



سال دوم، شماره ۳ (پیاپی ۶)، پاییز ۱۳۹۸
ISSN: 2645-4394

بهینه سازی مسئله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن
محدودیت‌های عملیاتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک
سلیمان رحیمی، سیامک شیخ‌ها، سید وحید دولت آبادی

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری برای مسئله کار کارگاهی
منعطف با اهداف متناقض با منابع دوگانه محدود انسان و
ماشین
زهرا مقدم زرنندی، مهدی یزدانی

برون سپاری موثر در یک لجستیک معکوس
شیما سادات شریفیان، علیرضا رشیدی کمیجان

ارائه رویکردی ترکیبی جهت تعیین ساختار بهینه در
شبکه‌های عصبی مصنوعی
محسن صادق عمل نیک، ناصر حبیبی‌فر



فصلنامه پژوهشهای کاربردی در مهندسی صنایع
سال دوم، شماره ۳ (پیاپی ۶)، پاییز ۱۳۹۸
ISSN: 2645-4394

صاحب امتیاز: گلناز السادات صباغیان

مدیر مسئول: منیژه ملائی

زیر نظر شواری سردبیری

اعضای شواری علمی نشریه:

دکتر سیامک حاجی یخچالی، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر محمدمهدی نصیری خونساری، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر فرزاد فیروزی جهاننیک، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر علی سلماش نیا، عضو هیئت علمی دانشگاه قم

دکتر رضا سمیع زاده، عضو هیئت علمی دانشگاه الزهرا

دکتر حسین کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه بجنورد

دکتر علی چراغعلی خانی، عضو هیئت علمی دانشگاه تفرش

دکتر مجتبی مرادی، عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان

دکتر ارد احمدی، عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹



۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی
تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸،
پلاک ۲۹۳ تلفن: ۰۲۱ ۳۳ ۸۴۰۷۹۲



فراخوان پذیرش مقاله

حیات اقتصادی سازمان‌ها، مؤسسات تولیدی و خدمات در بازار رقابتی شدید جهانی به استفاده بهینه از منابع در دسترس وابسته است. مهندسی صنایع ابزار لازم برای حصول اهداف سازمانی را به طور فراگیر و سامان‌مند فراهم می‌آورد و این نشانگر نقش و اهمیت بالای مهندسی صنایع به عنوان موتور محرک حرکت سازمان‌های امروزی است. دانایی یکی از محورها و شاخص‌های اصلی پیشرفت و تعالی هر جامعه به شمار می‌رود. سنجش سطح دانایی به میزان تولید و مصرف اطلاعات و گسترش دانایی به دسترسی سریع و آسان به منابع علمی موثق وابسته است. بنابراین، منبع اصلی تولید اطلاعات و دانش جدید در واقع حاصل فعالیت‌های پژوهشی است که انجام می‌گیرد. تغییر و تحول به طور پیوسته و مستمر در روش زندگی انسان‌ها، سازمان‌ها، جوامع و اجتماعات بشری امر بدیهی بوده و مختص نقطه خاصی از جهان نیست. توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است.

موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی باهدف معرفی پژوهش‌های مهندسی صنایع و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع را منتشر می‌کند. تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان محترم مهندسی صنایع، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.ARIEN.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع:

- بهینه‌سازی سیستم‌ها
- مدیریت نوآوری و فناوری
- سیستم‌های سلامت
- سیستم‌های کلان
- آینده‌پژوهی
- سیستم‌های مالی
- لجستیک و زنجیره تأمین
- مدیریت پروژه
- مدیریت مهندسی
- مطالعات میان‌رشته‌ای در مهندسی صنایع

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	بهینه سازی مسئله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت های عملیاتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک سلمان رحیمی، سیامک شیخ ها، سید وحید دولت آبادی
۷	ارائه یک الگوریتم فراابتکاری برای مسئله کار کارگاهی منعطف با اهداف متناقض با منابع دوگانه محدود انسان و ماشین زهره مقدم زرنندی، مهدی یزدانی
۱۵	برون سپاری موثر در یک لجستیک معکوس شیماداد شریفیان، علیرضا رشیدی کمیجان
۲۵	ارائه رویکردی ترکیبی جهت تعیین ساختار بهینه در شبکه های عصبی مصنوعی محسن صادق عمل نیک، ناصر حبیبی فر

بهینه‌سازی مسئله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های عملیاتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۵

کد مقاله: ۱۳۶۴۸

سلیمان رحیمی^۱، سیامک شیخ‌ها^۲، سید وحید دولت‌آبادی^۳

چکیده

تولید انرژی الکتریکی برای سیستم‌های قدرت باهدف کمینه‌سازی کل هزینه تولیدی برای واحدهای فعال موجود در شبکه قدرت از مهم‌ترین مباحث برای دستگاه‌های مدرن امروزی است. به بیانی دیگر هدف از پخش بار اقتصادی برنامه‌ریزی بهینه و مناسب برای واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن عوامل و محدودیت‌های غیرخطی موجود در شبکه قدرت و واحدهای تولیدی است. در این مقاله مسئله پخش بار اقتصادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های غیرخطی از جمله تلفات شبکه انتقال، تأثیر شیر ورودی بخار بر تابع هزینه تولیدی، توازن تولید و مصرف در سیستم، حدود تولید و نرخ‌های افزایشی و کاهش‌ی به یک مسئله بهینه‌سازی تبدیل‌شده و در نهایت با روش الگوریتم ژنتیک بر روی سیستم نمونه‌ای با ۱۳ نیروگاه، برای ۱۰ تقاضای مختلف با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده است.

