# برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال برق در بازارهای رقابتی

**حمدی عبدی**[1]، **محسن پارسامقدم**،[1] **محمدحسین جاویدی**[2]
۱ـ گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۲ـ گروه مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد



## چکیده

لزوم بازنگری روش‌های برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت، به دلیل دگرنظمی[1] صنعت برق، امری اجتناب‌ناپذیر است. رقابتی شدن که مشخصه عمده دگرنظمی است، سبب شده تا روش‌ها و چارچوب‌های مرسوم برنامه‌ریزی، دستخوش تغییراتی اساسی شوند. در این مقاله ضمن ارائه تعریفی دقیق از برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال[1]، تفاوت‌های عمده آن در محیط‌های انحصاری و رقابتی ارائه شده است. در بخش بعدی روش‌های انجام TEP در هر یک از دو محیط بیان شده و به مزایا و معایب آنها اشاره شده است.

سرانجام، الگوریتم جدیدی برای انجام TEP در محیط‌های رقابتی بر اساس LMP همراه با مطالعات شبیه‌سازی یک شبکه نمونه ۸ با سه پیشنهاد شده است. مزایای اصلی این روش عبارتند از:

۱ـ باعث تشویق رقابت می‌شود.
۲ـ دسترسی برابر به تولید ارزان را برای همه مشتریان فراهم می‌کند.
۳ـ عدم قطعیت در بار را لحاظ می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** دگرنظمی، برنامه‌ریزی توسعه انتقال، بهینه‌سازی، هزینه تأمین مگاوات بعدی

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

**مقدمه**

Deregulation به تغییر قوانین و اعمال تشویق‌های اقتصادی دولت‌ها برای کنترل و رشد فزاینده صنعت برق اطلاق می‌گردد.[۱]

این پدیده که خصوصی‌سازی صنعت برق را در بخش‌های تولید و فروش در پی دارد، در سالهای ۱۹۸۰ در شیلی، ۱۹۹۲ در آرژانتین و سپس بولیوی، پرو، گواتمالا، کلمبیا، السالوادر، پاناما، برزیل، مکزیک، اسکاتلند، ایرلند شمالی، نروژ، انگلستان، اسپانیا، هلند و بخش‌هایی از آمریکا به شیوه‌های مختلفی اجرا شده است.[۲]

پیشرفت تکنولوژی و امکان تولید غیرمتمرکز انرژی، رقابتی شدن صنایع مختلف و لزوم رقابتی شدن مؤلفه‌های وابسته مانند انرژی الکتریکی، فراهم بودن امکان رقابت و تسریع در ارائه روش‌های جدید در بخش خصوصی نسبت به بخش دولتی، تکنولوژی اطلاعات و فراهم شدن امکان مبادله حجم عظیمی از اطلاعات که لازمه محیط‌های رقابتی است و تقویت نگاه مشتری‌گرایانه، عواملی هستند که دگر نظمی را موجب شده‌اند.[۲و۱]

البته، عدم تضمین برگشت سرمایه و ریسک سرمایه‌گذاری عوامل مهمی هستند که تمایل به دگرنظمی را کاهش داده‌اند.

برنامه‌ریزی توسعه انتقال (TEP)، از مهمترین مسائل بخش انتقال می‌باشد که لزوم فراهم‌سازی فضای انتقال برای تولیدات جدید، امکان رقابت درازمدت، نگهداری قابلیت اطمینان در سطح مطلوب و ایجاد امکان دسترسی عادلانه برای تمام کسانی که تمایل به حضور در بازار رقابتی دارند، سلسله عواملی هستند که توجه به آنرا جدی‌تر می‌سازند.[۲]

TEP به یک ابزار محاسباتی ـ منطقی اطلاق می‌شود که برای یافتن یک یا چند نقطه تقریباً بهینه[1] تابع هدف برنامه‌ریزی توسعه انتقال بکار می‌رود[۳]

در این مقاله روشی مبتنی بر محاسبه LMP[2] ارائه شده است. در این روش با استفاده از محاسبه LMP در باس‌های مختلف، مسیرهای کاندید برای احداث خطوط انتقال جدید، براساس معیار LMP یافت می‌شوند.

