتیو در حالت پایه و بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۱ و ۷
۶۰	جدول (۱-۴): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس در سیستم هشت باسه مورد مطالعه
۶۳	جدول (۲-۴): هزینه چهار طرح پیشنهادی در سناریوهای محتمل

- ۶۳ جدول (۳-۴): پشیمانی چهار طرح پیشنهادی در سناریوهای محتمل
- ۶۳ جدول (۴-۴): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو
- ۶۴ جدول (۵-۴): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس در سیستم هشت باسه
مورد مطالعه در هر دو حالت:
- ۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس ۲
- ۶۶ جدول (۶-۴): هزینه طرح های پیشنهادی در سناریوهای محتمل
- ۶۷ جدول (۷-۴): پشیمانی طرح های پیشنهادی در سناریوهای محتمل
- ۶۷ جدول (۸-۴): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو
- ۶۸ جدول (۹-۴): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس در
سیستم هشت باسه مورد مطالعه در هر سه حالت:
- ۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو
۳- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت
- ۶۸ جدول (۱۰-۴): هزینه بهره برداری از سیستم در هر سه حالت
- ۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو
۳- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت

فصل اول

مقدمه

از جمله مباحثی که هم اکنون پیش روی تصمیم گیران و سیاست گذاران صنعت برق در بسیاری از کشورهای دنیا می باشد، تفکر تغییر شکل ساختار سنتی این صنعت مطابق با روند افزایش کارایی و رقابت در دیگر صنایع می باشد. لزوم حرکت در این مسیر به دلایل مختلفی چون سرمایه بر بودن، ناکارایی اقتصادی ساختار سنتی و انحصاری بودن آن غیر قابل انکار می باشد. بررسی ساختار صنعت برق در کشورهای مختلف نشان می دهد که تجدید ساختار صنعت برق در بسیاری از کشورهای دنیا در حال انجام شدن و یا در دست بررسی می باشد [۱]. در صنعت برق تجدید ساختار شده، تهیه سرویس های جانبی به عهده بخش خصوصی گذاشته شده و بهره بردار مستقل سیستم بر چگونگی و کیفیت ارائه این سرویس نظارت می کند. سرویس تامین توان راکتیو از جمله سرویس های جانبی است که تامین آن از لحاظ فنی و اقتصادی اهمیت خاصی در ایجاد بستر مناسب برای رقابت دارد. لذا این سرویس باید در زمان مناسب و به میزان لازم توسعه یابد.

۱-۱ اهداف توسعه توان راکتیو

توسعه توان راکتیو اهداف مختلفی را دنبال می کند از جمله:

- ۱- کاهش تلفات اکتیو و راکتیو در شبکه
 - ۲- جلوگیری از گسترش اختلالات در شبکه قدرت بهم پیوسته در زمان وقوع حوادث اضطراری از جمله خروج ژنراتور، خط یا اتصال کوتاه
 - ۳- افزایش ظرفیت قابل انتقال بین نواحی مختلف
 - ۴- بهبود وضعیت پروفیل ولتاژ شبکه در نواحی مختلف
 - ۵- حداقل سازی سرمایه گذاری و هزینه ی استفاده از منابع جدید
- با توسعه بهینه منابع توان راکتیو می توان به اهداف فوق دست یافت.

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده در توسعه توان راکتیو

مرجع [۲] مسئله پایداری ولتاژ را با بدست آوردن اندازه ولتاژ باسها با استفاده از روش پخش بار احتمالی^۱، مورد بررسی قرار داده است. در مرجع [۳] روش بدست آوردن توابع چگالی احتمال ولتاژ توضیح داده شده که با استفاده از آن می توان در مورد احتمال نقض ولتاژ باسها و لزوم توسعه توان راکتیو تصمیم گیری کرد. در سال ۱۹۳۰ مسئله پخش بار بهینه^۲ اولین بار جهت بهینه سازی هزینه تولید، کاهش تلفات شبکه و بهبود نقطه ی کار سیستم ارائه شد [۴]. هدف بهره بردار در یک سیستم قدرت به هم پیوسته آن است که با برنامه ریزی بهینه توان های اکتیو و راکتیو هر یک از نیروگاه ها، هزینه بهره برداری سیستم را حداقل نماید. این بدان معنی است که ژنراتورها مجازند در محدوده معینی توان های اکتیو و راکتیو خود را چنان تغییر دهند که تقاضای بار مشخص با حداقل هزینه سوخت تامین شود. این مسئله را پخش بار بهینه می نامند [۵]. این مسئله ابتدا شامل حداقل کردن هزینه سوخت مصرفی نیروگاه بود که بعدها کاهش تلفات شبکه نیز به این مدل اضافه شد. گسترش روشهای حل مسائل بهینه سازی در سالهای بعد از دهه ی شصت مسئله پخش بهینه ی توان را به صورت امروزی مبدل ساخت. مسئله برنامه ریزی توان راکتیو^۳ (RPP) یکی از انشعابات مسئله ی پخش بار بهینه است که موجب بهبود بهره برداری اقتصادی و امنیت سیستم می گردد. مسئله ی برنامه ریزی توان راکتیو را می توان در دو بخش از سیستم قدرت مورد بررسی قرار داد:

۱- برنامه ریزی توان راکتیو در سیستم های انتقال

۲- برنامه ریزی توان راکتیو در سیستم های توزیع

جلوگیری از خاموشی سراسری شبکه به هنگام وقوع خطا و کاهش تلفات شبکه، نشانگر اهمیت برنامه ریزی توان راکتیو در سیستم های انتقال می باشد. برنامه ریزی توان اکتیو و راکتیو

^۱ - Probabilistic load flow (PLF)

^۲ - Optimal power flow (OPF)

^۳ - Reactive power planning (RPP)

سیستمهای توزیع نیز به دلیل قرار داشتن اکثر مصرف کنندگان شبکه قدرت در سمت توزیع از اهمیت خاصی برخوردار است.

مسئله جایابی بهینه خازن نیز از جمله کارهای انجام شده در برنامه ریزی توان راکتیو می باشد. جایابی بهینه خازن از دهه ۶۰ مورد توجه قرار گرفت. در دهه ۸۰ آقای گرینگر در [۶] و [۷] مسئله جایابی بهینه خازن را بررسی کرد. آقای باران یو در [۸] مسئله جایابی خازن را به عنوان یک مسئله غیر خطی Mixed integer فرمول بندی کرد. در دهه ۹۰ روشهای ترکیبی برای حل مسئله جایابی خازن استفاده شد. روش Simulated annealing در [۹]، روش الگوریتم ژنتیک در [۱۰] و Tabu search در [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته است. مرجع [۱۲] از ترکیب روش Tabu search و روشهای دیگر از جمله الگوریتم ژنتیک و Simulated annealing برای حل مسئله غیر خطی جایابی خازن استفاده نموده است.

۳-۱-۳ تعریف مسئله برنامه ریزی توان راکتیو

در فرمول بندی ریاضی برنامه ریزی توان راکتیو با یک تابع هدف و چندین قید مساوی و نامساوی روبرو می شویم. تابع هدف می تواند بسته به کاربردهای مختلف، جنبه اقتصادی یا فنی به خود بگیرد. در ادامه توابع هدف رایج و قیود مساوی و نامساوی مربوط در برنامه ریزی توان راکتیو معرفی و توضیح داده می شود.

۳-۱-۱ برنامه ریزی توان راکتیو با هدف کاهش تلفات شبکه [۱۳]:

در این برنامه ریزی هدف کاهش تلفات شبکه می باشد به شرط آنکه قیود فنی شبکه رعایت شوند. بنابراین تابع هدف و قیود متناظر با این مسئله به صورت زیر تعریف می شود:

(۱-۱)

$$\min: P_{Loss} = 0.5 \sum_{i,j} (G_{i,j} \times (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_j - \delta_i))) \quad i = 1, 2, \dots, Ng$$

$$\min: J = f(V) = \sum_i \left(\frac{V_i - V_i^*}{V_i^*} \right)^2 \quad (۸-۱)$$

که V_i^* ولتاژ مطلوب باس i ام می باشد.

قیود مساوی و نامساوی این مسئله را می توان مشابه با روابط (۲-۱)-(۷-۱) تعریف کرد.

۳-۳-۱ برنامه ریزی همزمان توان راکتیو و اکتیو با هدف کاهش هزینه های کل بهره

برداری:

تابع هدف این مسئله هزینه کل بهره برداری می باشد. معادلات پخش بار، محدودیت های خطوط انتقال، محدودیت های ژنراتورها، و محدودیت های بار قیود این مسئله می باشند. با فرض اینکه سیستم دارای N_b باس، N_g ژنراتور، N_d بار و N_l خط می باشد، فرمول بندی ریاضی برنامه ریزی همزمان توان راکتیو و اکتیو را می توان به صورت زیر بیان کرد [۱۴].

(۹-۱)

$$\text{Min: } J(P_G, P_D, Q_G, Q_D) = S_{Base} \left[C_{PG}^T P_G + C_{QG}^T Q_G + C_{PD}^T (P_D - P_D^{\max}) + C_{QD}^T (Q_D - Q_D^{\max}) \right]$$

St:

$$P_i = P_G - P_D = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \quad (۱۰-۱)$$

$$Q_i = Q_G - Q_D = -\sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \quad (۱۱-۱)$$

$$V_{i\min} \leq V_i \leq V_{i\max} \quad (۱۲-۱)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (۱۳-۱)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad (۱۴-۱)$$

$$S_{ij}^{\min} \leq S_{ij} \leq S_{ij}^{\max} \quad (۱۵-۱)$$

که در آن:

J

1×1

هزینه کل بهره برداری به \$/hr

S_{base}	1×1	توان ظاهری پایه به MVA
C_{PG}	$N_b \times 1$	بردار قیمت پیشنهادی ژنراتورها برای توان اکتیو به \$/MWhr (این بردار توسط تولید کنندگان ارائه می‌شود)
C_{PD}	$N_b \times 1$	بردار قیمت پیشنهادی بارها برای توان اکتیو به \$/MWh (این بردار توسط مصرف کنندگان ارائه می‌شود)
C_{QG}	$N_b \times 1$	بردار قیمت پیشنهادی ژنراتورها برای توان راکتیو به \$/MVARhr (این بردار توسط تولید کنندگان ارائه می‌شود)
C_{QD}	$N_b \times 1$	بردار قیمت پیشنهادی بارها برای توان راکتیو به \$/MVARhr (این بردار توسط مصرف کنندگان ارائه می‌شود)
P_G	$N_b \times 1$	بردار توان اکتیو تولیدی به pu (این بردار خروجی پخش بار بهینه می‌باشد)
P_D	$N_b \times 1$	بردار توان اکتیو مصرفی به pu (این بردار خروجی پخش بار بهینه می‌باشد)
Q_G	$N_b \times 1$	بردار توان راکتیو تولیدی به pu (این بردار خروجی پخش بار بهینه می‌باشد)
Q_D	$N_b \times 1$	بردار توان راکتیو مصرفی به pu (این بردار خروجی پخش بار بهینه می‌باشد)

\min_{P_G}, \max_{P_G}	$N_b \times I$	بردارهای حداقل و حداکثر توان اکتیو تولیدی به pu
\min_{P_D}, \max_{P_D}	$N_b \times I$	بردارهای حداقل و حداکثر توان اکتیو مصرفی به pu
\min_{Q_G}, \max_{Q_G}	$N_b \times I$	بردارهای حداقل و حداکثر توان راکتیو تولیدی به pu
\min_{Q_D}, \max_{Q_D}	$N_b \times I$	بردارهای حداقل و حداکثر توان راکتیو مصرفی به pu
$\min_{S_{ij}}, \max_{S_{ij}}$	$N_b \times I$	بردار محدودیت‌های توان ظاهری خطوط انتقال به pu

معادلات (۱۰-۱) و (۱۱-۱) بیانگر قیود تعادل توان اکتیو و راکتیو در هر باس می باشد. معادلات (۱۲-۱) و (۱۳-۱) و (۱۴-۱) و (۱۵-۱) نیز به ترتیب بیانگر محدودیت ولتاژ باس، محدودیت توان اکتیو تولیدی ژنراتورها، محدودیت توان راکتیو تولیدی ژنراتورها، و محدودیت توان ظاهری خطوط می باشد.

۴-۱- مروری بر کارهای انجام شده در این پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا توسعه تولید توان راکتیو شبکه غرب کشور مورد بررسی قرار گرفته است. توسعه بازار محوری توان راکتیو در فصلهای بعد، باعث کاهش هزینه های کل بهره برداری از سیستم شده است. همچنین روند ارائه شده در این فصول، مکان سرمایه گذاری، میزان فروش توان راکتیو و نحوه پیشنهاد قیمت را برای سرمایه گذار توان راکتیو مشخص می سازد. در فصل ۲ باسهایی که افت ولتاژ دارند به عنوان کاندیدهای مناسبی برای توسعه توان راکتیو معرفی شده و بهترین باس برای توسعه تولید توان راکتیو از دید افت ولتاژ معرفی می شود. در فصل ۳ باسهایی که با افزایش حد تولید توان راکتیو ژنراتور در این باسها، میزان توان راکتیو تولیدی افزایش یابد، به عنوان کاندیدهای توسعه توان راکتیو معرفی شده و توسعه تولید توان راکتیو از این دید انجام گرفته است. در فصل ۴ توسعه تولید توان راکتیو با استفاده از مفهوم قیمت‌های حاشیه ای محلی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم

توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش

بار احتمالی

۲-۱ مقدمه

انرژی الکتریکی یکی از مهمترین صورتهای انرژی است که با توسعه جوامع همه ساله به میزان مصرف آن افزوده می شود. تداوم سرویس دهی به مصرف کنندگان انرژی الکتریکی نیازمند توسعه تولید و انتقال انرژی الکتریکی می باشد. یکی از روشهای معمول برای برنامه ریزی توسعه تولید و انتقال، استفاده از پخش بار معمولی است که برای یک نقطه کار انجام می شود. اطلاعات اساسی بدست آمده در این پخش بار عبارتند از: ولتاژ در هر شینه و توان حقیقی و مجازی عبوری از خطوط انتقال. پخش بار معمولی برای یک نقطه کار انجام می شود و نتایج بدست آمده از آن اطلاعاتی در مورد احتمال تجاوز توانهای خطوط از حد حرارتی آنها و یا احتمال کمتر شدن ولتاژ باسها از حد مجازشان نمی دهد. در سیستمهای قدرت واقعی نقطه کار با تغییر بار مصرفی دائما در حال تغییر است. عدم قطعیت در مصرف انرژی الکتریکی از نوع عدم قطعیت تصادفی (تکرار پذیر) می باشد؛ بنابراین ولتاژ باسها و توان عبوری از خطوط نیز دارای عدم قطعیت تصادفی می باشند. پخش بار احتمالی^۱ یکی از روشهای ارائه شده برای در نظر گرفتن عدم قطعیت تصادفی در توسعه تولید و انتقال توان می باشد که اطلاعات بدست آمده از آن عبارتند از:

۱- تابع چگالی احتمال دامنه ولتاژ هر یک از باسها

۲- تابع چگالی احتمال زاویه ولتاژ هر یک از باسها

۳- تابع چگالی احتمال توان حقیقی عبوری هر یک از خطوط انتقال

۴- تابع چگالی احتمال توان مجازی عبوری هر یک از خطوط انتقال

از تابع چگالی احتمال توان حقیقی عبوری از خطوط انتقال می توان جهت توسعه انتقال استفاده نمود. بدین ترتیب که اگر احتمال نقض حد توان عبوری از یک خط انتقال از حد معینی فراتر رود، افزایش ظرفیت این خط انتقال ضروری به نظر می رسد. به صورت مشابه از تابع چگالی احتمال دامنه ولتاژ می توان جهت توسعه تولید توان راکتیو استفاده نمود. بدین ترتیب که اگر احتمال نقض

^۱ -Probabilistic load flow (PLF)

حد ولتاژ یک باس از حد مجاز خود از مقدار قابل قبولی بیشتر باشد توسعه توان راکتیو در آن باس نسبت به باسهای دیگر از اولویت بیشتری برخوردار است. در این فصل از پایان نامه به معرفی پخش بار احتمالی به منظور توسعه تولید توان راکتیو خواهیم پرداخت. در پخش بار احتمالی با مفاهیمی چون کامیولنتهای یک متغیر تصادفی، چند جمله ای های هرمیتین، سری گرام چارلیر^۲ و ... روبرو می شویم که ابتدا به معرفی آنها می پردازیم.

۲-۲ بسط سری تابع چگالی احتمال

۱-۲-۲ کامیولنتهای یک متغیر تصادفی

در تئوری آمار و احتمال، متغیر تصادفی X دارای امید ریاضی $\mu = E(X)$ و واریانس $\sigma^2 = E((X - \mu)^2)$ می باشد که این دو به ترتیب کامیولنتهای اول و دوم متغیر تصادفی را تشکیل می دهند. کامیولنتهای مرتبه n توسط تابع مولد کامیولنت^۳ تعیین می شود [۱۵].

$$g(t) = \log(E(\exp(t.x))) = \sum_{n=1}^{\infty} K_n \cdot \frac{t^n}{n!} = K_1 t + K_2 \frac{t^2}{2!} + \dots \quad (1-2)$$

مشتق تابع مولد کامیولنت عبارت است از:

$$g'(t) = \sum_{n=0}^{\infty} K_{n+1} \cdot \frac{t^n}{n!} = \mu + \sigma^2 t + \dots \quad (2-2)$$

حال کامیولنتهای متغیر تصادفی X به صورت زیر بدست می آید :

$$K_1 = \mu = g'(0)$$

$$K_2 = \sigma^2 = g''(0) \quad (3-2)$$

$$K_n = g^{(n)}(0)$$

$g^{(n)}(t)$ مشتق مرتبه n ام تابع $g(t)$ می باشد.

کامیولنتهای مختلف متغیر تصادفی X را می توان از رابطه بازگشتی زیر نیز محاسبه کرد [۱۶].

$$K_1 = \alpha_1$$

2- Gram-charlier series

3 - cumulant-generating function

$$K_\gamma(X) = \alpha_\gamma - \sum_{i=1}^{\gamma-1} \binom{\gamma-1}{i} K_{\gamma-1} \cdot \alpha_i \quad (4-2)$$

که در آن α_γ ، گشتاور مرتبه γ متغیر تصادفی X بوده و از رابطه (۵-۲) محاسبه می شود:

$$\alpha_\gamma = \sum_{i=1}^n P_i X_i^\gamma \quad (5-2)$$

X_i مقدار متغیر تصادفی در حالت λ و P_i احتمال وقوع حالت λ می باشد.

۲-۲-۲ ویژگی های کامیولنت ها:

الف- خاصیت همگنی: n امین کامیولنت X با درجه n همگن است یعنی :

$$K_n(cX) = c^n K_n(X). \quad (6-2)$$

C یک ضریب ثابت می باشد.

ب- جمع پذیری: اگر X و Y دو متغیر تصادفی مستقل باشند داریم:

$$K_n(X+Y) = K_n(X) + K_n(Y) \quad (7-2)$$

در صورتیکه تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی $X+Y$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$f(X+Y) = f_1(X) + f_2(Y)$$

که $f_1(X)$ ، $f_2(Y)$ و $f(X+Y)$ به ترتیب توابع چگالی احتمال X و Y و $X+Y$ می باشند.

چنانچه در رابطه (۷-۲)، Y یک عدد ثابت مانند C باشد خواهیم داشت:

$$K_1(X+c) = K_1(X) + c \quad (8-2)$$

$$K_n(X+c) = K_n(X) \quad \text{for } n \geq 2$$

یعنی شیفته به اندازه C فقط در کامیولنت اول ظاهر می شود و بقیه کامیولنتها را تغییر نمی دهد.

۲-۲-۳ چند جمله ای هرمیتین [۱۵]

چند جمله ای هرمیتین توسط رابطه (۹-۲) تعریف می شود:

$$H_n(x) = (-1)^n e^{\frac{x^2}{2}} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (9-2)$$

هشت جمله اول چند جمله ای هرمیتین در رابطه (۱۰-۲) آورده شده است.

$$H_0(x) = 1$$

$$H_1(x) = x$$

$$H_2(x) = x^2 - 1$$

$$H_3(x) = x^3 - 3x$$

$$H_4(x) = x^4 - 6x^2 + 3 \quad (10-2)$$

$$H_5(x) = x^5 - 10x^3 + 15x$$

$$H_6(x) = x^6 - 15x^4 + 45x^2 - 15$$

$$H_7(x) = x^7 - 21x^5 + 105x^3 - 105x$$

$$H_8(x) = x^8 - 28x^6 + 210x^4 - 420x^2 + 105$$

روشهای مختلفی برای به دست آوردن تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X وجود دارد. استفاده از سری گرام چارلییر یا سری ادورس^۴ از جمله این روشهاست.

۲-۲-۴ بسط سری گرام چارلییر

تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X با استفاده از سری گرام چارلییر از رابطه (۱۱-۲) بدست می آید [۳].

$$f(x) = N(x) \left(1 + \frac{g_3}{3!} H_3(\bar{x}) + \frac{g_4}{4!} H_4(\bar{x}) + \frac{g_5}{5!} H_5(\bar{x}) + \frac{g_6 + 10g_3^2}{6!} H_6(\bar{x}) + \frac{g_7 + 35g_3g_4}{7!} H_7(\bar{x}) + \frac{g_8 + 56g_3g_5 + 35g_4^2}{8!} H_8(\bar{x}) + \dots \right) \quad (11-2)$$

\bar{X} : نرمالیزه شده متغیر تصادفی X است که از رابطه $\bar{X} = \frac{X - \mu}{\delta}$ بدست می آید.

$N(x)$: تابع چگالی احتمال نرمال متغیر تصادفی X می باشد.

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad (12-2)$$

g_r توسط رابطه (۱۳-۲) محاسبه می شود.

$$g_r = \frac{K_r}{\delta^r} = \frac{K_r}{\frac{\sigma^r}{K_2^{\frac{r}{2}}}} \quad (13-2)$$

⁴-Edgewarth

که K_r کامیولنت مرتبه γ متغیر تصادفی X می باشد.

با تقریب مناسبی می توان از جملات مرتبه ۸ به بالا در معادله ی (۱۱-۲) صرفنظر کرد.

۳-۲ خطی سازی معادلات پخش بار حول نقطه کار متوسط

معادلات تعادل توان اکتیو و راکتیو در شین i به صورت زیر است:

$$P_i = P_{gi} - P_{di} = f_{pi}(V, \delta) = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \quad (14-2)$$

$$Q_i = Q_{gi} - Q_{di} = f_{qi}(V, \delta) = -\sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})$$

با خطی سازی معادلات فوق حول نقطه کار متوسط نتیجه می شود که:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_p}{\partial \delta} & \frac{\partial f_p}{\partial V} \\ \frac{\partial f_q}{\partial \delta} & \frac{\partial f_q}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \longrightarrow \Delta W = J_0 \Delta X \quad (15-2)$$

$$\Delta X = J_0^{-1} \Delta \omega = S_0 \Delta W \quad (16-2)$$

که $\Delta X = [\Delta \delta \quad \Delta V]^T$ و $\Delta W = [\Delta P \quad \Delta Q]^T$ می باشد.

۴-۲ پخش بار احتمالی [۲۶]-[۳۰]

همانطور که قبلا اشاره شد هدف از پخش بار احتمالی بدست آوردن

۱- تابع چگالی احتمال دامنه ولتاژ

۲- تابع چگالی احتمال زاویه ولتاژ

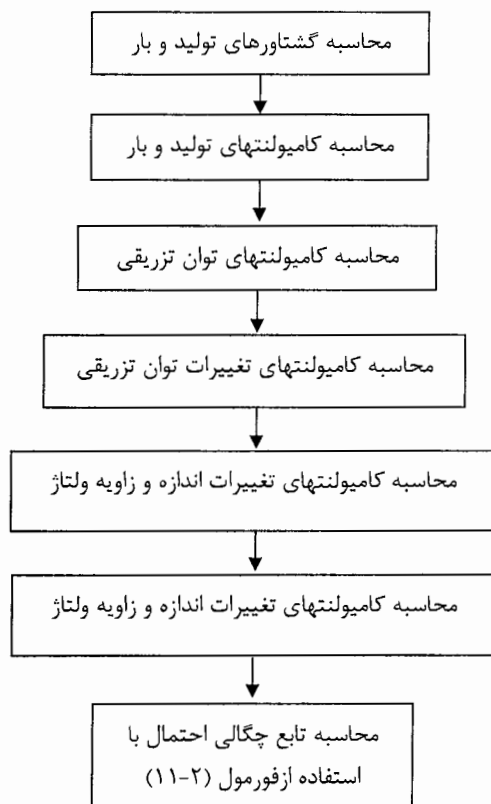
۳- تابع چگالی احتمال توان حقیقی عبوری از خطوط انتقال

۴- تابع چگالی احتمال توان مجازی عبوری از خطوط انتقال

می باشد. با معلوم بودن کامیولنت هر متغیر تصادفی، تابع چگالی احتمال این متغیر تصادفی قابل

محاسبه است. بنابر این برای محاسبه تابع چگالی احتمال ولتاژ باس i ابتدا باید کامیولنتهای آن

محاسبه گردد. روند محاسبه تابع چگالی احتمال ولتاژ باس \bar{I} در ادامه تشریح می شود. این الگوریتم در فلوچارت شکل (۱-۲) رسم شده است.



شکل (۱-۲): الگوریتم محاسبه تابع چگالی احتمال اندازه و زاویه ولتاژ باس

الف) محاسبه گشتاورهای مرتبه γ تولید و بار $(\alpha_\gamma(W_d)$ و $\alpha_\gamma(W_g)$):

گشتاورهای مرتبه γ متغیرهای تصادفی $W_d=[P_d \ Q_d]^T$ و $W_g=[P_g \ Q_g]^T$ از رابطه (۲-۵) محاسبه می شود.

ب) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ تولید و بار $(K_\gamma(W_d)$ و $K_\gamma(W_g)$):

با توجه به گشتاورهای محاسبه شده در مرحله ی الف و رابطه ی (۲-۴) می توان کامیولنتهای مختلف W_d و W_g را بدست آورد.

پ) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ توان تزریقی $(K_\gamma(W))$:

برای محاسبه کامیولنت های W ابتدا باید کامیولنت های W_g و W_d را محاسبه نمود. سپس طبق رابطه

$$K_\gamma(W) = K_\gamma(W_g) + (-1)^\gamma \times K_\gamma(W_d)$$

را می توان محاسبه نمود.

ت) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ تغییرات توان تزریقی $(K_\gamma(\Delta W))$:

ΔW به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Delta W = W - W_0$$

کامیولنت های ΔW تنها در کامیولنت اول با کامیولنت های W متفاوت است. کامیولنت اول ΔW به

صورت زیر محاسبه می شود:

$$K_1(\Delta W) = K_1(W) - W_0 \quad (17-2)$$

ث) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ تغییرات اندازه و زاویه ولتاژ $(K_\gamma(\Delta X))$:

برای محاسبه کامیولنت های ΔX می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$K_\gamma(\Delta X) = (S_0)^\gamma \times K_\gamma(\Delta W) \quad (18-2)$$

که $K_\gamma(\Delta W)$ در مرحله ۴ محاسبه شده و ماتریس S_0 از خطی سازی معادلات پخش بار حول

نقطه متوسط بدست آمده است. منظور از $(S_0)^\gamma$ به توان γ رسیدن هر یک از درایه های ماتریس S_0

می باشد.

