تاریخ دریافت: ۱۲ فروردین ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ صفحات ۱۳۱ الی ۱۷۴

بهینه سازی چندهدفه مکان یابی تخصیص احداث نیروگاه های خورشیدی برای تامین تقاضای برق

حمیدرضا سرچاهی

دانشجوی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه فردوسی مشهد، hamidreza.sarchahi۱۹۹۶@gmail.com

روح اله باقری*

استادیار گروه مدیریت دانشگاه فردوسی مشهد، rbagheri@um.ac.ir

علیرضا پویا

استاد گروه مدیریت دانشگاه فردوسی مشهد، alirezapooya@um.ac.ir

چکیده: بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر و به خصوص احداث نیروگاههای خورشیدی می تواند راهکاری برای پایان دادن به دو بحران خاموشی ناشی از کمبود برق و مازوت‌سوزی در نیروگاهها باشد. هدف این پژوهش بهینه سازی چندهدفه مکان یابی تخصیص احداث نیروگاه های خورشیدی برای تامین تقاضای برق است. در توابع هدف مسئله هزینه های اقتصادی، محدودیت در خطوط انتقال و انتشار گازهای گلخانه ای کمینه شده و همچنین مناطق تحت پوشش بیشینه شده است. برای حل مسئله بهینه سازی چندهدفه از روش ال پی متریک در نرم افزار گمز استفاده شده است. اعتبارسنجی مدل ریاضی مورد ارزیابی قرار گرفته و با ارائه مثال عددی پیچیده بودن مسئله کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد کوچک و بزرگ بررسی شده است. در نهایت احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه کاشان، آران و بیدگل مورد مطالعه قرارگرفته است. مدل نهایی این روش می تواند برای یاری رساندن به مدیران و تصمیم گیران شرکت های سرمایه گذاری و تولید کننده برق در احداث نیروگاه های خورشیدی استفاده گردد.

واژگان کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی چندهدفه، مکان یابی تخصیص، نیروگاه خورشیدی

* نویسنده مسئول

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۱. مقدمه

مصرف برق در جهان به دلیل رشد جمعیت و همچنین افزایش تولید ناخالص داخلی و پیشرفت های صنعتی در حال افزایش فزاینده است. برای تامین این تقاضا از نیروگاه‌های پایه سوخت فسیلی (ذغال سنگ، نفت و گازطبیعی) استفاده می شود و جبران افزایش تقاضا به وسیله سوخت های فسیلی باعث افزایش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه ای می شود. لذا با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط زیست، کاهش آلودگی هوا، تامین نشدن انرژی الکتریکی و قطع برق مشترکان، عواقب جبران ناپذیری را در پی دارد. قطعی برق در بخش صنعت توقف تولید و کاهش GDP، دربخش مسکونی کاهش رفاه اجتماعی، دربخش تجاری تعطیلی کسب وکارها و افزایش بیکاری را درپی دارد و همچنین این عواقب در بخش خدمات حساس مانند بیمارستان ها ممکن است جبران ناپذیر باشد از این رو افزایش قابلیت اطمینان شبکه امری حیاتی است.[۱]

طبق گزارش اتاق بازرگانی تهران [۲]، تامین تقاضای برق از نیروگاه های مبتنی بر سوخت های فسیلی و غفلت از اصلاح ساختار اقتصادی برق و عدم سرمایه‌گذاری جدید منجر به تکرار خاموشی ها و عدم اطمینان بالا در تابستان و آلودگی هوا با مازوت سوزی و افزایش گازهای گلخانه‌ای در زمستان شده است. دولت در سال های اخیر به سمت نیروگاه سازی متمایل بوده ولی به دلیل عدم استقبال سرمایه گذاران از اهداف عقب مانده است. کاهش توان تولید برق از نیروگاه های برق – آبی به دلیل تغییرات اقلیمی دست دولت را برای مقابله با خاموشی بسته است و همچنین کشور ایران به واسطه ناتوانی در تامین گاز نیروگاه‌ها مجبور است در زمستان از سوخت مازوت استفاده کند و همین عامل نیز زمینه افزایش آلایندگی درکلان شهرها را به وجود خواهد آورد. حال در شرایطی که امکان راه اندازی سریع نیروگاه وجود ندارد و سرمایه گذاری در بخش نیروگاه سازی بالا نیست، حرکت به سمت توسعه تولید برق تجدیدپذیر و به خصوص احداث نیروگاه های خورشیدی می تواند یکی از راهکارهای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

مهم دنیای پیشرفته صنعتی باشد تا به صورت پایدار مشکل خاموشی و مازوت سوزی را حل کند. با توجه به کاهش هزینه تولید برق از پنل های خورشیدی که به لطف توسعه تکنولوژی در سال های اخیر محقق شده است و توسعه نیروگاه های برق با کمک پنل های خورشیدی مدرن دور از دسترس نیست.

بنابراین در این پژوهش تامین تقاضای برق از سوخت های فسیلی که منجر به دو بحران خاموشی و مازوت سوزی شده است، راهکار استفاده از منابع تجدیدپذیر به خصوص احداث نیروگاه های خورشیدی ارائه شد و براساس مطالب بیان شده، به دنبال طراحی مدل بهینه سازی چندهدفه مکان یابی تخصیص احداث نیروگاه های خورشیدی هستیم که چهار هدف اقتصادی، زیست محیطی، قابلیت اطمینان و اجتماعی را دنبال می کند و در نهایت به دنبال اثبات صحت این مدل بهینه مکان یابی هستیم. در این پژوهش از نتایج مدل سازی مکان یابی بهینه براساس اهداف تعیین شده می توان برای یاری رساندن به مدیران و تصمیم گیران شرکت های سرمایه گذاری و تولید کننده برق در احداث نیروگاه های خورشیدی استفاده نمود. برای رسیدن به این هدف باید به پاسخگویی به این سوال اساسی پرداخت که چگونه می‌توان مکان‌یابی بهینه و مناسبی را برای احداث نیروگاه خورشیدی درکشور انجام داد؟ طراحی مدل بهینه مکان یابی تخصیص محل احداث نیروگاه های خورشیدی برای تامین تقاضای برق چگونه است؟

۲. پیشینه ی پژوهش

جدول ۱ نتایج مرور پیشینه پژوهش را در رابطه با بهینه سازی چند هدفه در تامین تقاضای برق نشان می‌دهد. مرور پیشینه پژوهش در زمینه بهینه سازی چندهدفه در تامین تقاضای برق نشان از این است که مطالعه های کمی در صنعت برق در این زمینه انجام شده است. در بین مطالعات انجام شده، کیو و لو [۳] اولین کسانی بودند که به مسئله طراحی زنجیره تامین برق به عنوان یک مسئله بهینه سازی چندهدفه و چند دوره ای تحت عدم قطعیت تامین سوخت و تقاضای برق حل کرده و به حداکثر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

سازی سود و به حداقل رسانی تفاوت بین حجم تقاضا و حجم برق تحویل داده شده توجه کردند. وانس و همکاران [۴] از نظریه گراف برای ایجاد یک نمایش گرافیکی از زنجیره تامین استفاده کردند که در آن از انرژی های تجدیدپذیر و همچنین نیروگاه های سوخت فسیلی در تولید برق استفاده می شد. هدف از مدل آن ها کاهش هزینه کل و دنبال کردن اهداف کاهش تاثیرات زیست محیطی و آلایندگی بود. عثمانی و ژانگ [۵] یک شبکه زنجیره تأمین برق طراحی کرده و مسئله زنجیره تأمین را به صورت یک مسئله دومرحله ای تصادفی ترکیبی تعریف کردند که از انرژی تجدیدپذیر باد و زیست توده به عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده شد. ماهیت تناوبی انرژی باد و افت و خیز در قیمت برق به عنوان منابع عدم قطعیت در نظر گرفتند. ژین لیانگ تان و همکاران [۶] یک مدل بهینه سازی چند هدفه غیرخطی ارائه کردند. هدف از این کار تعیین مقدار بهینه تولید برق و همچنین نسبت اختلاط ایده آل، مقدار و قیمت هر نوع سوخت است تا حداکثر سود حاشیه های نیروگاه های زیست توده را به حداکثر برساند و بیشترین حفاظت ممکن را ارائه دهند. جبارزاده و همکاران [۷] یک روش بهینه سازی قوی و چندهدفه را برای طراحی یک زنجیره تامین سبز و انعطاف پذیر به کار گرفتند و سه هدف اقتصادی، زیست محیطی و تاب آوری را برای شبکه های برق هوشمند مدنظر قرار دادند و نتیجه گرفتند که هدف زیست محیطی در تضاد با هدف اقتصادی است. خلیل پورتیلمی و همکاران [۸] یک مسئله بهینه سازی دوهدفه برای تامین تقاضای برق با استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند صفحه های فتوولتائیک و توربین های بادی در نظرگرفتند. تابع هدف های مسئله حداقل کردن هزینه و حداکثرکردن قابلیت اطمینان می باشد. برای حل از الگوریتم فراابتکاری استفاده کردند و مجموعه پارتو بهینه ای بدست آمد که بسته به نظر تصمیم گیرنده هرکدام از مجموعه جواب های مجموعه پارتو می تواند به عنوان جواب بهینه در نظر گرفته شود. باقری و همکاران [۹] یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه که اهداف اقتصادی و زیست محیطی را دنبال می کنند به طوری که بتوان تاثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر را بر روی میزان سود حاصل شده از فروش انرژی، میزان انتشار گازهای آلاینده و مصرف سوخت مورد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

استفاده نیروگاه ها را بررسی نمود. درنهایت به این نتیجه رسیدند که در هر دو رویکرد اقتصادی و یا زیست محیطی نیروگاه های با ظرفیت زیاد سهم بیشتری در تامین تقاضای شبکه دارند. یوچانگ تسو و همکاران [۱۰] یک رویکرد برنامه نویسی تصادفی فازی چند منظوره برای به حداقل رساندن هزینه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی شبکه تحت سناریوها و پارامترهای نامشخص ارائه کردند و به این نتیجه رسیدند که پاسخ تقاضا با قیمت گذاری پویا ، هزینه های زیست محیطی و اجتماعی را تا ۳ درصد کاهش می دهد. حسینی مطلق و همکاران [۱۱] در طراحی مدل بهینه‌سازی چندهدفه خود به ترتیب اهداف اقتصادی ، تاب آوری و مسئولیت اجتماعی شرکتی را در نظر گرفتند و راهبردی نوآورانه برای یک زنجیره تامین پایدار - انعطاف پذیر معرفی کردند و به این نتیجه رسیدند که در نظرگرفتن مسئولیت اجتماعی و انعطاف‌پذیری می تواند هزینه را تا ۵۰ درصد افزایش دهد. قربانخانی و همکاران [۱] یک روش کارآمد برای برنامه ریزی توسعه زنجیره تامین برق با نفوذ تولیدات تجدیدپذیر ارائه کردند. این مدل درکنارفاکتورهای قیمتی، معیار امنیتی، قابلیت اطمینان عرضه انرژی به عنوان هدف اجتماعی و بحث کاهش آلاینده های زیست محیطی را در نظرگرفته است و نتایج ارائه شده نشان داد که انواع عدم قطعیت ها باعث افزایش هزینه سرمایه گذاری می شود و از طرفی با افزایش میزان بار مجاز قابل قطع، این هزینه کاهش پیدا می‌کند.