**تفاوت‌های TEP در محیط‌های انحصاری و رقابتی**

عمده‌ترین تفاوت میان برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط‌های انحصاری و رقابتی آن است که ساختار کلی مسأله برنامه‌ریزی سیستم قدرت در محیط‌های انحصاری که در برگیرنده تمام بخش‌های تولید، انتقال و حتی توزیع می‌باشد، در محیط‌های رقابتی به بخش‌های مجزایی شکسته شده و برنامه‌ریزی هر بخش به صورت جداگانه انجام می‌گردد.[۱۸ و ۱۷]

تفاوت مهم دیگر آن است که بر خلاف محیط‌های انحصاری که اطلاعات ورودی اکثراً قطعی می‌باشند، لازم است که عدم قطعیت[3] اطلاعات در محیط‌های رقابتی به عنوان یک پارامتر اساسی لحاظ شود.[٤و۳و۱۸و۱۷و۱٤]

1- Quasioptimal
2- Locational Marginal Price
3- Uncertainty

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

برخی دیگر از تفاوت‌ها عبارتند از:

۱ـ تابع هدف محیط‌های انحصاری بر اساس یافتن حداقل هزینه می‌باشد در حالی که تابع هدف در محیط‌های رقابتی بر اساس یافتن حداکثر سود است.[۱۹]

۲ـ TEP در محیط‌های رقابتی باید قابل رقابت باشد.[۱۹و٤]

۳ـ عدم قطعیت در بازارهای رقابتی بالا است. این عدم قطعیت می تواند به دلایل زیر باشد:

ـ بازیگران عرصه بازار رقابتی مرتباً استراتژی خود را تغییر می‌دهند.[۳و ٤]

ـ رفتار تولیدکنندگان توان مستقل (IPPs[4], NUGs[5]) غیر مشخص است.[۳و ٤]

ـ قراردادهای انتقال توان در طول زمان متغیر است.[4]

ـ نوع، ظرفیت و محل احداث نیروگاه‌های جدید ممکن است در طول عملیات اجرایی طرح‌های جدید انتقال تغییر کند، که منجر به افزایش عدم قطعیت اطلاعات ورودی می‌شود.

ـ سهم شرکت توسعه‌دهنده انتقال از بازار ارتباطات توان مشخص نبوده و با عدم قطعیت ارائه می‌شود.

٤ـ تأثیر ضرایب جریمه و ریسک ناشی از عدم تأمین بار، ریسک در سرمایه‌گذاری و ریسک به دلیل طراحی‌های بد در محیط‌های رقابتی بسیار بارز است.

۵ـ در بازارهای رقابتی خطرات تجاری ناشی از توسعه انتقال متوجه سرمایه‌گذار است، نه مشتریان.

٦ـ در محیط‌های رقابتی برخلاف محیط‌های انحصاری بدلیل احتراز از تراکم انتقال[6] و به مخاطره نیفتادن جریان مطمئن قدرت، نیاز به ظرفیت انتقال بالاتر می‌باشد.[ ۱۷]

۷ـ تغییر الگوی طراحی از حداقل قیمت به حداکثر سود.[ ۱۸]

## روش‌های حل TEP انحصاری و رقابتی

### ـ روش‌های حل در محیط‌های انحصاری

روش‌های طراحی در این سیستم‌ها به سه بخش عمده تقسیم می‌شوند:[۳]

#### الف) روش‌های بهینه‌سازی ریاضی[7]

این روش یک ساختار توسعه بهینه را با استفاده از روش محاسباتی که مدل‌های ریاضی مسأله را حل می‌کند، جستجو می‌نماید. بدلیل عدم امکان لحاظ نمودن تمام جنبه‌های مسأله برنامه‌ریزی انتقال، ساختار بهینه تنها هنگامی حاصل می‌شود که تعداد زیادی از ساده‌سازی‌ها در موارد متعدد فنی، اقتصادی، محیطی و... اعمال شود.

در فرمول‌بندی مدل ریاضی، یک تابع هدف (معیاری برای سنجش مطلوبیت ساختار طراحی ـ اکثراً هزینه) و تعدادی قیود در نظر گرفته می‌شود.

روش‌های بکار گرفته شده در این خصوص عبارتند از:

- برنامه‌ریزی خطی[8] [ ۵]

4 -Independent Power Producers
5 -Non Utility Generators
6 -Transmission Congestion
7 -Mathematical Optimization



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

- برنامه‌ریزی دینامیکی[9] [ ٦]
- برنامه‌ریزی غیر خطی[10] [٧]
- برنامه‌ریزی عدد صحیح[11] [٨]
- روش تجزیه سلسله مراتبی[12][٢٦]
- الگوریتم شاخه و کرانه[13][٢٧]

**ب)روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری[14]**

روند اختیاری بهینه‌سازی مدل ریاضی را ابتکاری گویند. عبارت ابتکاری برای تشریح تمام تکنیک‌های مورد استفاده به جای یک روش بهینه‌سازی کلاسیک ریاضی، قدم به قدم و ارزیابی آن در هر قدم بکار می‌رود.[٣]

در این روش، جستجو های محلی[15] به کمک یک سری قوانین جستجوی منطقی یا تجربی و حساسیت‌ها (قوانین ابتکاری) انجام می‌شود. این روش تا هنگامی که دیگر قادر به یافتن یک ساختار بهتر با توجه به معیارهای ارزیابی نباشد، ادامه دارد.

