برنامه‌ریزی توسعه انتقال (TEP) بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی(AHP) با استفاده از تکنیک آنتروپی

رضا اعتماد [۱]، محسن کیا [۲]، محمدصادق سپاسیان [۳]، مهرداد ستایش‌نظر [۴]، محمدصادق قاضی‌زاده [۵]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۲/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۰۴/۰۳

چکیده:

با توجه به رشد روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی، لزوم برنامه ریزی توسعه انتقال (Transmission Expansion Planning=TEP) امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. برنامه توسعه انتقال به معیارهای مختلفی وابسته است. در این مقاله، ابتدا به بررسی معیارهای موثر در برنامه‌ریزی توسعه انتقال پرداخته شده وسپس یک مدل برای TEP پیشنهاد گردیده است. در این مدل با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process=AHP) و تکنیک آنتروپی که یکی از تکنیک‌های ارزیابی اوزان در روش تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM= Muli Atribute Decision Making) می‌باشد، به برنامه‌ریزی توسعه انتقال پرداخته شده است. برای این منظور، پنج معیار اساسی معرفی و با استفاده از روش پیشنهادیAHP و تکنیک آنتروپی به بهینه‌سازی مسأله TEP پرداخته می‌شود. برای بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی، روش مذکور بر روی شبکه ۱۴ شین IEEE پیاده‌سازی شده است.

کلمات کلیدی:
برنامه‌ریزی توسعه انتقال (TEP)، تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک آنتروپی، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، قیمت حدی ناحیه‌ای.

۱) دانشجوی دکتری دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور (نویسنده مسئول) Re.etemad@gmail.com
۲) دانشجوی دکتری دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور Mohsenkia80@gmail.com
۳) استادیار دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور Sepasian@pwut.ac.ir
۴) استادیار دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور Setayeshnazar@pwut.ac.ir
۵) استادیار دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور Ghazizadeh@pwut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

مقدمه

مسأله برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال یکی از بخش‌های اساسی برنامه‌ریزی توسعه سیستم‌های قدرت است که هدف آن انتخاب یک خط از بین خطوط کاندیدا می‌باشد، به گونه‌ای که اولاً میزان بار پیش‌بینی شده برای بازه زمانی مورد نظر تأمین گردد و ثانیاً هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی حداقل گردد [۱]، [۸] و [۹]. برنامه‌ریزی توسعه انتقال با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از قیود فنی، اقتصادی و قابلیت اطمینان میسر می‌گردد. در این راستا، بودجه سرمایه‌گذاری منطقی و قابل قبولی بایستی از جانب مالکان شبکه با توافق مشتری که انواع معیارهای قابلیت اطمینان مرتبط به سرمایه‌گذاری را در نظر می‌گیرند، تعیین شود [۳]. تعیین خطوط کاندیدا از بین خطوط ممکن نیز به نوبه خود یک مسأله بسیار مهم می‌باشد و در جواب بهینه تأثیر فراوانی دارد [۱۲]. مسأله برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال شامل متغیرهای متعدد گسسته و پیوسته می‌باشد و در تقسیم‌بندی‌های مربوطه، این مسأله جزو مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح قرار می‌گیرد. حل این مسائل بسیار پیچیده می‌باشد و با افزایش ابعاد سیستم قدرت، حل آن بسیار مشکل‌تر نیز می‌گردد [۸] و [۱۹].

مسأله برنامه‌ریزی توسعه انتقال با توجه به مدل مورد استفاده به دو دسته استاتیک و پویا (چند مرحله‌ای) تقسیم می‌گردد. در مدل استاتیک، برنامه‌ریزی توسعه انتقال تنها در یک افق برنامه‌ریزی انجام می‌گیرد و در روش چند مرحله‌ای، چندین افق برنامه‌ریزی در یک مسأله برنامه‌ریزی توسعه انتقال مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های ریاضی مورد کاربرد در مساله برنامه‌ریزی توسعه انتقال استاتیک در [۵] و [۱۸] و مدل‌های مورد کاربرد در برنامه‌ریزی توسعه تولید پویا در [۶] و [۱۵] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برنامه‌ریزی توسعه انتقال مرکب AC/DC در [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای برنامه‌ریزی توسعه انتقال استفاده شده است. برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح به دو بخش مسأله اصلی و زیر مسأله تقسیم می‌گردد. معیار مورد استفاده در این مقاله تأمین بار پیش‌بینی شده، حداقل سازی هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری می‌باشد. در [۱۴] به بررسی تأثیر نفوذ نیروگاه‌های بادی در برنامه‌ریزی توسعه انتقال پرداخته شده است. در این مقاله بیان شده که با توجه به استفاده روز افزون منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، برنامه توسعه انتقال بلند مدت نیز باید به بررسی تأثیر نفوذ این منابع بپردازد. در این مقاله مدل برنامه‌ریزی جدیدی برای توسعه انتقال با استفاده از بهینه‌سازی خطی عدد صحیح پرداخته شده و در آن تأثیر منابع تولید بادی در نظر گرفته شده است.

در [۷] در سال ۱۹۷۰، مسأله برنامه‌ریزی توسعه انتقال با استفاده از روش تخمین خطی توان جاری[1] حل شده است. روش تخمین خطی توان جاری در واقع یک تکنیک تحلیل شبکه می‌باشد که در آن می‌توان هر نوع پیکربندی شین‌ها را مورد بررسی قرار داد و خطوط مورد نیاز را تعیین نمود. در [۴] به برنامه‌ریزی توسعه تولید با استفاده از معیار وقفه پرداخته شده است. در این مقاله، بهترین برنامه توسعه انتقال با درنظر گرفتن انواع شاخص‌های امنیت تعیین می‌گردد. روش

1) Linear flow estimation approach

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

پیشنهادی در این مقاله به حداقل نمودن هزینه می‌پردازد. این هزینه شامل هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری می‌باشد.

مشکلاتی برای حل مسأله برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال وجود دارد که از جمله این مشکلات می‌توان زیاد بودن تعداد جواب‌ها را نام برد که می‌تواند منجر به همگرا شدن به نقطه بهینه محلی گردد. با توجه به اینکه مسأله برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال ذاتا یک مسأله ترکیبی می‌باشد، می‌تواند به زیادشدن تعداد انتخاب‌ها منجر گردد. این موضوع ممکن است از نقطه نظر محاسباتی غیرعملی یا بسیار وقت‌گیر باشد.

روش‌های مورد کاربرد جهت حل مسائل برنامه‌ریزی توسعه انتقال به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- روش‌های ریاضی [۱۰]، [۲]، [۱۶] و [۲۰]

۲- الگوریتم‌های ترکیبی [۲۱]-[۲۳]

۳- روش‌های ابتکاری [۱۳]، [۱۷] و [۲۴]

استفاده از الگوریتم‌های ریاضی برای استفاده در سیستم‌های قدرت با ابعاد بزرگ چندان مناسب نیستند. روش‌های ترکیبی دارای پاسخ‌های مناسبی می‌باشند، اما زمان حصول جواب بهینه بسیار طولانی می‌باشد و به ابعاد مسأله و تعداد پارامترهای آن بستگی دارد. روش‌های ابتکاری بسیار مناسب می‌باشند و اجرای آنها ساده بوده و فاقد پیچیدگی محاسباتی می‌باشد.