ج) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ اندازه و زاویه ولتاژ $(K_\gamma(X))$:

کامیولنت های ΔX تنها در کامیولنت اول با کامیولنت های X متفاوت است. کامیولنت اول X از رابطه

(۱۹-۲) محاسبه می شود.

$$K_1(X) = K_1(\Delta X) + X_0 \quad (19-2)$$

بعد از محاسبه کامیولنت های ولتاژ باس، می توان با استفاده از رابطه (۱۱-۲) تابع چگالی احتمال

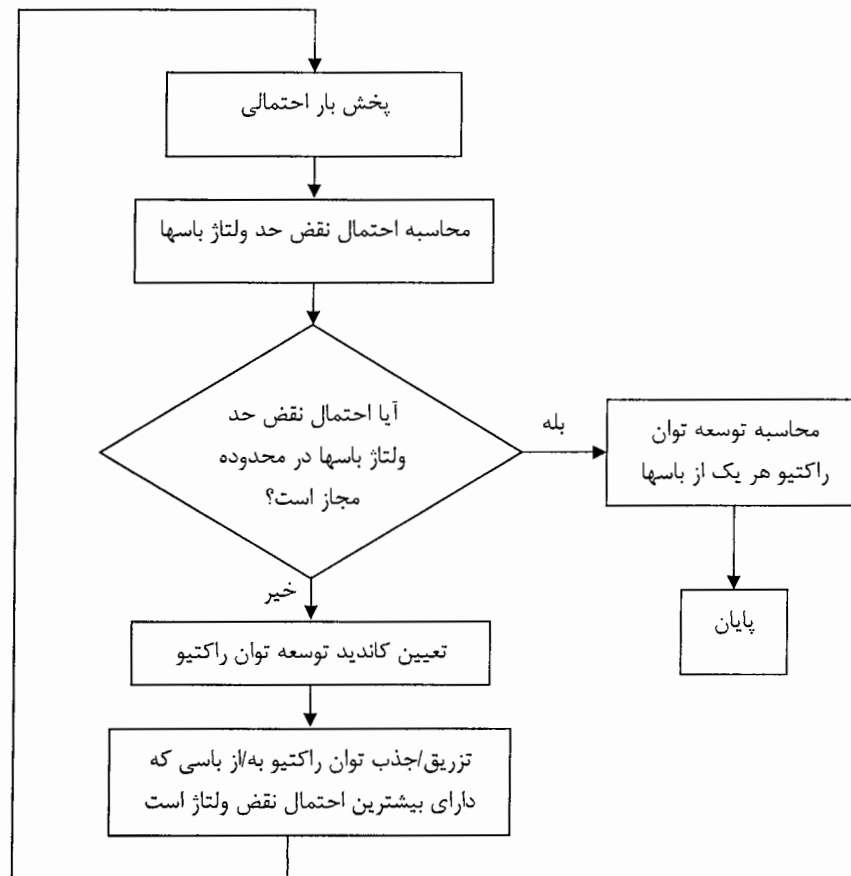
متغیر تصادفی V را بدست آورد.

۵-۲ توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی

برای توسعه توان راکتیو ابتدا باید احتمال نقض حد ولتاژ هر یک از باسها را تعیین نمود. این احتمال با توجه به معلوم بودن تابع چگالی احتمال ولتاژ باس، از رابطه ی (۲-۲۲) محاسبه می شود.

$$p(X \leq V_{\min}) = \int_{x=-\infty}^{x=V_{\min}} f(x) dx \quad (2-20)$$

برای توسعه توان راکتیو احتمال فوق باید برای هر کدام از باسها محاسبه شود. اگر این احتمال در باس i بیشتر از حد معینی مانند p_{\max} باشد، باس مذکور کاندید مناسبی برای توسعه تولید توان راکتیو می باشد. بعد از مشخص شدن کاندیدهای توسعه، باسی که احتمال نقض حد ولتاژ آن از همه بیشتر است مشخص می شود. چنانچه حد پایین ولتاژ نقض شده باشد، یک پله کوچک توان راکتیو به این باس تزریق می گردد و چنانچه حد بالای ولتاژ نقض شده باشد، یک پله کوچک توان راکتیو از این باس جذب می شود. سپس پخش بار احتمالی تکرار و باسی که دارای بیشترین احتمال نقض حد ولتاژ است، تعیین و یک پله کوچک توان راکتیو به این باس تزریق و یا جذب می شود. این روند تا هنگامی که احتمال نقض حد ولتاژ همه باسها در محدوده مجاز قرار گیرد ادامه می یابد. الگوریتم توسعه توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.

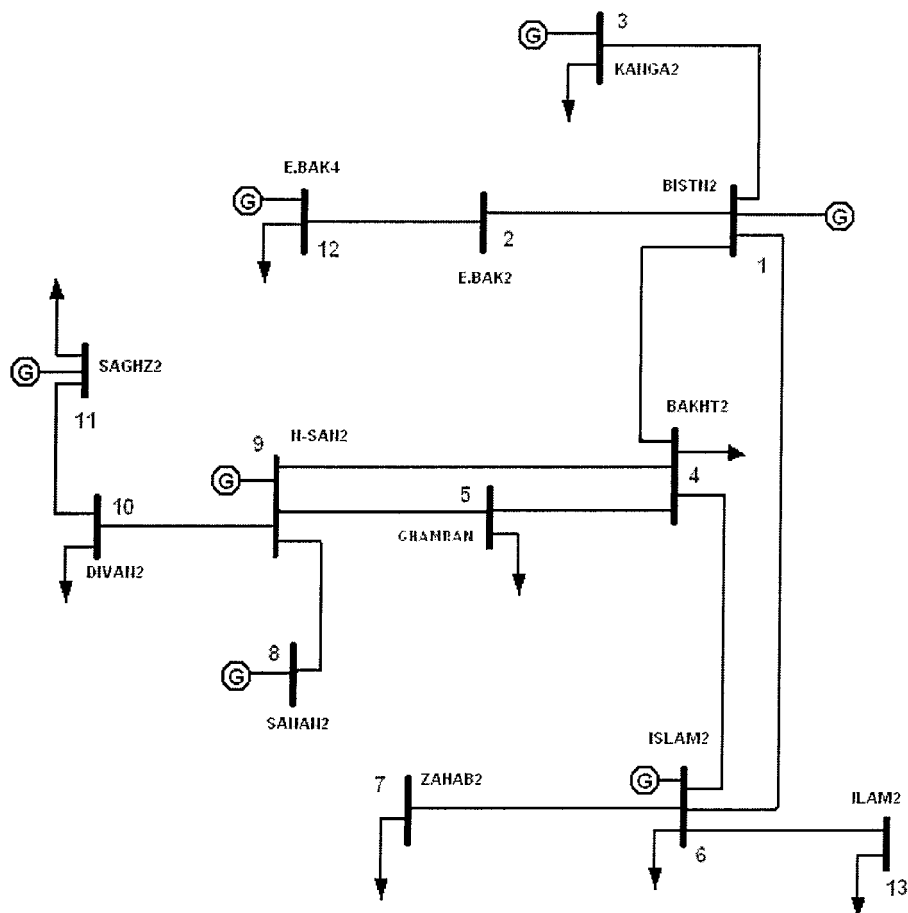


شکل (۲-۲): الگوریتم توسعه تولید توان راکتیو با استفاده از پخش بار احتمالی

۲-۶ سیستم مورد مطالعه

در ادامه روش پیشنهاد شده برای توسعه توان راکتیو شبکه غرب کشور استفاده شده است. در مطالعه این سیستم فرض می شود که سیستم در شرایط متقارن کار می کند بنابراین می توان از مدل تک فاز سیستم استفاده کرد. سیستم غرب شامل ۱۳ باس و ۱۴ خط می باشد. خطوط بین منطقه ای به صورت بار (در صورت مثبت بودن توان خروجی از منطقه) و یا به صورت ژنراتور (در صورت منفی بودن توان خروجی از منطقه) در نظر گرفته شده اند. بدین ترتیب و با توجه به

اطلاعات موجود از شبکه ی غرب می توان گفت که در این شبکه، ۶ باس PV و ۶ باس PQ وجود دارد. نمودار تک خطی این سیستم در شکل (۲-۳) آورده شده است.



شکل (۲-۳): نمودار تک خطی سیستم غرب

داده های توان اکتیو و راکتیو بارها و ژنراتورهای شبکه به صورت ساعتی برای سه ماه تیر، مرداد و شهریور ۸۵ وجود دارد. برای در نظر گرفتن اثر همزمانی بارها، ۵ ساعت اوج مصرف از این داده ها مورد استفاده قرار گرفته است. با فرض اینکه در سال ۸۵ تا ۹۰، بار و تولید ۴۰ درصد افزایش می یابند، توان اکتیو و راکتیو برای ۵ ساعت پیک سه ماه متوالی تابستان ۹۰ محاسبه می گردد. این داده ها جهت محاسبه گشتاورهای بار و تولید در سال ۹۰ مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۶-۱ پخش بار معمولی

ابتدا پخش بار معمولی حول نقطه ی کار متوسط اجرا می شود و ماتریس $S_0=J_0^{-1}$ محاسبه می گردد. اطلاعات ورودی برنامه پخش بار معمولی (به روش نیوتون رافسون) برای شبکه غرب عبارتند از اطلاعات باسها و اطلاعات خطوط که به ترتیب در جدول های (۱-۲) و (۲-۲) آورده شده است.

جدول (۱-۲): اطلاعات باسها برای شبکه غرب

Busnum	Bus	Bus code	Vmag	Vang	Load MW	Load Mvar	GEN MW	GEN Mvar
1	BISTH2	1	1	0	0	0	0	0
2	EBAKH2	0	1	0	0	0	0	0
3	KANCA2	2	1	0	92.43	0	36.015	0
4	BAKHT2	0	1	0	149.89	60.345	0	0
5	CHAMRAN	0	1	0	102.31	36.018	0	0
6	ISLAM2	2	1	0	92.18	0	54.61	0
7	ZAHAB2	0	1	0	186.02	100.16	0	0
8	SANAN2	2	1	0	0	0	122.13	0
9	II_SANAN	2	1	0	0	0	-169	0
10	DIYAN2	0	1	0	54.05	7.226	0	0
11	SAGHZ2	2	1	0	63.47	0	46.062	0
12	EBAKH4	2	1	0	3.166	0	38.17125	0
13	ILAM2	0	1	0	85.39	25.69	0	0

در جدول (۱-۲) در ستون ۳ نوع شین درج شده است. عدد ۱ مبین شین مرجع، عدد ۲ مبین باس کنترل شده و عدد ۰ مبین باس بار می باشد.

جدول (۲-۲): اطلاعات خطوط برای شبکه غرب

Bus nl	Bus nr	R(pu)	X(pu)	0.5B
1	2	0.0001	0.0009	0.0008
1	3	0.0117	0.0689	0.0622
1	4	0.00135	0.01125	0.01985
1	6	0.0117	0.0689	0.0622
4	5	0.0033	0.0194	0.01825
4	6	0.0062	0.0364	0.0329
4	9	0.01608	0.0918	0.08892
5	9	0.0134	0.0765	0.0741
6	7	0.0052	0.03025	0.02825
6	13	0.0049	0.0264	0.02465
8	9	0.00067	0.003825	0.003705
9	10	0.00469	0.026775	0.025935
10	11	0.0107	0.0634	0.05725
12	2	0.00125	0.02525	0

در نتیجه این پخش بار اندازه و زاویه ی ولتاژ باسها، توان اکتیو و راکتیو خطوط و نیز تلفات اکتیو و راکتیو مشخص می شود که نتایج عبارتنداز:

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method
Maximum Power Mismatch = 0.000404227
No. of Iterations = 3

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000	0.000	0.000	0.000	740.234	-20.226	0.000
2	1.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1.000	-2.385	95.851	0.000	37.348	4.972	0.000
4	0.996	-1.848	155.439	62.580	0.000	0.000	0.000
5	0.992	-2.768	106.096	37.352	0.000	0.000	0.000
6	1.000	-5.831	95.592	0.000	56.630	210.114	0.000
7	0.956	-9.014	192.913	103.870	0.000	0.000	0.000
8	1.000	-5.218	0.000	0.000	126.651	-22.230	0.000
9	1.000	-5.504	0.000	0.000	-176.071	38.814	0.000
10	0.998	-6.662	56.049	7.493	0.000	0.000	0.000
11	1.000	-7.357	65.817	0.000	47.768	0.417	0.000
12	1.000	0.282	3.283	0.000	39.585	-1.862	0.000
13	0.989	-7.116	88.550	26.639	0.000	0.000	0.000
Total			859.590	237.933	872.145	210.000	0.000

Line Flow and Losses					
--Line--	Power at bus & line flow			--Line loss--	
from to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar
1	740.234	-20.226	740.510		
2	-36.292	1.880	36.341	0.001	-0.148
3	58.918	-14.967	60.789	0.415	-9.996
4	573.082	16.140	573.309	2.220	10.592
6	144.551	-23.258	146.410	2.479	2.157
2	0.000	0.000	0.000		
1	36.294	-2.028	36.350	0.001	-0.148
12	-36.294	2.028	36.350	0.008	0.167
3	-58.503	4.972	58.713		
1	-58.502	4.972	58.713	0.415	-9.996
4	-155.439	-62.580	167.563		
1	-570.862	-5.548	570.889	2.220	10.592
5	165.099	6.306	165.219	0.455	-4.531
6	183.673	-40.198	188.020	2.196	6.341
9	66.653	-23.140	70.555	0.754	-13.399
5	-106.096	-37.352	112.479		
4	-164.643	-10.837	164.999	0.455	-4.531
9	58.548	-26.515	64.272	0.517	-11.749
6	-38.962	210.114	213.696		
1	-142.072	25.414	144.327	2.479	2.157
4	-181.477	46.539	187.349	2.196	6.341
7	195.615	114.180	226.500	2.702	10.310
13	88.972	24.038	92.162	0.422	-2.600
7	-192.913	-103.870	219.099		
6	-192.913	-103.869	219.099	2.702	10.310
8	126.651	-22.230	128.587		
9	126.651	-22.230	128.587	0.111	-0.109
9	-176.071	38.814	180.298		
4	-65.898	9.741	66.614	0.754	-13.399
5	-58.031	14.766	59.880	0.517	-11.749
8	-126.540	22.120	128.459	0.111	-0.109
10	74.398	-7.809	74.807	0.261	-3.688
10	-56.049	-7.493	56.548		
9	-74.137	4.121	74.252	0.261	-3.688
11	18.088	-11.615	21.496	0.039	-11.198
11	-18.049	0.417	18.054		
10	-18.049	0.417	18.054	0.039	-11.198
12	36.302	-1.862	36.350		
2	36.302	-1.862	36.350	0.008	0.167
13	-88.550	-26.639	92.470		
6	-88.550	-26.638	92.470	0.422	-2.600
Total loss				12.580	-27.852

۲-۶-۲ پخش بار احتمالی

بعد از انجام پخش بار معمولی می توان بقیه مراحل الگوریتم (۲-۱) را اجرا کرد. نتایج عددی هر مرحله در ادامه آمده است.

الف) محاسبه گشتاورهای مرتبه γ تولید و بار:

گشتاورهای تولید را می توان با توجه به داده های تولید برای ۵ ساعت بار پیک در سه ماه تابستان ۱۳۹۰ و از رابطه (۲-۵) محاسبه نمود. گشتاورهای مرتبه ۱ تا ۸ تولید در جدول زیر درج شده است.

	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS3	0.373485	0.2845033	0.2093214643	0.183567606	0.1632479121	0.1565592370	0.15273366910	0.155039477
BUS4	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS5	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS6	0.5663	0.4966277	0.4912453683	0.5279712177	0.5956149007	0.69526629	0.831901418	1.014822159
BUS7	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS8	1.26651001	2.3759374	4.9884321345	11.575874387	28.339346268	72.31291412	190.1117187	512.0957714
BUS9	-1.760709	4.8808723	-14.493145855	44.78784580	-141.7308520	455.105379	-1475.221539	4812.945706
BUS10	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS11	0.47768	0.8486956	0.8208866296	1.623795421	2.0402220649	4.21820729	6.398773179	13.44438872
BUS12	0.39585	1.8826740	2.5281906014	10.25723173	23.317855523	87.2456802	254.3873341	930.5732877
BUS13	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS4	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS5	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS7	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS10	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS13	0	0	0	0	0	0	0	0

گشتاورهای بار را می توان با توجه به داده های بار برای ۵ ساعت بار پیک در سه ماه تابستان ۹۰ و از رابطه (۲-۵) محاسبه نمود. گشتاورهای مرتبه ۱ تا ۸ بار در جدول زیر درج شده است.

	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS3	0.95851001	0.9857094	1.0707547345	1.213386473	1.4212869413	1.7094928842	101206477	2.629797028
BUS4	1.5543849	2.4723092	4.0218501975	6.686214895	11.347432750	19.6343934	34.58764626161	93880230
BUS5	1.0609550	1.1546404	1.2846900017	1.457242738	1.6811100596	1.968224437	2.334353165	2.800104400
BUS6	0.95592	0.9373464	0.9419996140	0.969172674	1.0195578065	1.09521332	1.1996535597	1.338058268
BUS7	1.9291299	3.7660370	7.4082434893	14.65801020	29.141899604	58.17642827	116.5597260	234.2927775
BUS8	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS9	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS10	0.56049	0.3282911	0.2004042532	0.127163625	0.0836915887	0.05704609	0.0402414522	0.029372358
BUS11	0.658175	0.4536503	0.3245420792	0.239311984	0.1809488296	0.13977616	0.1100169187	0.088071114
BUS12	0.03283	3.4589335	-0.6427453264	30.77886996	-26.626925594	393.871398	-677.7369689	6281.387282
BUS13	0.8855000	0.8290486	0.8282873211	0.897441717	1.0774371780	1.459770872	2.2377947422	3.814420353
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS4	0.6258	0.4671081	0.4052542393	0.399575035	0.4387051365	0.52717277	0.683887775	0.947407820
BUS5	0.37352	0.1637727	0.0803620874	0.043714314	0.0263950411	0.017744014	0.013254890	0.010890945
BUS7	1.0386949	1.1384782	1.2691285581	1.431152780	1.6283987702	1.86705815	2.155373145	2.503881378
BUS10	0.074935	0.0068026	0.0006894231	0.000075611	0.0000088136	0.00000107	0.000000137	0.000000018
BUS13	0.266385	0.0777879	0.0249301798	0.008815877	0.0034533489	0.00149670	0.000712011	0.000366751

پ) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ توان تزریقی:

برای محاسبه کامیولنتهای W ابتدا باید کامیولنتهای W_g و W_d را محاسبه نمود. سپس طبق

رابطه $K_\gamma(W) = K_\gamma(W_g) + (-1)^\gamma \times K_\gamma(W_d)$ کامیولنتهای W را بدست آورد.

کامیولنتهای مرتبه ۱ تا ۸ توان تزریقی در جدول زیر درج شده است.

	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS3	-0.585025C	0.2119803	-0.0028192964	-0.016459841	-0.000142091C	0.00842233C	-0.000528339I	-0.01028206C
BUS4	-1.554384C	0.0561964I	-0.004227909E	-0.0018093590	0.0010411449C	0.00018993C	-0.000472713C	0.000076614
BUS5	-1.060955C	0.0290148C	0.0018985166E	-0.000218141	-0.000018869E	0.00004226E	-0.000000174	-0.00001884E
BUS6	-0.38962	0.1994954I	0.0098225873C	-0.030801522	-0.01172728670	0.02609160E	0.024157962E	-0.04661577C
BUS7	-1.929129C	0.0444945C	0.0286031772C	0.029378882C	0.0341922291I	0.03928783C	0.037243315C	0.007923626
BUS8	1.2665100I	0.7718898C	0.0240710025C	-0.335369722	-0.367846677E	0.8411628673	27.4961020E	-4.63395898E
BUS9	-1.760709C	1.780772E	0.3715033598E	-4.843224106	-4.626068083156	2818843E	120.2411908E	-1393.17705C
BUS10	-0.56049	0.0141421I	-0.000547273E	-0.000009398	-0.000024148E	0.00001238C	0.000000566E	-0.00000238E
BUS11	-0.180495	0.6409734I	-0.176369437E	-0.0943125650	0.3097634554	-0.28017307	-0.489813884I	2.739260474
BUS12	0.36302	5.1838325I	1.3998231086E	-5.971155016	-3.654620573E	28.5074202E	-124.4315321I	-411.128079C
BUS13	-0.885500C	0.0449383I	-0.01457886170	0.013496215E	-0.013541833E	0.011450797	-0.005587145I	-0.00670053C
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS4	-0.6258	0.0754825	-0.018463993C	0.005527095I	-0.0007090824	-0.00103594	0.001246764C	-0.00095200C
BUS5	-0.37352	0.0242555I	-0.001069872E	0.000581440I	-0.000349962C	0.00011777C	-0.000026096I	-0.00001298E
BUS7	-1.038694E	0.0595909C	0.0371967450C	0.025294520C	0.0116538136E	-0.00614456	-0.027623789I	-0.04501760E
BUS10	-0.074935	0.0011874	-0.000001707C	-0.000000666	-0.000000003C	0.00000000C	0.00000000C	-0.00000000C
BUS13	-0.266385	0.0068270I	-0.00057139370	0.000125038E	-0.00002421670	0.00000388E	0.000000517C	-0.00000097E

ت) محاسبه کامیولنت های مرتبه γ تغییرات توان تزریقی $(K_\gamma(\Delta W))$:

کامیولنتهای ΔW تنها در کامیولنت اول با کامیولنتهای W متفاوت است. کامیولنت اول ΔW از

رابطه (۱۹-۲) محاسبه می شود.

کامیولنتهای مرتبه ۱ تا ۸ تغییرات توان تزریقی در جدول زیر درج شده است.

	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS3	-0.000000C	0.2119803	-0.0028192964	-0.016459841	-0.000142091C	0.00842233C	-0.000528339I	-0.01028206C
BUS4	0.0000000I	0.0561964I	-0.004227909E	-0.0018093590	0.0010411449C	0.00018993C	-0.000472713C	0.000076614
BUS5	-0.000000C	0.0290148C	0.0018985166E	-0.000218141	-0.000018869E	0.00004226E	-0.000000174	-0.00001884E
BUS6	0	0.1994954I	0.0098225873C	-0.030801522	-0.01172728670	0.02609160E	0.024157962E	-0.04661577C
BUS7	0.0000000I	0.0444945C	0.0286031772C	0.029378882C	0.0341922291I	0.03928783C	0.037243315C	0.007923626
BUS8	0.0000000I	0.7718898C	0.0240710025C	-0.335369722	-0.367846677E	0.8411628673	27.4961020E	-4.63395898E
BUS9	0.0000000I	1.780772E	0.3715033598E	-4.843224106	-4.626068083156	2818843E	120.2411908E	-1393.17705C
BUS10	-0.000000C	0.0141421I	-0.000547273E	-0.000009398	-0.000024148E	0.00001238C	0.000000566E	-0.00000238E
BUS11	0	0.6409734I	-0.176369437E	-0.0943125650	0.3097634554	-0.28017307	-0.489813884I	2.739260474
BUS12	0	5.1838325I	1.3998231086E	-5.971155016	-3.654620573E	28.5074202E	-124.4315321I	-411.128079C
BUS13	-0.000000C	0.0449383I	-0.01457886170	0.013496215E	-0.013541833E	0.011450797	-0.005587145I	-0.00670053C
BUS2	0	0	0	0	0	0	0	0
BUS4	-0.000000C	0.0754825	-0.018463993C	0.005527095I	-0.0007090824	-0.00103594	0.001246764C	-0.00095200C
BUS5	0	0.0242555I	-0.001069872E	0.000581440I	-0.000349962C	0.00011777C	-0.000026096I	-0.00001298E
BUS7	0.0000000I	0.0595909C	0.0371967450C	0.025294520C	0.0116538136E	-0.00614456	-0.027623789I	-0.04501760E
BUS10	0	0.0011874	-0.000001707C	-0.000000666	-0.000000003C	0.00000000C	0.00000000C	-0.00000000C
BUS13	0	0.0068270I	-0.00057139370	0.000125038E	-0.00002421670	0.00000388E	0.000000517C	-0.00000097E

ث) محاسبه کامیولنتهای مرتبه γ تغییرات اندازه و زاویه ولتاژ $(\Delta X)_\gamma$:

برای محاسبه کامیولنتهای ΔX می توان از رابطه (۲-۱۸) استفاده کرد. کامیولنتهای مرتبه ۱ تا ۸ تغییرات اندازه و زاویه ولتاژ در جدول زیر درج شده است. در دوازده سطر اول کامیولنتهای تغییرات زاویه باسهای ۲ تا ۱۳ درج شده است. در سطرهای بعدی کامیولنتهای تغییرات ولتاژ باسهای بار درج شده است.