تکنیک‌های عمده مورد استفاده عبارتند از:[٢٨]

- آزمون اضافه بار[16]: در وضعیت‌های عادی و اغتشاش.
- آنالیزهای حساسیت[17]: در این تکنیک خط مؤثر[18] به دو روش شناسایی می‌شود. خط مؤثر خطی است که هزینه سرمایه‌گذاری واحد آن قابل قبول باشد. در مدل اول سودمندی یک خط در میزان کاهش اضافه بار خطوط دیگر بررسی می‌شود. در این مدل مؤثرترین خط به سیستم اضافه شده و شبکه قدم به قدم توسعه می‌یابد. این مدل به روش توسعه متوالی[19] موسوم است.
- تشکیل ساختار[20]: خطوط اضافه شده جدید به شبکه، بر حسب میزان مؤثر بودن آنها مرتب شده و طرح شبکه با افزودن مرحله به مرحله آن ایجاد می‌شود.
- از زمره روش‌های ابتکاری می‌توان به مواردزیر اشاره نمود:[ ٣]
- روش نزدیکترین همسایه[21]: معرفی مدل الحاقی شبکه[22] و بهره‌گیری از مدل پخش بار dc و تغییر سوسپتانس برای بهینه‌سازی هزینه.
- ارزیابی جایابی مدارهای اضافه شونده با استفاده از ضرایب حساسیت.

---

8 -Linear Programming
9-Dynamic Programming
10- Non-Linear Programming
11- Mixed Integer Programming
12- Hierarchical Decomposition
13- Branch and Bound Algorithm
14- Heuristic Optimization
15- Local Search
16- Overload Checking
17- Sensitivity Analysis
18- Effective Line
19- Successive Expansion Method
20- Scheme Formation
21- Nearest Neighbor Method
22- Adjoin Network



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

- استفاده از ساختارهای درختی[۲۳] و جستجوی مرحله به مرحله نقاط بهینه.
- مدل CHOPIN- در این روش که برای TEP درازمدت استفاده می‌شود، توسعه شبکه به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی استاتیک (حل مسأله در یکسال افق طراحی) لحاظ شده و بهینه نمودن هزینه تولید الکتریسیته مدنظر است.[ ۹]

**ج) روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری ـ ریاضی[۲۴]**

این مدل‌ها که مشخصات و خصوصیات دو روش قبلی را دارا هستند، براساس پردازش موازی کامپیوتری[۲۵] بوده و حل مسائل پیچیده را در زمان‌های محاسباتی کمتر ممکن می‌سازند. پیشرفت کامپیوتر، بکارگیری روش‌های جدیدی را برای حل TEP موجب شده که از زمره آنها می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد:

- الگوریتم ژنتیک[۲۶] [۱۰]
- مدل‌های شیءگرا[۲۷] [۱۱]
- روش آبکاری فلز[۲۸] [۱۲]
- سیستم‌های خبره[۲۹] [۱۳]
- تئوری فازی[۳۰] [۱٤]
- الگوریتم Kernel-Oriented [۱۵] .

مقایسه میان روش‌های ریاضی و ابتکاری در جدول شماره (۱) بیان شده است.

**ـ روش‌های حل TEP در محیط‌های رقابتی**

برخی از روش‌های مورد استفاده TEP در محیط‌های رقابتی را می‌توان به شرح زیر برشمرد.