در این مقاله، یک روش ابتکاری جهت برنامه‌ریزی توسعه انتقال پیشنهاد گردیده است. این روش از سه مرحله تشکیل شده که در مرحله اول، مقدار LMP مربوط به هریک از شینه‌ها با استفاده از پخش بار بهینه (Optimal Power Flow=OPF) تعیین می‌گردد. در مرحله بعد، با استفاده از LMPهای بدست آمده، خطوط کاندیدا جهت برنامه‌ریزی توسعه انتقال تعیین می‌گردند. در مرحله پایانی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی که از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) می‌باشد و با استفاده از تکنیک آنتروپی جهت ارزیابی اوزان برای شاخص‌ها، با بهینه‌سازی پنج معیار (واریانس LMP مربوط به شین‌های مختلف، میانگین LMP مربوط به شین‌های مختلف، میزان هزینه تولید توان مورد نیاز، تلفات و طول خطوط با توجه به ساختار شبکه)، بهترین خط برای توسعه انتقال از بین خطوط کاندیدا انتخاب می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی، در یک شبکه۱۴ شین IEEE پیاده سازی شده است. نتایج حاصله کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

محاسبه LMP

مقدار LMP در واقع نشان‌دهنده هزینه تولید یک مگاوات بیشتر بار با لحاظ نمودن هزینه‌های افزایشی تولید ژنراتورها، پرشدگی خطوط انتقال و تلفات شبکه می‌باشد. محاسبه مقدار LMP به‌طور خلاصه به صورت زیر بیان می‌گردد:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

الف) محاسبه تابع هزینه برای حالت پایه شبکه مورد مطالعه که این مقدار به $Cost_{base}$ موسوم می‌باشد.

ب) افزایش بار در هریک از شین‌ها به اندازه یک مگاوات.

ج) یافتن تابع هزینه برای حالت بار افزایش یافته که این مقدار برای شین kام، با پارامتر $Cost_{increased,k}$ نشان داده می‌شود.

د) مقدار LMP برای شین kام، با استفاده از رابطه (۱)محاسبه می‌گردد:

$$LMP_k = Cost_{increased,k} - Cost_{base} \quad (۱)$$

تابع هدف جهت محاسبه LMP به صورت زیر می‌باشد:

$$Min \ \ Cost_k = \sum_{i \in G} C_i(P_{GI}) \quad (۲)$$

رابطه (۲) در واقع تابع هدف مسأله بهینه‌سازی می‌باشد که نشان دهنده مجموع هزینه‌های تولید می‌باشد. قیود مورد استفاده در محاسبه LMP به صورت روابط (۳) الی (۱۰)می‌باشند:

رابطه (۳)، تعادل توان اکتیو تولیدی و مصرفی و تلفات اکتیو خطوط انتقال می‌باشد:

$$\sum_{i \in G}^{s.t.} P_{gi} - \sum_{i \in L} P_{loss\,l} - \sum_{k \in N} P_{dk} = ۰ \quad (۳)$$

روابط (۴) و (۵)، قیود مربوط به تعادل توان اکتیو و راکتیو در شین‌های تولید و مصرف می‌باشند:

$$P_{gi} - P_{di} = P_i(v, \delta) = ۰ \qquad i \in N \quad (۴)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = Q_i(v, \delta) = ۰ \qquad i \in C \quad (۵)$$

روابط (۶) و(۷)، محدودیت‌های تولید توان اکتیو وتوان راکتیو ژنراتورها می‌باشد:

$$P_{gi}^m \le P_{gi} \le P_{gi}^M \quad (۶)$$

$$Q_{gi}^m \le Q_{gi} \le Q_{gi}^M \quad (۷)$$

رابطه (۸)،محدودیت توان عبوری از خطوط شبکه می‌باشد:

$$\left| P_{flow\,l} \right| \le P_{flow\,l}^M \quad (۸)$$

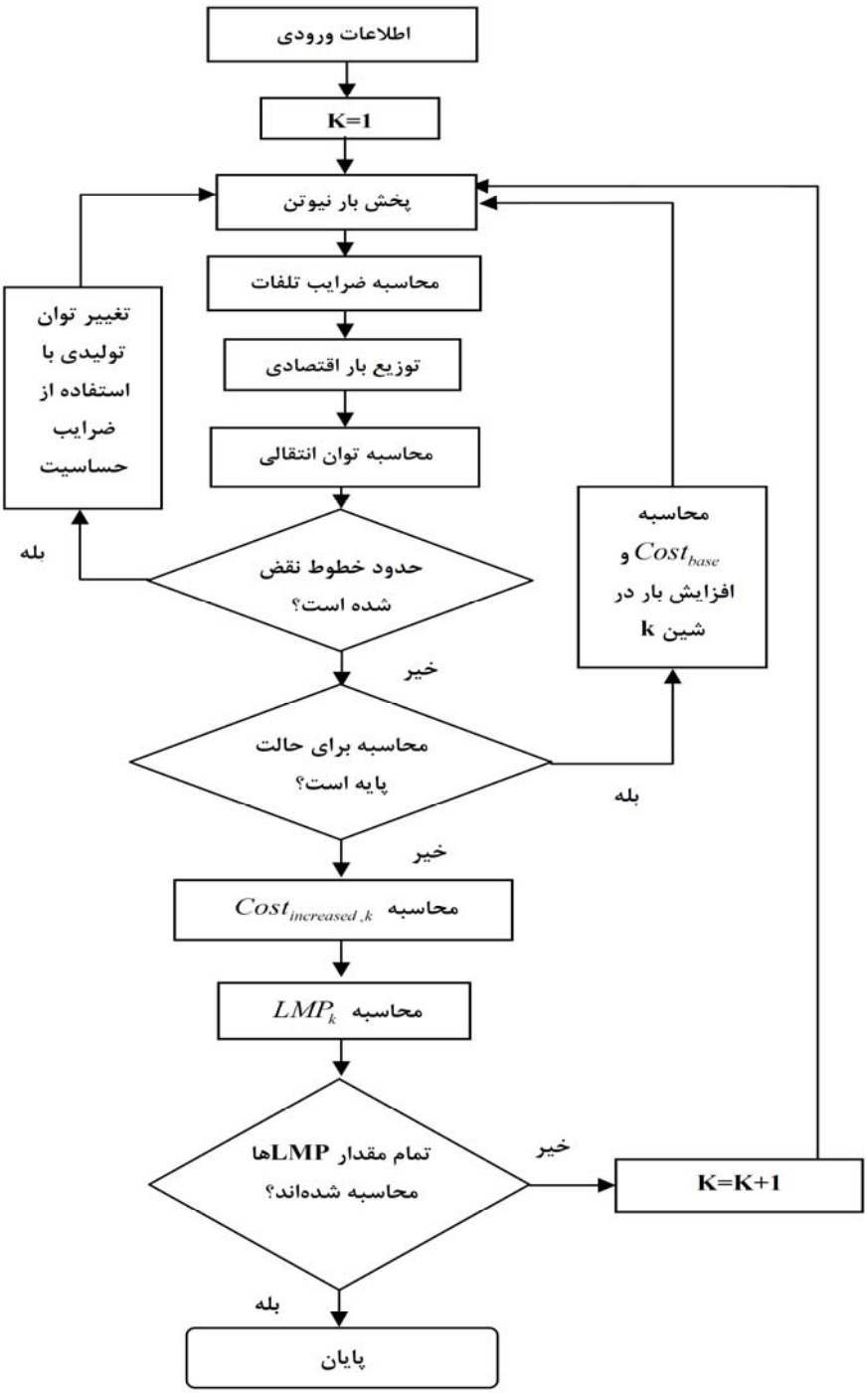
روابط (۹) و (۱۰)، محدودیت اندازه ولتاژ و زاویه ولتاژ هرکدام از شین‌های شبکه می‌باشند:

$$v_k^m \le v \le v_k^M \quad (۹)$$

$$\delta_k^m \le \delta_k \le \delta_k^M \quad (۱۰)$$

نمودار جریانی محاسبه LMP در شین‌های مختلف، در شکل (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]