واژگان کلیدی: پخش بار اقتصادی، بهینه‌سازی تابع هزینه ناصاف، الگوریتم ژنتیک

۱- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد-دانشگاه خوارزمی؛ salmanrahimi111@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی؛ siamaksheykha@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه خوارزمی؛ kian.dolat@gmail.com

۱- مقدمه

تولید انرژی الکتریکی برای سیستم های قدرت باهدف کمینه سازی کل هزینه تولیدی برای واحدهای فعال موجود در شبکه قدرت، از مهم ترین مباحث برای دستگاه های مدرن امروزی است. به بیانی دیگر هدف از توزیع بار اقتصادی (ED) تخصیص تقاضا بین واحدهای مشارکت کننده و از پیش تعیین شده با شرط حداقل نمودن هزینه سوخت است. بهره برداری اقتصادی برای یک سیستم قدرت از نظر برگشت سود سرمایه گذاری انجام شده بسیار مهم است. نرخ های تعیین شده به وسیله ارگان های دولتی و اهمیت صرفه جویی در سوخت شرکت های برق را جهت حصول حداکثر بازدهی ممکن، تحت فشار قرار می دهد.

روش های محاسباتی و تکنیک های بهینه سازی مختلفی مانند ضرایب لاگرانژ و روش گرادیان و... برای حل مسئله توزیع اقتصادی بار استفاده شده است اما این روش ها زمانی که توابع هزینه غیرخطی باشند، مناسب نیستند. یکی از محدودیت های عملی مسئله توزیع اقتصادی بار، در نظر گرفتن فرم واقعی تابع هزینه است. در واقعیت تابع هزینه یک واحد نیروگاهی فقط یک تابع درجه دو نیست، بلکه یک منحنی ناصاف است لذا در برخی مسائل رسیدن به جواب بهینه بسیار مشکل خواهد بود که راه حل پیشنهادی ما برای چنین مسائلی استفاده از الگوریتم های هوشمند است. با استفاده از الگوریتم های هوشمندی مانند بهینه سازی اجتماع ذرات، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل و... و با بهره گیری از کامپیوترهای امروزی می توان به پاسخ بهینه مسئله توزیع اقتصادی بار دست یافت.

برای حل مسئله غیرخطی پخش بار اقتصادی از روش های تکرار λ و کاهش گرادیان استفاده می شد که دارای دقت بسیار پایین و زمان اجرای طولانی بودند. (ولن-برگ) به دلیل وجود این مشکلات برای یافتن نقطه بهینه از روش برنامه ریزی دینامیکی استفاده گردید که این روش باعث افزایش بعد مسئله شده که بالتبع رسیدن به نقطه بهینه را مشکل تر می ساخت (والترز و شبلز ۱۹۹۳). با استفاده از روش شبکه های عصبی بازدهی عددی زیاد و در نتیجه محاسبات زیاد مورد نیاز بود (باکیرتیتس و همکاران ۱۹۹۴). با توجه به وجود محاسبات زیاد از روش الگوریتم ژنتیک (GA) برای پخش بار اقتصادی استفاده شد که از آن روش نتایج خوبی به دست آمد ولی زمان اجرای آن طولانی تر بود (خامساوونگ و همکاران ۲۰۰۲). روش دیگری که در زمینه ی بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفت، روش جست و جوی تابو بود (پارک و همکاران ۲۰۰۵). این روش، سرعت بالایی دارد ولی دقت آن با گذشت زمان افزایش نمی یابد.

یک روش جدید بهینه سازی توابع هزینه الگوریتم PSO نام دارد که در موارد زیادی برای حل مسائل ED مورد استفاده قرار گرفته است. (کومار و همکاران ۲۰۰۳)، (جیانگ ۲۰۰۳) و (پانچولی و سوارپ ۲۰۰۳). از روش برنامه ریزی خطی پارامتریک هم برای حل این مسئله استفاده شده است (جایو و شبلز). (حسن منصف) به حل مسئله در مدار قرار گرفتن واحدهای نیروگاهی با استفاده از الگوریتم مورچگان پرداخته است.