- الگوریتم بهینه‌سازی چند منظوره[۳۱] [۲۰]
- استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی [۲۱]
- تئوری الحاقیgame[32] [۲۲]

23- Tree Format
24- Meta-Heuristic
25- Computer Parallel Processing
26- Genetic Algorithm
27- Object- Oriented Models
28- Simulated Annealing
29- Expert Systems
30- Fuzzy Theory
31- Multiple- Objective Optimization Algorithm
32- Cooperative Game Theory



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

**جدول ۱ـ مقایسه روش‌ها**

| | روش‌های ریاضی | روش‌های ابتکاری |
|---|---|---|
| **هدف** | بهینه‌سازی تابع هزینه شامل هزینه‌های احداث، بهره‌برداری، تلفات و... | حصول ساختار بهینه با توجه به معیار ارزیابی |
| **قیود** | فنی و اقتصادی | فنی و اقتصادی |
| **معیار ارزیابی** | کاهش اختلاف میان دو حل متوالی به مقدار حداقل تعریف شده | کاهش یا افزایش ضرایب حساسیت بر حسب مورد |
| **نقطه شروع** | با توجه به تابع هدف، قوانین ریاضی و با دخالت طراح تعیین می‌شود | سناریوی اولیه توسط طراح تعیین می‌شود |
| **معایب** | ۱ـ مشکلات همگرایی (به دلیل استفاده از پخش بار dc)<br>۲ـ افزایش زمان و حجم محاسبات هنگام استفاده از متغیرهای گسسته<br>۳ـ حصول حل بهینه به دلیل طبیعت غیرخطی تابع هدف مشکل است<br>٤ـ ساده‌سازی‌های متعدد در مدل نمودن شرایط واقعی | ۱ـ وابستگی حل نهایی به سناریوی اولیه<br>۲ـ لزوم یکایک شماری سناریوهای متعدد<br>۳ـ ساده‌سازی‌های متعدد در مدل نمودن شرایط واقعی<br>٤ـ تقریباً در اکثر موارد حل شبه بهینه حاصل می‌شود |
| **مزایا** | حصول حل بهینه امکان‌پذیر است | زمان محاسبات کمتر از روش‌های ریاضی است |

- روش تشکیل پیوستگی ظاهری چند عاملی[۳۳] [۲۳]
- روش‌های بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان [۲٤]
- مدل بهینه‌سازی غیرخطی عدد صحیح [۱۹]
- بکارگیری GA [۲۵]
- استفاده از Kernel- Oriented [۱۵]
- روش‌هایی که TEP مرسوم را با اصلاحاتی، مناسب استفاده در محیط‌های رقابتی می‌سازند [۲۵ و ۳]
- برنامه‌ریزی متمرکز[۳٤] و غیرمتمرکز[۳۵] [۲٦]
- روش‌هایی براساس LMP [۱٦و٤و۲]
- در حالت کلیTEP در محیط‌های رقابتی باید موارد زیر را لحاظ نماید.
- تشویق سرمایه‌گذاری
- دسترسی عادلانه مشتریان خط انتقال به تولید ارزان قیمت
- لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در بار و قراردادهای تولید

33- Multi- Agent Coalition Formation
34- Centralized Planning
35- Decentralized Planning

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

- توجیه‌پذیر بودن قیمت‌ها
- رقابتی بودن طرح
- رعایت قیود و فنی شبکه
- توجه به هزینه‌های تراکم

**معرفی روش جدید TEP در محیط‌های رقابتی**

روش پیشنهادی روشی بازار محور[۳۶] است که در آن توسعه شبکه انتقال براساس شرایط احتمالی بازار انرژی الکتریکی انجام می‌شود. برای مدل کردن عدم قطعیت‌ها از روش‌های احتمالاتی استفاده می‌شود.

در این روش، طراحی براساس معیار LMP صورت می‌گیرد. LMP به عنوان هزینه تأمین مگاوات بعدی بار در یک محل مشخص و با لحاظ کردن هزینه‌های افزایشی تولید، ازدحام انتقال و تلفات و برای یک نقطه بهره‌برداری مشخص به عنوان ضرایب لاگرانژ قیود پخش بار dc محاسبه می‌شود.[ ٤]

**ـ ساختار کلی روش پیشنهادی**

ساختار کلی روش پیشنهادی در شکل شماره (۱) آمده است.

**مرحله اول**: یافتن توابع چگالی احتمال[۳۷](pdf) شامل:

ـ $f_d^i(p)$ ، pdf بار $i$ ام در خلال پیک بار دوره طراحی.

ـ $f_{max}{}^i(p)$ ، pdf ماکزیمم قدرت در دسترس ژنراتور $i$ ام در خلال پیک بار دوره طراحی

**مرحله دوم**: انتخاب دامنه برای هر کدام از ورودی‌ها با استفاده از یک روش تولید تصادفی

**مرحله سوم**: با توجه به مقادیر یافته شده در مرحله دوم و تعرفه‌های انتقال[۳۸] تمام خطوط، مسأله بهینه‌سازی حل شده و اطلاعات خروجی شامل:

ـ توان ژنراتور $i$ ام ($P_g{}^i$)

ـ توان خط $i$ ام ($P_l^i$)

ـ LMP باس $i$ ام ($LMP^i$) یافته می‌شوند.