شکل ۱) نمودار جریانی محاسبه LMP

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

تعیین خطوط کاندیدا برای توسعه شبکه انتقال

انتخاب خطوط کاندیدا یکی از مسائل مهم در برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال می‌باشد 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 پایین به معنی فراهم بودن تولید ارزان و عدم دسترسی کافی به بار می‌باشد. بعد از تحلیل شبکه پایه و تعیین LMPها، با توجه به مقادیر مختلف LMPها و با مقایسه این مقادیر با مقدار میانگین، شین‌ها به دو دسته زیر تقسیم می‌گردند:

الف) شین‌های چشمه: شین‌هایی که مقدار LMP آنها از مقدار LMP میانگین شبکه کم‌تر می‌باشد. شین‌های چشمه به شین‌هایی از شبکه اطلاق می‌شود که در آنها میزان دسترسی به تولید ارزان بالا بوده و از مراکز بار دور می‌باشند.

ب) شین‌های چاه: شین‌هایی که در آنها مقدار LMP از مقدار میانگین LMP بالاتر می‌باشد. شین‌های چاه، نقاطی در شبکه می‌باشند که به مرکز بار نزدیک‌تر بوده و در آنها دسترسی تولید ارزان کم‌تر است.

یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال، ایجاد شرایط دسترسی عادلانه تمام مشترکین به تولید می‌باشد. با استفاده از مقادیر LMP شین‌های مختلف، خطوط کاندیدا از شین‌های چاه به شین‌های چشمه اتصال می‌یابند. احداث چنین خطوطی موجب می‌گردد که LMP شبکه به سمت برابری سوق پیدا کند.

روش پیشنهادی جهت تعیین بهترین خط انتقال از میان خطوط کاندیدا

با توجه به اینکه انتخاب مکان بهینه نصب خط انتقال به معیارهای مختلفی وابسته است، لذا در این مقاله جهت انتخاب خط انتقال بهینه از میان خطوط کاندیدا، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد شده است. تصمیم‌گیری چند معیاره، یک روش مناسب برای تعیین جواب بهینه در حالتی می‌باشد که در مسأله با چندین معیار رو به رو هستیم و می‌بایست با توجه به معیارها و عدم قطعیت‌ها، بهینه‌ترین طرح انتخاب گردد.

روش AHP یکی از بهترین ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره در تحلیل و فرمولاسیون تصمیم‌گیری‌ها می‌باشد که علاوه بر معیارهای کمی، معیارهای کیفی را در آن می‌توان بخوبی در نظر گرفت. در این مقاله، پنج معیار برای رسیدن به جواب بهینه مورد نظر گرفته شده است. این معیارها عبارتند از: واریانس LMP مربوط به شین‌های مختلف، میانگین LMP مربوط به شین‌های مختلف، میزان هزینه کل تولید توان مورد نیاز، تلفات و طول خط با توجه به توپولوژی شبکه.

احداث هر خط جدید در شبکه باعث تغییراتی در شبکه می‌گردد که از جمله این تغییرات می‌توان تغییر LMP شین‌ها، تغییر هزینه بهره‌برداری در پخش بار بهینه و تغییر تلفات را نام برد. حداقل نمودن واریانس LMP شین‌های مختلف یکی از معیارهای مهم در برنامه‌ریزی توسعه تولید می‌باشد. واریانس مقیاسی است که نشان می‌دهد که داده‌ها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

حول میانگین چگونه پخش شده‌اند. واریانس کمتر بدین معنا است که انتظار می‌رود که اگر نمونه‌ای از توزیع مزبور انتخاب شود، مقدار آن به میانگین نزدیک باشد. معیار دوم میانگین LMP شبکه می‌باشد. در واقع، این معیار نشان‌دهنده رفاه اجتماعی مصرف‌کنندگان می‌باشد. معیار سوم، معیار هزینه تولید می‌باشد که با اضافه کردن خط انتقال جدید به علت جلوگیری از گرفتگی خطوط و کاهش تفاوت LMPها موجب کاهش هزینه کل در پخش بار بهینه می‌گردد. معیار بعدی، معیار تلفات می باشد که با اضافه نمودن خطوط انتقال جدید مقدار تلفات در شبکه کاهش خواهد یافت. معیار پنجم، معیار طول خط انتقال جدید احداثی است که هر چه طول خط انتقال احداثی جدید کوتاه‌تر باشد، هزینه احداث خط کاهش می‌یابد. معیارهای فوق در مراجع مختلف به عنوان مهمترین معیارهای توسعه خطوط انتقال معرفی شده‌اند [۲۲].

جهت تعیین وزن هریک از شاخص‌ها و استفاده از تکنیک آنتروپی، تعدادی جدول در اختیار افراد صاحب نظر قرار داده شده که در آنها هریک از افراد با توجه به درجه اهمیت هریک از شاخص‌ها به هریک از معیارها عددی بین صفر تا نه نسبت داده‌اند. از جمله این افراد می توان بهره‌برداران و اساتید دانشگاه‌ها را نام برد که در این مقاله از نظرات ۳۰ نفر از صاحب نظران استفاده شده است. سپس با استفاده از میانگین هندسی به میانگین‌گیری بین جداول بدست آمده پرداخته شده است. در مرحله بعد، جدول حاصل از میانگین‌گیری نرمالیزه می‌گردد. جدول نرمالیزه حاصل بر طبق نظرات بهره‌برداران و اساتید به صورت زیر به دست آمده است.

جدول ۱) جدول میانگین‌گیری شده و نرمالیزه شده از نظرات افراد

معیار	واریانس LMP	میانگین LMP	هزینه تولید	تلفات	طول خط
واریانس LMP	۰/۵۰۷۴۵۶	۰/۶۲۶۴۴۴	۰/۴۷۳۴۵	۰/۳۱۸۷۴۵	۰/۳۰۰۴۲
میانگین LMP	۰/۱۶۹۱۵۲	۰/۲۰۸۸۱۵	۰/۳۶۶۷۳۳	۰/۲۹۳۰۳	۰/۲۱۸۵۳۴
هزینه تولید	۰/۱۱۵۳۱۶	۰/۰۶۱۲۶	۰/۱۰۷۵۸۹	۰/۲۹۳۰۳	۰/۲۲۸۲۷
تلفات	۰/۱۲۰۴۵۴	۰/۰۵۳۹۱۶	۰/۰۲۷۷۷۹	۰/۰۷۵۶۶	۰/۲۰۰۹۰۳
طول خط	۰/۰۸۷۶۲۱	۰/۰۴۹۵۶۶	۰/۰۲۴۴۴۹	۰/۰۱۹۵۳۵	۰/۰۵۱۸۷۳

در مرحله بعد، با استفاده از روش آنتروپی به محاسبه وزن نهایی هریک از شاخص‌ها پرداخته خواهد شد.

آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی و نظریه اطلاعات می‌باشد، به طوری که نشان‌دهنده مقدار عدم اطمینان موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام است. فلسفه این روش بر پایه مقدار اطلاعات در دسترس و ارتباط آنها با اهمیت معیار می‌باشد. از مزیت‌های این روش، آسان نمودن تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیران در حل مسائل بزرگ می‌باشد. آنتروپی در نظریه اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (P_i) به طوری که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی تیزتر باشد [۹]. این عدم اطمینان به صورت ذیل تشریح می‌گردد:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

$$E \approx S\{p_1, p_2, ..., p_n\} = -K \sum_{i=1}^{n} [p_i \times Ln\, p_i] \qquad (۱۲)$$

به طوری که K یک ثابت مثبت است به منظور تأمین $0 \le E \le 1$

E از توزیع احتمال P_i بر اساس سازوکار آماری محاسبه شده و مقدار آن در صورت تساوی P_i ها با یکدیگر (یعنی $p_i = \frac{1}{n}$) حداکثر مقدار ممکن خواهد بود، بدین صورت:

$$-K \sum_{i=1}^{n} [p_i \times Ln\, p_i] = -K\{\frac{1}{n} Ln \frac{1}{n} + \frac{1}{n} Ln \frac{1}{n} + ... + \frac{1}{n} Ln \frac{1}{n}\} = -K\{(Ln \frac{1}{n})(\frac{n}{n})\} = -K\, Ln \frac{1}{n} \qquad (۱۳)$$

یک ماتریس تصمیم‌گیری از یک مدل MADM حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود. یک ماتریس تصمیم‌گیری را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

جدول ۲) یک ماتریس تصمیم‌گیری نمونه

	X_1	X_2	.....	X_n
A_1	r_{11}	r_{12}	.....	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	.....	r_{2n}
.	.	.	.....	.
.	.	.	.....	.
.	.	.	.....	.
A_m	r_{m1}	r_{m1}	.....	r_{mn}

محتوای اطلاعاتی موجود در این ماتریس را ابتدا به صورت (P_{ij}) محاسبه می‌کنیم.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}} \qquad \forall i, j \qquad (۱۴)$$

برای E_j از مجموعه P_{ij} به ازای هر مشخصه داریم:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^{n} [p_{ij} \times Ln\, p_{ij}] \qquad \forall j \qquad (۱۵)$$

در رابطه بالا، $K = \frac{1}{Ln\, m}$ و m تعداد معیارها می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

اینک عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از اطلاعات ایجاد شده به ازای شاخص jام بدین قرار است:

$$d_j = ۱ - E_j \qquad \forall j \tag{۱۶}$$

سپس برای اوزان (W_j) از شاخص‌های موجود خواهیم داشت:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=۱}^{n} d_j} \tag{۱۷}$$

اینک با توضیحات بیان شده در مورد روش آنتروپی، وزن نهایی شاخص‌های بیان شده در جدول (۱) به صورت جدول زیر به دست می‌آید:

جدول ۳) وزن نهایی شاخص‌ها بعد از استفاده از تکنیک آنتروپی

معیار	طول خط	تلفات	هزینه تولید	میانگین LMP	واریانس LMP
وزن نهایی	۰/۰۶۵۲۸۸	۰/۱۶۱۱۳۶	۰/۲۹۰۸۴۴	۰/۳۲۵۵۱۱	۰/۱۵۷۲۲۲

وزن‌های تخصیص داده شده به معیارها در جدول (۳) با جمع‌آوری اطلاعات از صاحب نظران با استفاده از روش بیان شده به دست آمده است. با توجه به نظرات جمع‌آوری شده در این مقاله، بیشترین وزن برای معیار میانگین LMP شین‌ها و کمترین وزن برای معیار طول خط حاصل شده است.

با توجه به اینکه به طور معمول تعداد انتخاب‌ها (مکانهای کاندیدا) زیاد می‌باشد، جهت استفاده از روش AHP می‌بایست برای هریک از انتخاب‌ها درجه‌ای از ارزش قائل شد که این درجه‌ها عبارتند از: خیلی خوب (خخ)، خوب (خ)، متوسط (م)، بد (ب) و خیلی بد (خب). ماتریس قضاوت مربوط به درجات بیان شده در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ٤) ماتریس قضاوت درجات ارزش

معیار	خخ	خ	م	ب	خب
خخ	۱	۲	۳	۴	۵
خ	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵
م	۰/۳۳	۰/۶۶	۱	۱/۳۳	۱/۶۶
ب	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۱	۱/۲۵
خب	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱

سپس وزن نهایی درجات ارزش محاسبه می‌گردد. مقادیر فوق در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵) وزن نهایی مربوط به درجات ارزش

معیار	خخ	خ	م	ب	خب
وزن نهایی	۰/۴۴۳	۰/۲۲۲	۰/۱۴۵	۰/۱۰۶	۰/۰۸۴

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

در ادامه، نحوه اختصاص درجات ارزش برای هریک از انتخاب‌ها بیان می‌گردد. مقدار محاسبه شده معیار iام با توجه به انتخاب kام، $V_{i,k}$ نامیده می‌شود. برای تمامی انتخاب‌ها، کم‌ترین مقدار را $V_{i,k}^{\min}$ و بیشترین مقدار را $V_{i,k}^{\max}$ می‌نامیم. بنابراین، بازه D_i را با رابطه (۱۸) تعریف می‌کنیم:

$$D_i = V_{i,k}^{\max} - V_{i,k}^{\min} \quad (۱۸)$$

با توجه به اینکه در روش بیان شده، پنج درجه ارزش در نظر گرفته شده است، بنابراین، بازه D_i را به پنج زیر بازه مساوی تقسیم می‌نماییم.

به عنوان مثال، یک معیار را در نظر می‌گیریم و این معیار را معیار iام فرض می‌کنیم. می‌خواهیم برای هریک از انتخاب‌ها نسبت به معیار مورد نظر، درجه‌ای از ارزش اختصاص دهیم. درجه ارزش (خخ) را به انتخاب‌هایی می‌دهیم که معیار مورد نظر در بازه بیان شده در رابطه (۱۹) باشند.

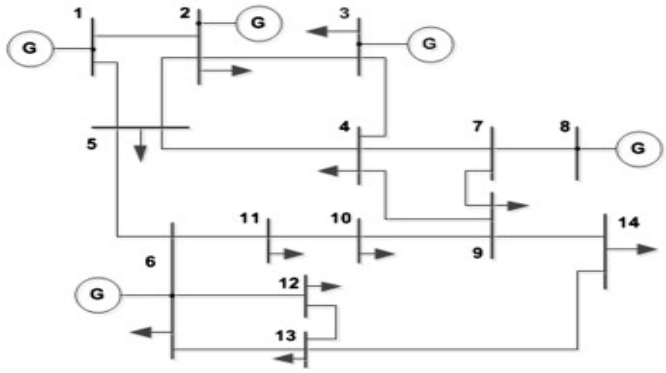
$$V_{i,k}^{\min} \le V_{i,k} \le V_{i,k}^{\min} + \Delta_i \quad (۱۹)$$

وزن درجه مربوط به انتخاب kام را نسبت به معیار iام، $LV_{i,k}$ می‌نامیم. به همین صورت به تمامی انتخاب‌ها نسبت به تمام معیارها، درجه‌ای از ارزش نسبت داده می‌شود. پس از تعیین درجه ارزش تمامی انتخاب‌ها در همه معیارها، وزن نهایی هریک از انتخاب‌ها با استفاده از رابطه (۲۰) بیان می‌شود:

$$W_k = \sum_i C_i \times LV_{i,k} \quad (۲۰)$$

پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی شبکه ۱۴ شین IEEE

در این قسمت به پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی شبکه استاندارد ۱۴ شین IEEE پرداخته می‌شود. در شکل (۲) دیاگرام خطی شبکه تست ۱۴ شین IEEE نمایش داده شده است.