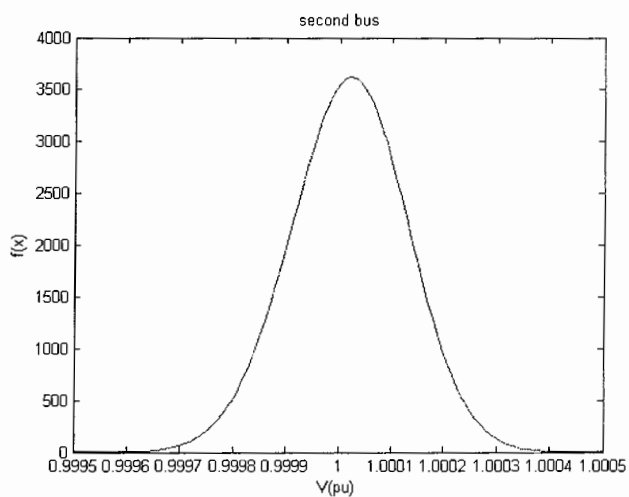
	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0	0.0000042	0.000000010	-0.000000000	-0.000000000	0	0	0
BUS3	0	0.0010822	-0.000001028E	-0.000000429	-0.000000000	0.000000001	-0.000000000	-0.000000000
BUS4	0	0.0003937	0.0000002681	-0.000000069	-0.000000000E	0.000000000	0.000000000	-0.000000000
BUS5	0	0.0014480	0.0000019824	-0.000001002	-0.000000018E	0.000000004	0.000000002	-0.000000000
BUS6	0	0.0004259	0.0000007440	-0.000000001	0.0000000001	0.000000000	0.000000000	-0.000000000
BUS7	0	0.0005594	0.0000069313	0.000000422	0.0000000319E	0.000000002	0.0000000001	0.000000000
BUS8	0	0.0121943	0.0000481609	-0.000071901	-0.000003886E	0.0000028010	0.000000369E	-0.00000025
BUS9	0	0.0118151	0.0000470547	-0.000070618	-0.000003776E	0.00000278E	0.000000364E	-0.00000024E
BUS10	0	0.0145420	-0.000036823E	-0.000075194	-0.000002319E	0.00000265E	0.000000344E	-0.00000023E
BUS11	0	0.0247806	-0.0005635781	-0.000123069	0.0000232483	-0.00000101	-0.000000664	0.000000639
BUS12	0	0.0035605	0.0000251984	-0.000002817	-0.0000000451	0.00000000E	-0.0000000011	-0.000000000
BUS13	0	0.0005307	-0.000001537E	0.000000128E	-0.00000000740	0.000000000	-0.000000000	-0.000000000
BUS2	0	0.0000000	0.000000000	0	0	0	0	0
BUS4	0	0.0000065	-0.000000007E	0.000000000	-0.000000000	0	0	0
BUS5	0	0.0000173	-0.000000013E	0.000000000	-0.000000000	0.000000000	0	0
BUS7	0	0.0000673	-0.0000013457	0.000000029E	0.0000000004	-0.000000000	-0.000000000	-0.000000000
BUS10	0	0.0000009	-0.0000000001	-0.000000000	0	0	0	0
BUS13	0	0.0000063	-0.0000000137	0.000000000	-0.000000000	0.000000000	0	0

ج) محاسبه کامیولنتهای مرتبه γ اندازه و زاویه ولتاژ $(\Delta X)_\gamma$:

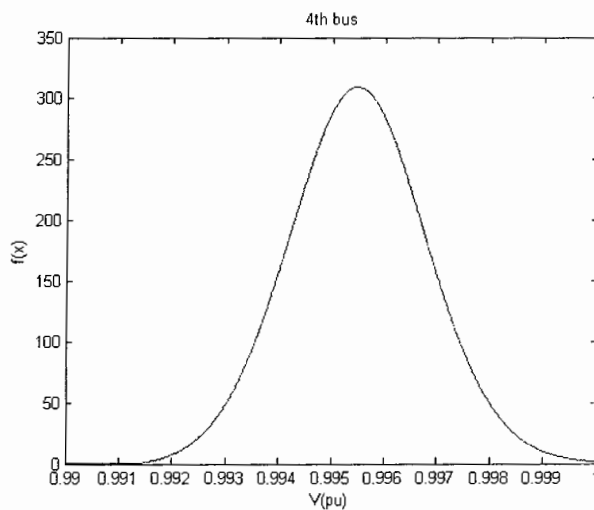
کامیولنتهای ΔX تنها در کامیولنت اول با کامیولنتهای X متفاوت است. کامیولنت اول X از رابطه (۲-۱۹) محاسبه می شود. کامیولنتهای مرتبه ۱ تا ۸ اندازه و زاویه ولتاژ باسها مشابه با جدول فوق در جدول زیر آمده است.

	first	second	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
BUS2	0.0188228	0.0000042	0.000000010	-0.000000000	-0.000000000	0	0	0
BUS3	-2.385205E	0.0010822	-0.000001028E	-0.000000429	-0.000000000	0.000000001	-0.000000000	-0.000000000
BUS4	-3.541220E	0.0003937	0.0000002681	-0.000000069	-0.000000000E	0.000000000	0.000000000	-0.000000000
BUS5	-5.3101047	0.0014480	0.0000019824	-0.000001002	-0.000000018E	0.000000004	0.000000002	-0.000000000
BUS6	-6.974735E	0.0004259	0.0000007440	-0.000000000	0.0000000001	0.000000000	0.000000000	-0.000000000
BUS7	-10.15845E	0.0005594	0.0000069313	0.000000422	0.0000000319E	0.000000002	0.0000000001	0.000000000
BUS8	-7.4439024	0.0121943	0.0000481609	-0.000071901	-0.000003886E	0.0000028010	0.000000369E	-0.00000025
BUS9	-7.729858E	0.0118151	0.0000470547	-0.000070618	-0.000003776E	0.00000278E	0.000000364E	-0.00000024E
BUS10	-8.887478E	0.0145420	-0.000036823E	-0.000075194	-0.000002319E	0.00000265E	0.000000344E	-0.00000023E
BUS11	-9.5821174	0.0247806	-0.0005635781	-0.000123069	0.0000232483	-0.00000101	-0.000000664	0.000000639
BUS12	0.5452283	0.0035605	0.0000251984	-0.000002817	-0.00000004510	0.00000000E	-0.0000000011	-0.000000000
BUS13	-8.260518E	0.0005307	-0.000001537E	0.000000128E	-0.00000000740	0.000000000	-0.000000000	-0.000000000
BUS2	1.000018E	0.0000000	0.000000000	0	0	0	0	0
BUS4	0.991755E	0.0000065	-0.000000007E	0.000000000	-0.000000000	0	0	0
BUS5	0.9856159	0.0000173	-0.000000013E	0.000000000	-0.000000000	0.000000000	0	0
BUS7	0.955909E	0.0000673	-0.0000013457	0.000000029E	0.0000000004	-0.000000000	-0.000000000	-0.000000000
BUS10	0.9981108	0.0000009	-0.0000000001	-0.000000000	0	0	0	0
BUS13	0.9888924	0.0000063	-0.0000000137	0.000000000	-0.000000000	0.000000000	0	0

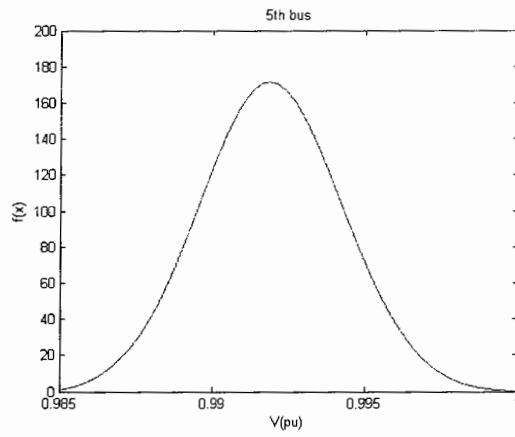
د) محاسبه توابع چگالی احتمال ولتاژ: بعد از مشخص شدن کامیولنت های ولتاژ باسها، می توان تابع چگالی احتمال ولتاژ هر یک از ۶ باس PQ در شبکه غرب را محاسبه و رسم کرد. این توابع چگالی احتمال در شکلهای (۴-۲) و (۵-۲) و (۶-۲) و (۷-۲) و (۸-۲) و (۹-۲) رسم شده اند.



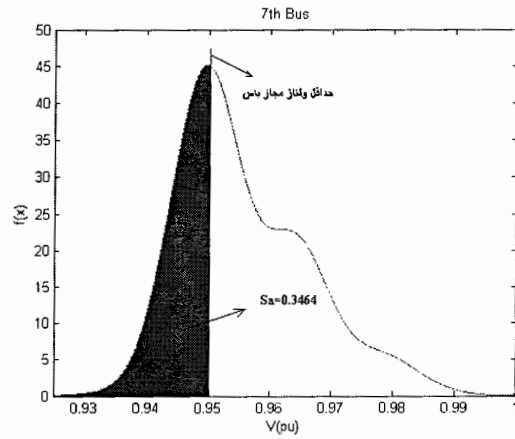
شکل (۴-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۲ (کرمانشاه شرقی ۲)



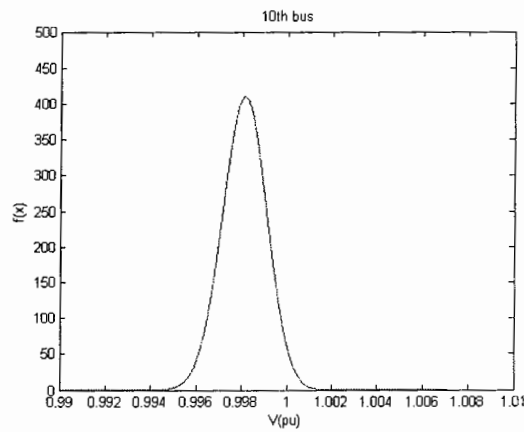
شکل (۵-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۴ (کرمانشاه ۲)



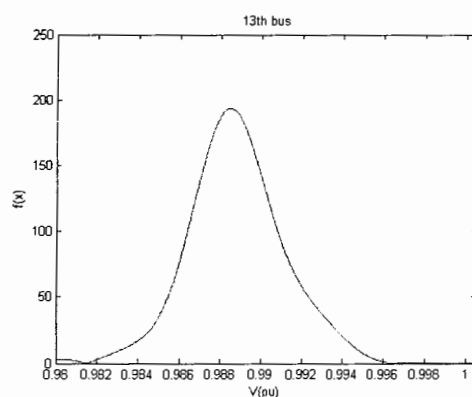
شکل (۶-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۵ (چمران)



شکل (۷-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۷ (سر پل ذهاب)



شکل (۸-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۱۰ (دیواندره)



شکل (۲-۹): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس ۱۳ (ایلام ۲)

برای تعیین ضرورت توسعه توان راکتیو باید احتمال نقض حد ولتاژ هر باس را محاسبه نمود اگر این احتمال بیشتر از حد معینی باشد، توسعه توان راکتیو در باس مذکور از اولویت بیشتری نسبت به باسهای دیگر برخوردار است. با توجه به معلوم بودن تابع چگالی احتمال ولتاژ باس، این احتمال از رابطه ی (۲-۲۲) محاسبه می شود. احتمال کمتر شدن ولتاژ باس از حد مجاز خود در جدول ۲-۳ آورده شده است. با بررسی اعداد این جدول متوجه می شویم که با فرض افزایش ۴۰ درصدی بار و تولید در پنج سال آینده، ولتاژ باس سر پل ذهاب (باس هفت) با احتمال ۳۴/۶ درصد کمتر از حد مجاز خود خواهد بود؛ بنابراین توسعه تولید توان راکتیو در این باس نسبت به باسهای دیگر از اولویت برخوردار است.

جدول (۲-۳): احتمال کمتر شدن ولتاژ باس از حد مجاز

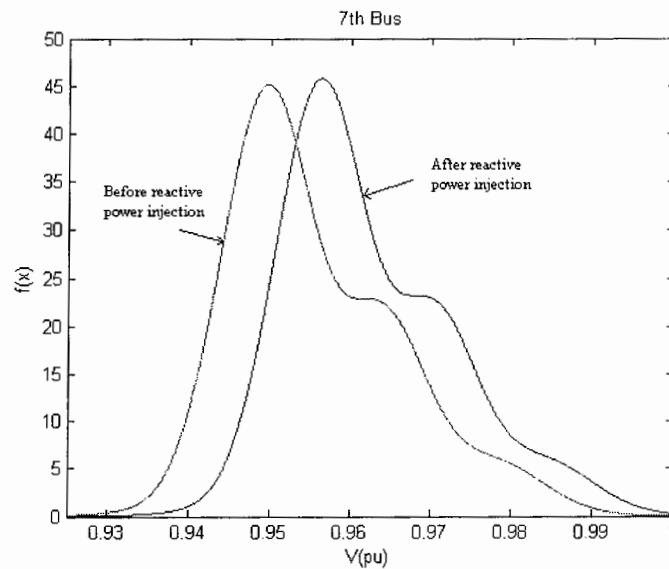
اسم باس بار	شماره باسهای بار	$p(X \leq V_{\min})$
شرق کرمانشاه	۲	۰
باختر ۲	۴	۰
چمران	۵	۰
سرپل ذهاب	۷	۰/۳۴۶۴
دیواندره	۱۰	۰
ایلام	۱۳	۰

برای توسعه تولید توان راکتیو در باس سر پل ذهاب از الگوریتم شکل (۲-۲) استفاده می شود. برای این کار $p_{\max}=0.05$ و $\Delta Q=10\text{Mvar}$ فرض می شود. احتمال نقض حد ولتاژ باس سر پل ذهاب در گامهای مختلف در جدول (۴-۲) آمده است.

جدول (۴-۲): مقادیر عددی برای $p(V(i) \leq 0.95)$ در گامهای مختلف

	توان راکتیو تزریقی به باس سر پل ذهاب	$p(V_7 \leq 0.95_{pu})$
حالت پایه	۰ Mvar	۰/۳۴۵۴
گام ۱	۱۰ Mvar	۰/۲۰۱
گام ۲	۲۰ Mvar	۰/۰۹۱۷
گام ۳	۳۰ Mvar	۰/۰۳۲۸

با توجه به برقراری رابطه $P(V(i) \leq 0.95) \leq 0.05$ در گام ۳، اجرای الگوریتم در این مرحله متوقف می شود. تابع چگالی احتمال ولتاژ باس سر پل ذهاب در حالت پایه و بعد از توسعه توان راکتیو در شکل (۱۰-۲) رسم شده است.



شکل (۱۰-۲): تابع چگالی احتمال ولتاژ باس سر پل ذهاب در

حالت پایه و بعد از توسعه توان راکتیو

۷-۲ نتیجه گیری:

در این فصل توسعه تولید توان راکتیو در سیستم غرب کشور با استفاده از پخش بار احتمالی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که از میان ۶ باس PQ در این سیستم، باس بار سر پل ذهاب به احتمال ۳۴/۶ درصد در سال ۱۳۹۰ با مشکل افت ولتاژ مواجه خواهد شد. این افت ولتاژ خارج از محدوده مجاز ۰/۹۵ پریونیت می باشد. برای رفع مشکل نقض حد ولتاژ باس سر پل ذهاب، توان راکتیو در گامهای ۱۰ Mvar به این باس تزریق و بعد از ۳ گام احتمال افت ولتاژ در محدوده مجاز قرار می گیرد. بدین ترتیب مشکل افت ولتاژ برای سال ۱۳۹۰ در باس سر پل ذهاب حل خواهد شد.

فصل سوم

توسعه بازار محوری توان راکتیو

بر اساس آزاد سازی محدودیتها

۳-۱ مقدمه: در محیط های مقررات زدایی شده سرمایه گذاری مطمئن نیازمند داشتن اطلاعات مناسب از شرایط بازار می باشد به عنوان مثال داشتن اطلاعات زیر برای یک سرمایه گذار توان راکتیو ضروری به نظر می رسد:

الف) مکان سرمایه گذاری

ب) میزان فروش توان راکتیو

پ) قیمت فروش توان راکتیو

الف) مکان سرمایه گذاری: تعدد مصرف کنندگان توان و متفاوت بودن میزان مصرف توان راکتیو، باعث شده که احتیاج به تولید توان راکتیو در نقاط مختلف شبکه متفاوت باشد. با توجه به متفاوت بودن نیاز به تولید توان راکتیو در نقاط مختلف شبکه، ISO باس های کاندید برای توسعه توان راکتیو را مشخص می کند و سرمایه گذار توان راکتیو بهترین باس از لحاظ فروش و بازگشت سرمایه را از بین این باس ها برای سرمایه گذاری انتخاب می کند.

ب) میزان فروش توان راکتیو: اطلاع داشتن از میزان فروش توان راکتیو برای طراحی و خریداری تجهیزات مورد نیاز برای سرمایه گذار اهمیت خاصی دارد.

پ) قیمت فروش توان راکتیو: چنانچه تولید کننده قیمت بالا پیشنهاد نماید، احتمال برنده شدن در بازار و فروش توان راکتیو کاهش می یابد. و در نتیجه سودش کاهش می یابد. چنانچه تولید کننده قیمت پایین پیشنهاد نماید، احتمال برنده شدن در بازار افزایش یافته ولی قیمت فروش کاهش می یابد و در نتیجه سود کاهش خواهد یافت. لذا فروشنده باید بالاترین قیمتی را که کل توان راکتیوش به فروش می رسد را تعیین و به بازار پیشنهاد نماید. در این فصل از پایان نامه روشی جهت تعیین مکان سرمایه گذاری، میزان فروش توان راکتیو و پیشنهاد قیمت برای سرمایه گذار توان راکتیو ارائه می شود.

۲-۳ توسعه بازار محوری توان راکتیو

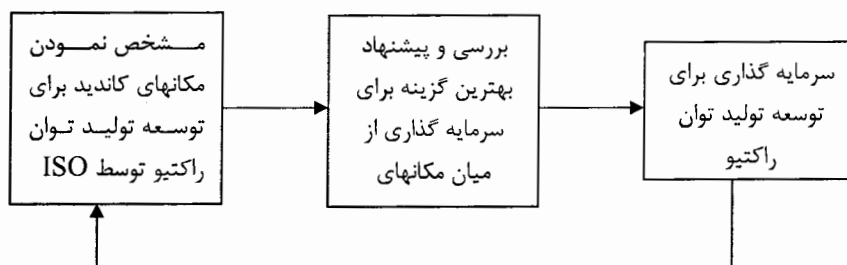
مهمترین هدف در توسعه بازار محوری توان راکتیو، تعیین مکان و ظرفیت تولید توان راکتیو با توجه به مسائل اقتصادی می باشد.

عوامل اثر گذار در میزان فروش تولید کننده توان راکتیو، عبارتند از:

الف) قیمت پیشنهادی تولید کننده توان راکتیو: میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده با قیمت پیشنهادی رابطه عکس دارد. بدین معنی که میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده ارزان قیمت بیشتر از تولید کننده گران قیمت است.

ب) موقعیت تولید کننده توان راکتیو در شبکه: همانگونه که قبلاً اشاره شد توان راکتیو باید به صورت محلی تأمین گردد. شرایط مکانی مصرف کنندگان و خطوط انتقال در سیستم قدرت و لزوم تولید محلی توان راکتیو باعث می شود که در بعضی از نقاط شبکه نیاز به تولید توان راکتیو بیشتر از نقاط دیگر احساس شود.

توسعه بازار محوری توان راکتیو باعث افزایش ظرفیت تولید توان راکتیو تولید کنندگانی می شود که موقعیت مناسبی در شبکه دارند و یا قیمت مناسبی برای تولید توان راکتیو پیشنهاد کرده اند. افزایش ظرفیت چنین تولید کنندگانی، هزینه نهایی سیستم را کاهش می دهد. شکل (۱-۳) روند کلی برای توسعه بازار محوری توان راکتیو را مشخص می کند.

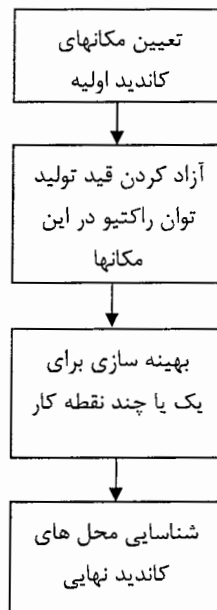


شکل (۱-۳): الگوریتم پیشنهادی برای توسعه تولید توان راکتیو

۳-۲-۱ مشخص نمودن مکانهای کاندید برای توسعه توان راکتیو توسط ISO:

برای مشخص نمودن مکان های کاندید برای توسعه تولید توان راکتیو توسط ISO می توان از

فلوچارت شکل (۳-۲) استفاده کرد.



شکل (۳-۲): الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی محل های کاندید برای

سرمایه گذاری توان راکتیو توسط ISO

الف) تعیین محل های کاندید اولیه برای توسعه تولید توان راکتیو: جاهایی از شبکه که در

آنها ژنراتور وجود دارد کاندید های مناسبی برای توسعه تولید توان راکتیو می باشند؛ چون با

سرمایه گذاری اندکی می توان توان راکتیو تولیدی این ژنراتورها را افزایش داد.

ب) آزاد سازی قید تولید توان راکتیو در این مکانها: برای تعیین مقدار و محل توسعه توان

راکتیو، می توان حدود بالای تولید و جذب توان راکتیو ژنراتورها را آزاد گذاشت. آزاد کردن قید

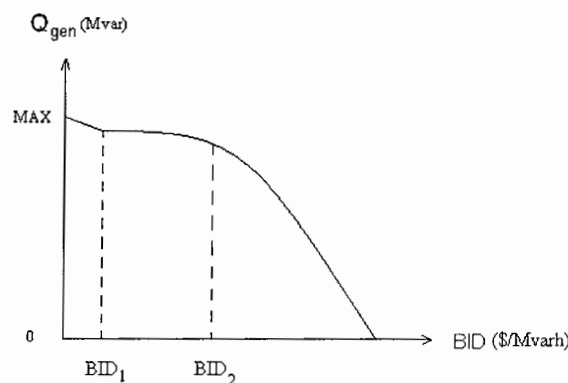
تولید توان راکتیو به ژنراتورها این امکان را می دهد که توان راکتیو مورد نیاز شبکه را بدون

محدودیت تولید و یا جذب کنند.

پ) بهینه سازی برای یک یا چند نقطه کار: در این مرحله مسئله بهینه سازی (۳-۳-۱) حل شده و نقطه کار بهینه جدید مشخص می شود.

ت) شناسایی محل های کاندید نهایی: محل های کاندید نهایی برای توسعه تولید توان راکتیو محل هایی هستند که با آزاد کردن قید، مقدار تولید توان راکتیو در آنها افزایش یابد.

۳-۲-۲ بررسی و پیشنهاد بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو: در مرحله قبل کاندیدهای نهایی برای توسعه تولید توان راکتیو توسط ISO مشخص شد. بهترین گزینه برای سرمایه گذاری در میان این کاندیدها گزینه ای است که علیرغم پیشنهاد قیمت بالا توسط تولید کننده میزان توان راکتیو خریداری شده از آن کاهش محسوسی نداشته باشد. به عبارت دیگر تولید کننده توان راکتیو موقعیت مناسبی از لحاظ مکانی در شبکه قدرت داشته باشد. برای بررسی موقعیت مکانی تولید کننده توان راکتیو می توان از نمودار Q_{gen} -BID استفاده کرد. این نمودار برای یک ژنراتور نوعی، در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۳): نمودار Q_{gen} -BID برای یک ژنراتور نوعی

این نمودار نشانگر میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده توان راکتیو به ازای قیمت پیشنهادی اش می باشد. همانگونه که از نمودار مشخص است؛ اگر تولید کننده توان راکتیو قیمت پیشنهادی خود را تا مبلغ BID_2 افزایش دهد، میزان توان راکتیو خریداری شده تغییر

محسوسی نخواهد کرد. اما افزایش قیمت بیشتر از مبلغ BID_2 (\$/Mvarh) باعث کاهش میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده توان راکتیو می شود.

۳-۲-۱ بدست آوردن نمودار $Q_{gen}-BID$:

میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده توان راکتیو به ازای قیمت پیشنهادی اش از پخش بار بهینه توضیح داده شده در (۳-۳-۱) مشخص می شود. بنابراین برای بدست آوردن نمودار (۳-۳) برای ژنراتور Δm باید مراحل زیر طی شود:

الف- قید تولید توان راکتیو ژنراتور Δm را بینهایت در نظر می گیریم؛ در حالی که بقیه ژنراتورها محدودیت تولید توان راکتیو دارند (حالت پایه).

ب- قیمت پیشنهادی تولید کننده را صفر انتخاب کرده و با پخش بار بهینه توضیح داده شده در (۳-۳-۱) میزان توان راکتیو تولیدی را مشخص می کنیم.

پ- قیمت پیشنهادی با پله های کوچکی افزایش و پخش بار بهینه را تکرار می کنیم تا میزان توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده توان راکتیو مشخص شود. این روند تا زمانی ادامه پیدا می کند که توان راکتیو خریداری شده از تولید کننده به صفر برسد.

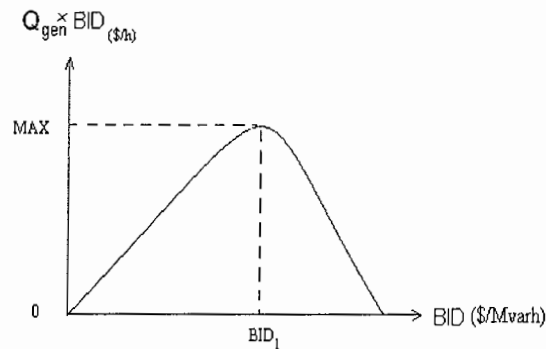
با در دست داشتن مقادیر توان راکتیو تولیدی متناظر با قیمت پیشنهادی در هر پله، نمودار $Q_{gen}-BID$ قابل رسم خواهد بود.

۳-۲-۲ معیار انتخاب بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو:

برای معرفی بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو از معیار درآمد فروش توان راکتیو استفاده می شود؛ بدین معنی که اگر درآمد فروش تولید کننده A بیشتر از تولید کننده B باشد، سرمایه گذاری در طرح A از اولویت بیشتری نسبت به طرح B برخوردار است. درآمد فروش توان راکتیو به صورت زیر محاسبه می شود:

$$REVENUE^{(\$ / h)} = BID^{(\$ / MVarh)} \times Q_G^{(MVar)} \quad (1-3)$$

نمودار (۳-۳) نشانگر توانایی تولید کننده توان راکتیو در افزایش قیمت پیشنهادی خود است اما با توجه به معیار درآمد فروش برای معرفی بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو، استفاده از نمودار (۴-۳) توصیه می شود.



شکل (۴-۳): نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای یک ژنراتور نوعی

نمودار (۴-۳) نشانگر این است که اگر تولید کننده توان راکتیو قیمت BID_1 را پیشنهاد کند، بیشترین درآمد را خواهد داشت. این نمودار با توجه به معلوم بودن توان راکتیو خریداری شده از تولیدکننده به ازای قیمت پیشنهادی اش قابل رسم می باشد. با توجه به رقابت و عدم قطعیت در پیشنهاد قیمت برای تولید کننده توان راکتیو، نمی توان نمودار واقعی $Q_{gen} \times BID - BID$ را برای یک ژنراتور به دست آورد؛ چرا که با نوسان قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب، میزان توان راکتیو خریداری شده و نتیجتاً نمودار (۴-۳) تغییر می کند. تغییر قیمت ژنراتورهای رقیب در سناریوهای مختلفی می تواند اتفاق بیافتد. برای در نظر گرفتن تاثیر این سناریوها در انتخاب طرح نهایی می توان از تکنیک سناریو استفاده نمود. تکنیک سناریو در ادامه تشریح می گردد. در انتها باید توجه داشت که سرمایه گذاری و تولید توان راکتیو در قسمتهای مختلف شبکه میزان فروش توان راکتیو بقیه ژنراتورها را کاهش خواهد داد و اگر این ژنراتورها با قیمت قبلی در مناقصه شرکت کنند، ممکن است میزان

فروش و درآمدشان پایین بیاید. برای جلوگیری از این ضرر، برای هر کدام از ژنراتورهایی که از فروش خود ناراضی اند، می توان نقطه کار بهینه را از نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ بدست آورد.

۳-۳ تکنیک سناریو [۱۴]:

تکنیک سناریو برای مدل نمودن عدم قطعیت‌های غیر تصادفی (تکرار ناپذیر) بکار می‌رود.