جدول۱. نتایج بررسی پیشینه پژوهش

نام نویسندگان	روش مدل سازی	نوع روش حل	اهداف
کیو و لو (۲۰۱۱)	غیرخطی	قطعی	اقتصادی/زیست محیطی
وانس و همکاران (۲۰۱۳)	غیرخطی	قطعی	اقتصادی/زیست محیطی
عثمانی و ژانگ (۲۰۱۴)	خطی	تصادفی	اقتصادی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

ژین لیانگ تان و همکاران (۲۰۱۷)	غیرخطی	قطعی	اقتصادی/ قابلیت اطمینان
جبارزاده وهمکاران (۲۰۱۷)	خطی	قطعی	اقتصادی/اجتماعی/زیست محیطی
خلیل پور تیلمی و همکاران (۲۰۱۸)	غیرخطی	تصادفی	اقتصادی/ قابلیت اطمینان
باقری و همکاران (۲۰۱۹)	خطی	تصادفی	اقتصادی/زیست محیطی
یوچانگ تسو و همکاران(۲۰۱۹)	خطی	تصادفی	اقتصادی/اجتماعی/زیست محیطی
حسینی مطلق و همکاران (۲۰۲۰)	خطی	قطعی	اقتصادی/اجتماعی/زیست محیطی
قربانخانی و همکاران (۲۰۲۱)	خطی	تصادفی	اقتصادی/اجتماعی/زیست محیطی/امنیتی

در این تحقیق در مقایسه با تحقیقات گذشته، با توجه به بیان مسئله چهار هدف اقتصادی، زیست محیطی، قابلیت اطمینان و اجتماعی را دنبال می کند. روش مدل سازی ریاضی مسئله خطی می باشد و نوع روش حل قطعی می باشد. وجه اشتراک بین این تحقیق و تحقیقات پیشین در طراحی مدل بهینه سازی چندهدفه است و در این تحقیقات بسته به نوع مسئله در اهداف، محدودیت ها، روش مدل سازی و نوع روش حل متفاوت می باشند. در این تحقیق برای مکان یابی محل احداث نیروگاه های خورشیدی، مسئله از نوع مکان یابی تخصیص می باشد.

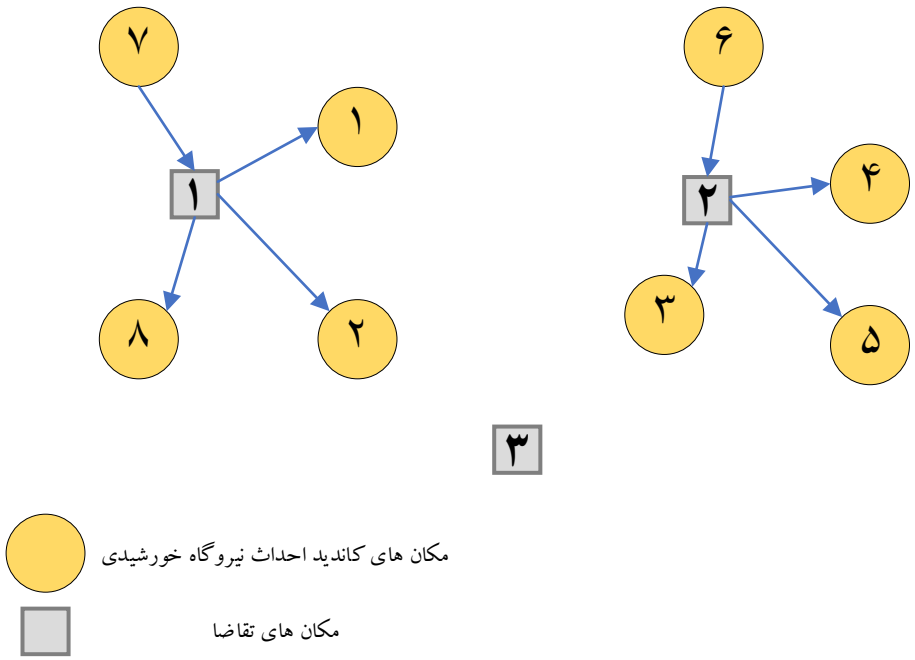
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

در این مسئله چهار تابع هدف وجود دارد. در تابع هدف مسئله هزینه های سیستم، مقدار اختلال در خطوط و مقدار گازهای گلخانه ای کمینه شده و همچنین مقدار مناطق تحت پوشش بیشینه می شود. بنابراین در تابع هدف این مسئله، هم کمینه سازی و هم بیشینه سازی وجود خواهد داشت. همچنین برای احداث این نیروگاه ها محدودیت بودجه در نظر گرفته شده و هر نیروگاه توان تولید مشخصی خواهد داشت. یکی از نکات مهمی که وجود دارد این موضوع است که احتمال اختلال در شبکه وجود داشته و این اختلال به فاصله بین نیروگاه و مناطق جمعیتی و ضریب اختلال بستگی خواهد داشت. همچنین تعداد نیروگاه های خورشیدی مجاز نیز مشخص و حداکثر فاصله نیروگاه از مکان تقاضا دارای محدودیت خواهد بود.

۳. روش شناسی پژوهش

در این پژوهش، تعدادی مناطق کاندید وجود دارد که در این مکان ها امکان احداث نیروگاه های خورشیدی وجود دارد. همچنین مکان های تقاضایی در این مسئله وجود دارد که این مکان های تقاضا به مکان های کاندید نیروگاه خورشیدی تخصیص داده می شود. بنابراین ابتدا مشخص می گردد که هریک از این مکان ها کاندید احداث شده و سپس هرکدام از مناطق جمعیتی به نیروگاه های خورشیدی تخصیص داده می شود. در این پژوهش به دلیل اینکه هدف طراحی مدل بهینه است و با بیش از یک هدف مواجه هستیم، از مدل تصمیم گیری چندهدفه(MODM) استفاده می کنیم، بنابراین همه این اهداف به صورت همزمان بهینه می شوند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل۱. نمایش شماتیک مسئله

مجموعه ها

j: مکان های کاندید برای احداث نیروگاه های خورشیدی

i: مناطق و مکان های تقاضا

پارامترها

e_i : مقدار تقاضای هر منطقه تقاضای i

n : حداکثر تعداد کل نیروگاه های j

f : مقدار تقاضای پوشش داده نشده مجاز

cap_j : ظرفیت تولید هر نیروگاه j

Dij : فاصله مجاز نیروگاه j تا مرکز تقاضا i

bud : حداکثر بودجه مجاز

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

dx_{ij}: حداکثر فاصله مکان i از نیروگاه j

cj: هزینه مسافت نیروگاه j

$cost_{ij}^{۲}$: هزینه گسترش خطوط انتقال بین مکان های i و نیروگاه j

$cost_{j}^{۱}$: هزینه ثابت احداث نیروگاه j

q_j: مقدار انتشارگازهای گلخانه ای منتشر شده در اثر احداث نیروگاه j

α_{ij}: احتمال اختلال در هر کیلومتر خطوط انتقال بین مکان i و نیروگاه j

M: عدد بزرگ دلخواه

متغیرهای تصمیم‌گیری

D_j: مقدار تقاضای نیروگاه خورشیدی j

A_j: مقدار صفر ویک، اگر نیروگاه خورشیدی j احداث شده باشد برابر یک، در غیراینصورت صفر.

X_{ij}: مقدار صفر ویک، اگر مکان تقاضای i به نیروگاه خورشیدی j تخصیص شده باشد برابر یک، در غیراینصورت صفر.

توابع هدف

۱. $min_{z_۱} = \sum_j A_j \times cost_j^{۱} + \sum_i \sum_j X_{ij} \times cost_{ij}^{۲}$

قسمت اول تابع هدف اول، هزینه احداث نیروگاه و قسمت دوم تابع هدف نیز شامل هزینه گسترش خطوط می‌باشد.

۲. $max_{z_۲} = \sum_i \sum_j X_{ij} \times e_i$

در تابع هدف دوم، مقدار مناطق تحت پوشش بیشینه می گردد.

۳. $min_{z_۳} = \sum_i \sum_j X_{ij} \times d_{ij} \times \alpha_{ij}$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

در تابع هدف سوم، مقدار اختلال در خطوط کمینه می گردد.

۴. $min_{z_۴} = \sum_j A_j \times q_j$

در تابع هدف چهارم، مقدار گازهای گلخانه ای کمینه می گردد.

محدودیت ها

۱	$\sum_j X_{ij} \leq ۱$	$\forall i$
۲	$D_j = \sum_i X_{ij} \times e_i$	$\forall j$
۳	$A_j \times M \geq D_j$	$\forall j$
۴	$\sum_j A_j \leq n$	
۵	$\sum_i e_i(۱ - \sum_j X_{ij}) < f$	
۶	$D_j \leq cap_j$	$\forall j$
۷	$dx_{ij} \times X_{ij} \leq Dij$	$\forall i, j$
۸	$D_j \times cost_j^{۱} \leq bud$	$\forall j$

محدودیت اول: هر مرکز تقاضا حداکثر به یک نیروگاه تخصیص داده می شود.

محدودیت دوم: مقدار تقاضای هر نیروگاه خورشیدی را تعیین می نماید.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

محدودیت سوم: اگر نیروگاهی احداث نشود، هیچ منطقه تقاضایی به آن تخصیص نمی شود.