**مرحله چهارم**: با تکرار مراحل (۲و۳)، $f_{lmp}{}^i$ که LMP pdf تمام باسها است، یافته می‌شود.

**مرحله پنجم**: با توجه به این موضوع که داشتن یک پروفیل هموار قیمت، رقابت را افزایش می‌دهد و اینکه LMP بالا به معنی دسترسی نامطلوب و کم به تولید ارزان قیمت و LMP پائین به معنی فراهم بودن تولید ارزان و عدم دسترسی کافی به بار می‌باشد و با استفاده از مقادیر LMP باس‌های مختلف، خطوط انتقال کاندید از باس‌های با LMP پائین به باس‌های با LMP بالا به شرح زیر یافته می‌شوند:

**ـ باس‌های چشمه**[۳۹]: به عنوان مجموعه‌ای از باس‌ها که دارای کمترین مقدار میانگین LMP (MLMP) و کمترین مقدار انحراف از معیار LMP (VLMP) می‌باشند، انتخاب می‌شوند.

36- Market- Based Approach
37- Probability Density Function
38- Transmission Tariffs
39- Source Buses



[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

ـ **باسهای چاه**[۴۰]: به عنوان مجموعه‌ای از باس‌ها که دارای بیشترین مقدار میانگین LMP (MLMP) و کمترین مقدار انحراف از معیارLMP (VLMP) می‌باشند، انتخاب می‌شوند.

ـ خطوط کاندید مجموعه‌ای از خطوط هستند که میان هر باس چشمه و هر باس چاه ایجاد می‌شوند.

**مرحله ششم**: با تکرار مراحل (۱ تا ٤) و با معرفی یک خط کاندید در هر مرحلهMP, MLMP, VLMP تمام باس‌های چاه محاسبه می‌شود.

**مرحله هفتم**: بهترین طرح برای کاهش LMP هر باس چاه با توجه به کمترین مقدار MLMP و VLMP یافته می‌شود.

شکل شماره (۱) ساختار روش معرفی شده را نشان می‌دهد.

**شکل ۱ـ ساختار روش پیشنهادی**

**مطالعه عددی**

الگوریتم پیشنهادی به یک شبکه ۸ باسه، ۱۱ مداره که در شکل شماره (۲) آمده است، اعمال شده است. pdf بارها، اطلاعات خطوط و واحدهای تولیدی در جداول شماره (۱، ۲ و ۳) نشان داده شده است.

با انتخاب ۵۰ نمونه از pdf بارها، بردارهای VLMP , MLMP برای حالت پایه مسأله به شرح زیر حاصل می‌شوند:

MLMP ={ ۱۲/۹ ۲۱/۲ ۳۰/۲ ۲۱/۷۵ ۲۰ ۲۱/۲۷ ۳۰/۱۳ ۳۲/۲}

VLMP ={۰/٤۲ ۳/۹٤ ٤ ۱۵/٤ ۰ ۸/۹ ۳/۷ ۳/۸۹}

40- Sink Buses

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

در این سیستم دو مجموعه از باس‌ها وجود دارند: مجموعه اول باس‌هایی هستند که LMP آنها تقریبا برابر ۲۰ $/Mwh و مجموعه دوم باس‌هایی که LMP آنها برابر۳۰ $/Mwh است. مجموعه‌های چشمه و چاه عبارتند از:

مجموعه باسهای چشمه={٦ و ٥ و ٤ و ٢ و ١}

مجموعه باسهای چاه= {٨ و ٧ و ٣}

خطوط‌کاندیدعبارتنداز:{١-١،٧-٨،١-٣،٣-٢، ٧-٢، ٨-٢، ٣-٤، ٧-٤، ٨-٤، ٣-٧،٥-٥، ٨-٥، ٣-٦، ٧-٦، ٨-٦}

**جدول ١ـ اطلاعات بار**

| شماره بار | شماره باس | اطلاعات بار |
|---|---|---|
| ١ | ٢ | (١٠و٣٠٠)* |
| ٢ | ٣ | (١٢و٣٠٠) |
| ٣ | ٤ | (١٥و٣٠٠) |
| ٤ | ٦ | (٥و٣٠٠) |
| ٥ | ٨ | (٩و٢٥٠) |

*: عدد اول نشان‌دهنده مقدار میانگین و عدد دوم نمایشگر انحراف معیار می‌باشد.