الگوریتم طراحی توسعه با استفاده از تکنیک سناریو به صورت زیر می‌باشد [۲۵]-[۱۷]:

- تعیین مجموعه سناریوهای موثر (استراتژیک) ممکن. یک سناریو مجموعه‌ای از پیشامدها یا تحقیق‌های همه عدم قطعیت‌های غیر تصادفی (تکرار ناپذیر) می‌باشد. سناریوها باید بگونه‌ای تعریف شوند که تمام عدم قطعیت‌های غیر تصادفی را بپوشند.
- تعیین مجموعه راه حل‌های (طرح‌های توسعه) ممکن.
- انتخاب یک تابع هزینه برای اندازه‌گیری برآزندگی طرح‌های توسعه.
- انتخاب طرح نهایی با استفاده از یکی از معیارهای زیر:

۳-۳-۱ معیار هزینه مورد انتظار: این معیار طرحی را انتخاب می‌نماید که دارای حداقل

هزینه مورد انتظار روی سناریوهای مختلف می‌باشد، یعنی:

$$\text{Min}_k E^k = \sum_l v^l f^{k,l} \quad (2-3)$$

در معادله فوق متغیرها به صورت زیر تعریف شده اند:

E^k	هزینه مورد انتظار طرح k
v^l	درجه رخداد سناریوی l
$f^{k,l}$	هزینه طرح k در سناریوی l

۳-۳-۲ معیار لاپلاس: برطبق این معیار طرحی که مجموع هزینه‌ها در سناریوهای مختلف

را حداقل می‌نماید به عنوان طرح نهایی انتخاب می‌شود [۱۷].

۳-۳-۳ معیار حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک): در تحلیل ریسک راه حل بهینه با حداقل کردن پشیمانی تعیین می‌شود [۲۵]-[۱۷]. پشیمانی معیاری از ریسک می‌باشد. پشیمانی طرح k در سناریوی l برابر با اختلاف بین هزینه طرح k در سناریوی l و هزینه بهینه سناریوی l تعریف می‌شود. یعنی:

$$r^{k,l} = f^{k,l} - f^{op,l} \quad (۳-۳)$$

$r^{k,l}$ پشیمانی طرح k در سناریوی l
 $f^{op,l}$ هزینه طرح بهینه سناریوی l

در تحلیل ریسک طرحی که حداکثر پشیمانی موزون را روی همه سناریوهای آینده حداقل می‌نماید به عنوان طرح‌نهایی انتخاب می‌شود [۲۱]، یعنی:

$$\text{Min}_k \left\{ \text{Max}_l (v^l r^{k,l}) \right\} \quad (۴-۳)$$

این معیار برای تصمیمات بسیار مهم جایی که ادامه حیات تحت سناریوهای بعیدالوقوع ولی فاجعه برانگیز ضروری است، استفاده می‌شود.

۴-۳-۳ معیار فن نویمن مرگن اشترن: این معیار بشدت بدبین بوده و فرض می‌نماید که نامطلوب‌ترین سناریو برای هر طرح اتفاق می‌افتد [۱۷]. برطبق این معیار طرحی که حداکثر هزینه در سناریوهای مختلف را حداقل می‌نماید به عنوان طرح‌نهایی انتخاب می‌شود. یعنی:

$$\text{Min}_k \left\{ \text{Max}_l (f^{k,l}) \right\} \quad (۵-۳)$$

به صورت مشابه از معیار بشدت خوشبین می‌توان برای انتخاب طرح‌نهایی استفاده نمود. یعنی:

$$\text{Min}_k \left\{ \text{Min}_l (f^{k,l}) \right\} \quad (۶-۳)$$

۳-۳-۵ معیار هورویکس: طرحی که ترکیب محدب راه‌حل‌های به شدت بدبین و به شدت

خوشبین را حداقل می‌نماید به عنوان طرح‌نهایی انتخاب می‌شود [۱۷].

۳-۳-۶ معیار بهینه پرتو: طرحی بهینه پرتو می‌باشد که توسط هیچ طرح دیگر مغلوب

نشود. طرح X توسط طرح Y مغلوب می‌شود هر گاه هزینه‌های طرح X در تمام

سناریوها بیشتر از هزینه‌های طرح Y باشد [۲۲]. این معیار برای حذف بدترین

گزینه‌ها مناسب می‌باشد.

۳-۳-۷ معیار مقاومت: یک طرح در یک سناریو مقاوم نامیده می‌شود اگر پیشیمانی آن در

این سناریو صفر باشد. بر طبق این معیار طرحی قابل قبول است که حداقل در η

درصد سناریوها مقاوم باشد [۲۲]، [۱۹]-[۱۸].

۳-۳-۸ معیار مقاومت β : بر طبق این معیار طرحی قابل قبول است که اضافه هزینه آن

نسبت به طرح بهینه مربوطه در هر سناریو از β درصد تجاوز نکند [۲۲].

برای مشخص کردن طرح بهینه بعدی برای سرمایه گذاری، در سیستم فعلی (بعد از سرمایه

گذاری در طرح بهینه اول) حدود بالای تولید توان راکتیو ژنراتورها را آزاد می‌گذاریم؛ محللهایی

که با آزاد کردن قید، مقدار تولید توان راکتیو در آنها افزایش یابد، مکانهایی مناسبی برای

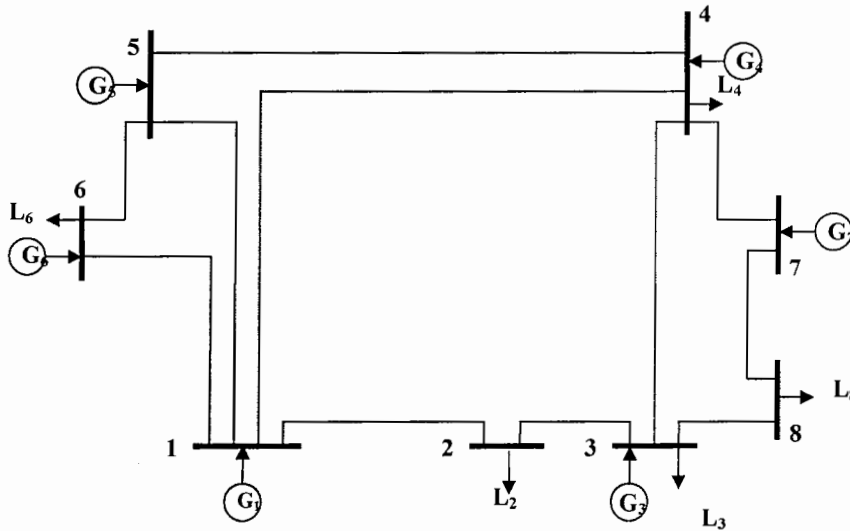
سرمایه گذاری هستند که با استفاده از روش توضیح داده شده در قسمت (۳-۲-۲) باید

بهترین مکان از میانشان انتخاب شود. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که با آزاد کردن

قید، مقدار تولید توان راکتیو ژنراتورها تغییر نکند.

۳-۴ سیستم مورد مطالعه:

در این فصل برای بررسی مکان و میزان سرمایه گذاری توان راکتیو، از سیستم هشت باسه شکل (۳-۵) استفاده می شود.



شکل (۳-۵): سیستم هشت باسه مورد مطالعه

داده‌های تولید و بار برای حداکثر بار روزانه در افق توسعه در جداول ۱-۳، ۲-۳ داده شده است.

پارامترهای خطوط انتقال در جدول ۳-۳ داده شده است.

جدول (۱-۳): داده‌های مولدهای شبکه ۸ باسه

Gen. No.	Name	Bus No.	Min (MW)	Max (MW)	Bid (\$/MWhr)	Min (MVAR)	Max (MVAR)	Bid (\$/MVARhr)
۱	G ₁	۱	۰	۲۸۰	۲۰	۰	۸۴	۴
۳	G ₃	۳	۰	۵۲۰	۲۵	۰	۳۰۰	۵
۴	G ₄	۴	۰	۲۵۰	۲۰	۰	۱۵۰	۴
۵	G ₅	۵	۰	۵۰۰	۱۰	۰	۱۵۰	۲
۶	G ₆	۶	۰	۴۰۰	۲۰	۰	۲۰۰	۴
۷	G ₇	۷	۰	۲۰۰	۲۰	۰	۶۰	۴

جدول (۲-۳): داده‌های بارهای شبکه ۸ باسه

Load No.	Name	Bus No.	Load (Max MW)	Bid (\$/MWhr)	Load (Max MVAR)	Bid (\$/MVARhr)
۱	L ₁	۱	۰	۰	۹۰	۳۰
۲	L ₂	۲	۳۰۰	۳۵	۹۰	۳۲
۳	L ₃	۳	۳۰۰	۲۸	۹۰	۳۵
۴	L ₄	۴	۲۵۰	۳۵	۷۵	۲۸
۵	L ₅	۵	۰	۰	۷۵	۳۵
۶	L ₆	۶	۲۵۰	۳۰	۷۵	۲۰
۷	L ₇	۷	۰	۰	۷۵	۲۵
۸	L ₈	۸	۳۰۰	۲۵	۹۰	۱۵

جدول (۳-۳): پارامترهای خطوط انتقال شبکه ۸ باسه

Line No.	From Bus No.	To Bus No.	Reactance (ohm)	Limit (MW)	Limit (MVAR)	Limit (MVA)
۱	۱	۲	۰/۰۳	۲۸۰	۱۹۶	۲۸۰
۲	۱	۴	۰/۰۳	۱۴۰	۹۸	۱۴۰
۳	۱	۵	۰/۰۰۶۵	۳۸۰	۲۶۶	۳۸۰
۴	۲	۳	۰/۰۱	۱۲۰	۸۴	۱۲۰
۵	۳	۴	۰/۰۳	۲۳۰	۱۶۱	۲۳۰
۶	۴	۵	۰/۰۳	۲۰۰	۱۴۰	۲۰۰
۷	۵	۶	۰/۰۲	۳۰۰	۲۱۰	۳۰۰
۸	۶	۱	۰/۰۲۵	۲۵۰	۱۷۵	۲۵۰
۹	۷	۴	۰/۰۱۵	۲۵۰	۱۷۵	۲۵۰
۱۰	۷	۸	۰/۰۲۲	۳۴۰	۲۳۸	۳۴۰
۱۱	۸	۳	۰/۰۱۸	۲۴۰	۱۶۸	۲۴۰

اگر معیار انتخاب کاندید اولیه باسهای دارای ژنراتور باشد، باسهای (۱ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷) به عنوان کاندیدهای اولیه برای توسعه تولید توان راکتیو انتخاب می شوند. حال قید تولید توان راکتیو این ژنراتورها آزاد شده و مسئله بهینه سازی (۱-۳-۳) حل می شود. میزان توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو در جدول (۳-۴) آمده است.

جدول (۳-۴): توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو

ژنراتور	توان راکتیو در حالت پایه بر حسب Mvar	توان راکتیو با آزاد کردن قید بر حسب Mvar
G ₁	۸۴	۹۸/۲
G ₃	۱۹۴/۵	۱۵۸/۲۴
G ₄	۸۶/۹	۶۰/۴۵
G ₅	۱۵۰	۱۶۶/۵۴
G ₆	۳۹/۸۶	.
G ₇	۶۰	۱۵۱/۸

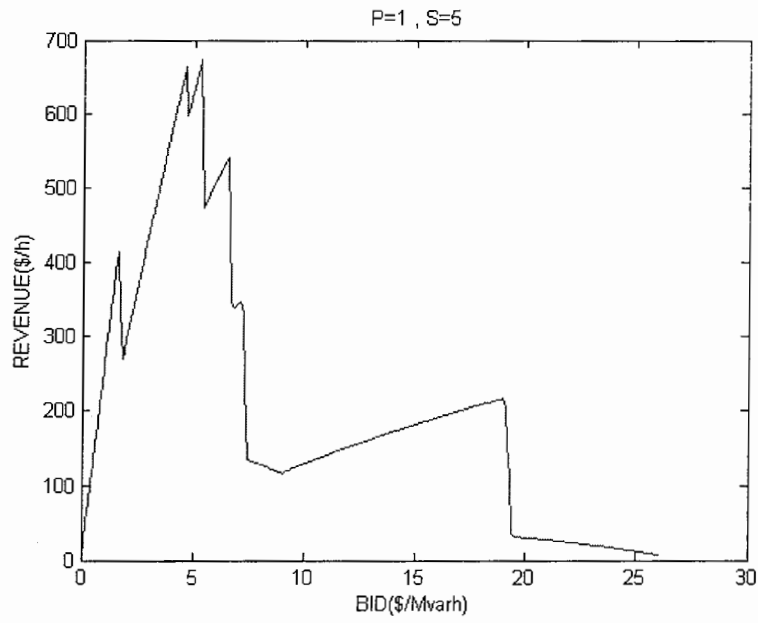
مقایسه اعداد این جدول نشان می دهد که با آزاد کردن قید تولید توان راکتیو در باسهای ۷و۵و۱، توان راکتیو تولیدی ژنراتورهای ۷و۵و۱ افزایش یافته است؛ در نتیجه باسهای ۷و۵و۱ به عنوان کاندیدهای نهایی توسعه تولید توان راکتیو انتخاب می شوند. در مرحله بعد برای مشخص شدن بهترین گزینه برای توسعه تولید توان راکتیو همانگونه که در بخش (۳-۲-۲) توضیح داده شد، باید نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ را برای هر سه ژنراتور به دست آوریم. نقطه ماکزیمم این نمودار به عنوان نقطه کار بهینه شناخته می شود.

باید توجه داشت که تغییر پیشنهاد قیمت ژنراتورهای رقیب باعث تغییر نقطه کار بهینه می شود. برای بررسی این تغییرات شش ژنراتور موجود در شبکه را به دو ناحیه A و B تقسیم می کنیم که در آن ژنراتورهای ۷و۵و۱ در ناحیه A و ژنراتورهای ۳و۴و۷ در ناحیه B قرار دارد. تقسیم بندی فوق معیارهای متفاوتی می تواند داشته باشد، از جمله نزدیکی ژنراتورها به هم، مدیریت یکسان و غیره. اکنون ۹ سناریو غالب را می توان به صورت جدول (۳-۵) تعریف کرد.

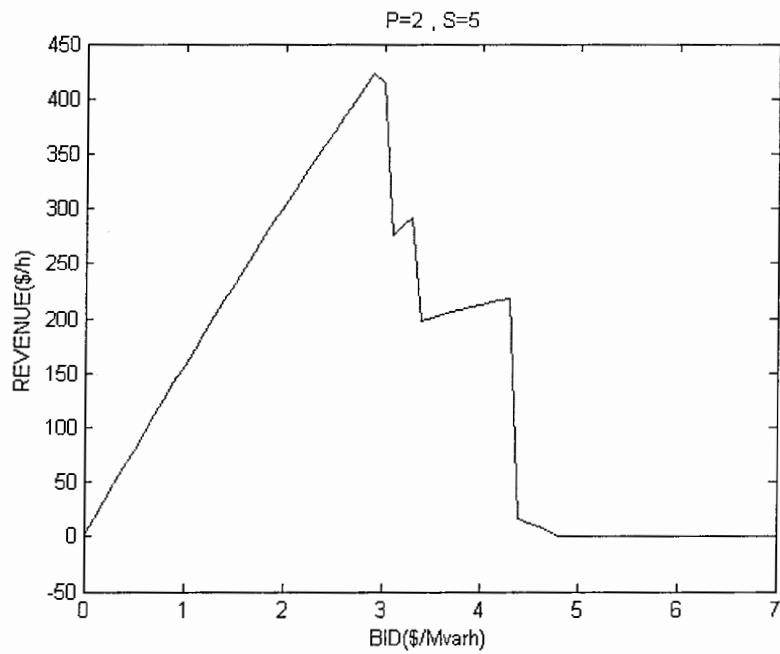
جدول (۳-۵): سناریوهای غالب در تغییر قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب

SEN.NUM	Group:A	Group:B
۱	$1.15bid_{base}$	$1.15bid_{base}$
۲	$1.15bid_{base}$	bid_{base}
۳	$1.15bid_{base}$	$0.85bid_{base}$
۴	bid_{base}	$1.15bid_{base}$
۵	bid_{base}	bid_{base}
۶	bid_{base}	$0.85bid_{base}$
۷	$0.85bid_{base}$	$1.15bid_{base}$
۸	$0.85bid_{base}$	bid_{base}
۹	$0.85bid_{base}$	$0.85bid_{base}$

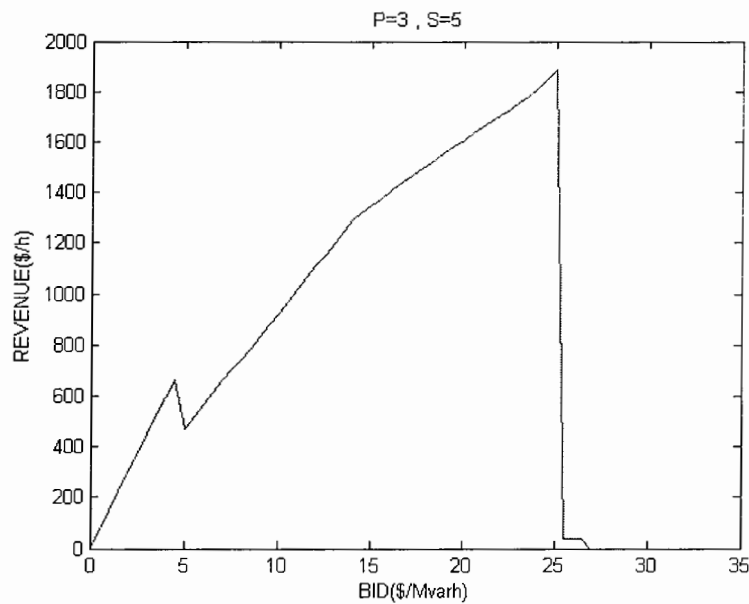
به عنوان نمونه در سناریو ۳ ژنراتورهای ناحیه ی A قیمت پیشنهادی تولید توان راکتیو را ۱۵٪ افزایش و ژنراتورهای ناحیه B قیمت پیشنهادی را ۱۵٪ کاهش می دهند. سرمایه گذاری در باسهای ۱ و ۷ به ترتیب به عنوان طرحهای توسعه اول، دوم و سوم شناخته می شوند. اکنون سه طرح توسعه ی تولید توان راکتیو وجود دارد. همچنین ۹ سناریو غالب وجود دارد که هر کدام از آنها ممکن است اتفاق بیافتد. به عنوان نمونه نمودار درآمد-پیشنهاد قیمت برای سه طرح توسعه در سناریوی ۵ در شکلهای (۳-۶) و (۳-۷) و (۳-۸) رسم شده است.



شکل (۳-۶): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۱ در سناریوی ۵



شکل (۳-۷): نمودار $Q_{gen} \times \text{BID-BID}$ برای طرح ۲ در سناریوی ۵



شکل (۸-۳): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای طرح ۳ در سناریوی ۵

نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای بقیه سناریوها در هر سه طرح توسعه در پیوست الف آورده شده است. در این بخش برای تعیین بهترین گزینه برای سرمایه گذاری (طرح نهایی) از معیارهای الف) حداقل حداکثر پیشیمانی (تحلیل ریسک) ب) معیار مقاومت که در بخش (۳-۳-۷) توضیح داده شده استفاده می شود. برای این منظور هزینه طرح K در سناریو L به صورت زیر تعریف می شود:

$$f^{k,l} = \frac{1}{REVENUE(\$ / h)} \times 100 \quad (۷-۳)$$

$$REVENUE(\$ / h) = BID(\$ / MVarh) \times Q_G^{(MVar)} \quad (۸-۳)$$

حال می توان با توجه به توضیحات بخش (۳-۳-۳) و رابطه (۷-۳) هزینه ی متناظر با نقطه ی کار بهینه (بهترین پیشنهاد قیمت) را بدست آورد. جدول (۶-۳) هزینه سه طرح پیشنهادی را در ۹ سناریوی محتمل نشان می دهد.

جدول (۶-۳): هزینه سه طرح پیشنهادی در ۹ سناریوی محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0.1356702	0.1358604	0.1360373	0.1481853	0.1484326	0.1486624	0.1618119	0.1613784	0.1609296
plan2	0.1903697	0.1869653	0.1879585	0.2327902	0.2364586	0.2378026	0.2946864	0.2965044	0.2983580
plan3	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530573	0.0530574	0.0530574	0.0530372

الف) معیار حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک):

با توجه به توضیحات بخش (۳-۳-۳) جدول پشیمانی به صورت زیر بدست می آید:

جدول (۷-۳): پشیمانی سه طرح پیشنهادی در ۹ سناریوی محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0.0826127	0.0828029	0.0829798	0.0951278	0.0953751	0.0956050	0.1087544	0.1083209	0.1078924
plan2	0.1373122	0.1339078	0.1349010	0.1797327	0.1834011	0.1847452	0.2416290	0.2434489	0.2453208
plan3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

حداکثر پشیمانی برای هر طرح در جدول (۸-۳) آمده است:

جدول (۸-۳): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو

	Maximum regret
plan1	۰/۱۰۸۷۵۴۴
plan2	۰/۲۴۵۳۲۰۸
plan3	۰

از میان طرحهای فوق طرح ۳ کمترین پشیمانی را دارد؛ بنابراین طرح ۳ بعنوان طرح بهینه برای

سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

ب) معیار مقاومت:

بنابر تعریف طرح مقاوم که در بخش (۷-۳-۳) توضیح داده شد، طرح ۳ در تمامی سناریوها مقاوم

می باشد؛ چراکه پشیمانی این طرح در تمامی سناریوها، صفر می باشد. بنابراین، طرح ۳ بعنوان

طرح بهینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

همان گونه که مشاهده گردید طرح سه در هر دو معیار به عنوان طرح بهینه انتخاب شد؛ بنابراین سرمایه گذاری برای توسعه تولید توان راکتیو در باس هفت انجام می شود. با توجه به نمودار $(Q_{gen} \times BID - BID)$ ، پیشنهاد قیمت متناظر با بیشترین فروش در نه سناریو برای باس ۷ برابر $(\$/Mvarh)$ ۲۵ می باشد. بنابراین تولید کننده توان راکتیو در این باس برای حداکثر شدن فروش خود باید $(\$/Mvarh)$ ۲۵ پیشنهاد قیمت دهد.

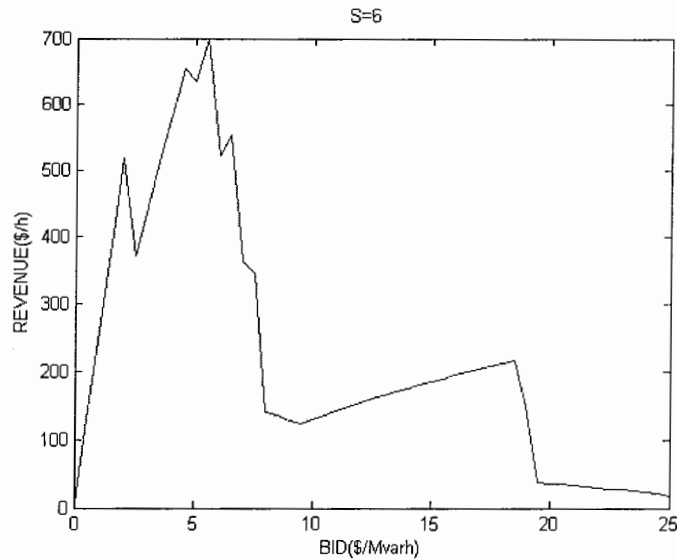
بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باس ۷، برای مشخص شدن طرح بهینه بعدی برای سرمایه گذاری، حدود بالای تولید توان راکتیو ژنراتورها را آزاد می گذاریم؛ محلهایی که با آزاد کردن قید، مقدار تولید توان راکتیو در آنها افزایش یابد، مکانهای مناسبی برای سرمایه گذاری هستند که با استفاده از روش توضیح داده شده در قسمت (۳-۲-۲) باید بهترین مکان از میانشان انتخاب شود. میزان توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو در جدول (۳-۹) آمده است.

جدول (۳-۹): توان راکتیو تولید شده کاندیدهای اولیه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بدون قید تولید توان راکتیو

ژنراتور	توان راکتیو در حالت پایه	توان راکتیو با آزاد کردن قید
G ₁	84	144.93931
G ₃	194.475	206.09596
G ₄	86.8894	74.420019
G ₅	150	135.00579
G ₆	39.8559	0
G ₇	65.77481	63.112860

مقایسه اعداد این جدول نشان می دهد که با آزاد کردن قید، توان راکتیو تولیدی ژنراتورهای ۱ و ۳ افزایش یافته است. از آنجا که ژنراتور باس ۳ به حد بالای تولید توان راکتیو خود نرسیده در نتیجه باس ۱ توسط ISO برای توسعه تولید توان راکتیو انتخاب می شود. برای بررسی نحوه پیشنهاد قیمت برای حداکثر شدن فروش، باید نمودار $(Q_{gen} \times BID - BID)$ در هر ۹ سناریو رسم شود. به

عنوان نمونه نمودار فوق برای سناریوی ۶ در شکل (۹-۳) رسم شده است. نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای بقیه سناریوها در هر سه طرح توسعه در پیوست ب آورده شده است.



شکل (۹-۳): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای سناریوی ۶ در

طرح توسعه تولید توان راکتیو باس یک

با توجه به نمودار ($Q_{gen} \times BID-BID$)، پیشنهاد قیمت متناظر با بیشترین فروش در نه سناریو در بازه $4 (\$/h)$ الی $6 (\$/h)$ ، تغییر می کند؛ بنابراین تولید کننده توان راکتیو در باس یک برای حداکثر شدن فروش خود باید در بازه مذکور پیشنهاد قیمت دهد. بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باسهای یک و هفت مشاهده می شود که هیچ کدام از ژنراتورها به حد بالای تولید توان راکتیو خود نرسیده اند. در نتیجه اجرای الگوریتم (۱-۳) برای توسعه تولید توان راکتیو در این مرحله خاتمه می یابد. جدول (۱۰-۳) حالت پایه فروش توان راکتیو را با فروش توان راکتیو بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۱ و ۷ مقایسه می کند.