محدودیت چهارم: محدودیت حداکثر تعداد نیروگاه های احداث شده مجاز را بررسی می نماید.

محدودیت پنجم: محدودیت حداکثر مقدار بار مجاز تامین نشده را بررسی می کند.

محدودیت ششم: اطمینان می دهد مقدار تولید نیروگاه از ظرفیت آن بیشتر نیست.

محدودیت هفتم: حداکثر فاصله مجاز برای انتقال بار را بررسی می کند.

محدودیت هشتم: اطمینان می دهد که حداکثر ظرفیت بودجه رعایت شده باشد.

تابع هدف کلی

در این پژوهش برای حل مسئله چند هدفه در نرم افزار گمز از تکنیک معیار جامع استفاده می شود.تکنیک معیار جامع، از متدولوژی مطرح در تصمیم گیری با معیارهای چندگانه هستند. در روش معیار جامع، بسته به مورد، مجموع انحرافات نسبی اهداف از مقدار بهینه شان را حداقل می کند. از آنجائیکه مدل مذکور چند هدفه است، برای حل مدل چند هدفه مذکور، از روش ال پی متریک استفاده شده است به این صورت که هر بار هر کدام از توابع هدف بهینه شده و در نهایت مقدار بهینه توابع هدف با در نظر گرفتن محدودیت های مسئله به وسیله روش L-P متریک محاسبه می شود. در روش روش L-P متریک نظرات شخصی اعمال نشده و نیازی به وزن دهی توابع هدف نیست و مقادیر توابع هدف نسبت به بهترین مقدار تابع هدف بهینه خواهد شد.

$$min\ f(x) = \frac{z_1 - z_1^*}{z_1^*} + \frac{z_2^* - z_2}{z_2^*} + \frac{z_3 - z_3^*}{z_3^*} + \frac{z_4 - z_4^*}{z_4^*}$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

ارائه الگوریتم ژنتیک چند هدفه

تولید جواب اولیه

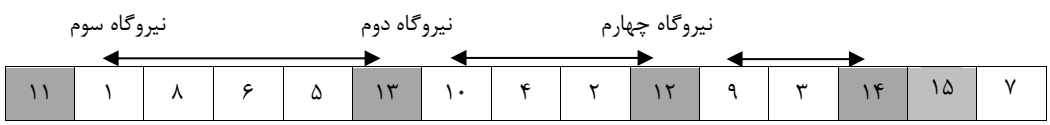
در این پژوهش هر جواب اولیه شامل یک کروموزوم می باشد که این کروموزوم شامل n+m خانه است که در آن n تعداد مناطق جمعیتی و m تعداد مکان های کاندید برای احداث نیروگاه های خورشیدی می باشد. در این کروموزوم یا نمایش جواب اولیه اعداد شماره ۱ تا n بیانگر مناطق جمعیتی و اعداد بزرگتر از آن نمایشگر شماره مکان کاندید احداث نیروگاه های خورشیدی است. در این قسمت اعدادی که عدد n+i نمایشگر مکان کاندید احداث نیروگاه iام است و اعدادی که قبل از آن قرار دارند نمایشگر مکان ها تقاضایی می باشد که به آن نیروگاه تخصیص داده می شود. در صورتی که که هیچ کدام از این مناطق به آن نیروگاه تخصیص داده نشود به معنای این است که آن نیروگاه خورشیدی احداث نشده است.

نکته دیگر در نمایش جواب اولیه این موضوع است که تمام مکان های تقاضایی که بعد از آخرین مکان کاندید احداث نیروگاه خورشیدی قرار دارند به نیروگاه آخر تخصیص داده می شود. برای درک بهتر این مسئله یک مثال عددی ارائه شده که شامل ۱۰ منطقه جمعیتی و ۵ مکان کاندید برای احداث نیروگاه خورشیدی است. شکل شماره ۲ و جدول شماره۲ مکان های تقاضای شماره های ۶،۸،۱و۵ به نیروگاه سوم و مکان های تقاضای ۲،۴، ۱۰ به نیروگاه دوم و مکان تقاضای شماره ۹و۳ به نیروگاه چهارم تخصیص داده شده است. با توجه به اینکه قبل از عدد ۱۱ هیچ مکان تقاضایی قرار ندارد یعنی آن نیروگاه احداث نشده است. همچنین منطقه شماره ۷ به هیچ کدام از نقاط نیروگاه تخصیص داده نشده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول۲. تخصیص مکان های تقاضا به نیروگاه های خورشیدی

مکان تقاضا	شماره نیروگاه	مکان تقاضا	شماره نیروگاه
۱	۳	۶	۳
۲	۲	۷	-
۳	۴	۸	۳
۴	۲	۹	۴
۵	۳	۱۰	۲



شکل۲. نمایش جواب اولیه مثال فرضی

تولید جمعیت اولیه

اولین مرحله در الگوریتم ژنتیک چند هدفه، تولید جمعیت اولیه می باشد. مجموعه ای از جواب های شدنی به عنوان جمعیت اولیه ایجاد می گردد. در این پژوهش اعضای این مجموعه به صورت تصادفی انتخاب می شود. پس از تعیین سیستم کدینگ یا همان نمایش جواب اولیه و مشخص شدن روش تبدیل هر جواب به کروموزوم، یک جمعیت اولیه از کروموزوم ها تولید می شود.

تابع ارزیابی

به منظور ارزیابی و بررسی جواب، نیاز به یک تابع ارزیابی برای بررسی تابع هدف می باشد. هدف از نوشتن تابع ارزیابی به دست آوردن مقدار تابع هدف و بررسی رعایت محدودیت ها است. در این

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

مسئله، تابع ارزیابی مقدار هر چهار تابع هدف را محاسبه کرده و محدودیت های مسئله را بررسی می کند. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می نماید که کیفیت آن را مشخص می کند. هر چه مقدار تابع هدف هر رشته در اهداف مینیمم سازی پایین تر و در توابع هدف ماکزیمم سازی بیشتر باشد، مقدار برازندگی جواب بهتر خواهد بود و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش می یابد. در صورتی که جواب مورد نظر محدودیت ها را نقض کند، مقدار نقض شده در هر محدودیت محاسبه و جمع مقادیر نقض شده با یک عدد ثابت جریمه در توابع هدف وارد شود که در توابع هدف ماکزیمم باید کسر شود و درتوابع هدف مینیمم این جریمه باید اضافه شود. در این قسمت برای بررسی عدد ثابت ضرب شده یک مثال عددی ایجاد شده و به‌وسیله الگوریتم حل می‌شود. در نهایت مقادیر تابع هدف جبهه اول، محاسبه شده و میانگین آن‌ها در جدول شماره۳ قرار می گیرد. نتایج نشان دهنده آن است که ضرب تابع هدف در عددهای بسیار بزرگ، با توجه به آن که جواب‌های بد را کاملا حذف می کند، نامناسب است و ضرب در عدد ۲ مقادیر مناسبی برای این الگوریتم می‌باشد.

جدول ۳. بررسی بهترین مقدار ضریب جریمه برای رعایت نکردن محدودیت های مسئله

ضریب	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	تابع هدف چهارم
۲	۵۲۴.۳	۲۸۵.۲	۱۲۴.۳	۸۷.۲
۵	۵۲۴.۴	۲۸۴.۹	۱۲۴.۳	۸۷.۲
۱۰	۵۲۵.۱	۲۸۴.۹	۱۲۴.۴	۸۷.۴
۲۵	۵۲۵.۳	۲۸۵	۱۲۴.۴	۸۷.۵
۵۰	۵۲۵.۲	۲۴۹.۹	۱۲۴.۵	۸۷.۶
۱۰۰	۵۲۵.۵	۲۴۹.۹	۱۲۴.۵	۸۷.۶
۲۵۰	۵۲۵.۴	۲۴۹.۸	۱۲۴.۶	۸۷.۶
۵۰۰	۵۲۵.۶	۲۴۹.۹	۱۲۴.۶	۸۷.۷
۱۰۰۰	۵۲۵.۵	۲۴۸.۸	۱۲۴.۷	۸۷.۷

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

تعیین رتبه بندی جواب ها

جواب های مورد بحث با توجه به آنکه چند جواب به طور یقین ازآن جواب بهتر خواهد بود، درجه بندی می شوند. جواب هایی به طور یقین از جواب دیگر بهتر خواهد بود که تمامی مقادیر توابع هدف، از جواب مورد نظر بهتر باشد. به طور مثال جواب هایی که هیچ جوابی بهتر از آنها پیدا نشود در درجه اول و جواب هایی که تنها یک جواب بهتر از آنها وجود داشته باشد در درجه دوم قرار گرفته می شوند. بقیه درجه بندی ها نیز براین اساس تقسیم بندی می شود. بنابراین جواب ها با توجه به کیفیت مقدار توابع هدف در درجه های مختلف تقسیم بندی می شود. در نهایت تمام جواب ها از لحاظ کیفیت درجه بندی و سپس رتبه بندی می گردند.

برای رتبه بندی از الگوریتم ذیل استفاده می شود:

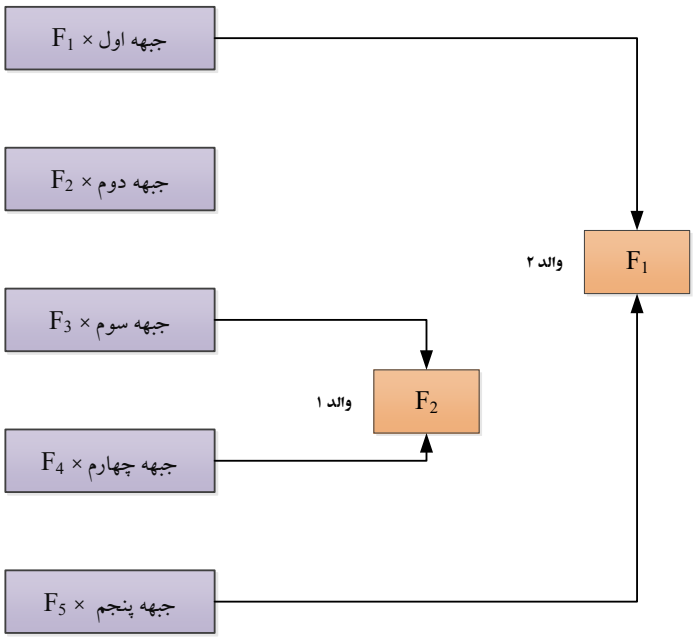
- ابتدا دو عضو از جمعیت به تصادف انتخاب می‌شود.
- اگر رتبه دو عضو انتخاب شده مساوی نباشد، عضوی که رتبه کمتری دارد انتخاب می شود.
- اگر رتبه دو عضو انتخابی مساوی باشد، عضوی که دارای فاصله ازدحامی بیشتر است انتخاب می شود.