**جدول ٢ـ اطلاعات خطوط**

| ابتدا | انتها | امپدانسΩ | ظرفیتMW | تعرفه $/MWh |
|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢ | ٠/٠٣ | ٢٨٠ | ٣ |
| ١ | ٤ | ٠/٠٣ | ١٤٠ | ٣ |
| ١ | ٥ | ٠/٠٠٦٥ | ٣٨٠ | ١ |
| ٢ | ٣ | ٠/٠١ | ١٢٠ | ١ |
| ٣ | ٤ | ٠/٠٣ | ٢٣٠ | ٣ |
| ٤ | ٥ | ٠/٠٣ | ٢٠٠ | ٣ |
| ٥ | ٦ | ٠/٠٢ | ٣٠٠ | ٢ |
| ٦ | ١ | ٠/٠٢٥ | ٢٥٠ | ٢/٥ |
| ٧ | ٤ | ٠/٠١٥ | ٢٥٠ | ١/٥ |
| ٧ | ٨ | ٠/٠٢٢ | ٣٤٠ | ٢/٢ |
| ٨ | ٣ | ٠/٠١٨ | ٢٤٠ | ١/٨ |

**جدول ٣ـ اطلاعات تولید**

| شماره ژنراتور | شماره باس | ظرفیت MW | $/MWh a | $/MW²h b |
|---|---|---|---|---|
| ١ | ١ | ١١٠ | ١١ | ٠/٠١ |
| ٢ | ١ | ١٠٠ | ٢٥ | ٠/٠٢ |
| ٣ | ٣ | ٥٢٠ | ٢٢ | ٠/٠١ |
| ٤ | ٤ | ٢٥٠ | ٣٠ | ٠/٠٢ |
| ٥ | ٥ | ٦٠٠ | ٨ | ٠/٠١ |
| ٦ | ٦ | ٤٠٠ | ٤٠ | ٠/٠٢ |
| ٧ | ٧ | ٢٠٠ | ٢٧ | ٠/٠١ |





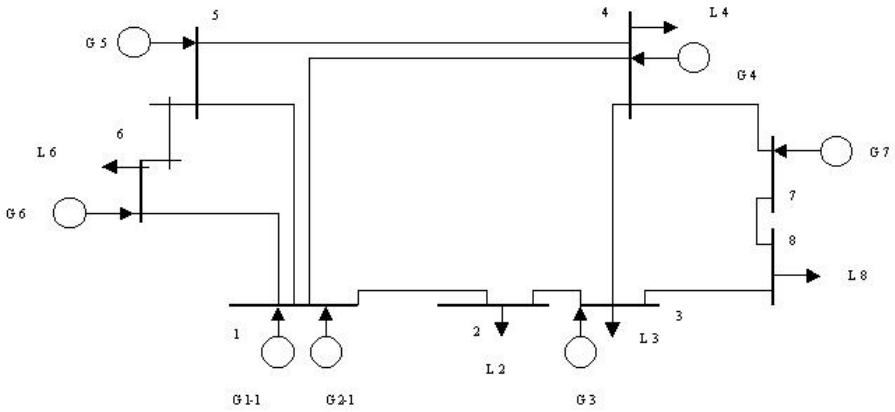


[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

**جدول ۴ـ اطلاعات خطوط کاندید**

| ابتدا | انتها | امپدانس Ω | ظرفیت MW | تعرفه $/MWh |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳ | ۰/۰۱۳ | ۱۵۰ | ۱/۵ |
| ۱ | ۷ | ۰/۰۱۳۵ | ۱٦۰ | ۱/۵ |
| ۱ | ۸ | ۰/۰۱٤ | ۱٦۰ | ۱/۵ |
| ۲ | ۳ | ۰/۰۱۰ | ۱۲۰ | ۱/۰ |
| ۲ | ۷ | ۰/۰۱۰ | ۱۲۰ | ۱/۰ |
| ۲ | ۸ | ۰/۰۱۸ | ۲۰۰ | ۱/۸ |
| ٤ | ۳ | ۰/۰۳۰ | ۱٤۰ | ۳/۰ |
| ٤ | ۷ | ۰/۰۱۳ | ۱۵۰ | ۱/۵ |
| ٤ | ۸ | ۰/۰۳۰ | ۲۰۰ | ۳/۰ |
| ۵ | ۳ | ۰/۰۱۵ | ۱۵۰ | ۱/۵ |
| ۵ | ۷ | ۰/۰۳۰ | ۳۵۰ | ۳/۰ |
| ۵ | ۸ | ۰/۰۲۵ | ۲۸۰ | ۲/۵ |
| ٦ | ۳ | ۰/۰۱۸ | ۲۰۰ | ۱/۸ |
| ٦ | ۷ | ۰/۰۲۰ | ۲۳۰ | ۲/۰ |
| ٦ | ۸ | ۰/۰۱۷ | ۱۹۰ | ۲/۰ |