جدول (۳-۱۰): درآمد توان راکتیو در حالت پایه و بعد از

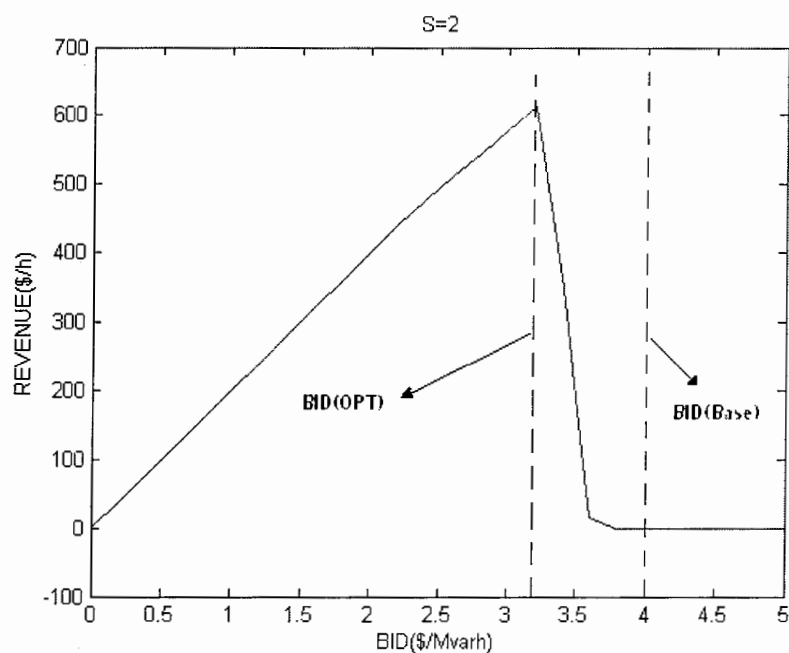
توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۷و۱

شماره باس	درآمد توان راکتیو در حالت پایه (\$/h)	درآمد توان راکتیو بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۷و۱ (\$/h)
۱	۳۳۶	۶۳۶/۰۸
۳	۹۷۲/۳۷	۱۰۰۶/۲۵
۴	۳۴۷/۵۶	۳۱۹/۵۳
۵	۳۰۰	۳۰۰
۶	۱۵۹/۴۲	۰
۷	۲۴۰	۱۶۱۰/۰۷
مجموع	۲۳۵۵/۳۵	۳۸۷۲

همانطور که مشاهده می شود، مجموع فروش توان راکتیو از مقدار $2355/35$ (\$/h) در حالت پایه به مقدار 3872 (\$/h) در حالت بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۷و۱ افزایش پیدا می کند. اگر ژنراتورهای باسهای ۷و۱ بعد از توسعه، توان راکتیو را با قیمت پایه تولید کنند، هزینه نهایی سیستم از $29809/13$ (\$/h) به $29228/61$ (\$/h) کاهش پیدا می کند. باید توجه داشت که هزینه نهایی سیستم به علت تامین توان راکتیو مصرفی، از تولید کننده ای با موقعیت یا قیمت پیشنهادی مناسب بوده است. تولید کننده توان راکتیوی که موقعیت مناسب در شبکه دارد، به مصرف کنندگان توان راکتیو نزدیک بوده و با کاهش تلفات به واسطه تامین محلی توان راکتیو، هزینه بهره برداری از سیستم را کاهش می دهد. تولید کننده ی توان راکتیو با قیمت مناسب نیز با پیشنهاد قیمت مناسب باعث تامین توان راکتیو ارزان قیمت شده و هزینه ی نهایی سیستم را کاهش می دهد.

۳-۵ تغییر پیشنهاد قیمت برای جلوگیری از کاهش فروش:

همانطور که از جدول (۳-۱۰) مشخص است، توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۱ و ۷ باعث کاهش شدید فروش توان راکتیو در باس ۶ شده است. برای جلوگیری از این کاهش فروش می توان نقطه کار بهینه را از نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای حداکثر شدن میزان فروش توان راکتیو باس ۶ پیدا کرد. به عنوان نمونه نمودار فوق برای سناریوی ۲ در شکل (۳-۱۰) رسم شده است. نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای بقیه سناریوها در پیوست پ آورده شده است.



شکل (۳-۱۰): نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای سناریوی ۲

با توجه به نمودار ($Q_{gen} \times BID - BID$)، پیشنهاد قیمت متناظر با بیشترین فروش در نه سناریو در بازه $2/2$ (\$/h) الی $3/2$ (\$/h)، تغییر می کند؛ بنابراین تولید کننده توان راکتیو در باس شش برای حداکثر شدن درآمد خود باید در بازه مذکور پیشنهاد قیمت دهد. این روند برای تمامی تولید کنندگان توان راکتیوی که از میزان فروش خود ناراضی اند، قابل اجرا می باشد.

۳-۶ نتیجه گیری:

در این فصل یک روش برای تعیین مکان سرمایه گذاری، میزان فروش توان راکتیو و نحوه پیشنهاد قیمت برای سرمایه گذار توان راکتیو ارائه شد. برای این منظور ابتدا با استفاده از الگوریتم آزاد سازی قیدهای توان راکتیو، مکان های کاندید برای توسعه تولید توان راکتیو توسط بهره بردار مشخص می گردد. سپس بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو و پیشنهاد قیمت بهینه برای حداکثر شدن درآمد با توجه به نمودار درآمد-پیشنهاد قیمت تعیین می گردد. با توجه به عدم قطعیت های غیر تصادفی در قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب، استفاده از تکنیک سناریو برای مدل کردن این نوع عدم قطعیت توصیه شد. این روش بر روی یک شبکه ی هشت باسه اعمال شد. با باز کردن قیود تولید توان راکتیو در باس های دارای ژنراتور مشاهده شد که ژنراتورهای ۷ و ۱ از میان بقیه ژنراتورهای موجود در شبکه، توان راکتیو بیشتری تولید کردند. با بررسی میزان درآمد توان راکتیو این سه ژنراتور توسط نمودار درآمد-پیشنهاد قیمت و استفاده از تکنیک سناریو، مشخص شد که سرمایه گذاری در باس هفت اقتصادی تر از سرمایه گذاری در دو باس دیگر می باشد. برای سرمایه گذاری بیشتر روند فوق دوباره تکرار شد بدین ترتیب که با باز کردن قیود تولید توان راکتیو، ژنراتور یک توان راکتیو بیشتری تولید کرد؛ بنابراین سرمایه گذاری بعدی در این باس انجام گرفت. قیمت متناظر با بیشترین درآمد سرمایه گذار توان راکتیو در باس های ۷ و ۱ تعیین شد. در انتها کاهش درآمد ژنراتور ۶ که در نتیجه توسعه تولید توان راکتیو در باس های ۷ و ۱ اتفاق افتاده بود، با بهینه کردن پیشنهاد قیمت این ژنراتور جبران گردید.

فصل چهارم

توسعه بازار محوری توان راکتیو بر

اساس قیمت‌های حاشیه‌ای محلی

۱-۴ قیمت‌های حاشیه‌ای محلی [۱۴]

قیمت‌گذاری گرهی یک روش قیمت‌گذاری برای خرید و فروش انرژی در سیستم‌های مقررات زدایی شده می‌باشد. در قیمت‌گذاری گرهی در هر گره انتقال (باس) یک قیمت برای معادله انرژی تعیین می‌گردد. در این سیستم قیمت‌گذاری، تمام مصرف‌کنندگان انرژی برق را به قیمت تعیین شده برای گرهی که بارشان در آن گره قرار دارد می‌خرند و تمام تولیدکنندگان انرژی را به قیمت تعیین شده برای گرهی که مولدشان در آن قرار دارد می‌فروشند. بنا به تعریف قیمت گرهی یا قیمت حاشیه‌ای محلی (LMP)^۱ در یک گره مشخص برابر با هزینه‌ی اضافی برای تهیه‌ی یک مگاوات بار اضافی در این باس می‌باشد.

۲-۱-۴ محاسبه قیمت حاشیه‌ای محلی

در این پایان‌نامه، هزینه‌ی اضافی برای تهیه‌ی یک مگاوات بار راکتیو اضافی در یک باس به عنوان قیمت حاشیه‌ای محلی توان راکتیو^۲ آن باس تعریف می‌شود. یک سیستم قدرت مقررات زدایی شده را در نظر بگیرید و فرض کنید تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان توانهای راکتیو و قیمت‌های پیشنهادی خود را برای یک بازه‌ی زمانی مشخص به بهره‌بردار مستقل سیستم ارائه نموده‌اند. بهره‌بردار مستقل سیستم تولید کنندگان را براساس قیمت پیشنهادی آنها به صورت صعودی مرتب می‌کند. این فهرست، فهرست اولویت نامیده می‌شود. چنانچه هیچ محدودیتی در شبکه انتقال وجود نداشته باشد و از تلفات صرف‌نظر شود، تولید کنندگان توان راکتیو براساس فهرست اولویت در مدار قرار می‌گیرند تا هنگامی که مجموع تولید با مجموع بار و تلفات مساوی گردد. آخرین مولدی که در مدار قرار گرفته و کسری از توان حداکثر خود را تولید می‌کند، مولد حاشیه‌ای نامیده می‌شود. اگر به بار یک باس یک مگاوات اضافه شود، صرف‌نظر از محل آن در شبکه این یک مگاوات بار توسط مولد حاشیه‌ای تغذیه خواهد شد. لذا بنا به

^۱ - locational marginal price (LMP)

^۲ -Reactive locational marginal price (RLMP)

تعریف قیمت حاشیه‌ای محلی توان راکتیو، قیمت حاشیه‌ای محلی توان راکتیو تمام باسها مساوی و برابر قیمت پیشنهادی مولد حاشیه‌ای می‌باشند. اگر شبکه انتقال دارای محدودیت باشد، مولدها بر طبق فهرست اولویت در مدار قرار می‌گیرند تا هنگامی که به اولین محدودیت شبکه برسیم. در این موقعیت آخرین مولدی که در مدار قرار گرفته شده نمی‌تواند توان بیشتری تولید کند زیرا محدودیت شبکه نقض خواهد شد. از اینرو مولدهای بعدی فهرست اولویت که توان خط به حد رسیده را افزایش نمی‌دهند، به ترتیب در مدار قرار می‌گیرند تا هنگامی که مجموع تولید توان راکتیو مساوی مجموع بار راکتیو و تلفات راکتیو گردد یا به محدودیت بعدی برسیم. چنانچه مولدهایی که پس از رسیدن به محدودیت در مدار قرار گرفته‌اند باعث کاهش توان خطوط به حد رسیده شوند، تولید مولدهای دارای اولویت بالاتر (قیمت پیشنهادی پایینتر) که بدلیل محدودیت شبکه انتقال مجاز به تولید حداکثر توان راکتیو پیشنهادی خود نبوده‌اند افزایش می‌یابد تا مجدداً شبکه به محدودیت برسد. این فرآیند تا هنگامی که مجموع تولید راکتیو با مجموع بار راکتیو و تلفات راکتیو مساوی شود ادامه می‌یابد. چنانچه محدودیت انتقال وجود داشته باشد چندین مولد حاشیه‌ای خواهیم داشت. در این حالت اگر بار یک باس یک مگاوار افزایش یابد، این یک مگاوار بار بسته به مکانش در شبکه، توسط مولدهای حاشیه‌ای که حد خطوط انتقال را نقض نمی‌کنند تغذیه می‌شود. بنابراین مقدار قیمت حاشیه‌ای محلی توان راکتیو هر باس به مکان آن در شبکه بستگی دارد. لذا در حضور محدودیت انتقال مقدار قیمت حاشیه‌ای محلی باسها متفاوت خواهد بود. چنانچه هزینه تلفات در تابع هدف منظور شود، با افزایش تولید توان راکتیو یک مولد ارزان قیمت ممکن است تلفات افزایش یابد و مقرون به صرفه نباشد که یک مولد ارزان قیمت توان راکتیو، توان تولید نماید. در این حالت نیز نظیر حالت وجود قید انتقال قیمت‌های حاشیه‌ای محلی توان راکتیو باسها متفاوت خواهند بود. در عمل قیمت‌های حاشیه‌ای محلی توان راکتیو توسط پخش بار بهینه محاسبه می‌شوند.

۳-۱-۴ قیمت سایه‌ای

قیمت سایه‌ای یک قید برابر با تغییر تابع هدف به ازای یک واحد افزایش در مقدار سمت راست آن قید می‌باشد، به شرط آنکه قیود دیگر ثابت بمانند.

در بهینه‌سازی بخش ۱-۳-۳ توان تولیدی ژنراتورها (P_G, Q_G) ، توان مصرفی بارها (P_D, Q_D) ، و ضرایب لاگرانژ را می‌توان با استفاده از شرایط کان - تاکر در نقطه بهینه بدست آورد. تغییر در تابع هدف به ازای یک واحد تغییر در توان اکتیو و راکتیو در نقطه کار بهینه برابر است با:

$$\left. \frac{\partial J(P_G, P_D, Q_G, Q_D)}{\partial P_G} \right|_{\text{optimal point}} = \lambda^* \quad (1-4)$$

$$\left. \frac{\partial J(P_G, P_D, Q_G, Q_D)}{\partial Q_G} \right|_{\text{optimal point}} = \lambda'^* \quad (2-4)$$

معادله (۱-۴) را می‌توان به صورت زیر تفسیر نمود:

اگر یک مگا وات بار به باس i اضافه شود، کل هزینه بهره‌برداری به اندازه λ_i (\$/MWhr) افزایش خواهد یافت. لذا بنا به تعریف قیمت حاشیه‌ای محلی، قیمت حاشیه‌ای محلی باس i برابر با قیمت سایه‌ای معادله پخش بار باس i می‌باشد.

معادله (۲-۴) را می‌توان به صورت زیر تفسیر نمود:

اگر یک مگا وار بار راکتیو به باس i اضافه شود، کل هزینه بهره‌برداری به اندازه λ'_i (\$/MVarhr) افزایش خواهد یافت. لذا بنا به تعریف قیمت حاشیه‌ای محلی، قیمت حاشیه‌ای محلی توان راکتیو باس i برابر با قیمت سایه‌ای معادله پخش بار باس i می‌باشد.

۲-۴ توسعه توان راکتیو با استفاده از مفهوم قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو

الف) تعیین کاندیدهای مناسب برای توسعه توان راکتیو:

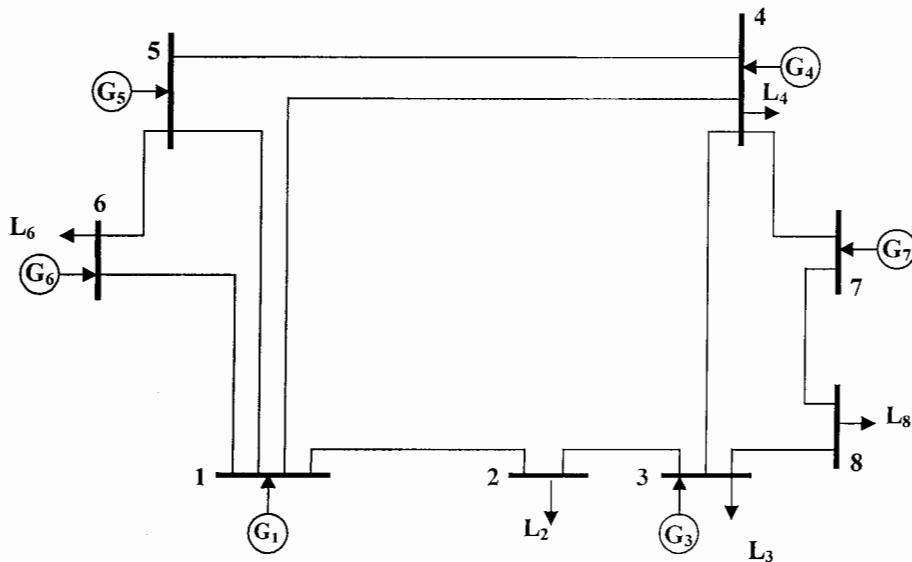
قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس نشانگر افزایش هزینه بهره برداری سیستم به ازای افزایش یک مگا وار مصرف توان راکتیو در آن باس می باشد. بنابراین تزریق توان راکتیو به باسی که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو بزرگتری دارد هزینه کل سیستم را بیشتر از تزریق توان راکتیو به باسهای دیگر کاهش می دهد. لذا باسهایی که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو بیشتری دارند کاندیدهای مناسبی برای توسعه توان راکتیو می باشند.

ب) تعیین مکان و مقدار بهینه توسعه توان راکتیو:

در این قسمت ابتدا پخش بار بهینه (۱-۳-۳) حل شده و ضرایب R' که نشانگر قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس می باشند، محاسبه می شوند. سپس بهره بردار باسهایی را که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیویشان از مقدار متوسط پیشنهادی تولید کننده های راکتیو، از مقدار معینی بیشتر باشد، به عنوان باسهای کاندید برای توسعه تولید توان راکتیو معرفی می کند. برای مشخص شدن باس بهینه از دید سرمایه گذار توان راکتیو روندی مشابه با روند توضیح داده شده در بخش (۲-۲-۳) طی می شود. بدین ترتیب که ابتدا نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای هر کدام از باسهای کاندید رسم می شود، نقطه ماکزیمم این نمودار نشانگر بیشترین درآمد تولید کننده توان راکتیو می باشد. بنابراین بهترین باس برای سرمایه گذاری از مقایسه نقاط ماکزیمم منحنی درآمد-پیشنهاد مشخص می شود. برای در نظر گرفتن تاثیر تغییر قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب از تکنیک سناریو که در بخش ۳-۳ توضیح داده شد، استفاده می شود. سناریوهای غالب در تغییر قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب در جدول (۳-۵) آورده شده است.

۳-۴ سیستم مورد مطالعه:

در این فصل نیز برای بررسی مکان و میزان سرمایه گذاری توان راکتیو، از سیستم هشت باسه فصل ۳ که در شکل (۱-۴) آورده شده، استفاده می شود.



شکل (۱-۴): سیستم هشت باسه مورد مطالعه

داده‌های تولید و بار برای حداکثر بار روزانه در افق توسعه در جداول ۱-۳، ۲-۳ داده شده است.

پارامترهای خطوط انتقال در جدول ۳-۳ داده شده است.

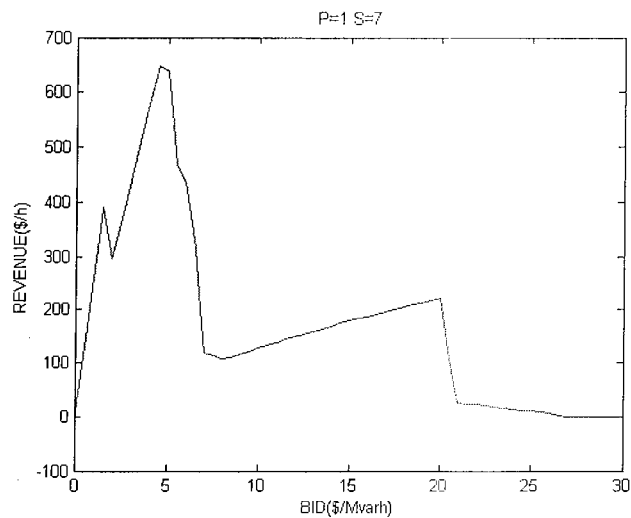
با حل مسئله بهینه سازی (۱-۳-۳)، قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس مطابق جدول (۱-۴)

بدست خواهد آمد.

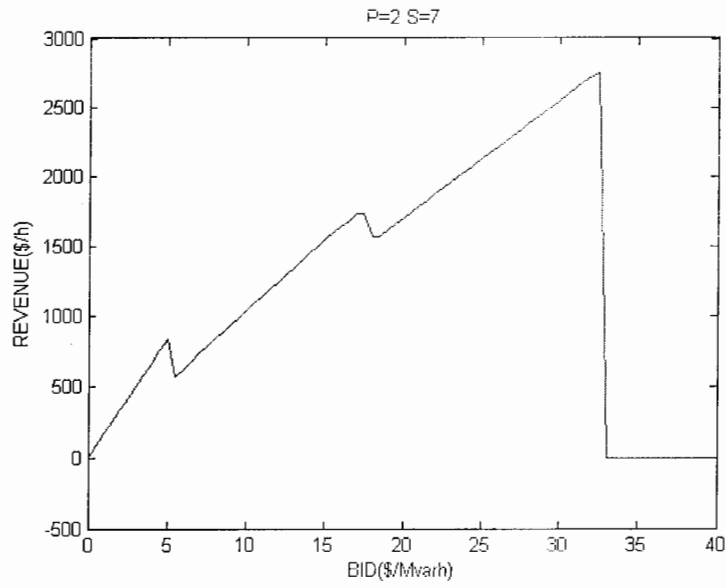
جدول (۱-۴): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو
 هر باس در سیستم هشت باسه مورد مطالعه

RLMP1	6.22851696205499
RLMP2	31.99999999973301
RLMP3	4.99999811560675
RLMP4	3.999999999925217
RLMP5	2.141736422958336
RLMP6	3.999999999082984
RLMP7	24.99999999950928
RLMP8	14.422184621177538

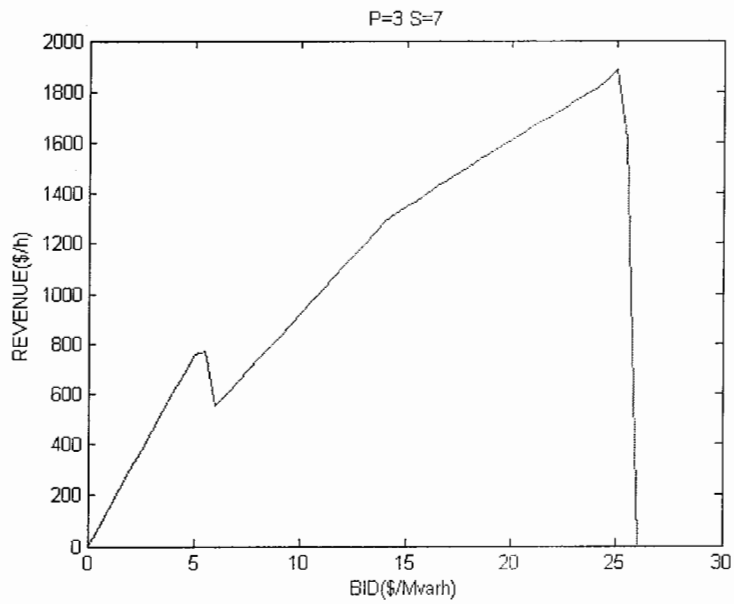
مشاهده می شود که اختلاف قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو باسه های ۱ و ۲ و ۷ و ۸ با مقدار متوسط پیشنهادی تولید کننده های راکتیو، بیشتر از بقیه باسه ها می باشد؛ بنابراین توسعه تولید توان راکتیو در باسه های ۱ و ۲ و ۷ و ۸ به عنوان طرح های توسعه اول، دوم، سوم و چهارم تولید معرفی می شوند. در مرحله بعد برای مشخص شدن بهترین گزینه برای توسعه تولید توان راکتیو همانگونه که در بخش (۲-۲-۳) توضیح داده شد، باید نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ را برای هر چهار ژنراتور به دست آوریم. نقطه ماکزیمم این نمودار به عنوان نقطه ی کار بهینه شناخته می شود. به عنوان نمونه نمودار فوق برای ۴ طرح توسعه در سناریوی ۷ در شکل های (۲-۴) و (۳-۴) و (۴-۴) و (۵-۴) رسم شده است.



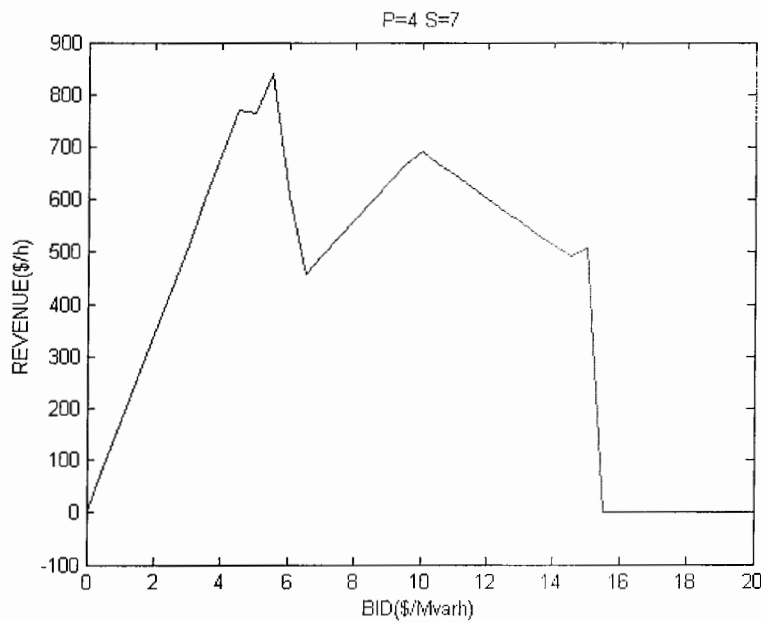
شکل (۲-۴): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای طرح ۱ در سناریوی ۷



شکل (۳-۴): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای طرح ۲ در سناریوی ۷



شکل (۴-۴): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای طرح ۳ در سناریوی ۷



شکل (۴-۵): نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای طرح ۴ در سناریوی ۷

نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای بقیه سناریوها در هر ۴ طرح توسعه در پیوسته آورده شده است. اکنون ۴ طرح توسعه تولید توان راکتیو وجود دارد که ۹ سناریو غالب در آنها اتفاق می افتد. در این بخش برای تعیین بهترین گزینه برای سرمایه گذاری (طرح نهایی) از معیارهای الف) حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک) ب) معیار مقاومت که در بخش (۳-۳-۷) توضیح داده شده استفاده می شود. برای این منظور هزینه هر طرح در هر سناریو از رابطه (۳-۷) بدست می آید. حال می توان با توجه به توضیحات بخش (۳-۲-۲) هزینه ی متناظر با نقطه ی کار بهینه (بهترین پیشنهاد قیمت) را بدست آورد. جدول (۴-۲) هزینه طرح های مختلف را در سناریوهای مختلف نشان می دهد.

جدول (۲-۴): هزینه چهار طرح پیشنهادی در سناریوهای محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0.1310554	0.1312517	0.1314348	0.1389666	0.1386100	0.1382421	0.1543663	0.1539338	0.1534855
plan2	0.0361537	0.0361396	0.0361421	0.0362514	0.0361684	0.0361389	0.0363475	0.0362646	0.0361819
plan3	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530574	0.0530567	0.0530574	0.0530574	0.0530342
plan4	0.1203514	0.1323865	0.1470962	0.1203514	0.1323865	0.1470962	0.1190680	0.1323865	0.1470962

الف) معیار حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک):

با توجه به توضیحات بخش (۳-۳-۳) جدول پشیمانی به صورت زیر بدست می آید:

جدول (۳-۴): پشیمانی چهار طرح پیشنهادی در سناریوهای محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0.0949017	0.0951120	0.0952927	0.1027152	0.1024416	0.1021032	0.1180187	0.1176691	0.1173036
plan2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
plan3	0.0169037	0.0169178	0.0169153	0.0168060	0.0168890	0.0169177	0.0167099	0.0167928	0.0168523
plan4	0.0841977	0.0962469	0.1109540	0.0841000	0.0962181	0.1109572	0.0827204	0.0961219	0.1109142

حداکثر پشیمانی برای هر طرح در جدول (۴-۴) آمده است:

جدول (۴-۴): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو

	Maximum regret
plan1	۰/۱۱۸۰
plan2	.
plan3	۰/۰۱۶۹۱۷۸
Plan4	۰/۱۱۰۹۵۷۲

از میان طرح‌های فوق طرح ۲ کمترین پشیمانی را دارد؛ بنابراین بعنوان طرح بهینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

(ب) معیار مقاومت:

بنابر تعریف طرح مقاوم که در بخش (۳-۳-۷) توضیح داده شد، طرح ۲ در تمامی سناریوها مقاوم می باشد؛ چراکه پشیمانی این طرح در تمامی سناریوها، صفر می باشد. بنابراین، طرح ۲ بعنوان بهینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

همان گونه که مشاهده گردید طرح ۲ در هر دو معیار به عنوان طرح بهینه انتخاب شد؛ بنابراین سرمایه گذاری برای توسعه تولید توان راکتیو در باس دو انجام می شود. با توجه به نمودار $(Q_{gen} \times BID-BID)$ ، پیشنهاد قیمت متناظر با بیشترین فروش در نه سناریو برای باس ۲ برابر $32/5 (\$/Mvarh)$ می باشد. بنابراین تولید کننده توان راکتیو در این باس برای حداکثر شدن فروش خود باید $32/5 (\$/Mvarh)$ پیشنهاد قیمت دهد. البته با توجه به محدودیت اعلام شده از طرف بهره بردار برای قیمت پیشنهادی، فرض می شود که بعد از توسعه، تولید کننده توان راکتیو را با قیمت $6 (\$/Mvarh)$ (سقف قیمت اعلام شده از طرف بهره بردار) در باس ۲ تولید خواهد نمود.