انتخاب والدین

بعد از آنکه برای هر کروموزوم از جمعیت، مقدار برازش محاسبه شد، الگوریتم دو کروموزوم را به صورت تصادفی انتخاب نموده و هرکدام که مقدار برازش بهتری داشت را به عنوان والد انتخاب می کند. والد دوم هم به همین صورت انتخاب خواهد شد. برای انتخاب جواب مناسب تر و مقدار برازش بهتر بین دو عضو انتخاب شده تصادفی، جوابی که رتبه بهتر و در جبهه پایین تری باشد انتخاب می

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

شود. در صورتی که جبهه آن ها با یکدیگر برابر باشد، جوابی انتخاب خواهد شد که فاصله ازدحامی بیشتری داشته باشد.

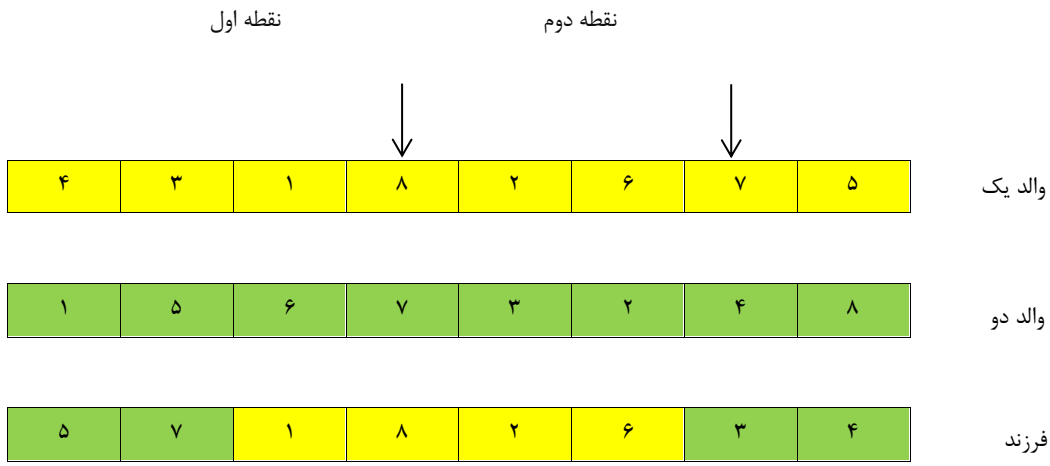


شکل ۳. نحوه عملگر تورنومت برای انتخاب والدین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

تولید فرزندان جدید

به منظور ایجاد فرزندان جدید از عملگر دو نقطه ای استفاده شده است به این صورت که ابتدا دو انتخاب و سپس دو نقطه تقاطع به تصادف انتخاب و ژن های بین این دو نقطه از والد اول به فرزند منتقل شده و ژن های باقی مانده به ترتیب موجود در والد دوم کپی می شود.



شکل۴. تولید فرزند جدید

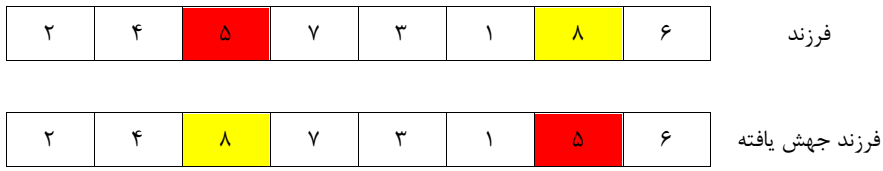
در این قسمت، جبهه اول پارتو به صورت مستقیم به عنوان نخبه گرایی به وارد جمعیت بعدی می‌شود و برای تولید بقیه جواب ها به وسیله عملگر تقاطع فرزند جدید وارد جمعیت جدید خواهد شد.

عملگر ژنتیک جهش

بعد از پیاده سازی عملگر تقاطع، هر فرزند ممکن است به صورت تصادفی تغییر کند. هدف از جهش، بیان یک خاصیت ژنتیکی است که باعث افزایش تنوع در جواب های جمعیت می شود. جهش به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

عنوان یک عملگر دیگر، در کنار عملگر تقاطع قرار می گیرد. به عبارت دیگر، این عملگر در کروموزوم های متفاوت تغییرات تصادفی برنامه ریزی نشده ایجاد می کند و ژن هایی را که در جمعیت اولیه وجود نداشته اند را وارد جمعیت می کند. به این صورت که عددی تصادفی تولید می شود، اگر این عدد کمتر از نرخ جهش باشد، جهش اتفاق خواهد افتاد. در این روش در مرحله اول یک عدد تصادفی بین صفر تا یک انتخاب می شود. در صورتیکه عدد تصادفی کمتر از نرخ جهش باشد دو نقطه به تصادف بر روی والد انتخاب می شود و عدد موجود در این نقاط با هم تعویض می شود.



شکل ۵. عمل جهش در فرزند

در این قسمت به منظور تعیین نرخ جهش یک مثال عددی ارائه و میانگین اعداد جواب‌های به‌دست آمده از جبهه اول محاسبه می‌شود. نتایج نشان دهنده این موضوع است که نرخ جهش ۰.۲ بهترین مقادیر نرخ جهش خواهد بود.

جدول ۴. بررسی بهترین نرخ جهش

نرخ جهش	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	تابع هدف چهارم
۰.۱	۵۲۴.۴	۲۸۵.۱	۱۲۴.۳	۸۷.۳
۰.۲	۵۲۴.۳	۲۸۵.۲	۱۲۴.۳	۸۷.۲
۰.۳	۵۲۴.۵	۲۸۵.۱	۱۲۴.۳	۸۷.۳
۰.۴	۵۲۴.۶	۲۸۵	۱۲۴.۴	۸۷.۳
۰.۵	۵۲۴.۸	۲۸۴.۹	۱۲۴.۵	۸۷.۴
۰.۶	۵۲۴.۸	۲۸۵	۱۲۴.۵	۸۷.۴
۰.۷	۵۲۴.۹	۲۸۴.۹	۱۲۴.۴	۸۷.۵
۰.۸	۵۲۴.۸	۲۸۵	۱۲۴.۴	۸۷.۴
۰.۹	۵۲۵	۲۸۴.۸	۱۲۴.۶	۸۷.۵

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

روش حل مسئله بهینه سازی چندهدفه

در این تحقیق برای حل مسئله چندهدفه در نرم افزار گمز از تکنیک معیار جامع یا همان ال پی متریک استفاده می شود. به این صورت که هر تابع هدف به تنهایی و بدون درنظر گرفتن توابع هدف دیگر کمینه یا بیشینه می شود و درنهایت مقدار بهینه توابع هدف با درنظر گرفتن تمامی محدودیت های مسئله در تابع هدف روش ال پی متریک قرار می گیرد.

برای حل این مسئله، الگوریتم جستجوی دقیق نیاز به زمان محاسباتی زیادی دارد و این زمان با بزرگ شدن ابعاد مسئله به صورت نمایی افزایش می یابد و در برخی موارد یافتن جواب بهینه عملا امکان پذیر نمی باشد.

لذا الگوریتم های ژنتیک که در پی بدست آوردن جواب با کیفیت خوب در زمان معقول باشند، در حل این مسئله کاربرد پیدا کرده است. به همین منظور در این تحقیق یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای حل مدل به کار گرفته می شود.

در این پژوهش به منظور بررسی مدل ریاضی ارائه شده، توسط نرم افزار گمز کارایی و صحت مدل ارائه شده با توجه به تمامی ویژگی ها و محدودیت های مسئله مورد بررسی قرار می گیرد. سپس با ارائه مثال عددی به بررسی پیچیده بودن مسئله، کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد کوچک و بزرگ خواهیم پرداخت و صحت مدل ریاضی را بررسی خواهیم نمود. در نهایت می توان میانگین جواب های الگوریتم ژنتیک چندهدفه را با جواب حاصل از نرم افزار گمز، مقایسه نمود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

٤.یافته های پژوهش

بررسی مدل ریاضی ارائه شده

در این قسمت به منظور بررسی مدل ریاضی ارائه شده، توسط نرم افزار گمز کارایی و صحت مدل ارائه شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور یک مثال تصادفی توسط نرم افزار متلب ارائه شده و داده های مورد نظر وارد نرم افزار گمز شده و مسئله با توجه مدل ارائه شده حل خواهد شد. در صورتی که در جواب مسئله موردنظر ویژگی ها، محدودیت‌ها و مقادیر تابع هدف به درستی محاسبه شده باشد می‌توان گفت که مدل ریاضی ارائه شده صحیح بوده و کارایی این مدل تائید می‌شود. در مثال تصادفی ارائه شده پنج مکان کاندید برای احداث نیروگاه وجود داشته که باید به ده مکان تقاضا سرویس دهی کند. داده های ورودی مسئله مطابق با جداول شماره ۵ تا ۹ خواهد بود.