شکل ۲) دیاگرام تک خطی شبکه تست ۱۴ شین IEEE

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

همان‌طور که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد، روش پیشنهادی شامل سه مرحله می‌باشد که به‌ترتیب اجرا می‌گردد.

مرحله ۱: تعیین LMP تمامی شین‌های شبکه که با استفاده از پخش بار بهینه محاسبه می‌شود. مقادیر بدست آمده در جدول (۶) بیانگر مقدار LMP هر شینه می‌باشد.

مرحله ۲: در این مرحله شین‌های چشمه و چاه و سپس خطوط کاندیدا تعیین می‌شوند. نوع شین‌ها در شبکه ۱۴ شین IEEE در جدول (۶) نشان داده شده است. همان طور که توضیح داده شد، خطوط کاندیدا خطوطی تعریف می‌گردند که شین‌های چشمه را به شین‌های چاه وصل می‌نمایند.

مرحله ۳: در این مرحله به تعیین بهترین انتخاب از بین کاندیداهای موجود با استفاده از روش AHP و تکنیک آنتروپی پرداخته می‌شود. برای این منظور می‌بایست با استفاده از تعدادی جدول، نظرات بهره‌برداران و اساتید در مورد ارجحیت هریک از معیارها سنجیده شود و با استفاده از این جداول، وزن نهایی هریک از معیارها تعیین شود. در مرحله بعد، درجه ارزش هریک از معیارها نسبت به هریک از انتخاب‌ها محاسبه می‌گردد.

جدول ٦) مقدار LMP در تمامی شین‌های شبکه

نوع شین	LMP ($/MWh)	شین	نوع شین	LMP ($/MWh)	شین
چاه	۴۰/۱۷	۸	چشمه	۳۶/۷۲۴	۱
چاه	۴۰/۱۶۶	۹	چشمه	۳۸/۳۶	۲
چاه	۴۰/۳۱۸	۱۰	چاه	۴۰/۵۷۵	۳
چاه	۴۰/۱۵۵	۱۱	چاه	۴۰/۱۹	۴
چاه	۴۰/۳۷۹	۱۲	چشمه	۳۹/۶۶۱	۵
چاه	۴۰/۵۷۵	۱۳	چشمه	۳۹/۷۳۴	۶
چاه	۴۱/۱۹۸	۱۴	چاه	۴۰/۱۷۲	۷

اطلاعات مربوط به خطوط کاندیدا در جدول (۷) نشان داده شده است. این اطلاعات با توجه به شماتیک شبکه و طول خطوط موجود و به وسیله مقایسه مستخرج شده است. لازم به ذکر است که در حالت پایه شبکه مقدار LMP شین‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است و مقدار تلفات و هزینه کل شبکه در این حالت به ترتیب برابر با ۹/۲۸۷ MW و ۸۰۸۱/۵۳ $\$/hr$ می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

جدول ۷) اطلاعات خطوط کاندیدای شبکه

شین ابتدا	شین انتها	R ($p.u.$)	X ($p.u.$)	$B/2$ ($p.u.$)	طول (km)	ظرفیت (MW)	شین ابتدا	شین انتها	R ($p.u.$)	X ($p.u.$)	$B/2$ ($p.u.$)	طول (km)	ظرفیت (MW)
۱	۳	۰/۰۶۱۲۷۰	۰/۲۶۷۳۰	۰/۲۸۱۶	۱۰۰	۲۰۰	۵	۳	۰/۰۵۲۹۱۵	۰/۲۳۰۸۵	۰/۲۴۳۲	۹۵	۲۰۰
۱	۴	۰/۰۵۲۹۱۵	۰/۲۳۰۸۵	۰/۲۴۳۲	۹۵	۲۰۰	۵	۴	۰/۰۱۱۱۴۰	۰/۰۴۸۶۰	۰/۰۵۱۲	۲۰	۲۰۰
۱	۷	۰/۰۷۲۴۱۰	۰/۳۱۵۹۰	۰/۳۳۲۸	۱۳۰	۲۰۰	۵	۷	۰/۰۳۸۹۹۰	۰/۱۷۰۱۰	۰/۱۷۹۲	۷۰	۲۰۰
۱	۸	۰/۱۰۵۸۳۰	۰/۴۶۱۷۰	۰/۴۸۶۴	۱۹۰	۲۰۰	۵	۸	۰/۰۶۶۸۴۰	۰/۲۹۱۶۰	۰/۳۰۷۲	۱۲۰	۲۰۰
۱	۹	۰/۰۹۱۹۰۵	۰/۴۰۰۹۵	۰/۴۲۲۴	۱۶۵	۲۰۰	۵	۹	۰/۰۷۲۴۱۰	۰/۳۱۵۹۰	۰/۳۳۲۸	۱۳۰	۲۰۰
۱	۱۰	۰/۱۰۵۸۳۰	۰/۴۶۱۷۰	۰/۴۸۶۴	۱۹۰	۲۰۰	۵	۱۰	۰/۰۸۶۳۳۵	۰/۳۷۶۶۵	۰/۳۹۶۸	۱۵۵	۲۰۰
۱	۱۱	۰/۱۱۶۹۷۰	۰/۵۱۰۳۰	۰/۵۳۷۶	۲۱۰	۲۰۰	۵	۱۱	۰/۱۰۶۸۱۵	۰/۴۷۳۸۵	۰/۴۹۹۲	۱۹۵	۲۰۰
۱	۱۲	۰/۱۰۵۸۳۰	۰/۴۶۱۷۰	۰/۴۸۶۴	۱۹۰	۲۰۰	۵	۱۲	۰/۱۰۵۸۳۰	۰/۴۶۱۷۰	۰/۴۸۶۴	۱۹۰	۲۰۰
۱	۱۳	۰/۱۰۳۰۴۵	۰/۴۴۹۵۵	۰/۴۷۳۶	۱۸۵	۲۰۰	۵	۱۳	۰/۰۹۱۹۰۵	۰/۴۰۰۹۵	۰/۴۲۲۴	۱۶۵	۲۰۰
۱	۱۴	۰/۱۶۷۱۰۰	۰/۷۲۹۰۰	۰/۷۶۸۰	۳۰۰	۲۰۰	۵	۱۴	۰/۱۲۲۵۴۰	۰/۵۳۴۶۰	۰/۵۶۳۲	۲۱۰	۲۰۰
۲	۳	۰/۰۴۷۳۴۵	۰/۲۰۶۵۵	۰/۲۱۷۶	۸۵	۲۰۰	۶	۳	۰/۱۱۱۴۰۰	۰/۴۸۶۰۰	۰/۵۱۲۰	۲۰۰	۲۰۰
۲	۴	۰/۰۴۱۷۷۵	۰/۱۸۲۲۵	۰/۱۹۲۰	۷۵	۲۰۰	۶	۴	۰/۰۷۲۴۱۰	۰/۳۱۵۹۰	۰/۳۳۲۸	۱۳۰	۲۰۰
۲	۷	۰/۰۶۴۰۵۵	۰/۲۷۹۴۵	۰/۲۹۴۴	۱۱۵	۲۰۰	۶	۷	۰/۰۳۳۴۲۰	۰/۱۴۵۸۰	۰/۱۵۳۶	۶۰	۲۰۰
۲	۸	۰/۰۹۷۴۷۵	۰/۴۲۵۲۵	۰/۴۴۸۰	۱۷۵	۲۰۰	۶	۸	۰/۰۶۱۲۷۰	۰/۲۶۷۳۰	۰/۲۸۱۶	۱۱۰	۲۰۰
۲	۹	۰/۰۸۶۳۳۵	۰/۳۷۶۶۵	۰/۳۹۶۸	۱۵۵	۲۰۰	۶	۹	۰/۰۳۰۶۳۵	۰/۱۳۳۶۵	۰/۱۴۰۸	۵۵	۲۰۰
۲	۱۰	۰/۱۰۰۲۶۰	۰/۴۳۷۴۰	۰/۴۶۰۸	۱۸۰	۲۰۰	۶	۱۰	۰/۰۳۶۲۰۵	۰/۱۵۷۹۵	۰/۱۶۶۴	۶۵	۲۰۰
۶	۱۱	۰/۱۱۴۱۸۵	۰/۴۹۸۱۵	۰/۵۲۴۸	۲۰۵	۲۰۰	۶	۱۱	۰/۰۴۷۳۴۵	۰/۲۰۶۵۵	۰/۲۱۷۶	۸۵	۲۰۰
۲	۱۲	۰/۱۱۶۹۷۰	۰/۵۱۰۳۰	۰/۵۳۷۶	۲۱۰	۲۰۰	۶	۱۲	۰/۰۶۱۲۷۰	۰/۲۶۷۳۰	۰/۲۸۱۶	۱۱۰	۲۰۰
۲	۱۳	۰/۱۰۳۰۴۵	۰/۴۴۹۵۵	۰/۷۷۳۶	۱۸۵	۲۰۰	۶	۱۳	۰/۰۳۰۶۳۵	۰/۱۳۳۶۵	۰/۱۴۰۸	۵۵	۲۰۰
۲	۱۴	۰/۱۶۷۱۰۰	۰/۷۲۹۰۰	۰/۷۶۸۰	۳۰۰	۲۰۰	۶	۱۴	۰/۱۰۵۸۳۰	۰/۴۶۱۷۰	۰/۴۸۶۴	۱۹۰	۲۰۰