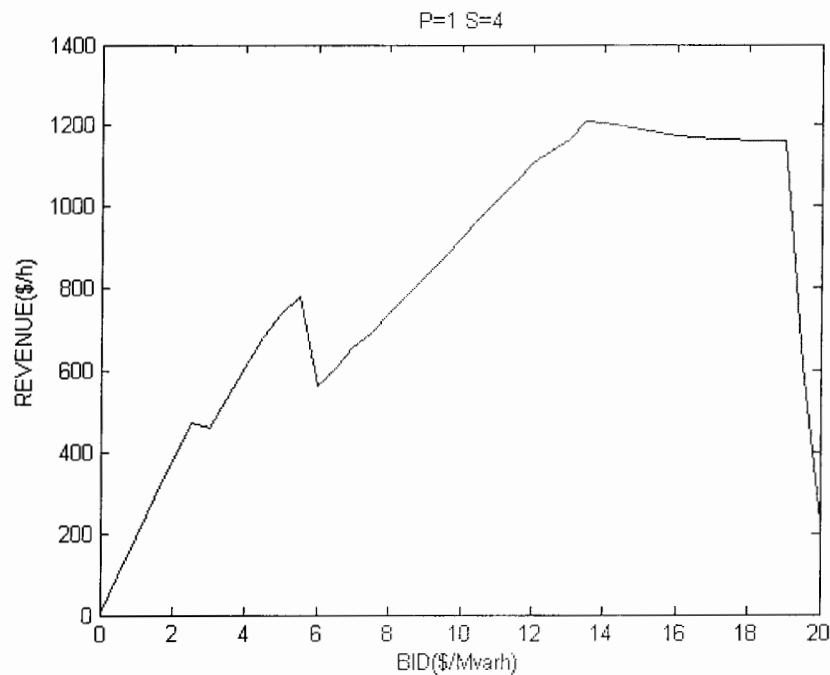
بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باس ۲، برای مشخص شدن طرح بهینه بعدی برای سرمایه گذاری، مسئله بهینه سازی (۱-۳-۳) حل شده و قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس مطابق جدول (۴-۵) بدست می آید.

جدول (۴-۵): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس در سیستم هشت باسه

مورد مطالعه در هر دو حالت ۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس ۲

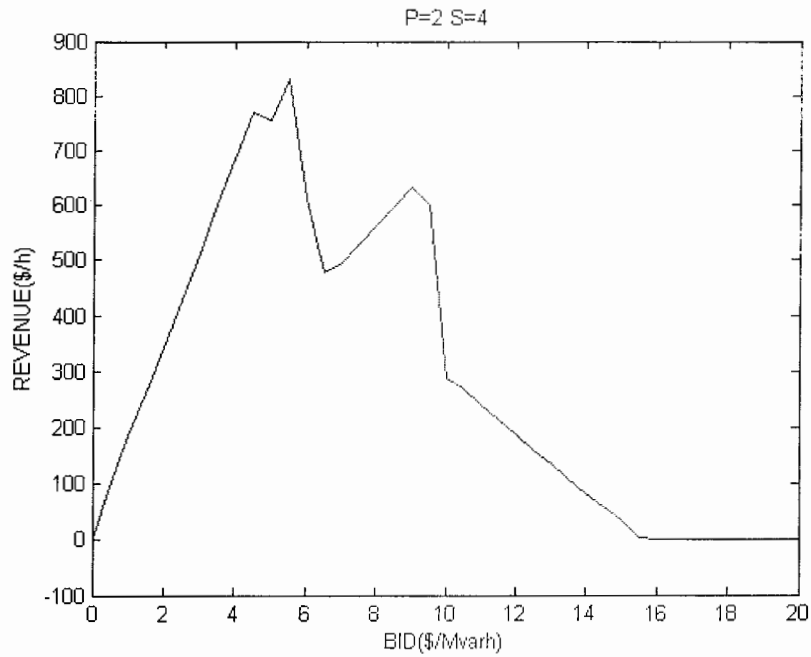
	Base case	After first planing
RLMP1	6.22851696205499	4.235902652292501
RLMP2	31.99999999973301	6.000004661869201
RLMP3	4.99999811560675	5.000001804686646
RLMP4	3.99999999925217	4.00000000010022
RLMP5	2.141736422958336	3.67729834107565
RLMP6	3.999999999082984	3.999999999740092
RLMP7	24.9999999950928	17.732233376401773
RLMP8	14.422184621177538	14.711787724071721

مقایسه اعداد این جدول نشان می دهد که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو باسهای ۸و۷ بیشتر از متوسط قیمت پیشنهادی تولید کنندگان توان راکتیو می باشد؛ در نتیجه توسعه تولید توان راکتیو در باسهای ۸و۷ توسط بهره بردار به عنوان طرحهای توسعه اول و دوم انتخاب می شود. برای بررسی نحوه پیشنهاد قیمت برای حداکثر شدن درآمد، باید نمودار $(Q_{gen} \times BID - BID)$ در هر ۹ سناریو رسم شود. به عنوان نمونه نمودار فوق برای سناریوی ۴ برای هر دو طرح توسعه در شکل (۴-۶) و (۴-۷) رسم شده است.



شکل (۴-۶): نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای

طرح توسعه تولید توان راکتیو باس ۷ در سناریوی ۴



شکل (۴-۷): نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای

طرح توسعه تولید توان راکتیو باس ۸ در سناریوی ۴

نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای بقیه سناریوها در هر دو طرح توسعه در پیوسته آورده شده است. برای استفاده از معیارهای حداقل حداکثر پیشیمانی (تحلیل ریسک) و معیار مقاومت جهت تعیین بهترین گزینه برای سرمایه گذاری، باید هزینه متناظر با نقطه کار بهینه هر طرح در هر سناریو را از رابطه (۳-۷) بدست آوریم. این مقادیر در جدول (۴-۶) نشان داده شده اند.

جدول (۴-۶): هزینه طرح های پیشنهادی در سناریوهای محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0.0835365	0.0902762	0.0971957	0.0827967	0.0891332	0.0967352	0.0817072	0.0879080	0.0954411
plan2	0.1203514	0.1471994	0.1203514	0.1323865	0.1323865	0.1471092	0.1190680	0.1323865	0.1470962

الف) معیار حداقل حداکثر پشیمانی (تحلیل ریسک):

با توجه به توضیحات بخش (۳-۳-۳) جدول پشیمانی به صورت زیر بدست می آید:

جدول (۷-۴): پشیمانی طرح های پیشنهادی در سناریوهای محتمل

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
plan1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
plan2	0.0368149	0.0569231	0.0231557	0.0495898	0.0432533	0.0503740	0.0373607	0.0444785	0.0516550

حداکثر پشیمانی برای هر طرح در جدول (۸-۴) آمده است:

جدول (۸-۴): حداکثر پشیمانی برای هر طرح توسعه تولید توان راکتیو

	Maximum regret
plan1	۰
plan2	۰/۰۵۶۹۲

از میان طرح‌های فوق طرح ۱ کمترین پشیمانی را دارد؛ بنابراین بعنوان طرح بهینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

ب) معیار مقاومت:

بنابر تعریف طرح مقاوم که در بخش (۷-۳-۳) توضیح داده شد، طرح ۱ در تمامی سناریوها مقاوم می باشد؛ چراکه پشیمانی این طرح در تمامی سناریوها، صفر می باشد. بنابراین، طرح ۱ بعنوان بهینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو انتخاب می شود.

همان گونه که مشاهده گردید طرح ۱ در هر دو معیار به عنوان طرح بهینه انتخاب شد؛ بنابراین سرمایه گذاری برای توسعه تولید توان راکتیو در باس ۷ انجام می شود. با توجه به نمودار $(Q_{gen} \times BID-BID)$ ، پیشنهاد قیمت متناظر با بیشترین درآمد در نه سناریو برای باس ۷ در بازه $(\$/Mvarh)$ ۱۸-۱۲ تغییر می کند. بنابراین تولید کننده توان راکتیو در این باس برای حداکثر شدن

درآمد خود باید در این بازه پیشنهاد قیمت دهد. البته با توجه به محدودیت اعلام شده از طرف بهره بردار برای قیمت پیشنهادی، فرض می شود که بعد از توسعه، تولید کننده توان راکتیو را با قیمت $(\$/Mvarh)$ ۶ (سقف قیمت اعلام شده از طرف بهره بردار) در باس ۲ تولید خواهد نمود.

بعد از توسعه تولید توان راکتیو در باس ۷، برای مشخص شدن طرح بهینه بعدی برای سرمایه گذاری، مسئله بهینه سازی (۱-۳-۳) حل شده و قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس مطابق جدول (۹-۴) بدست می آید.

جدول (۹-۴): قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو هر باس در سیستم هشت باسه مورد مطالعه در هر سه حالت:
۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو ۳- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت

	Base case	After first planing	After second planing
RLMP1	6.22851696205499	4.235902652292501	5.27995329055878
RLMP2	31.99999999973301	6.000004661869201	5.99999999985232
RLMP3	4.99999811560675	5.000001804686646	5.00000231574153
RLMP4	3.99999999925217	4.00000000010022	4.00000348667690
RLMP5	2.141736422958336	3.67729834107565	2.86318324308551
RLMP6	3.999999999082984	3.999999999740092	3.99999999936636
RLMP7	24.9999999950928	17.732233376401773	5.99999999989403
RLMP8	14.422184621177538	14.711787724071721	5.69384663467607

همان طور که از جدول (۹-۴) مشاهده می شود، قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو باسها اختلاف چندانی ندارند؛ بنابراین توسعه توان راکتیو در این قسمت متوقف می شود. توسعه توان راکتیو در باس دو و باس هفت هزینه بهره بهره برداری از سیستم را کاهش می دهد. جدول (۴-۱۰) هزینه بهره بهره برداری از سیستم را در سه حالت ۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو ۳- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت نشان می دهد.

جدول (۴-۱۰): هزینه بهره برداری از سیستم در هر سه حالت:

۱- پایه ۲- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو ۳- بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت

	حالت پایه	بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو	بعد از توسعه توان راکتیو در باس دو و هفت
هزینه بهره بهره برداری	۲۹۸۰۹/۱۳(\$/h)	۲۹۰۵۹/۱۹(\$/h)	۲۸۹۸۹/۱۴(\$/h)

فصل پنچ

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری:

در فصل دو توسعه تولید توان راکتیو در سیستم غرب کشور با استفاده از پخش بار احتمالی مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که تابع چگالی احتمال ولتاژ باسهای بار بدست آمد و با محاسبه احتمال نقض حد ولتاژ باسها مشاهده شد که از میان ۶ باس PQ در این سیستم، باس بار سر پل ذهاب به احتمال ۳۴/۶ درصد در سال ۱۳۹۰ با مشکل افت ولتاژ مواجه خواهد شد. برای رفع مشکل نقض حد ولتاژ باس سر پل ذهاب، توان راکتیو در گامهای کوچک به این باس تزریق و مشکل افت ولتاژ برای سال ۱۳۹۰ در باس سر پل ذهاب حل گردید. در فصل سوم ابتدا با استفاده از الگوریتم آزاد سازی قیدهای توان راکتیو، مکان های کاندید برای توسعه تولید توان راکتیو توسط بهره بردار مشخص شد. سپس بهترین گزینه برای سرمایه گذاری توان راکتیو و پیشنهاد قیمت بهینه برای حداکثر شدن درآمد با توجه به نمودار درآمد-پیشنهاد قیمت تعیین گردید. با توجه به عدم قطعیت های غیر تصادفی در قیمت پیشنهادی ژنراتورهای رقیب، استفاده از تکنیک سناریو برای مدل کردن این نوع عدم قطعیت توصیه شد. این روش بر روی یک شبکه ی هشت باسه اعمال گردید. در فصل چهار توسعه بازار محوری توان راکتیو بر اساس قیمت های حاشیه ای محلی مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که توسعه توان راکتیو در باسهایی که قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو بالایی داشتند انجام شد. چراکه تزریق توان راکتیو به باسهایی با قیمت حاشیه ای محلی توان راکتیو بالا، تابع هزینه سیستم را بیشتر از بقیه باسها کاهش می دهد.

۵-۲ پیشنهادات

۱- با توجه به اطلاعات موجود از تولید و بار در شبکه ایران می توان پخش بار احتمالی را برای کل شبکه ایران استفاده نمود. بدین ترتیب که با مشخص شدن باسهای نقض کننده حد ولتاژ، بهره بردار مستقل شبکه می تواند در این باسها توسعه توان راکتیو انجام دهد.

۲- روند توضیح داده شده برای توسعه بازار محوری توان راکتیو در فصلهای ۳ و ۴، برای توسعه تولید توان اکتیو نیز می تواند به کار برده شود. بدین ترتیب می توان اطلاعات لازم را در مورد مکان، میزان فروش و نحوه پیشنهاد قیمت به سرمایه گذار توان اکتیو ارائه نمود.

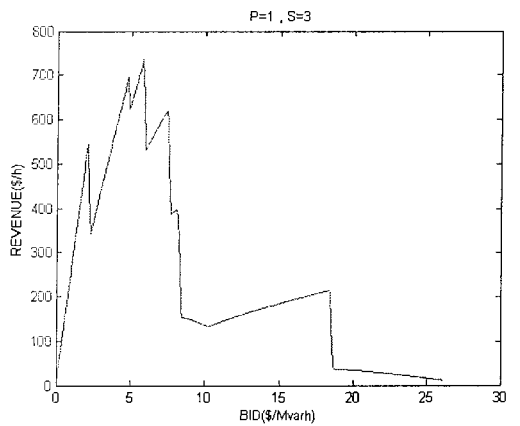
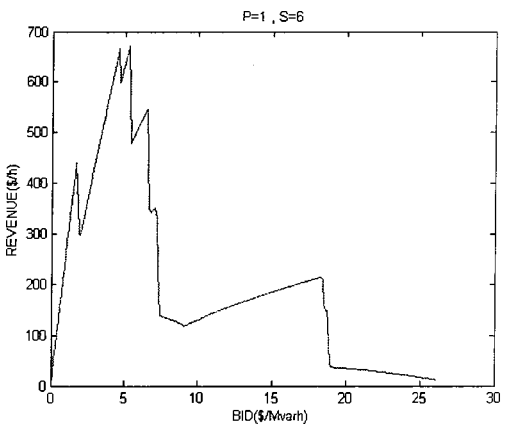
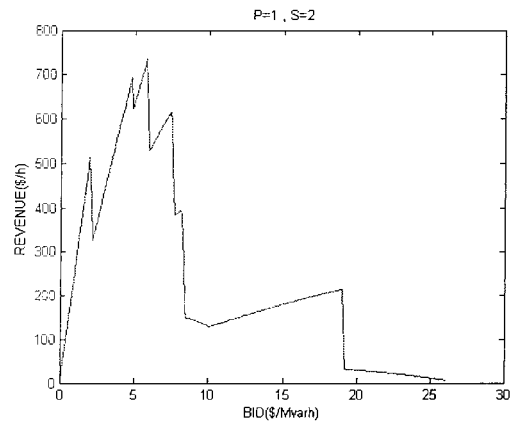
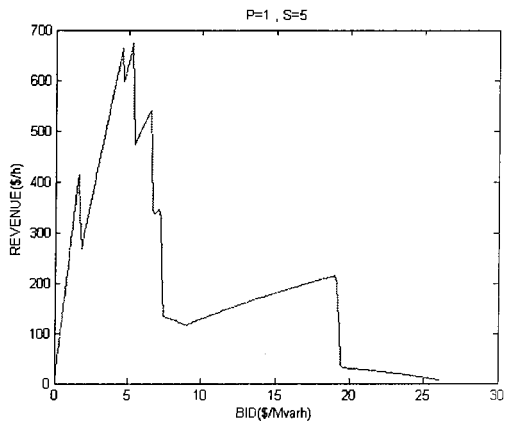
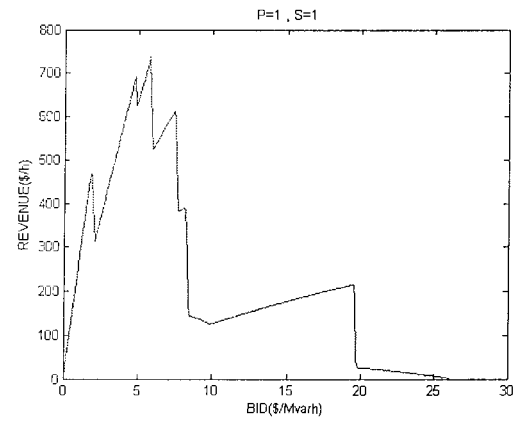
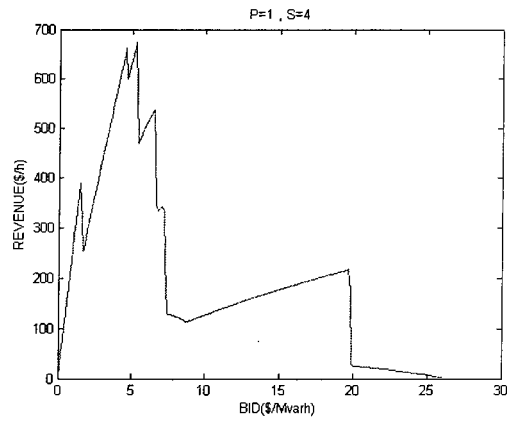
۳- در فصلهای ۳ و ۴ تصمیم گیری برای توسعه توان راکتیو از روی منحنی درآمد-پیشنهاد قیمت انجام می گرفت. با در دست داشتن منحنی هزینه می توان با محاسبه اختلاف هزینه و درآمد، سود حاصل از فروش توان راکتیو را بدست آورد. بدین ترتیب توسعه بازار محوری توان راکتیو را می توان بر اساس منحنی سود-پیشنهاد قیمت مورد بررسی قرار داد.

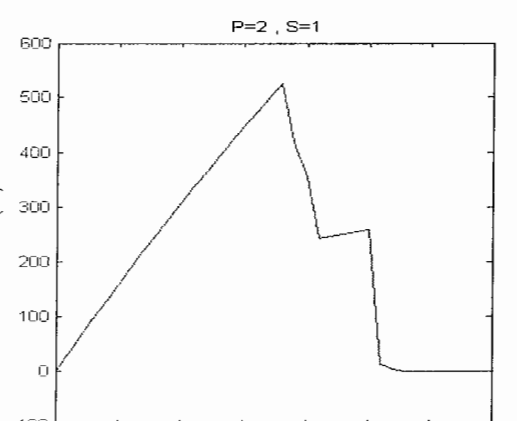
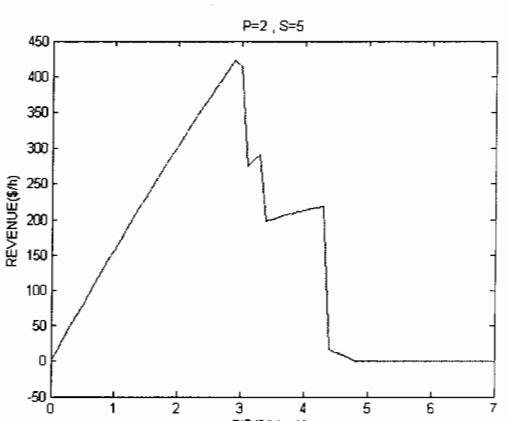
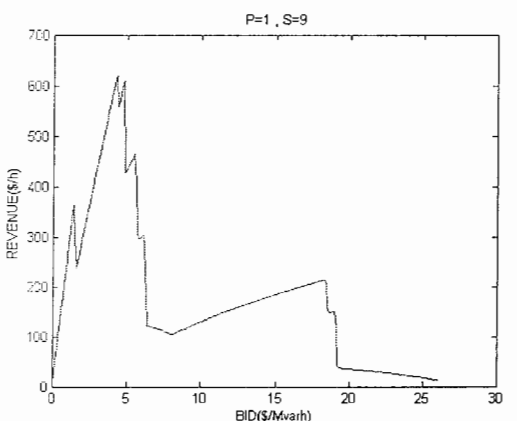
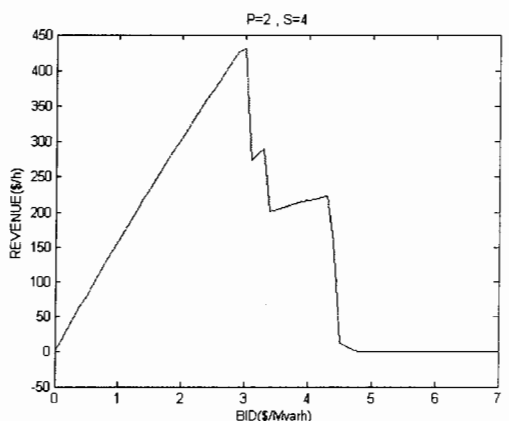
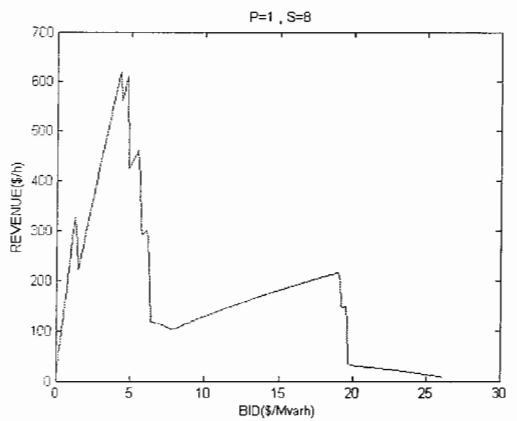
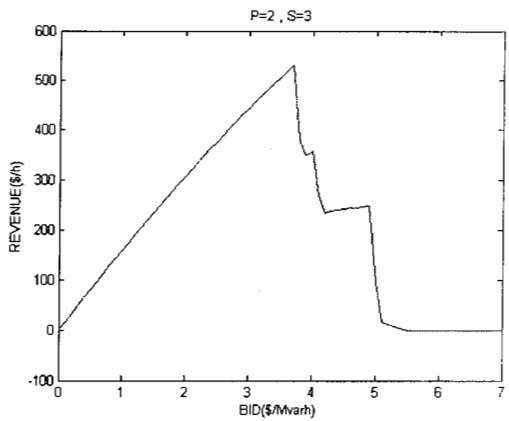
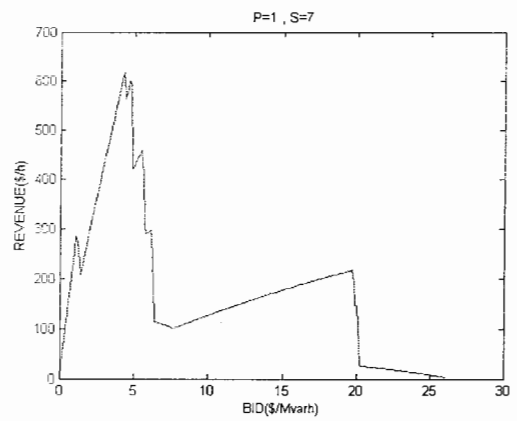
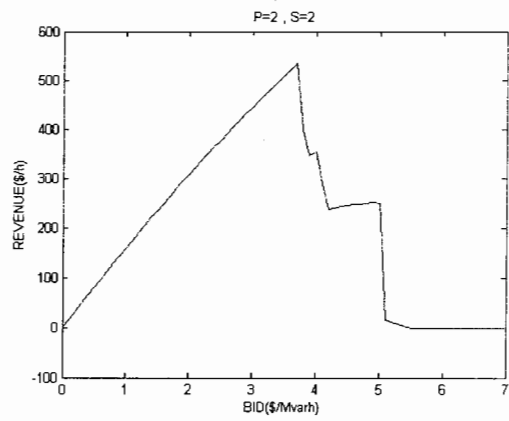
پیوستہا