جدول ۵. داده های ورودی مسئله

شماره نیروگاه مکان کاندید	ظرفیت تولید نیروگاه	هزینه ثابت نیروگاه	مقدار انتشار گازهای گلخانه ای در اثر احداث
۱	۲۰	۳۰	۷
۲	۲۵	۱۵	۴
۳	۲۰	۲۰	۵
۴	۲۵	۳۰	۸
۵	۱۵	۳۵	۶

جدول ۶. داده های ورودی مسئله

شماره مکان تقاضا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مقدار تقاضا	۸	۴	۷	۳	۴	۸	۴	۶	۶	۵

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۷. داده های ورودی مسئله

مقدار تقاضای مجاز پوشش داده نشده	۵
حداکثر بودجه مجاز احداث	۸۰
حداکثر فاصله مجاز نیروگاه تا مرکز تقاضا	۱۰
حداکثر تعداد نیروگاه های احداث شده	۴۰

جدول ۸. فاصله بین مکان‌های تقاضا i از نیروگاه j

	j۱	j۲	j۳	j٤	j٥
i۱	۷	۳	۱۵	۵	۶
i۲	۹	۸	۵	۱۳	۱۴
i۳	۳	۵	۲	۳	۵
i٤	۶	۸	۵	۱۵	۱
i٥	۲	۶	۹	۱۱	۲
i٦	۴	۵	۵	۹	۶
i۷	۱۱	۱۲	۶	۸	۹
i۸	۱۳	۴	۷	۴	۸
i۹	۵	۶	۶	۶	۱۲
i۱۰	۲	۱	۴	۵	۱۳

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۹. هزینه انتقال بین مکان‌های تقاضا i از نیروگاه j

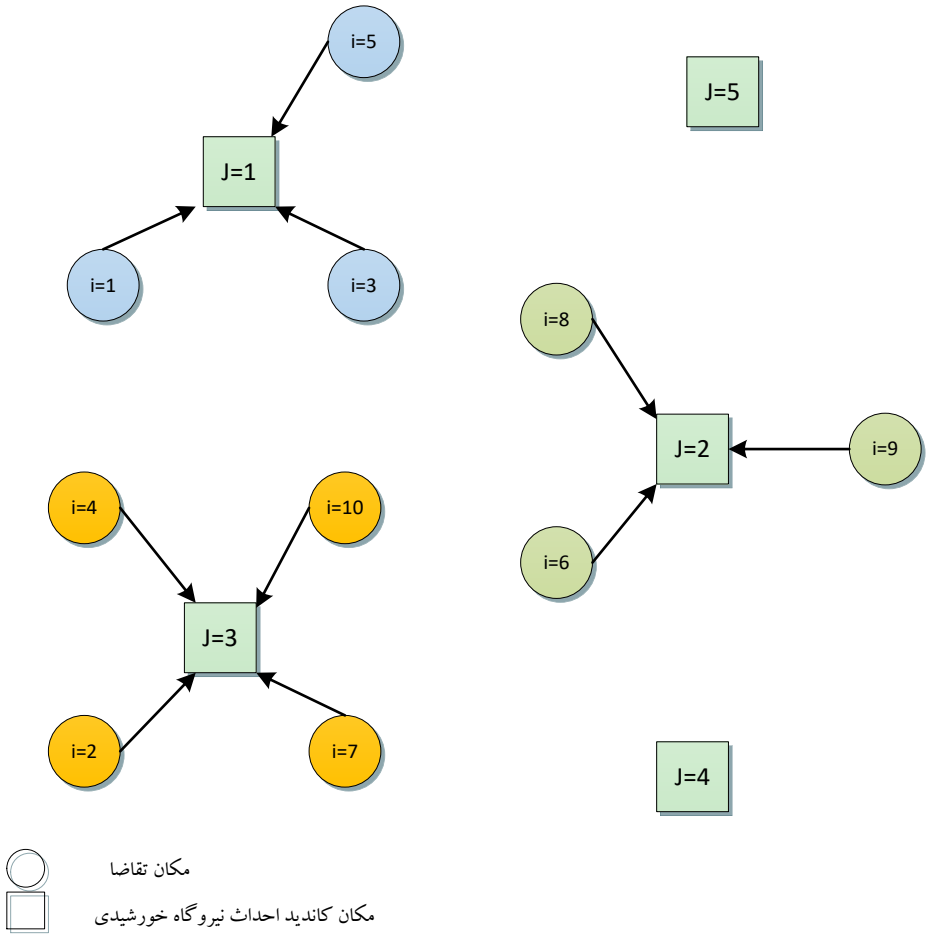
	j۱	j۲	j۳	j٤	j٥
i۱	۲	۷	۲	۲	۹
i۲	۵	۸	۲	۵	۷
i۳	۱	۶	۴	۶	۶
i٤	۱۲	۵	۱	۷	۵
i٥	۳	۳	۵	۸	۵
i٦	۳	۱	۷	۹	۷
i۷	۹	۲	۳	۴	۸
i۸	۶	۳	۶	۵	۹
i۹	۵	۲	۸	۶	۸
i۱۰	۸	۷	۳	۱۰	۵

در این مرحله مسئله موردنظر به‌وسیله نرم افزار گمز حل می‌شود که شکل شماتیک مسئله در شکل شماره ۶ و جدول شماره ۱۰ نمایش داده شده است. بر اساس آن نیروگاه چهارم و پنجم احداث نشده و تخصیص مکان‌های تقاضا به نیروگاه ها به شکل جدول شماره ۱۰ خواهد بود.

جدول ۱۰. جواب به‌دست آمده از نرم افزار گمز

شماره نیروگاه	مکان های تخصیص داده شده به نیروگاه			
۱	۳	۱	۵	
۲	۸	۹	۶	
۳	۱۰	۷	۲	۴
۴	احداث نشده است			
۵	احداث نشده است			

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



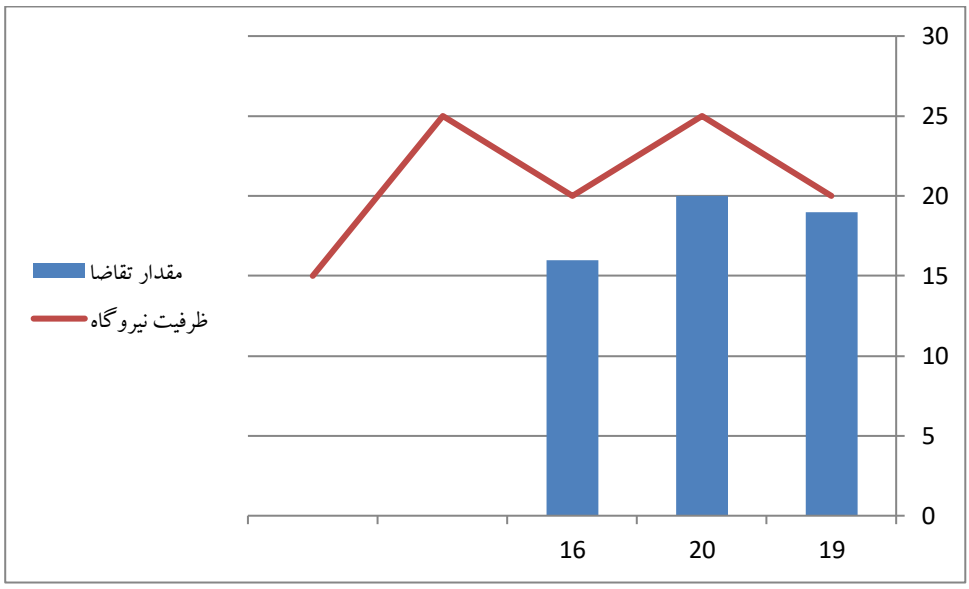
شکل ۶. شکل شماتیک جواب مسئله

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

برای بررسی ویژگی ها و محدودیت های مسئله، اولین محدودیتی که بررسی می‌شود شامل محدودیت ظرفیت نیروگاه ها خواهد بود که مطابق با جدول شماره ۱۱ و نمودار شماره۱ این محدودیت رعایت شده است.

جدول ۱۱. بررسی محدودیت ظرفیت نیروگاه

شماره نیروگاه	مقدار تقاضا	ظرفیت نیروگاه
۱	۱۹	۲۰
۲	۲۰	۲۵
۳	۱۶	۲۰
۴	احداث نشده است	۲۵
۵	احداث نشده است	۱۵



نمودار ۱. بررسی محدودیت ظرفیت نیروگاه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

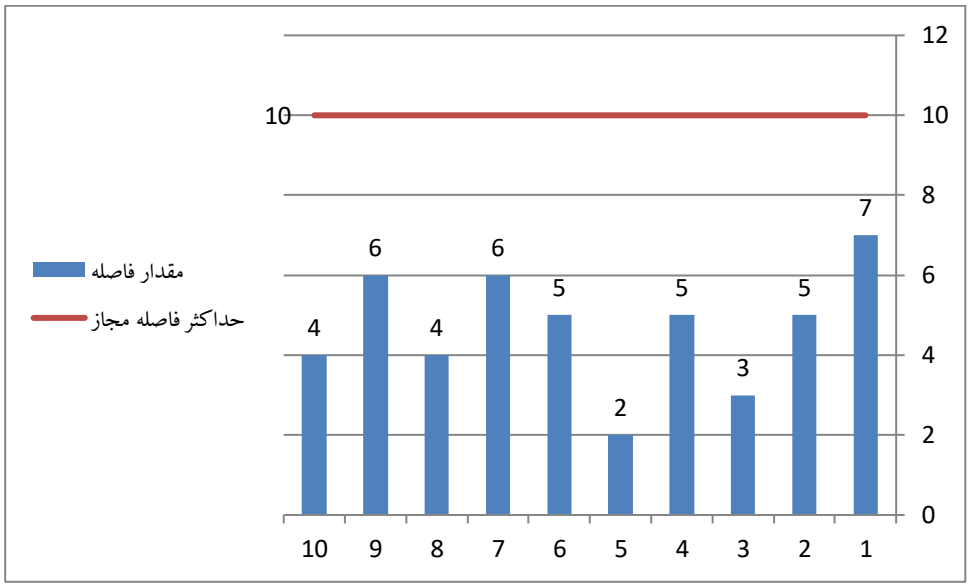
در قسمت بعد محدودیت حداکثر تعداد نیروگاه های مجاز احداث شده بررسی می‌شود. طبق جدول شماره۱۲ تعداد نیروگاه های احداث شده برابر ۳ وتعداد نیروگاه های مجاز برابر ۴ است بنابراین این محدودیت نیز رعایت شده است.