با معرفی هر کدام از خطوط انتقال کاندید به شبکه و با استفاده از اطلاعات جدول شماره (٤) MLMP,VLMP به شرح جدول شماره (۵) یافته می‌شوند.




**شکل ۲ـ شبکه نمونه**

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

**جدول ۵ـ نتیجه محاسبات**

| طرح | MLMP($/MWh) | VLMP ($/MWh) |
|---|---|---|
| ۱–۳ | ۱٦/۹۳۵۲ | ٤/۵۷٦۵۱ |
| ۲–۳ | ۳۰/۷٤۷۸۵ | ٤/۸۷۰۲۷۸ |
| ٤–۳ | ۲۹/۹۰۹۲۵ | ۲/۷۲۲۲۸۷ |
| ۵–۳ | ۲۹/۱۷۱٦۹ | ۱/۹۲۲٦۷۱ |
| ٦–۳ | ۲۹/۵۳۲۵۸ | ۱/۸٦٦۷۵۸ |
| ۱–۷ | ۳۰/۰۵ | ۳/۰٦۹٦ |
| ۲–۷ | ۳۰/۱۰۰ | ۱/۸۷۸۷ |
| ٤–۷ | ۳۰/۰۵ | ۳/۰۲۹۲ |
| ۵–۷ | ۳۰/۰۵ | ۳/۰۳۱۷۲ |
| ٦–۷ | ۳۰/۰ | ۳/۰۲۸ |
| ۱–۸ | ۲٤/٤۵ | ۱/۹۷۸ |
| ۲–۸ | ۳٤/۱ | ۱/۵۵۸ |
| ٤–۸ | ۳۳/۲ | ۳/۳٤٤ |
| ۵–۸ | ۲۸/۸ | ۵/۰۸۵ |
| ٦–۸ | ۳۰/۸ | ٤/۲٦٦ |

## نتیجه‌گیری

روش‌های مختلف حل مسأله TEP در این مقاله ارائه گردید. همچنین یک روش برنامه‌ریزی توسعه انتقال براساس LMP در محیط‌های رقابتی ارائه گردید که مزیت‌های آن عبارتند از:

الف ـ تشویق رقابت و دسترسی برابر و عادلانه مصارف به تولید ارزان و نیز به شبکه انتقال

ب ـ لحاظ نمودن عدم قطعیت بار

ج ـ مدل نمودن تعرفه انتقال

## منابع

1- L. Philipson and H. L. Willis., "Understanding Electric Utilities and Deregulation", First Edition, USA, Marcel Dekker Inc., 1999.

2- G. Rothwell and T. Gomez., "Electricity Economics: Regulation and Deregulation", First Edition, IEEE, 2003.

3- G. Latorre., R. D. Cruz., J. M. Areiza and A. Villegas., "Classification of Publications and Models in Transmission Expansion Planning", IEEE Trans. PWRS, Vol.18, PP. 938-946. May 2003.

4- M. O. Buygi., H. M. Shanechi and M. Shahidehpour., "Transmission Planning in Deregulated Environments", IJE, Vol. 15, PP. 245-255. Sep. 2002.

5- R. S. Chanda and P. K. Bhattacharjee., "Application of Computer Software in TEP Using Variable Load Structure", Electric Power Systems Research, Vol. 31, PP. 13-20. 1994.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