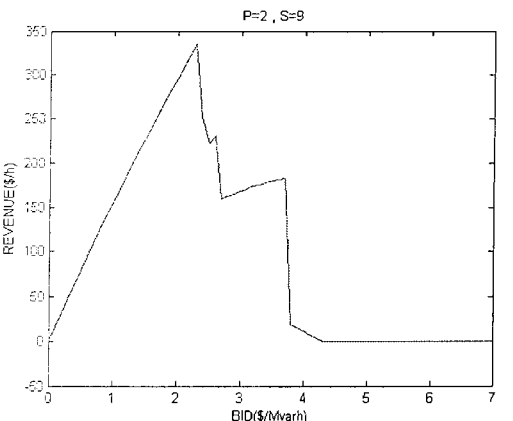
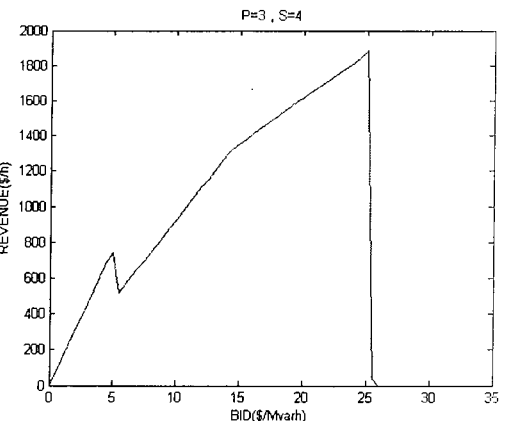
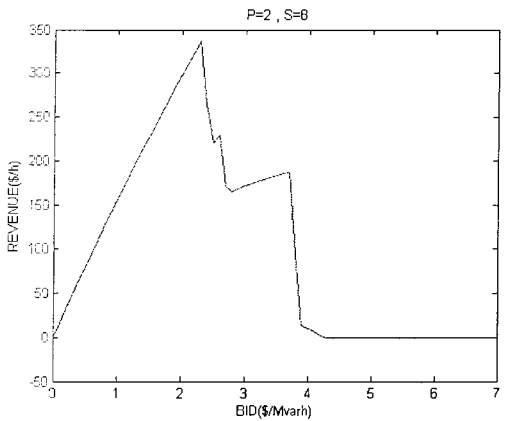
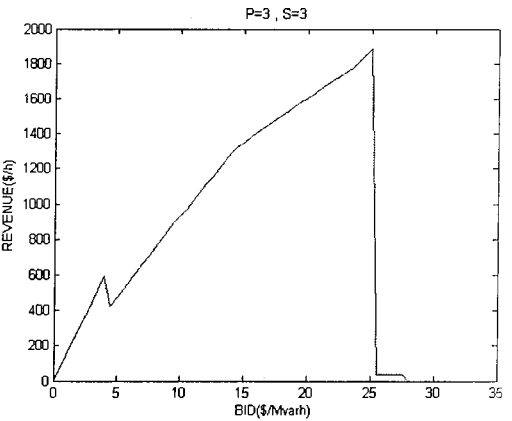
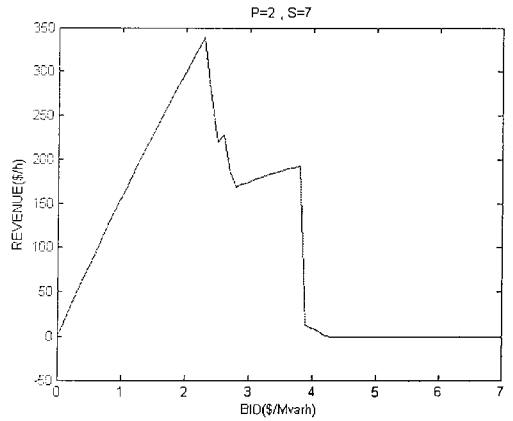
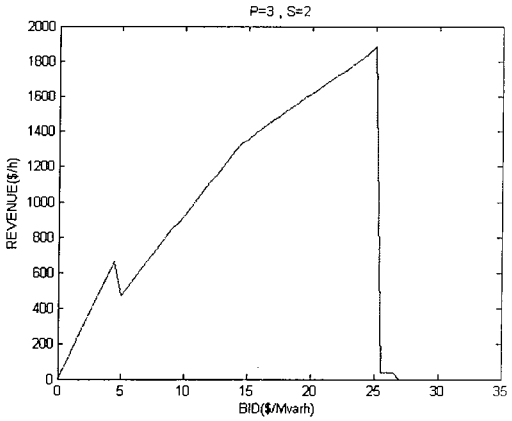
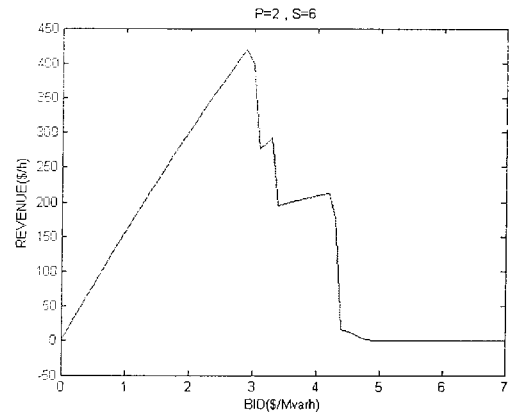
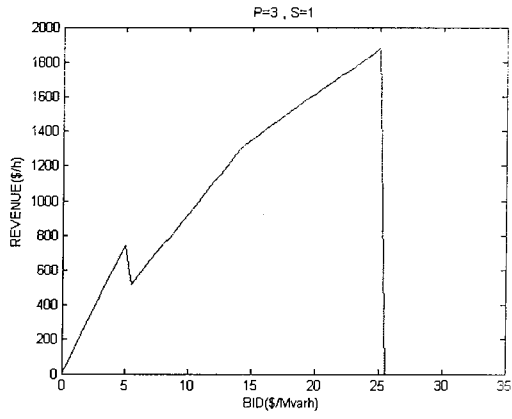
پیوست الف:

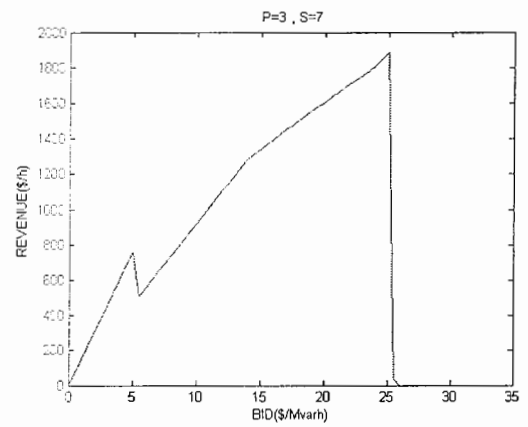
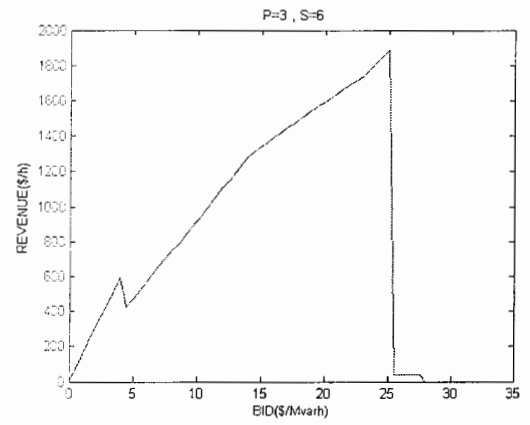
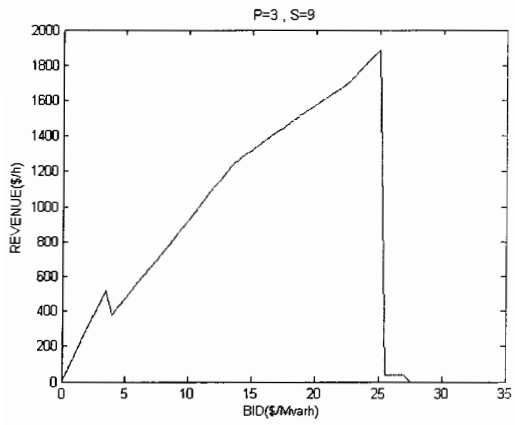
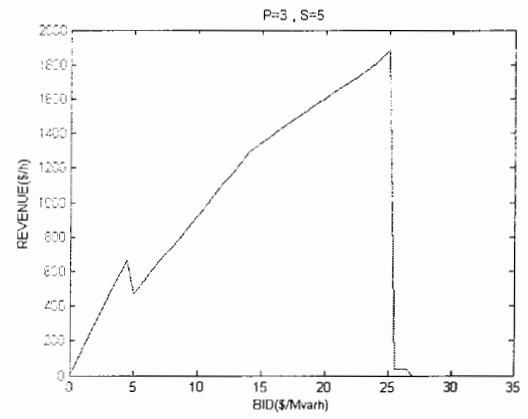
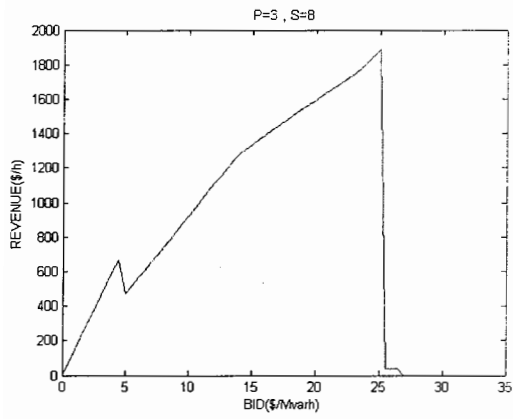
نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ برای ۹ سناریو در هر سه طرح توسعه توان راکتیو با

استفاده از روش ارائه شده در فصل ۳



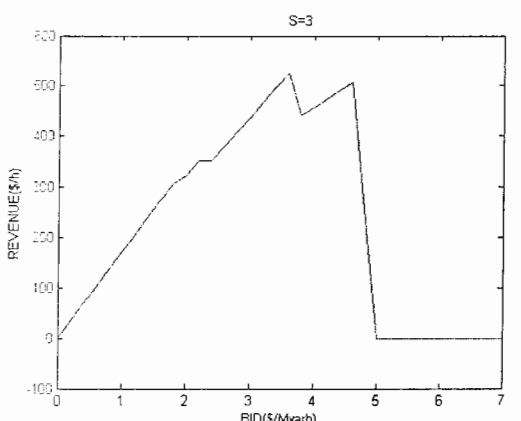
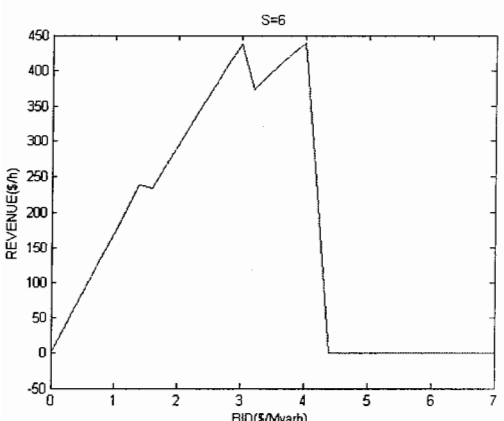
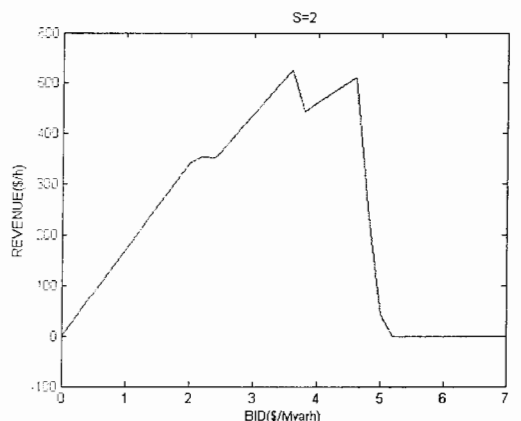
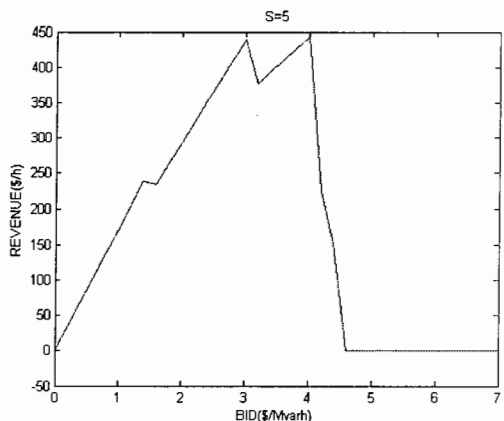
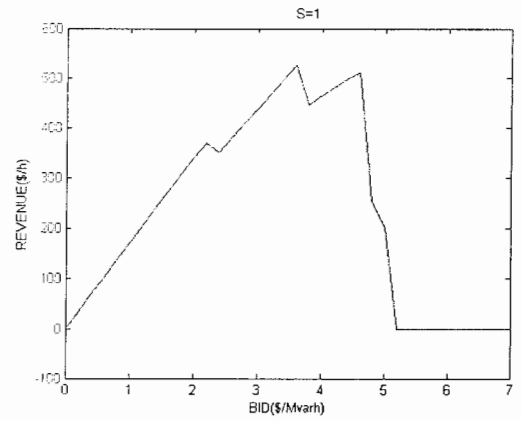
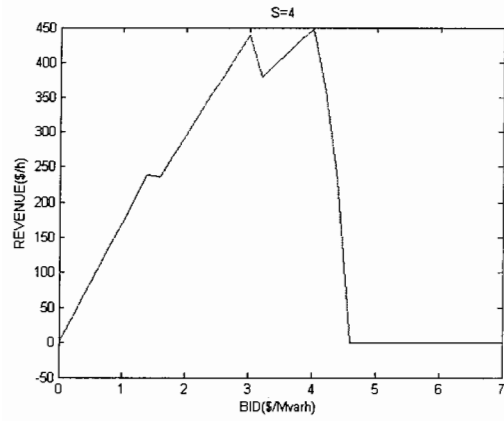


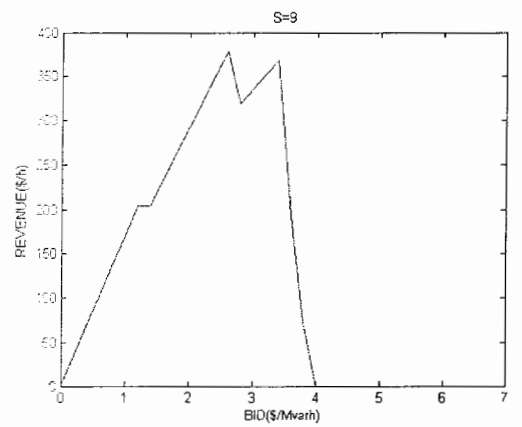
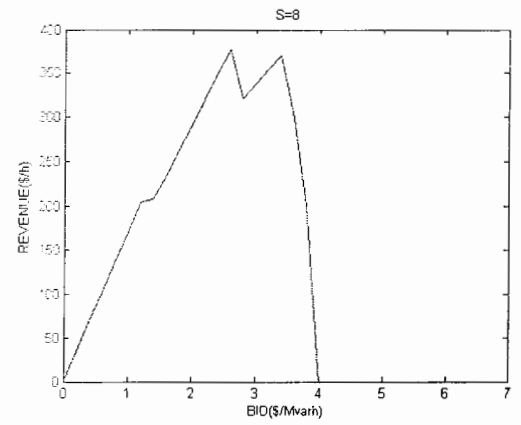
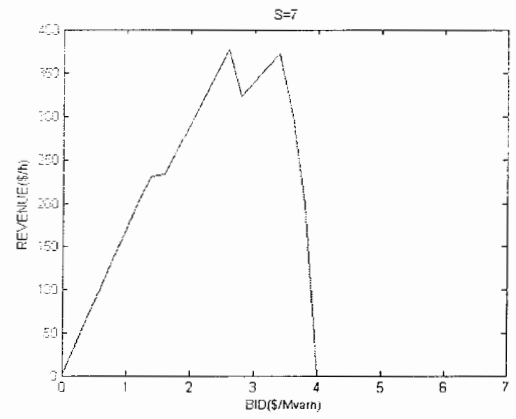




پیوست ب:

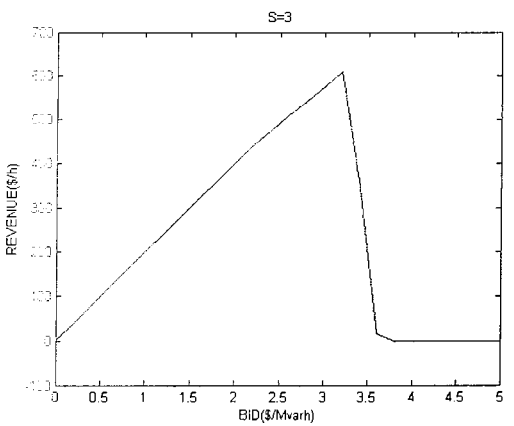
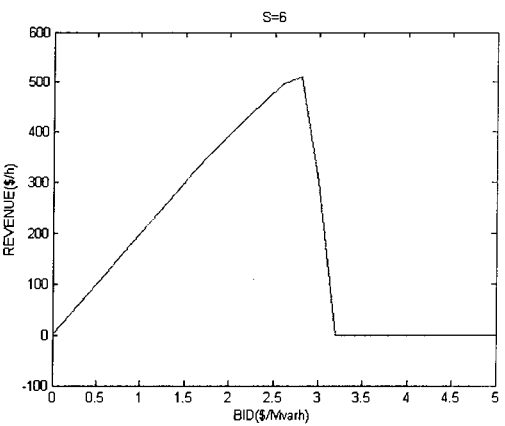
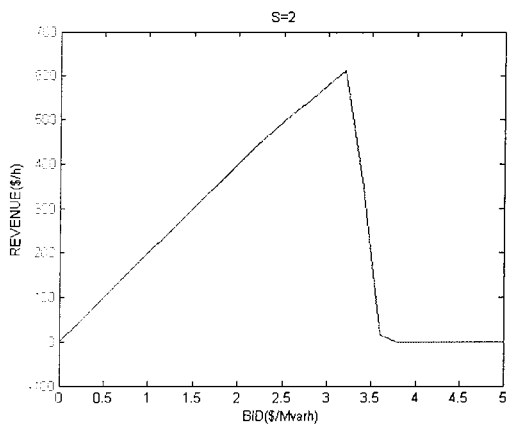
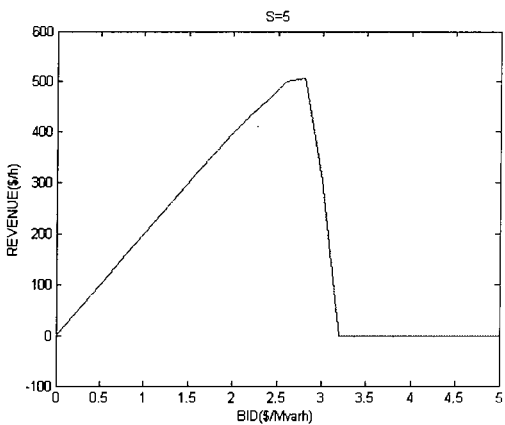
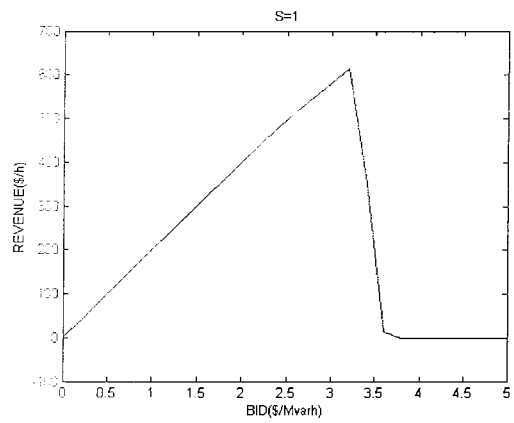
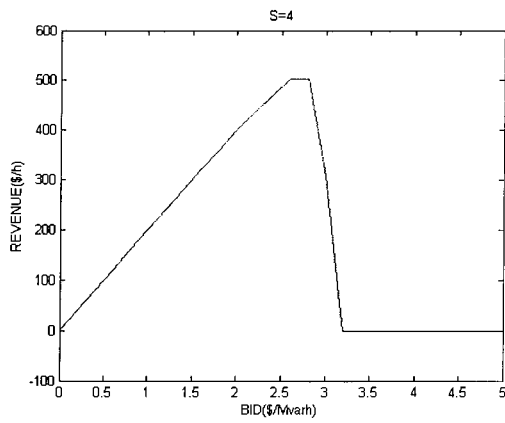
نمودار $BID-BID \times Q_{gen}$ برای ۹ سناریو در طرح توسعه توان راکتیو باس هفت با استفاده از روش ارائه شده در فصل ۳

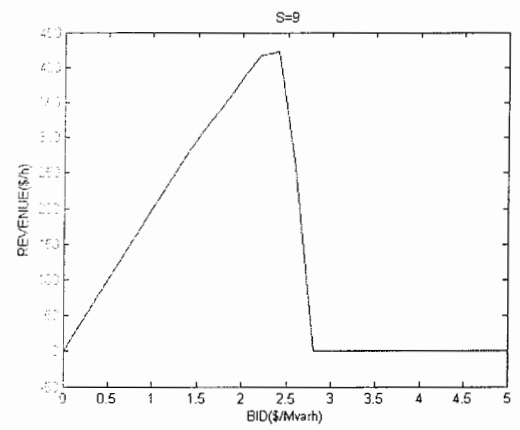
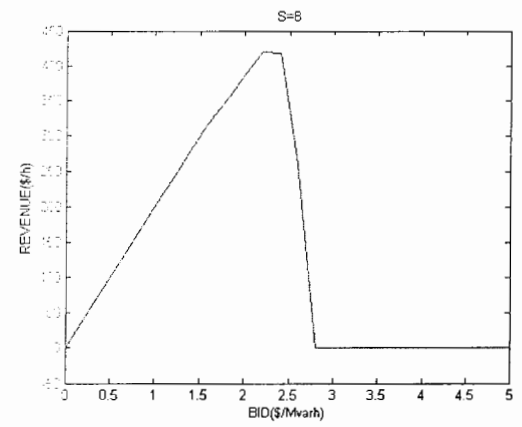
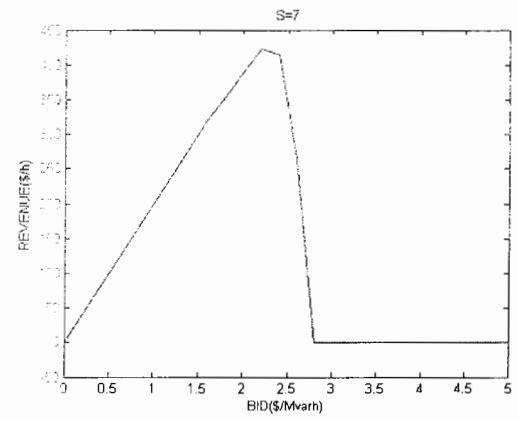




پیوست پ:

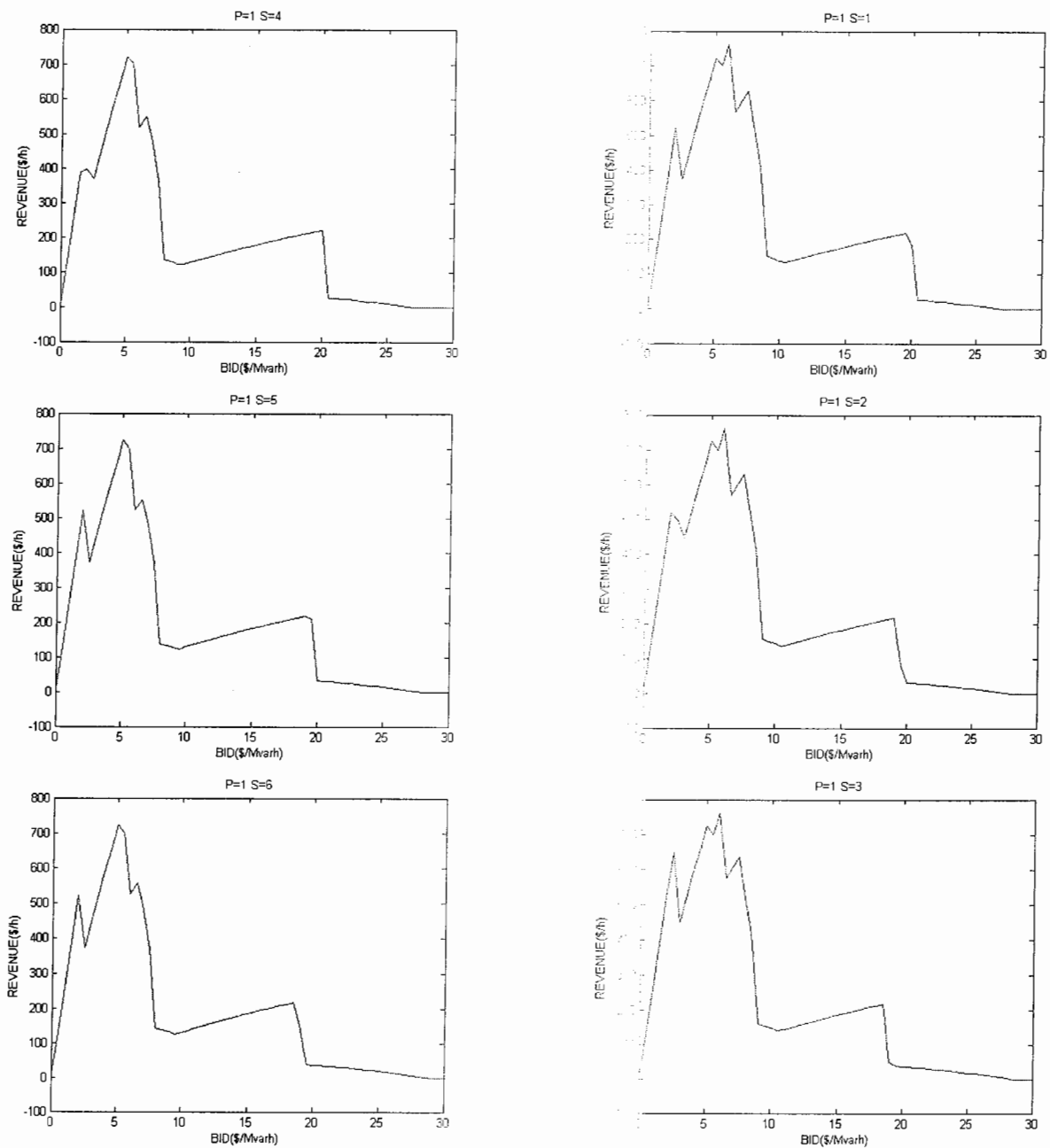
نمودار $Q_{gen} \times BID - BID$ در ۹ سناریو برای بهینه سازی میزان درآمد ژنراتور شش