جدول ۱۲. بررسی محدودیت تعداد نیروگاه های احداث شده

شماره نیروگاه	وضعیت
۱	احداث
۲	احداث
۳	احداث
۴	احداث نشده است
۵	احداث نشده است

محدویت بعدی، بررسی محدودیت فاصله مکان تقاضا تا نیروگاه تخصیص داده شده به آن است که با توجه به نمودار شماره ۲ این محدودیت برای تمامی مکان های تقاضا رعایت شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



نمودار ۲. بررسی محدودیت فاصله مکان تقاضا تا نیروگاه تخصیص داده شده

در مرحله بعدی محدودیت حداکثر ظرفیت مقدار بودجه برای احداث نیروگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول شماره ۱۳ هزینه احداث نیروگاه های احداث شده جمع و مقدار آن ۶۵ واحد بوده است. با توجه به آن که مقدار بودجه در دسترس ۸۰ واحد است بنابراین این محدودیت نیز رعایت گردیده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۱۳. بررسی محدودیت حداکثر ظرفیت مقدار بودجه برای احداث نیروگاه

شماره نیروگاه	هزینه احداث
۱	۳۰
۲	۱۵
۳	۲۰
۴	۰
۵	۰
مجموع	۶۵

در قسمت بعدی مقدار توابع هدف مورد بررسی قرار داده می‌شود که در اینجا با توجه به جواب ارائه شده مقدار تابع هدف محاسبه گردیده است. این مقدار باید با مقدار به‌دست آمده توسط نرم افزار گمز برابر باشد. مقدار توابع هدف در جدول شماره ۱۴ تا ۱۹ نشان داده شده است.

جدول ۱۴. مقدار انتشار گازهای گلخانه ای

شماره نیروگاه	مقدار انتشار گازهای گلخانه ای
۱	۷
۲	۴
۳	۵
۴	۰
۵	۰
مجموع	۱۶

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۱۵. بررسی مقدار تابع هدف سوم

شماره مکان تقاضا	مقدار اختلال
۱	۰/۴
۲	۰/۲
۳	۰/۱
۴	۰/۳
۵	۰/۲
۶	۰/۳
۷	۰/۴
۸	۰/۱
۹	۰/۱
۱۰	۰/۲
مجموع	۲/۳

جدول ۱۶. بررسی مقدار تابع هدف دوم

شماره مکان تقاضا	مقدار کل تقاضا	تقاضا پوشش داده شده
۱	۸	۸
۲	۴	۴
۳	۷	۷
۴	۳	۳
۵	۴	۴
۶	۸	۸
۷	۴	۴
۸	۶	۶
۹	۶	۶
۱۰	۵	۵
مجموع	۵۵	۵۵

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول۱۷. بررسی مقدار تابع هدف اول

هزینه انتقال به مکان تقاضا	۶۵
محاسبه هزینه احداث	۲۱
مجموع هزینه ها	۸۶

جدول۱۸. محاسبه هزینه احداث

شماره نیروگاه	هزینه احداث
نیروگاه ۱	۳۰
نیروگاه ۲	۱۵
نیروگاه ۳	۲۰
نیروگاه ۴	۰
نیروگاه ۵	۰
مجموع	۶۵

جدول۱۹. محاسبه هزینه انتقال

شماره مکان تقاضا	هزینه انتقال به مکان تقاضا
۱	۲
۲	۲
۳	۱
۴	۱
۵	۳
۶	۱
۷	۳
۸	۳
۹	۲
۱۰	۳
مجموع	۲۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲۰. بررسی درستی محاسبه تابع هدف

تابع هدف	مقدار به دست آمده توسط گمز	مقدار محاسبه شده
تابع هدف اول	۸۶	۸۶
تابع هدف دوم	۵۵	۵۵
تابع هدف سوم	۲/۳	۲/۳
تابع هدف چهارم	۱۶	۱۶

در این قسمت مقدار تابع هدف محاسبه شده با مقدار به‌دست آمده توسط نرم افزار گمز نشان داده شده است. همانطور که در جدول شماره ۲۰ مشاهده می‌شود این دو مقدار با یکدیگر برابر بوده و نشان دهنده درستی محاسبه تابع هدف توسط نرم افزار گمز است.

رعایت ویژگی ها و محدودیت های مسئله و درستی مقدار تابع هدف نشان دهنده کارایی و صحت مدل ریاضی ارائه شده است که به اثبات رسید.

بررسی پیچیده بودن مسئله

به منظور اثبات پیچیده بودن مسئله، مثال های مختلف و تصادفی در ابعاد مختلف مسئله ارائه شده که با بزرگ شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله با نرم افزار گمز به صورت نمایی افزایش یافته و از مرحله خاصی، مسئله با نرم‌افزار گمز غیر قابل حل خواهد شد. این موضوع در جدول شماره ۲۱ و نمودار شماره ۳ به نمایش گذاشته شده است. با توجه به موارد فوق، می توان گفت مسئله مورد نظر پیچیده بوده و در ابعاد بزرگ دارای راه حل دقیق نمی‌باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

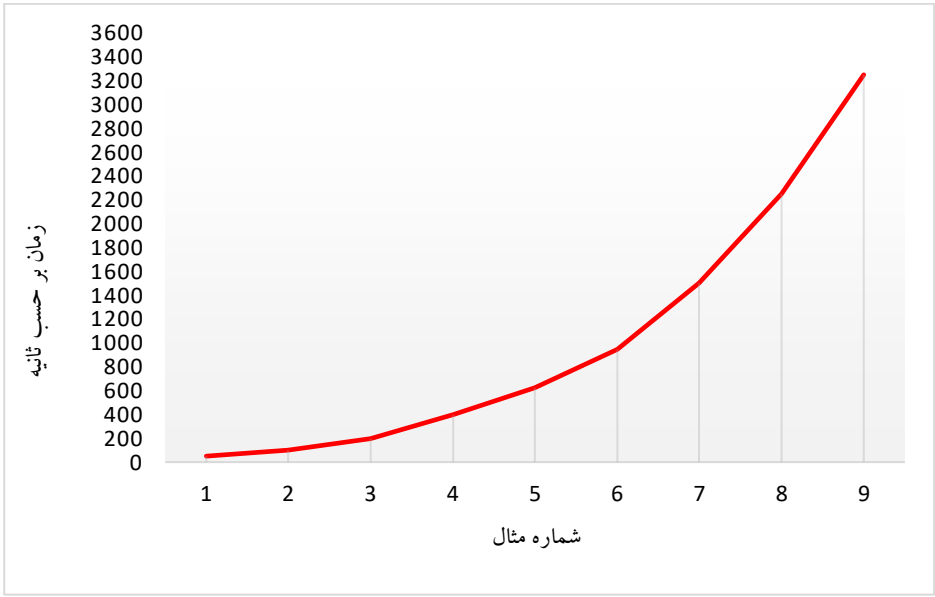
هم‌چنین در مقاله کونسریسوک و چیتسومبون[۱](۲۰۱۳) به اثبات رسید که این نوع مسئله دارای پیچیدگی بوده و با توجه به این که پژوهش موردنظر دارای محدودیت‌های پیچیده‌تری است بنابراین مدل ارائه شده دارای پیچیدگی می‌باشد.

جدول ۲۱. ابعاد مثال های ارائه شده

شماره مثال	تعداد مکان های تقاضا	تعداد مکان های کاندید برای نیروگاه
۱	۸	۳
۲	۱۰	۴
۳	۱۲	۵
۴	۱۴	۶
۵	۱۶	۷
۶	۱۸	۸
۷	۲۰	۹
۸	۲۲	۱۰
۹	۲۴	۱۱

[۱] Koonsrisuk & Chitsomboon

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



نمودار ۳. بررسی افزایش شدید زمان حل مسئله با نرم افزار گمز

کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد کوچک

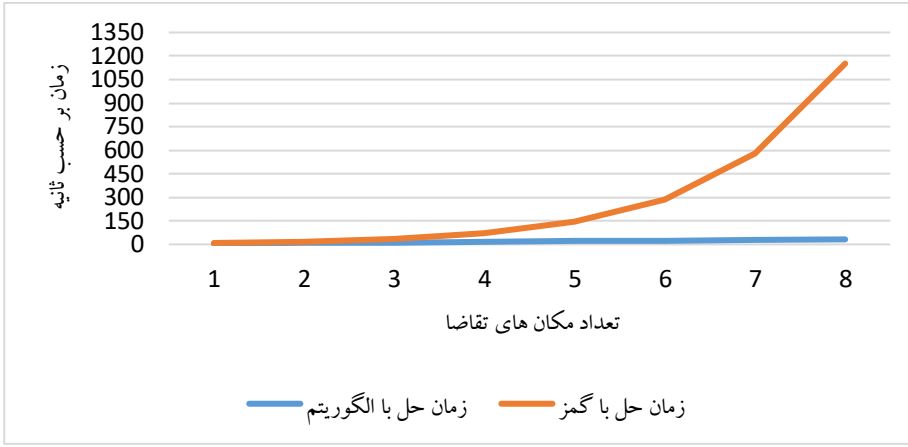
در بخش قبلی اثبات شد که مسئله مطرح شده دارای پیچیدگی است و برای حل مسئله در ابعاد بزرگ نیاز به الگوریتم ژنتیک چندهدفه می‌باشد. در این مرحله کارایی الگوریتم در ابعاد کوچک بررسی می‌گردد. به منظور بررسی درستی، صحت و کارایی الگوریتم، پنج مثال عددی در ابعاد کوچک به صورت تصادفی تولید و به وسیله الگوریتم ژنتیک چندهدفه حل و جواب حاصل از نرم افزار گمز در جدول شماره ۲۲ ارائه و سپس مقایسه گردیده است. با توجه به اختلاف کم بین میانگین جواب‌های الگوریتم ژنتیک چندهدفه در مقایسه با جواب حاصل از نرم افزار گمز، ثابت می‌گردد که الگوریتم ژنتیک چندهدفه ارائه شده در ابعاد کوچک دارای کارایی مناسبی است. در جدول شماره ۲۲ مقدار این انحراف بررسی گردیده و بیشترین انحراف به مقدار ۲.۷۰ درصد است که مقدار قابل قبولی می‌باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲۲. بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد کوچک

تعداد مکان های تقاضا	تابع هدف اول			تابع هدف دوم			تابع هدف سوم			تابع هدف چهارم		
	جواب گمز	جواب الگوریتم	انحراف	جواب گمز	جواب الگوریتم	انحراف	جواب گمز	جواب الگوریتم	انحراف	جواب گمز	جواب الگوریتم	انحراف
۸	۱۵	۱۴/۹۸	۰/۱۳٪	۱۱/۸	۱۱/۹	۰/۸۵٪	۵۴	۵۳/۹	۰/۱۹٪	۳۵	۳۴/۹	۰/۲۹٪
۱۰	۲۳	۲۲/۸	۰/۸۸٪	۱۳/۲۵	۱۳/۴	۱/۱۳٪	۶۵/۵	۶۵	۰/۷۷٪	۴۲	۴۱/۵	۱/۲۰٪
۱۵	۵۱/۵	۵۰/۹۸	۱/۰۲٪	۱۶/۴	۱۶/۷	۱/۸۳٪	۷۹	۷۸/۲	۱/۰۲٪	۶۷	۶۶	۱/۵۲٪
۲۰	۶۷/۳	۶۶/۵	۱/۲۰٪	۲۱/۹	۲۲/۱	۰/۹۱٪	۱۰۰/۵	۹۹	۱/۵۲٪	۸۱	۷۹	۲/۵۳٪
۲۵	۸۴/۲	۸۳	۱/۴۵٪	۲۷/۶	۲۸	۱/۴۵٪	۱۱۰	۱۰۸	۱/۸۵٪	۹۵	۹۲/۵	۲/۷۰٪

همان طور که در جدول شماره ۲۲ مشاهده می شود مقادیرتابع هدف برای هر دو روش تقریبا نزدیک به هم بوده و نشان دهنده کارایی مناسب الگوریتم می باشد. در مرحله بعد، مقایسه زمان حل مثال های مطرح شده با نرم افزار گمز و الگوریتم در نمودار شماره۴ انجام شده است که نشان دهنده زمان حل بسیار پایین تر الگوریتم نسبت به جواب گمز می باشد.