6- Y. P. Dusonchet and A. H. El-Abiad., "Transmission Planning Using Discrete Dynamic Optimization", IEEE Trans. Power Apparatus. Systems. Vol. PAS- 92, PP. 1358-1371. July 1973.
7- Z. M. Al- Hamouz and A. D. Al-foraj., "Transmission Expansion Planning Using Non Linear Programming", IEEE Trans. Power System. Vol.4, PP. 50-55. 2002.
8- A. Santos, P. M. Franca and A. Said., "An Optimization Model for Long-range Transmission Expansion Planning", IEEE Trans. PWRS, Vol. 4, PP. 94-101. Feb. 1989.
9- G. L. Bayona and I. J. Perez., "CHOPIN, A Heuristic Model for Long-term Transmission Expansion Planning", IEEE, Trans. PWRS, Volt .9, PP. 1886 - 1894. Nov. 1994.
10- K. J. Kim., Y. M. Park and K. Y. Lee., "Optimal Long Term Transmission Expansion Planning Based on Maximum Principle", IEEE, Trans. PWRS, Vol.3,PP. 1494-1501.November 1988.
11- E. Hand schin and et al., "Object- Oriented Software Engineering for Transmission Planning in Open Access Schemes", IEEE, Trans, PWRS, Vol.13, PP. 94-100. Feb.1998.
12- R. Romero., R. A. Callego and A. Monticelli., "Transmission System Expansion Planning by Simulated Annealing", IEEE, Trans., PWRS, Vol. 11 , PP. 364-369. February 1996.
13- R. C. G. Teive., E. L. Silva and L. G. S. Fonseca., "A Cooperative Expert System for TEP of Electrical Power System", IEEE, Trans, PWRS, Vol.13, PP.636-642. May. 1998.
14- H. Kim and et al., "Transmission System Expansion Planning of KEPCO System Using Fuzzy Set Theory", Proc. on Society Summer Meeting. Of IEEE Power Eng, Vol.1, PP. 535-540. July 2002.
15- J. Contreras and F.F. Wu., "A Kernel- Oriented Algorithm for TEP" IEEE, Trans, PWRS, Vol. 15, PP. 1434-1440. November 2000.
16- J. W. M. Cheng., D. T. McGills and F. D. Galiana., "Power System Reliability in A Deregulated Environment", IEEE Electrical and Computer Conference, Vol.2, PP. 765-768. March 2000.
17- J. G. Slootweg., "Applicability of Engineering Design Concepts to Power System Planning and Operation", Proc. Int. Con. on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Tech. London, PP. 566-571. April 2000.
18- R. Fang and D. J. Hill., "A New Strategy for Transmission Expansion in Competitive Electricity Markets", IEEE Trans. PWRS, Vol.18, No.1, PP.374-380. Feb. 2003.
19- Z. A. Styczynski., "Power Network Planning Using Game Theory", Proc. Int. Conf. on Power System, Trondheim, PP. 607-613. 1999.
20- H. Sun and D. C. Yu., "A Multiple Objective Optimization Model of Transmission Enhancement Planning for Independent Transmission Company (ITC)", Proc. on Society Summer Meeting. Of IEEE Power Eng, PP. 2033-2038, 2002.
21- J. Contreras and F. F. Wu., "Coalition Formation in Transmission Expansion Planning", IEEE Trans. PWRS, Vol.14, No.3, PP. 1144-1152, Aug.1999.
22- J. Yen., Y. H. Yan., B. J. Wang., P.K.H. Sin and F.F. Wu., "Multi Agent Coalition Formation in Power Transmission Planning", Proc. Int. Conf. on IEEE Power System. Hawaii, Vol.4, PP.433-443, Jan.1998.
23- I. Kurihara., "Deregulation of Electric Power Industry in Japan and the Present Practice of Security Reliability in Transmission Planning Stage", IEEE, PP.143-146. 1999.
24- M. V. F. Pereira., M. F. McCoy and H. M. Merrill., "Managing Risk in the New Power Business", IEEE Computer Application Power, PP. 18-24. April 2000.
25- M. Ilic., F. Galiana and L. Fink., "Power System Restructuring, Engineering and Economics", Kluwer academic, Netherlands, 1998.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]

26- H. Rudnick., R. Palma., E. Cura and C. Silva., "Economically Adopted Transmission System in Open Access Schemes-Application of GA", IEEE Trans. PWRS, Vol.11, No.3, PP. 1427-1430. Aug.1996.
27- R. Romero and A. Monticelli., "A Zero-One Implicit Enumeration Method for Optimizing Investments in Transmission Expansion Planning ", IEEE Trans. PWRS , Vol.9, No.3, PP. 1385-1391, Aug.1994.
28- S. Haffner., A. Monticelli., A. Garcia., J. Mantovani and R. Romero., "Branch and Bound Algorithm for Transmission System Expansion Planning Using a Transportation Model" ,IEEE Proceeding, Vol.147, No.3, PP. 149-156, May 2000.
29- X. Wang and J.R. McDonald., "Modern Power System Planning", McGraw Hill Pub., First Edition, USA, 1994.







[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10 ]