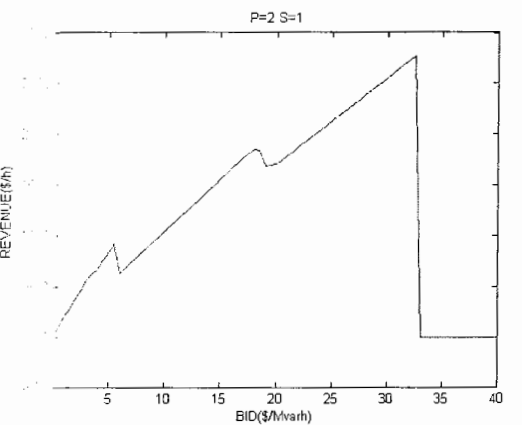
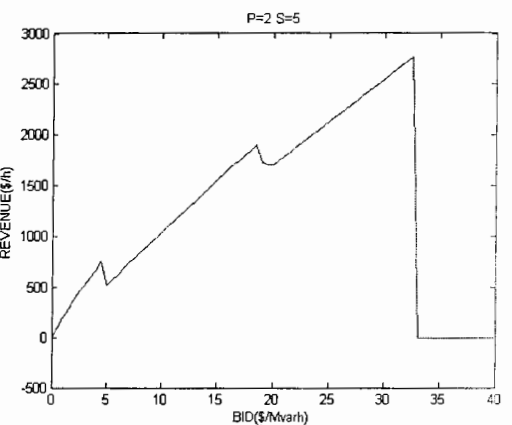
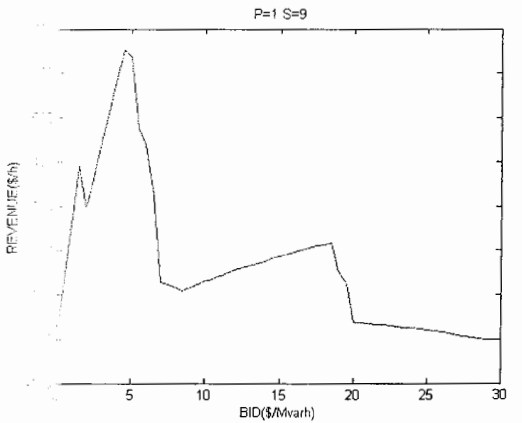
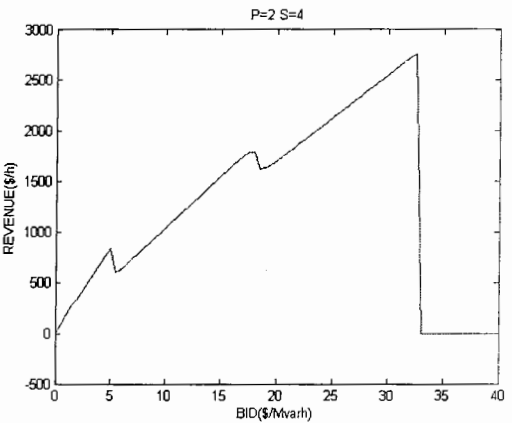
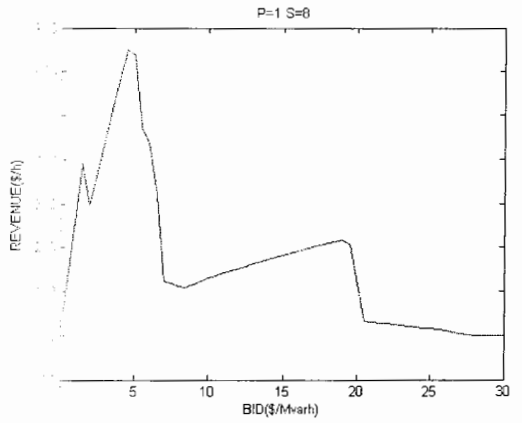
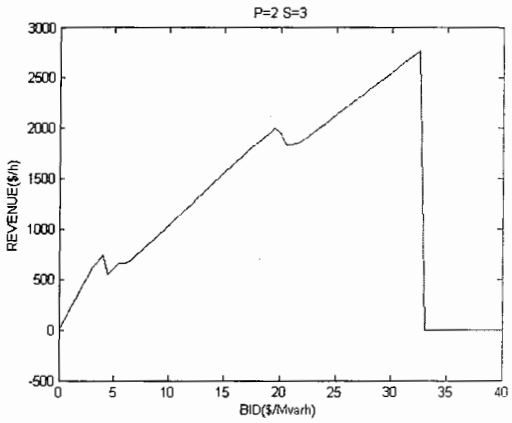
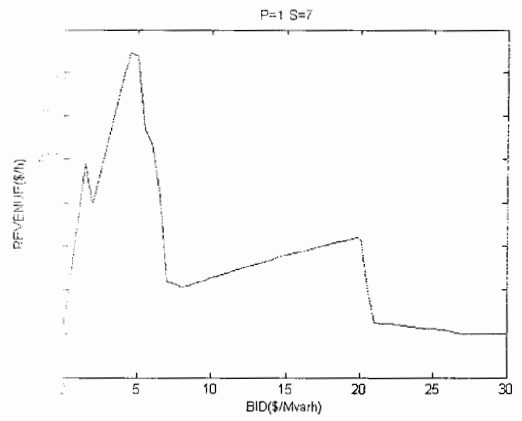
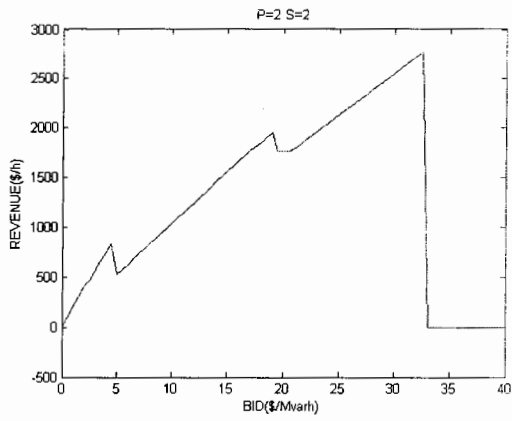


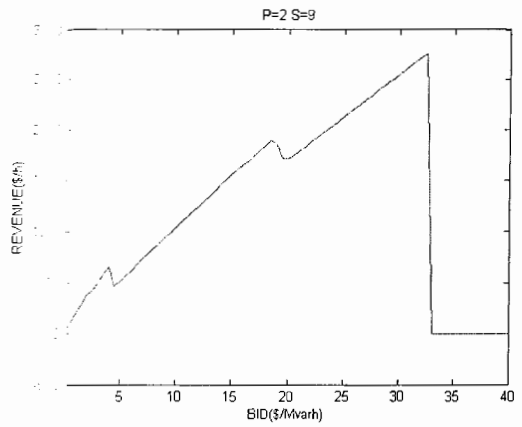
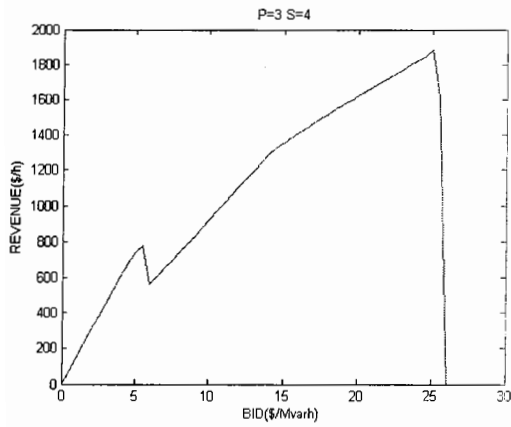
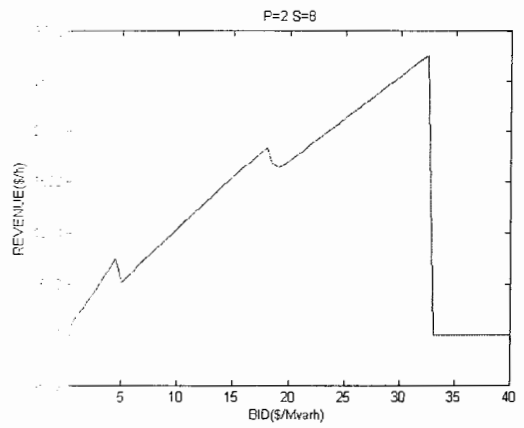
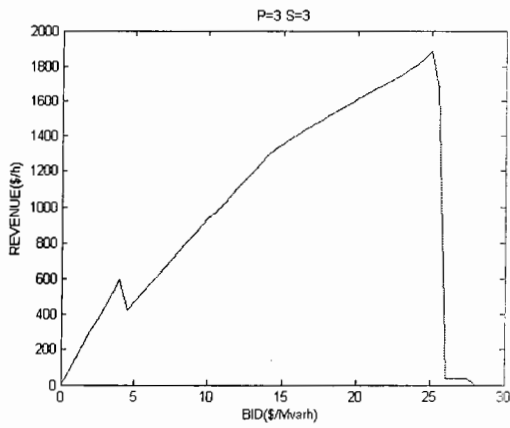
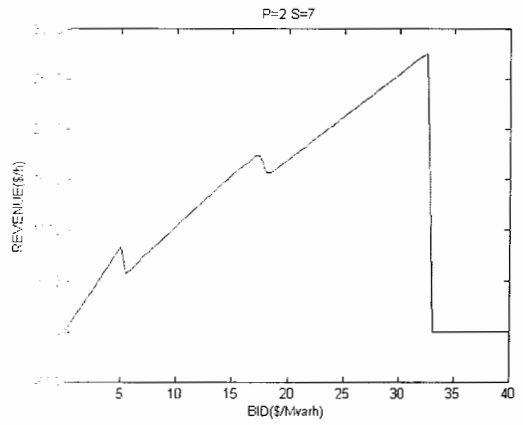
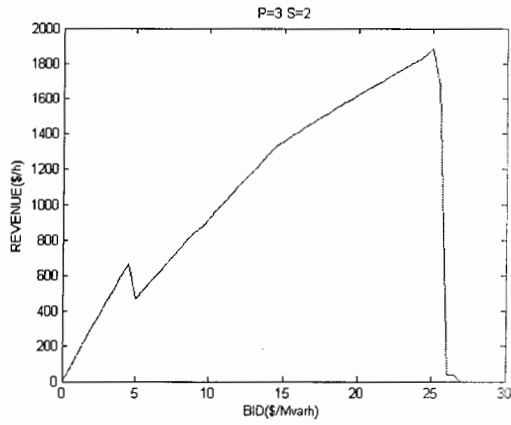
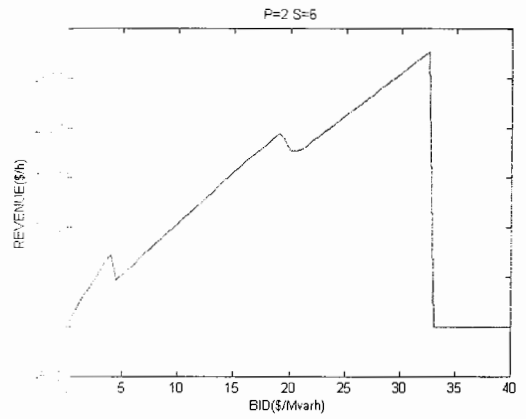
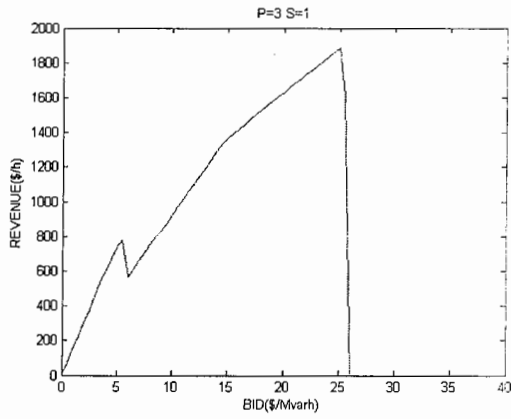


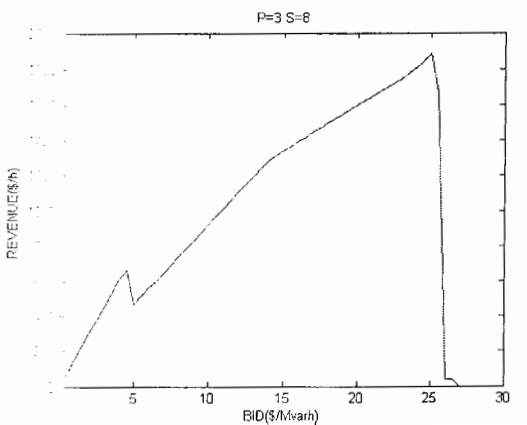
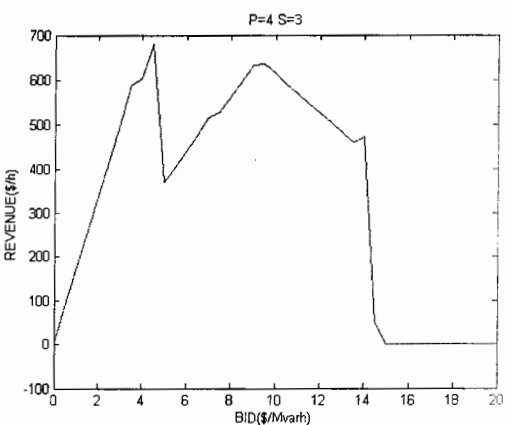
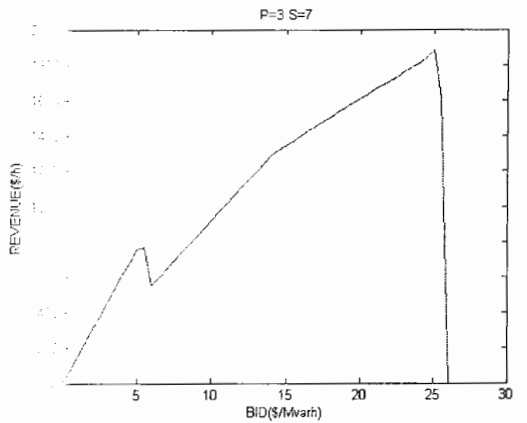
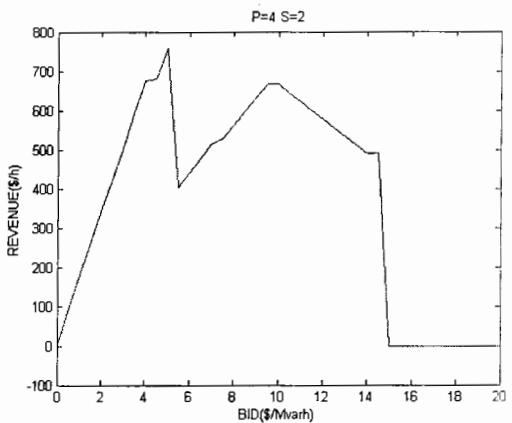
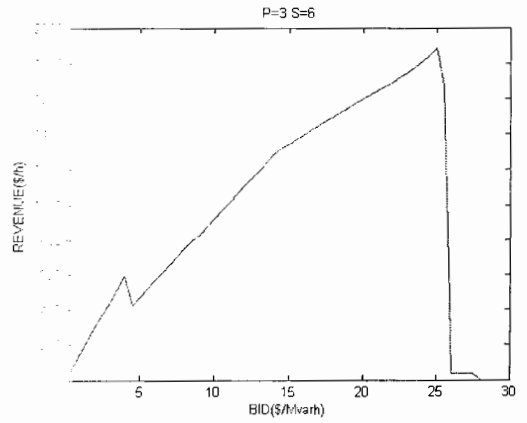
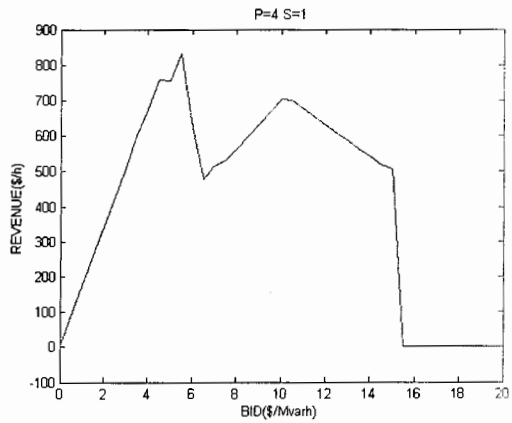
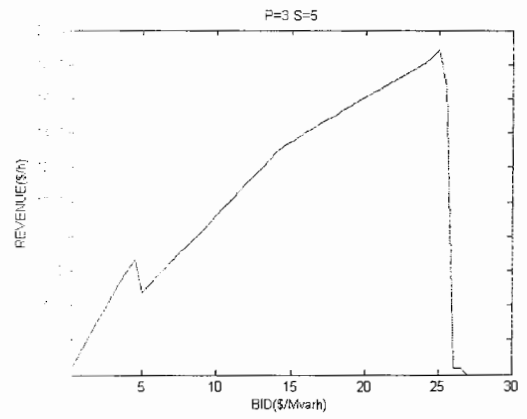
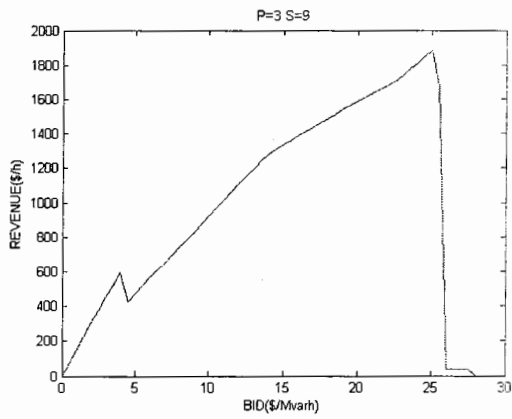
پیوست ت:

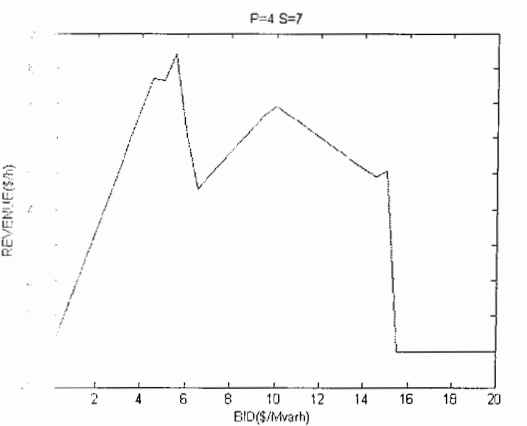
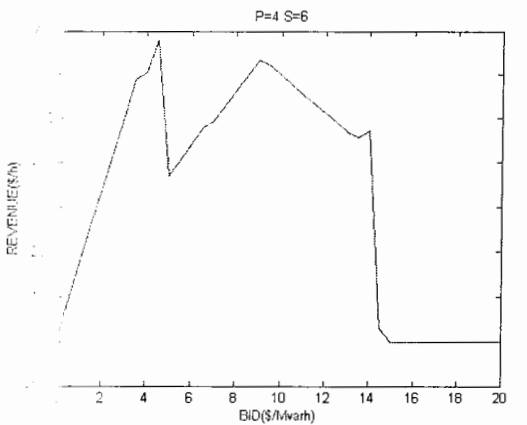
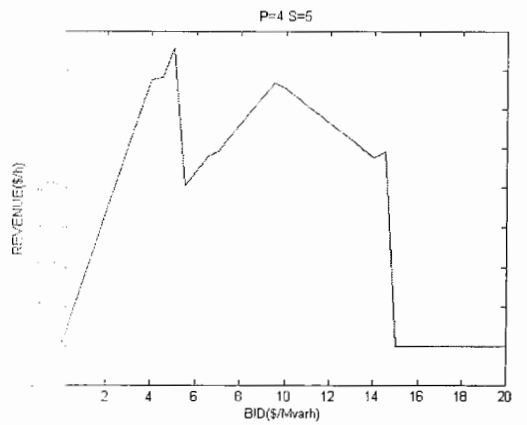
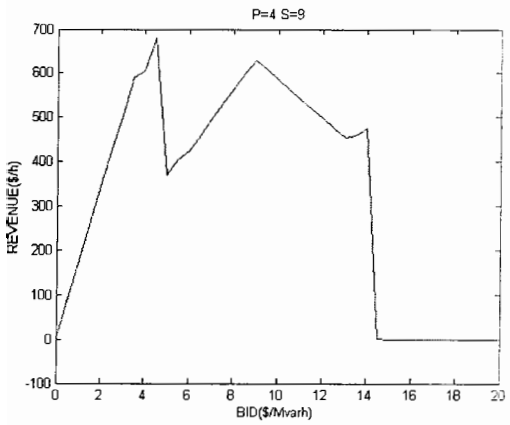
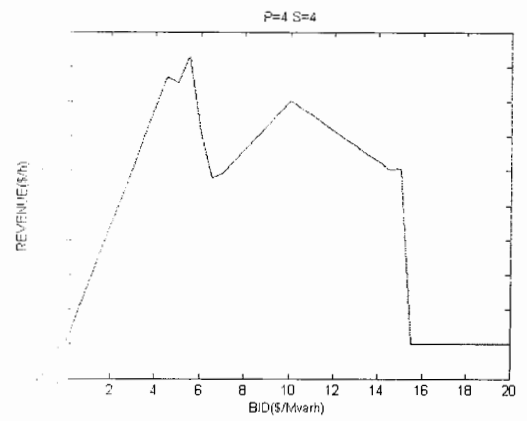
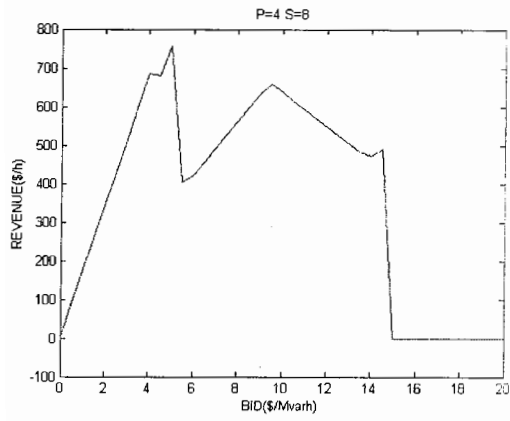
نمودار $Q_{gen} \times BID-BID$ برای ۹ سناریو در هر چهار طرح توسعه توان راکتیو (طرح ۱: طرح توسعه توان راکتیو باس یک- طرح ۲: طرح توسعه توان راکتیو باس دو- طرح ۳: طرح توسعه توان راکتیو باس هفت- طرح ۴: طرح توسعه توان راکتیو باس هشت) با استفاده از روش ارائه شده در فصل ۴











مراجع

مراجع:

- [۱] حسن سیاهکلی، "تجدید ساختار در صنعت برق" نشریه علمی برق، سال پانزدهم، شماره ۳۵، سال ۱۳۸۱، صفحه ۱-۱۳
- [2] R.C. Burchett and A.M. Heydt DA Silva, "Probabilistic methods for power system dynamic stability studies," IEEE Trans., PAS-97, pp. 695-701, 1978.
- [3] X.wang-J.R.McDonald, Modern Power System Planing, London:McGraw-Hill, 1994, p.443
- [۴] سعید پورهادی، کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی توان راکتیو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۷۵
- [۵] هادی سعادت، بررسی سیستمهای قدرت، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۸۲
- [6] J. J. Grainger and S. Civanlar, "Volt/var control on distribution systems with lateral branches using shunt capacitors and voltage regulators—Parts I, II and III," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS-104, no. 11, pp. 3278–3297, Nov. 1985.
- [7] J. J. Grainger and S. H. Lee, "Capacity release by shunt capacitor placement on distribution feeders: A new voltage-dependent model," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 15, pp. 1236–1244, May 1982.
- [8] M. E. Baran and F. F. Wu, "Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4, no. 1, pp. 735–743, Jan. 1989.
- [9] H. D. Chiang, J. C. Wang, O. Cockings, and H. D. Shin, "Optimal capacitor placement in distribution systems—Part I: A new formulation and the overall problem," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, no. 2, pp.634–642, Apr. 1990.
- [10] S. Sundhararajan and A. Pahwa, "Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm," IEEE Trans. Power Systems, vol. 9, no. 3, pp. 1499–1505, Aug. 1994.
- [11] Y. C. Huang, H. T. Yang, and C. L. Huang, "Solving the capacitor placement problem in a radial distribution system using tabu search approach," IEEE Trans. Power Syst., vol. 11, no. 4, pp. 1868–1873, Nov. 1996.

[12] Ramon A. Gallego, Alcir José Monticelli, and Rubén Romero, "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks," IEEE Trans. Power Syst., vol. 16, no. 4, pp. 630–637, Nov. 2001

[13] Benjamín Barán, José Vallejos, Rodrigo Ramos and Ubaldo Fernández, "Reactive Power Compensation using a Multi-objective Evolutionary Algorithm," 2001 IEEE Porto Power Tech Conference 10th–13th September, Porto, Portugal

[۱۴] مجید علومی بایگی، توسعه بازار محوری شبکه های انتقال با استفاده از روشهای احتمالی پایان نامه دکتری،

دانشگاه فردوسی مشهد، بهمن ۱۳۸۳

[15] Wikipedia, the free encyclopedia, "Edgeworth series," Available on <http://en.wikipedia.org>

[16] Tae-Kyun Kim, Jin-Bu Choo, Seung-Hyuk Lee, Jin-O Kim and Kyu-Ho, Kim, "Security Assessment for Bus Voltages Using Probabilistic Load Flow," 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Iowa State University, Ames, Iowa, September 12-16, 2004

[17] CIGRE WG 37.10, "Methods for planning under uncertainty: toward flexibility in power system development," Electra, No. 161, pp. 143-163, Aug. 1995.

[18] V. Miranda, and L. M. Proenca, "Probabilistic choice vs. risk analysis – conflicts and synthesis in power system planning," IEEE Trans. PWRs, Vol. 13, No. 3, pp. 1038-1043, Aug. 1998.

[19] V. Miranda, and L. M. Proenca, "Why risk analysis outperforms probabilistic choice as the effective decision support paradigm for power system planning," IEEE Trans. PWRs, Vol. 13, No. 2, pp. 643-648, May 1998.

[20] T. De la Torre, J. W. Feltes, T. G. S. Roman, and H. M. Merrill, "Deregulation, privatization, and competition: transmission planning under uncertainty," IEEE Trans. PWRs, Vol. 14, No. 2, pp. 460-465, May 1999.

[21] C. Ray, C. Ward, K. Bell, A. May and P. Roddy, "Transmission capacity planning in a deregulated energy market," in Proc. CEPSI 2000, available: www.energythai.net/cepsi2000/D1024.pdf.

[22] CIGRE TF 38.05.08, "Techniques for power system planning under uncertainties," Technical Brochure, Ref. 154, Apr. 2000.

[23] R. D. Cruz-Rodriguez, and G. Latorre-Bayona, "HIPER: interactive tool for mid-term transmission expansion planning in a deregulated environment," IEEE Trans. Power Engineering Review, Vol. 20, No. 11, pp. 61-62, Nov. 2000.

- [24] R. D. Cruz Rodriguez, and G. Latorre Bayona, "A new model for transmission expansion planning in a deregulated environment," Presented at V Seminario Internacional Sobre Analisis Y Mercados Energeticos, Universidad de Los Andes, Bogota, Colombia, Aug. 2001.
- [25] C. Ward, K. Bell, A. May, and P. Roddy, "Transmission capacity planning in an open energy market," CIGRE 2000, No. 37-109.
- [26] S. Patra and R.B. Misra, "Probabilistic Load Flow Solution using Method of Moments", presented at the 1993, IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, Hong Kong.
- [27] Preben Jorgensen, "A new method for performing probabilistic production simulations by means of moments and Legendre series," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May, 1991.
- [28] N.D. Hatziaargyriou and T.S. Karakatsanis, "Probabilistic load plow for assessment of voltage instability," IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 145, No. 2, March, 1998.
- [29] A.M. Breipohl, *Probabilistic system analysis-An introduction to probabilistic models, decisions and applications of random process*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1970
- [30] C.O. Nwankpa and R.M. Hanssan, "A stochastic based voltage collapse indicator," IEEE Trans. PWRS-8, Vol. 3, pp. 1187-1194, August, 1993.

Abstract:

During the last decade, the trend for restructuring of power systems has increased. Generation, transmission, and distribution have been separated from each other, and generation is offered in a competitive manner. The aim of beneficiaries in this system is to prepare the proper ground for transaction and competition in power market. Reactive power service is one of the necessary services for preparing this ground. Thus, development of this service together with increase in consumption and, generation and transmission expansion must take place in an appropriate manner. In this thesis, probabilistic load flow methods and those of optimized load flow of active and reactive power for reactive power expansion have been proposed. In order to determine a suitable place for reactive power expansion using the probabilistic load flow, at first, probability density function of bus voltages is calculated and then, the probability of violation of voltage confinement is calculated. Buses in which the probability of voltage reduction is high, are proper candidates for reactive power expansion. In continuing the work, optimized load flow is used to develop the reactive power. For this purpose two methods have been proposed. Following the first method, the limitations of reactive power production and absorption are eliminated and together with implementation of optimal load flow, the optimal position for reactive power expansion is determined, and following the second method, buses bearing high local marginal prices and reactive power are introduced as the optimized place for expansion of reactive power. Optimized location for reactive power expansion from among candidate buses makes it possible for investors to perform the necessary acts for expansion of this service being more sure about the return of the capital, and to avoid the useless investment in expansion reactive power.