پس از تعیین خطوط کاندیدا با استفاده از روش بیان شده، با اضافه نمودن هر یک از این خطوط پیشنهادی به شبکه، مقدار معیارهای در نظر گرفته شده برای هر یک از این انتخاب‌ها محاسبه خواهد شد. این مقادیر در جـدول (۸) نـشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

جدول ۸) مقدار هریک از معیارها به ازای اضافه شدن هریک از خطوط کاندیدا

طول خط کاندیدا (km)	تلفات (MW)	هزینه تولید $\left(\frac{\$}{h}\right)$	میانگین LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	واریانس LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	خط کاندیدا	طول خط کاندیدا (km)	تلفات (MW)	هزینه تولید $\left(\frac{\$}{h}\right)$	میانگین LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	واریانس LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	خط کاندیدا
۹۵	۹/۲۱	۸۰۷۹/۹۰	۳۹/۹۹۶۱۴	۱/۲۳۶۵۵۶	۵–۳	۱۱۰	۷/۴۸	۷۹۷۴/۲۵	۴۰/۱۱۶۷۱	۰/۸۶۵۰۵۳	۱–۳
۲۰	۹/۱۴	۸۰۷۲/۴۴	۳۹/۹۳۷	۱/۱۹۴۶۸۳	۵–۴	۹۵	۷/۲۸	۷۹۷۶/۴۳	۳۹/۶۷۹۳۶	۰/۷۱۴۵۱۱	۱–۴
۷۰	۹/۲۸	۸۰۸۰/۶۰	۳۹/۹۳۰۳۶	۱/۲۵۸۷۸۶	۵–۷	۱۳۰	۷/۸۲	۸۰۰۳/۱۵	۳۹/۷۴۵۷۹	۰/۸۳۱۹۰۱	۱–۷
۱۲۰	۹/۲۶	۸۰۷۹/۴۰	۳۹/۹۰۶۸۶	۱/۲۲۳۹۰۶	۵–۸	۱۹۰	۸/۴۹	۸۰۳۳/۷۱	۳۹/۷۸۷۳۶	۰/۹۰۴۰۲۴	۱–۸
۱۳۰	۹/۴۱	۸۰۸۶/۱۷	۳۹/۹۶۵۴۳	۱/۳۲۷۰۷۲	۵–۹	۱۶۵	۸/۲۰	۸۰۲۰/۶۲	۳۹/۸۴۳۸۶	۰/۹۳۱۹۱۱	۱–۹
۱۵۵	۹/۳۸	۸۰۸۵/۳۷	۳۹/۹۳۴۵۷	۱/۲۹۷۷۴۶	۵–۱۰	۱۹۰	۸/۵۰	۸۰۳۵/۳۲	۳۹/۸۲۲۱۴	۰/۹۸۶۳۶۶	۱–۱۰
۱۹۵	۹/۷۳	۸۰۹۶/۵۰	۳۹/۸۲۴۲۹	۱/۱۶۲۸۴۵	۵–۱۱	۲۱۰	۹/۰۴	۸۰۶۰/۲۳	۳۹/۶۹۵۴۳	۱/۰۵۴۰۱۶	۱–۱۱
۱۹۰	۹/۸۸	۸۱۰۵/۱۹	۳۹/۷۷۲۵	۱/۲۱۴۱۶۷	۵–۱۲	۱۹۰	۹/۲۷	۸۰۷۶/۵۲	۳۹/۵۷۴۲۹	۱/۳۴۷۷۳۴	۱–۱۲
۱۶۵	۹/۳۱	۸۰۸۳/۳۷	۳۹/۸۳۹۳۶	۱/۱۸۸۹۳۶	۵–۱۳	۱۸۵	۸/۴۱	۸۰۳۵/۸۷	۳۹/۵۸۳۸۶	۰/۹۲۹۰۸۵	۱–۱۳
۲۲۰	۹/۶۳	۸۰۹۲/۲۱	۳۹/۷۶۵۵	۰/۹۸۴۷۲۶	۵–۱۴	۳۰۰	۹/۵۷	۸۰۸۴/۵۵	۳۹/۶۴۷۲۹	۰/۸۶۷۵۷۴	۱–۱۴
۲۰۰	۹/۶۷	۸۰۹۴/۴۳	۳۹/۹۴۷۵	۱/۲۷۰۵۰۴	۶–۳	۸۵	۸/۶۱	۸۰۳۶/۰۹	۴۰/۰۷۸۶۴	۱/۰۵۱۶۳۴	۲–۳
۱۳۰	۹/۶۱	۸۰۹۷/۳۹	۳۹/۹۵۸۷۱	۱/۴۰۲۶۴۶	۶–۴	۷۵	۸/۵۶	۸۰۴۳/۹۱	۳۹/۸۳۷۴۳	۰/۹۷۱۶۸۹	۲–۴
۶۰	۹/۴۱	۸۰۸۴/۷۹	۳۹/۹۸۷۳۶	۱/۲۷۵۷۰۴	۶–۷	۱۱۵	۸/۸۴	۸۰۵۷/۳۳	۳۹/۸۹۳	۱/۰۵۸۶	۲–۷
۱۱۰	۹/۵۰	۸۰۸۵/۶۳	۴۰/۰۴	۱/۲۳۴۳۷۵	۶–۸	۱۷۵	۹/۱۰	۸۰۶۶/۸۲	۳۹/۹۲۸۰۷	۱/۰۶۷۹۸۶	۲–۸
۵۵	۹/۲۷	۸۰۷۹/۲۴	۳۹/۹۲۵۰۷	۱/۲۱۷۱۹	۶–۹	۱۵۵	۹/۰۳	۸۰۶۶/۲۱	۳۹/۹۳۲۵	۱/۱۴۰۴۳	۲–۹
۶۵	۹/۲۴	۸۰۷۸/۱۲	۳۹/۹۰۸۲۱	۱/۲۰۸۶۳۳	۶–۱۰	۱۸۰	۹/۱۰	۸۰۷۰/۱۱	۳۹/۸۶۹۲۱	۱/۱۴۰۹۹۹	۲–۱۰
۸۵	۹/۳۵	۸۰۸۲/۳۲	۳۹/۸۴۱۶۴	۱/۱۵۶۶۳۹	۶–۱۱	۲۰۵	۹/۴۷	۸۰۸۶/۱۹	۳۹/۷۹۳۳۶	۱/۱۷۳۳۲۳	۲–۱۱
۱۱۰	۹/۷۲	۸۰۹۸/۷۷	۳۹/۷۴۱۷۹	۱/۱۳۰۴۶۱	۶–۱۲	۲۱۰	۹/۷۷	۸۱۰۳/۳۳	۳۹/۶۹۸۱۴	۱/۲۹۵۲۱۵	۲–۱۲
۵۵	۹/۱۲	۸۰۷۴/۴۳	۳۹/۸۳۶۹۳	۱/۱۳۰۹۰۳	۶–۱۳	۱۸۵	۹/۵۷	۸۰۹۳/۰۵	۳۹/۶۶۶۲۱	۱/۰۵۸۷۴۴	۲–۱۳
۱۹۰	۱۰/۰۲	۸۱۱۳/۷۰	۳۹/۷۵۰۶۴	۱/۰۳۶۶۷۶	۶–۱۴	۳۰۰	۹/۸۷	۸۱۰۵/۲۰	۳۹/۷۲۳۲۱	۰/۹۹۱۹۷۹	۲–۱۴