نمودار۴. مقایسه زمان حل با الگوریتم ژنتیک چندهدفه با جواب دقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ، چند مثال با داده های تصادفی در ابعاد بزرگ مطرح شده است که به‌وسیله الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای تعداد سی مرتبه انجام گردیده است (علت تکرار اجرای مسئله برای سی بار نرمال بودن جامعه می‌باشد). در این حالت بهترین جواب به دست آمده از حل مسئله با میانگین جواب‌ها مقایسه شده و در جدول شماره ۲۳ نمایش داده شده است. مقایسه انجام شده نشان می‌دهد که اختلاف بسیارکم است و درتابع هدف حداکثر ۲.۱۳ درصد می‌باشد که کارایی مناسب الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ مسئله را اثبات می‌نماید.

جدول ۲۳. بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ

تعداد مکان های تقاضا	تابع هدف اول			تابع هدف دوم			تابع هدف سوم			تابع هدف چهارم		
	بهترین جواب الگوریتم	میانگین جواب الگوریتم	انحراف	بهترین جواب الگوریتم	میانگین جواب الگوریتم	انحراف	بهترین جواب الگوریتم	میانگین جواب الگوریتم	انحراف	بهترین جواب الگوریتم	میانگین جواب الگوریتم	انحراف
۳۰	۱۱۵	۱۱۵/۵	۰/۴۳٪	۳۵۰	۳۴۹	۰/۲۹٪	۷۵۵	۷۵۸	۰/۴۰٪	۸۶۰	۸۶۵	۰/۵۸٪
۵۰	۱۲۵	۱۲۵/۹	۰/۷۲٪	۳۷۵	۳۷۲	۰/۸۱٪	۸۲۳	۸۳۰	۰/۸۵٪	۹۳۲	۹۴۰	۰/۸۶٪
۷۵	۲۵۰	۲۵۲/۵	۱/۰۰٪	۴۵۰	۴۴۵	۱/۱۲٪	۹۵۰	۹۶۰	۱/۰۵٪	۱۳۰۰	۱۳۱۵	۱/۱۵٪
۱۰۰	۳۱۰	۳۱۵	۱/۶۱٪	۵۷۵	۵۶۵	۱/۷۷٪	۱۱۰۰	۱۱۱۵	۱/۳۶٪	۱۴۱۲	۱۴۳۰	۱/۲۷٪
۱۲۵	۴۲۳	۴۳۲	۲/۱۳٪	۶۸۲	۶۶۸	۲/۱۰٪	۱۲۵۰	۱۲۷۰	۱/۶۰٪	۱۵۰۱	۱۵۳۰	۱/۹۳٪

ارائه الگوریتم شبیه سازی تبرید چند هدفه MOSA

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ، چند مثال با داده های تصادفی در ابعاد بزرگ مطرح شده است و به وسیله الگوریتم های NSGA II و الگوریتم شبیه سازی تبرید چند هدفه حل شده است. در این حالت میانگین جواب های پارتو اول به دست آمده از حل مسئله با

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

الگوریتم NSGA II با میانگین جواب های به دست آمده از الگوریتم MOSA مقایسه شده و در جدول شماره ۲۴ نمایش داده شده است. مقایسه انجام شده نشان میدهد که الگوریتم NSGA II در برخی موارد ۲.۵۷ درصد جواب بهتری را پیدا کرده است که نشان دهنده کارایی مناسب الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ می باشد.

جدول ۲۴. بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ

تعداد مکان های تقاضا	تابع هدف اول			تابع هدف دوم			تابع هدف سوم			تابع هدف چهارم		
	میانگین جواب الگوریتم NSGA II	میانگین جواب الگوریتم MOSA	انحراف	میانگین جواب الگوریتم NSGA II	میانگین جواب الگوریتم MOSA	انحراف	میانگین جواب الگوریتم NSGA II	میانگین جواب الگوریتم MOSA	انحراف	میانگین جواب الگوریتم NSGA II	میانگین جواب الگوریتم MOSA	انحراف
۳۰	۱۴۰	۵/۱۴۰	۰/۳۶٪	۳۸۷	۳۸۹	۰/۵۱٪	۸۰۰	۸۰۳	۰/۳۷٪	۹۲۵	۹۳۰	۰/۵۴٪
۵۰	۱۵۰	۹/۱۵۰	۰/۶۰٪	۴۱۲	۴۱۷	۱/۲۰٪	۸۶۸	۸۷۵	۰/۸۰٪	۹۹۷	۱۰۰۵	۰/۸۰٪
۷۵	۲۷۵	۵/۲۷۷	۰/۹۰٪	۴۸۷	۴۹۳	۱/۲۲٪	۹۹۵	۱۰۰۵	۱/۰۰٪	۱۳۶۵	۱۳۸۰	۱/۰۹٪
۱۰۰	۳۳۵	۳۴۰	۱/۴۷٪	۶۱۲	۶۲۰	۱/۲۹٪	۱۱۴۵	۱۱۶۰	۱/۲۹٪	۱۴۷۷	۱۴۹۵	۱/۲۰٪
۱۲۵	۴۴۸	۴۵۷	۱/۹۷٪	۷۱۹	۷۳۸	۲/۵۷٪	۱۲۹۵	۱۳۱۵	۱/۵۲٪	۱۵۶۶	۱۵۹۵	۱/۸۲٪

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

اجرای مدل برای منطقه کاشان، آران و بیدگل

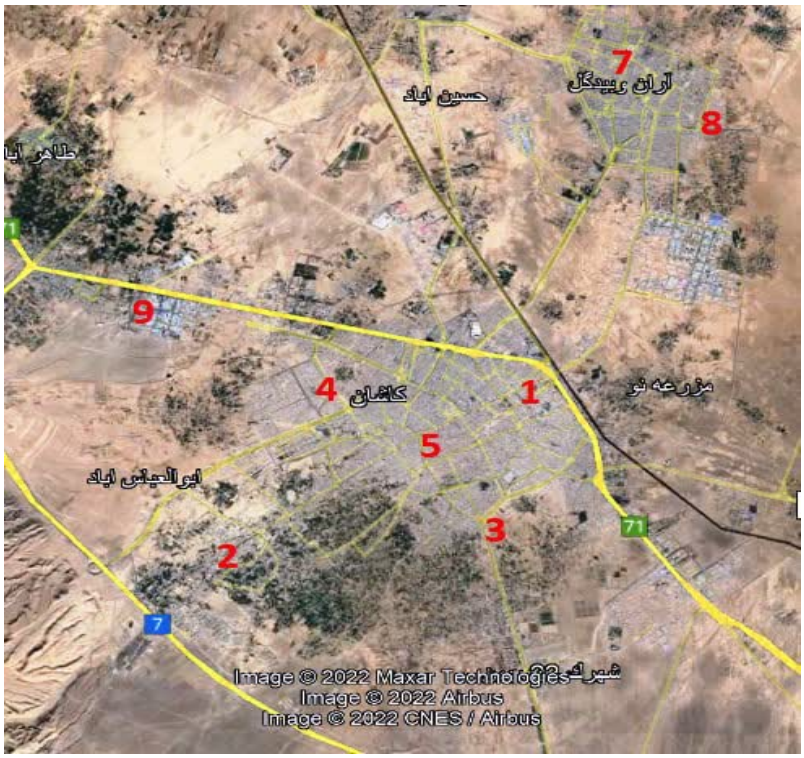
در این قسمت یک مطالعه موردی در خصوص احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه کاشان، آران و بیدگل مورد بررسی قرارگرفته است. این منطقه شامل دوازده منطقه تقاضا می‌باشد که شامل کاشان شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکز، مشکات، آران، بیدگل، راوند، اردهال، قمصر و برزک است.

جمعیت هر منطقه تقاضا در جدول شماره ۲۴ بیان شده است. برای احداث نیروگاه خورشیدی ۴ منطقه کاندید وجود دارد که فاصله این مناطق تا مرکز احداث در جدول شماره ۲۵ نشان داده شده است.