سپس درجات ارزش تمام انتخاب‌ها نسبت به معیارهای تعیین می‌گردد. این درجات ارزش در جدول (۹) نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

جدول ۹) درجه ارزش هریک از انتخاب‌ها نسبت به هریک از معیارها

طول خط کاندیدا (km)	تلفات (MW)	هزینه تولید $\left(\frac{\$}{h}\right)$	میانگین LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	واریانس LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	خط کاندیدا	طول خط کاندیدا (km)	تلفات (MW)	هزینه تولید $\left(\frac{\$}{h}\right)$	میانگین LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	واریانس LMP $\left(\frac{\$}{MWh}\right)$	خط کاندیدا
خ	ب	ب	ب	ب	۵-۳	خ	خخ	خخ	خب	خ	۱-۳
خخ	ب	ب	ب	ب	۵-۴	خ	خخ	خخ	خخ	خخ	۱-۴
خخ	ب	ب	ب	ب	۵-۷	خ	خخ	خ	خ	خخ	۱-۷
خ	ب	ب	ب	ب	۵-۸	ب	م	م	خ	خ	۱-۸
خ	ب	خب	ب	خب	۵-۹	م	خ	خ	م	خ	۱-۹
م	ب	ب	ب	خب	۵-۱۰	ب	م	م	م	خ	۱-۱۰
ب	خب	خب	م	ب	۵-۱۱	ب	ب	ب	خ	م	۱-۱۱
ب	خب	خب	خ	ب	۵-۱۲	ب	ب	ب	خخ	خب	۱-۱۲
م	ب	ب	م	ب	۵-۱۳	م	م	م	خخ	خ	۱-۱۳
ب	خب	خب	خ	خ	۵-۱۴	خب	خب	ب	خخ	خ	۱-۱۴
ب	خب	خب	ب	م	۶-۳	خ	م	م	خب	م	۲-۳
خ	خب	خب	ب	خب	۶-۴	خخ	م	م	م	خ	۲-۴
خخ	ب	ب	ب	خب	۶-۷	خ	م	م	م	م	۲-۷
خ	خب	ب	خب	م	۶-۸	م	ب	ب	ب	م	۲-۸
خخ	ب	ب	ب	ب	۶-۹	م	ب	ب	ب	ب	۲-۹
خخ	ب	ب	ب	ب	۶-۱۰	م	ب	ب	م	ب	۲-۱۰
خ	ب	ب	م	ب	۶-۱۱	ب	ب	خب	م	ب	۲-۱۱
خ	خب	خب	خ	ب	۶-۱۲	ب	خب	خب	خ	خب	۲-۱۲
خخ	ب	ب	م	ب	۶-۱۳	م	خب	خب	خخ	م	۲-۱۳
ب	خب	خب	خ	م	۶-۱۴	خب	خب	خب	خ	م	۲-۱۴

پس از معین نمودن درجات ارزش تمام انتخاب‌ها نسبت به معیارهای تعیین شده، وزن نهایی با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه می‌گردد. وزن نهایی مربوط به تمام انتخاب‌ها به صورت نرمالیزه شده در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰) وزن نهایی مربوط به هریک از انتخاب‌ها

وزن	خط کاندیدا	وزن	خط کاندیدا	وزن	خط کاندیدا
۰/۱۰۸۹۹۸۸	۶-۸	۰/۱۲۸۰۰۱۹	۵-۷	۰/۱۷۶۵۶۱۸	۲-۴	۱-۳
۰/۱۲۸۰۰۱۹	۶-۹	۰/۱۱۳۵۷۳۴	۵-۸	۰/۱۵۰۰۲۷۱	۲-۷	۱-۴
۰/۱۲۸۰۰۱۹	۶-۱۰	۰/۱۰۳۷۱۵۹	۵-۹	۰/۱۱۴۶۷۷۹	۲-۸	۱-۷
۰/۱۲۶۲۶۸۳	۶-۱۱	۰/۱۰۵۰۸۷۳	۵-۱۰	۰/۱۰۸۵۴۶۲	۲-۹	۱-۸
۰/۱۴۱۳۸۹۱	۶-۱۲	۰/۱۰۸۷۵۱۴	۵-۱۱	۰/۱۲۱۲۴۱۲	۲-۱۰	۱-۹
۰/۱۴۰۶۹۶۹	۶-۱۳	۰/۱۳۳۸۱۵۸	۵-۱۲	۰/۱۱۲۲۹۶۴	۲-۱۱	۱-۱۰
۰/۱۳۹۹۴۷۴	۶-۱۴	۰/۱۲۱۲۴۱۲	۵-۱۳	۰/۱۳۰۳۵۶۹	۲-۱۲	۱-۱۱
		۰/۱۵۲۰۵۳۵	۵-۱۴	۰/۲۱۴۴۳۱۷	۲-۱۳	۱-۱۲
		۰/۱۰۲۱۸۸۱	۶-۳	۰/۱۳۸۵۱۱۱	۲-۱۴	۱-۱۳
		۰/۱۰۰۱۷۰۹	۶-۴	۰/۱۱۳۵۷۳۴	۵-۳	۱-۱۴
		۰/۱۲۴۵۴۳۱	۶-۷	۰/۱۲۸۰۰۱۹	۵-۴	۲-۳

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

جدول (۱۰)، وزن نهایی مربوط به تمامی انتخاب‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی، بهترین انتخاب جهت احداث خط انتقال جدید، احداث خط بین شین‌های ۱ و ۴ می‌باشد. همچنین سایر اولویت‌ها را نیز می‌توان با توجه به وزن نهایی نشان داده شده در جدول (۱۰) تعیین نمود. در نتایج نشان داده شده در جداول فوق، خط کاندیدا ۴-۱ در معیارهای واریانس LMP، میانگین LMP، هزینه کل و تلفات شبکه دارای ارزش خیلی خوب بوده است و تنها در معیار طول خط ارزش خوب داشته است. با توجه به اینکه معیار طول خط احداثی دارای کمترین وزن نسبت به سایر معیارها بوده، لذا انتخاب این خط به عنوان بهترین گزینه جهت برنامه‌ریزی توسعه انتقال منطقی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به رشد روز افزون بار، برنامه‌ریزی توسعه انتقال و احداث خطوط جدید امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این مقاله، روشی جدید برای این منظور پیشنهاد گردیده است. روش پیشنهادی در این مقاله جهت برنامه توسعه انتقال بر مبنای روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و مشخصاً روش AHP و تکنیک آنتروپی می‌باشد. تکنیک آنتروپی تکنیکی مفید جهت تعیین وزن بوده و در زمانی که دسته‌ای از داده‌ها (همانند نظرات افراد مختلف در مورد وزن معیارها) وجود داشته باشد، بسیار مفید می‌باشد. روش تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر تکنیک آنتروپی جهت بررسی تضاد بین مجموعه‌ای از داده‌ها بسیار مفید می‌باشد. مجموعه‌ای از داده‌ها را می‌توان مجموعه‌ای از راه‌حل‌های جایگزین در ماتریس نهایی در نظر گرفت که در آن هر راه‌حل جایگزین با توجه به نتیجه‌اش ارزیابی می‌شود. فلسفه این روش بر اساس مقدار اطلاعات در دسترس و ارتباط آن با اهمیت ملاک می‌باشد.

معیارهای در نظر گرفته شده در این مقاله، واریانس و میانگین LMP مربوط به شین‌های مختلف، میزان هزینه تولید توان مورد نیاز، تلفات و طول خط جدید با توجه به توپولوژی شبکه می‌باشند. روش پیشنهادی بر روی شبکه ۱۴ شین IEEE پیاده‌سازی شده و مکان بهینه جهت احداث خط جدید در برنامه‌ریزی توسعه انتقال تعیین گردیده است.

منابع

[1] Binato, S., de Oliveira, G. C., and de Araujo, J. L., "A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure for Transmission Expansion Planning," *IEEE Transaction on Power System* , vol. 16, No. 2, pp. 247- 253, May 2001.

[2] Binato, S., Pereira, M. V. F., and Granville, S., "A New Decomposition Approach to Solve Power Transmission Network Design Problem," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 16, no. 2, pp. 235–240, May 2001.

[3] Choi, J., Mount, T., and Thomas, R., "Transmission System Expansion Plans in View Point of Deterministic, Probabilistic and Security Reliability Criteria," *Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences* , 2006.

[4] Choi, J., Mount, T. D., and Thomas, T. J., "Transmission Expansion Planning Using Contingency Criteria," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 22, no. 4, 2007.

[5] De la torre, S., Conejo, A. J., and Contreras, J., "Transmission Expansion Planning in Electricity Markets," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 238–248, Feb. 2008.

[6] Escobar, A. H., Gallego, R. A., and Romero, R., "Multistage and Coordinated Planning of The Expansion of Transmission Systems," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 735–744, May 2004.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]

[7] Garver, L. L., "Transmission Network Estimation Using Linear Programming," *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-89, iss. 7, pp. 1688–1697, 1970.

[8] Latorre, G., Cruz, R. D., Areiza, J. M., and Villegas, A., "Classification of publications and models on transmission expansion planning," *IEEE Transaction on Power Systems*., vol. 18, no. 2, pp. 938– 946, May 2003.

[9] Levi, V. A., and Calovic, M. S., "Linear Programming Based Decomposition Method for Optimal Planning of Transmission Network Investments," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol 140, No. 6 pp. 516-522, Nov. 1993.

[10] Levi, V., and Calovic, M. S., "A new Decomposition Based Method for Optimal Expansion Planning of Large Transmission Networks," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 6, no. 3, pp. 937–943, Aug. 1991.

[11] Lotfjou, A., Fu, Y., and Shahidehpour, M., "Hybrid AC/DC Transmission Expansion Planning," IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 27, no. 3, july 2012.

[12] Moghddam, S. Z., Monsef, H., Jafari, M., "A New Heuristic Method For Transmission Expansion Planning Using AHP," *IEEE International Conference on Enviromantal and Electrical Engineering (EEEIC)*, vol. 10, 2011.

[13] Monticelli, A., Junior, A. S., Pereira, M. V. F., Cunha, S. H., Parker, B. J., and Praça, J. C. G., "Interactive Transmission Network Planning Using a Least-Effort Criterion," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 101, no. 10, pp. 3919–3925, Oct. 1982.

[14] Munoz, C., Sauma, E., Contreras, J., Aguado, J., and De la Torre, S., "Impact of High Wind Power Penetration on Transmission Network Expansion Planning," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 6, iss. 12, pp.1281-1291, 2012.

[15] Oliveira, G. C., Binato, S., Pereira, M., and Thomé, L. M., "Multi-Stage Transmission Expansion Planning Considering Multiple Dispatches and Contingency Criterion," *in Anais do Congresso Brasileiro de Automática*, paper 505, 2004.

[16] Pereira, M. V. F., Pinto, L. M. V. G., Cunha, S. H. F., and Oliveira, G. C., "A Decomposition Approach to Automated Generation/Transmission Expansion Planning," *IEEE Transaction on Power Systems,* vol. 104, no. 4, pp. 3074–3083, Nov. 1985.

[17] Pereira, M. V. F., and Pinto, L. M. V. G., "Application of Sensitivity Analysis of Local Supplying Capability to Interactive Transmission Expansion Planning," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 104, no. 1, pp. 381–389, Feb. 1985.

[18] Rider, M. J., Garcia, A. V., and Romero, R., "Transmission System Expansion Planning By a Branch-and-Bound Algorithm," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 2, no. 1, pp. 90–99, Jan. 2008.

[19] Romero, R., Monticelli, A., Garcia, A., and Haffner, S., "Test Systems and Mathematical Models For Transmission Network Expansion Planning," *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 149, iss, 1, pp. 27 – 36, 2002.

[20] Romero, R., and Monticelli, A., "A Hierarchical Decomposition Approach for Transmission Network Expansion Planning," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 373–379, Feb. 1994.

[21] Romero, R., Gallego, R. A., and Monticelli, A., "Transmission System Expansion Planning by Simulated Annealing," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 364–369, Feb. 1996.

[22] Seifi, H., and Sepasian, M. S., (2011) *Electric Power System Planning*. Springer.

[23] Silva, E. L., Ortiz, J. A., Oliveira, G. C., and Binato, S., "Transmission Network Expansion Planning Under a Tabu Search Approach," *IEEE Transaction on Power Systems,* vol. 16, no. 1, pp. 62–68, Feb. 2001.

[24] Villasana, R., Garver, L. L., and Salon, S. J., "Transmission Network Planning Using Linear Planning," IEEE *Transaction on Power Systems*, vol. 104, no. 1, pp. 349–356, Feb. 1985.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-01]