جدول ۲۵. جمعیت مناطق تقاضا

شماره منطقه	نام منطقه	جمعیت
۱	کاشان شمال	۶۸,۰۰۰
۲	کاشان جنوب	۴۷,۰۰۰
۳	کاشان شرق	۵۲,۰۰۰
۴	کاشان غرب	۶۰,۰۰۰
۵	کاشان مرکز	۴۵,۰۰۰
۶	قمصر	۱۲,۰۰۰
۷	آران	۷۰,۰۰۰
۸	بیدگل	۳۲,۰۰۰
۹	راوند	۱۰,۰۰۰
۱۰	برزک	۷۰,۰۰۰
۱۱	اردهال	۵,۵۰۰
۱۲	مشکات	۶,۵۰۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۷. مناطق تقاضای کاشان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۸. مناطق تقاضای آران و بیدگل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۹. مناطق کاندید برای احداث نیروگاه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول۲۶. فاصله بین مکان کاندید و مکان تقاضا

شماره منطقه	نام منطقه	منطقه۳	منطقه۱	منطقه۲	منطقه۴
۱	کاشان شمال	۳	۷	۱/۵	۱۰
۲	کاشان جنوب	۹	۹	۸/۵	۱۱
۳	کاشان شرق	۸/۵	۴	۶/۵	۱۴
۴	کاشان غرب	۷/۵	۹	۶	۹
۵	کاشان مرکز	۴/۵	۳/۵	۳	۱۲
۶	قمصر	۲۰	۲۰	۲۴	۳۵
۷	آران	۱۵	۱۸	۶	۱۱
۸	بیدگل	۱۴/۵	۱۷	۵	۱۲
۹	راوند	۵	۱۴	۱۱	۱/۵
۱۰	برزک	۳۵	۴۰	۴۲	۳۰
۱۱	اردهال	۳۲	۴۰	۴۳	۲۸
۱۲	مشکات	۳۰	۳۸	۴۰	۲۶

با توجه به مطالعات انجام شده، مصرف برق برای هر نفر ۳۰۰ کیلووات در ساعت بوده و هزینه گسترش خطوط برای هر متر ۲۰۰ هزار تومان برآورد شده است. با توجه به اطلاعات داده شده و داده‌های ورودی مسئله، وضعیت احداث نیروگاه های خورشیدی به شرح جدول شماره ۲۶ خواهد بود.

جدول۲۷. تعیین مناطق احداث شده

شماره منطقه کاندید	وضعیت
۱	رد
۲	احداث می شود
۳	احداث می شود
۴	رد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

همچنین با توجه به احداث منطقه کاندید دو و سه، مناطق تقاضا به شرح جدول شماره ۲۷ به نیروگاه‌های خورشیدی تخصیص داده می‌شود.

جدول۲۸. تخصیص مناطق مختلف به نیروگاه‌ها

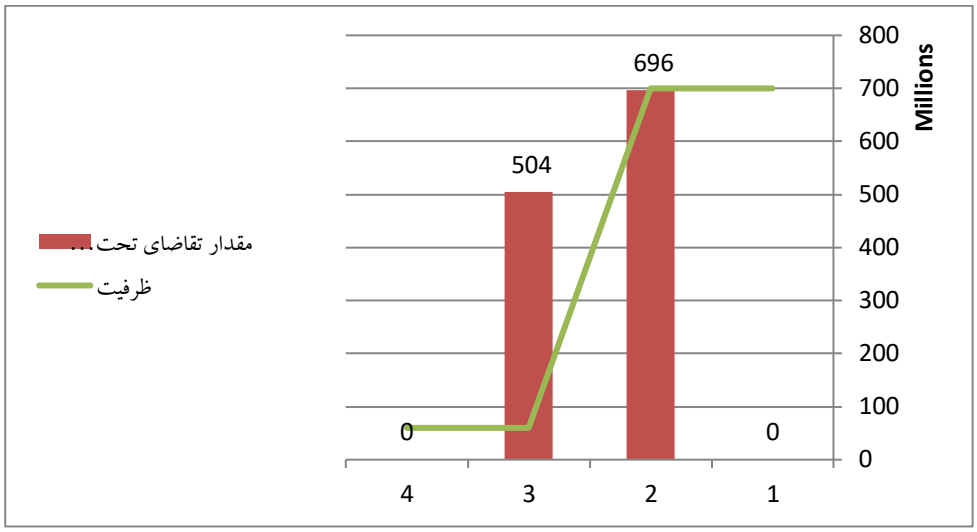
نام منطقه	نیروگاه تخصیص داده شده
کاشان شمال	۲
کاشان جنوب	۳
کاشان شرق	۲
کاشان غرب	۳
کاشان مرکز	۳
قمصر	۳
آران	۲
بیدگل	۲
راوند	۲
برزک	-
اردهال	-
مشکات	-

یکی از محدودیت‌های مسئله، وجود ظرفیت برای نیروگاه‌های خورشیدی است که این محدودیت در جدول شماره ۲۸ بررسی شده است.

جدول۲۹. بررسی محدودیت ظرفیت نیروگاه‌ها

شماره نیروگاه	مقدار تقاضای تحت پوشش	ظرفیت
۲	۶۹۶,۰۰۰,۰۰۰	۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	۵۰۴,۰۰۰,۰۰۰	۶۰,۰۰۰,۰۰۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



نمودار۵. محدودیت ظرفیت نیروگاه‌ها

۵.نتیجه گیری

در این پژوهش یک مسئله بهینه سازی چندهدفه برای مکان یابی تخصیص احداث نیروگاه های خورشیدی ارائه شد که چهار هدف اقتصادی، زیست محیطی، قابلیت اطمینان و اجتماعی را دنبال می نماید. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش های پیشین، تفاوت در طراحی مدل بهینه سازی چندهدفه است که با توجه به بیان مشکل مسئله در مدل ریاضی به تعریف مجموعه ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم گیری، اهداف و محدودیت های آن پرداخته شد و همچنین تفاوت در روش حل مسئله که به دو روش حل دقیق و تقریبی اثبات صحت مدل ریاضی مورد بررسی قرارگرفت. به منظور بررسی مدل ارائه شده توسط نرم افزارگمز، با توجه به این که تمامی ویژگی ها و محدودیت های مسئله رعایت و مقدار تابع هدف درست محاسبه شده است، کارایی مدل ریاضی به اثبات رسید. برای اثبات پیچیده بودن مسئله، مثال های مختلف و تصادفی ارائه شد که در نتیجه با توجه به پیچیدگی مسئله مورد بررسی از الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای حل مدل استفاده گردید. سپس با ارائه مثال های تصادفی، کارایی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد کوچک و بزرگ بررسی گردید. با توجه به اختلاف کم بین میانگین جواب

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

های الگوریتم ژنتیک چندهدفه در مقایسه با جواب حاصل از نرم افزار گمز، ثابت گردید که الگوریتم ژنتیک چندهدفه ارائه شده در ابعاد کوچک و بزرگ دارای کارایی مناسبی است. همچنین مدل مسئله را با الگوریتم شبیه سازی تبرید چندهدفهMOSA حل نموده و نتایج بدست آمده از آن را با نتایج الگوریتم NSGA II مقایسه نموده که نشان دهنده کارایی مناسب الگوریتم ژنتیک چندهدفه در ابعاد بزرگ می باشد. نتایج پژوهش حاضر می تواند مورد استفاده سندیکای شرکت های تولیدکننده برق به منظور مکان یابی بهینه در احداث نیروگاه ها باشد تا در نهایت بتوان بر اساس آن بهترین مکان بهینه برای احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی انتخاب شود تا هم سود بیشتری کسب شده و هم در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی سهیم باشیم. در تحقیقات آتی برای حل مسئله میتوان از الگوریتم فراابتکاری دیگری استفاده کرد و داده های موجود در مسئله می تواند قطعی نباشد، به طور مثال می تواند فازی و یا احتمالی باشد.

٦.منابع

[۱] قربانخانی احمد، مروتی شریف‌آبادی علی، میرغفوری سید حبیب‌الله، میرفخرالدینی سید حیدر. (۱۴۰۰). طراحی مدل احتمالاتی زنجیره تأمین پایدار در صنعت برق با نفوذ تولیدات تجدیدپذیر. پژوهش های مدیریت منابع سازمانی; ۱۱ (۱) :۱۲۸-۱۰۵

[۲] روزنامه دنیای اقتصاد. ۱۴۰۰. https://www.donya-e-eqtesad.com/fa/tiny/news-۳۸۰۸۹۸۹

[۳] Vance, L., Cabezas, H., Heckl, I., Bertok, B., & Friedler, F. (۲۰۱۳). Synthesis of sustainable energy supply chain by the P-graph framework. Industrial & Engineering Chemistry Research, ٥٢(١) ٢٦٦-٢٧٤.

[٤] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Rastegar, S. (٢٠١٧). Green and resilient design of electricity supply chain networks: a multiobjective robust optimization approach. IEEE Transactions on Engineering Management, ٦٦(١), ٥٢-٧٢.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

[۵] Qu, B., & Lu, L. (۲۰۱۱, October). Optimization model for electric power supply chain operation based on system engineering. In ۲۰۱۱ International Conference on System science, Engineering design and Manufacturing informatization (Vol. ۲, pp. ۷۷-۸۰). IEEE.

[٦] Osmani, A., & Zhang, J. (۲۰۱٤). Optimal grid design and logistic planning for wind and biomass based renewable electricity supply chains under uncertainties. Energy, ۷۰, ٥١٤-٥٢٨.

[۷] Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Shahbazbegian, V. (۲۰۲۰). Innovative strategy to design a mixed resilient-sustainable electricity supply chain network under uncertainty. Applied Energy, ۲۸۰, ۱۱٥۹۲۱.

[۸] خلیل پور تیلمی, نوید, رضائیان, & مهدوی. (۲۰۱۸). بهینه‌سازی چند هدفه برای تامین تقاضای برق با استفاده از زمانبندی منابع تجدیدپذیر و منابع معمول. نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران, ۷(۱), ۱۰۲-۱۱۳.

[۹] باقری, زارع علی آبادی, & انضباطی. (۲۰۱۹). بررسی تاثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر در تامین تقاضای شبکه‌ی برق با ارائه‌ی یک مدل ریاضی دو هدفه. دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو, ۶(۱), ۴۶-۳۸.

[۱۰] Tan, Q., Wang, T., Zhang, Y., Miao, X., & Zhu, J. (۲۰۱۷). Nonlinear multi-objective optimization model for a biomass direct-fired power generation supply chain using a case study in China. Energy, ۱۳۹, ۱۰٦٦-۱۰۷۹.

[۱۱] Tsao, Y. C., Thanh, V. V., & Lu, J. C. (۲۰۱۹). Multiobjective robust fuzzy stochastic approach for sustainable smart grid design. Energy, ۱۷٦, ۹۲۹-۹۳۹.

[۱۲] نجابت خواه, فرزام, حسینی, & دانیالی. (۲۰۱۲). بهسازی مصرف انرژی الکتریکی: چالش ها و راهکارها. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران, ۱(۱), ۳۸-۴۵.

[۱۳] دانشوری, سلاطین, پروانه, & خلیل زاده. (۲۰۲۰). تاثیر انرژی های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۱(۱۲), ۱۶۵-۱۷۹.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]