۲- بیان مسئله

توزیع اقتصادی بار، روشی با بیشترین کارآمدی، کمترین هزینه و بهره برداری قابل اطمینان یک سیستم قدرت را به وسیله پخش مناسب منابع تولید انرژی برای تأمین بار سیستم تعیین می کند. هدف اولیه آن به حداقل رساندن هزینه کل تولید با در نظر گرفتن محدودیت های بهره برداری منابع تولید است. مسئله توزیع اقتصادی بار مقدار بار را برای نیروگاه ها به منظور کم کردن هزینه ها معین می کند. فرمول بندی آن نیز به عنوان یک مسئله بهینه سازی برای به حداقل رساندن هزینه کلی سوخت مجموع نیروگاه هایی که بار و تلفات را تأمین می کنند، ارائه می شود. بنابراین مسئله توزیع اقتصادی بار می تواند با تابع هدف زیر بیان شود:

$$F_{cost} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots F_n \quad (1)$$

$$\text{Minimize } F_{cost} = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2) \quad (2)$$

که در آن F_{cost} هزینه سوخت کل نیروگاه ها بوده و a_i و b_i و c_i نیز ضرایب هزینه ای واحد نیروگاهی i ام و n تعداد نیروگاه های سوخت فسیلی است. در پخش بار اقتصادی با تغییر میزان توان تولیدی نیروگاه ها به گونه ای عمل می شود که تابع هزینه ارائه شده به صورت (هزینه سوخت مصرفی) مینیمم شود. از طرفی معمولاً در پخش بار اقتصادی معمولاً تابع هزینه به صورت درجه ۲ نیست، بلکه دارای نقاط زانویی مشتق ناپذیر است. به منظور نمایش این خاصیت، تابع هزینه یک نیروگاه حاصل جمع دو قسمت در نظر گرفته می شود. قسمت اول یک تابع هزینه درجه ۲ و قسمت دوم نیز قدر مطلق یک تابع سینوسی است. این تابع هزینه به صورت زیر ارائه می شود:

$$F_i(P_i) = (a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2 + |e_i \sin(f_i \cdot (P_{i.min} - P_i))|) \quad (3)$$

که در آن، f_i و e_i ضرایب بازگشت نقاط زانویی می باشد.

۳- قیود مسئله

برای افزایش دقت در حل مسئله پخش بار اقتصادی، باید قیود زیر را نیز لحاظ نمود.

۳-۱- شرط برابری تولید و مصرف با در نظر گرفتن تلفات

شبکه انتقال دارای n واحد تولید را در نظر بگیرید که نیروگاه‌های آن به وسیله خطوط انتقال به همدیگر و به مصرف‌کننده متصل می‌شوند. همان‌گونه که می‌دانید این خطوط انتقال دارای تلفات می‌باشند. اگر تلفات حاصل از انتقال توان در سیستم در نظر گرفته نشود، حل مسئله پخش بار اقتصادی با مساوی قرار دادن مجموع میزان تولید نیروگاه‌ها با مقدار بار اقتصادی با مساوی قرار دادن مجموع میزان تولید نیروگاه‌ها با مقدار بار مصرفی شبکه صورت می‌گیرد که این فرض خلاف واقعیت است. پس به منظور در نظر گرفتن شرایط واقعی در سیستم قدرت باید میزان تلفات انتقال توان را نیز در مسئله وارد نمود. در این صورت مجموع توان تولید نیروگاه‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\sum_{i=1}^n P = P_D + P_L \quad (۴)$$

که مقدار P_L در به صورت زیر به دست می‌آید.

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} \cdot P_i + B_{00} \quad (۵)$$

که در آن، ضرایب B_{ij} و B_{0i} و B_{00} ضرایب تابع تلفات خطوط انتقال و P_D توان مصرفی سیستم و P_L توان تلفاتی خطوط انتقال است. در این حالت مسئله بهینه‌سازی تغییر می‌نماید که مقادیر B_{ij} و B_{0i} و B_{00} در محاسبه نقاط بهینه مؤثر می‌شوند.

۳-۲- محدودیت‌های تولید ژنراتور

این محدودیت به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (۶)$$

که $P_{i,min}$ و $P_{i,max}$ حداقل و حداکثر مجاز تولید توان در ژنراتور i ام است.

۳-۳- اعمال محدودیت حداکثر افزایش و کاهش تولید در یک ساعت

در شرایط واقعی مشاهده می‌شود که مقدار تغییر تولید در هر ساعت نسبت به ساعت قبل، دارای محدودیت است. در این صورت محدودیتی به جز محدودیت‌های مناطق ممنوعه تولید و یا حداکثر یا حداقل تولید در سیستم به وجود می‌آید. با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها شرایط مسئله به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌شود. این شرایط را می‌توان در روابط زیر مشاهده نمود.

$$P_i + P_i^0 \leq DR_i \quad (۷)$$

$$P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad (۸)$$

که در آن UR_i حداکثر افزایش تولید نسبت به تولید ساعت قبل و DR_i نیز حداکثر مقدار کاهش توان تولیدی یک نیروگاه نسبت به توان تولیدی در ساعت قبل است. در این روابط P_i^0 مقدار تولید نیروگاه i ام در ساعت قبل است. شرط استفاده از روابط مذکور استفاده هم‌زمان از این محدودیت‌ها و سایر قیود است.

۴- بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

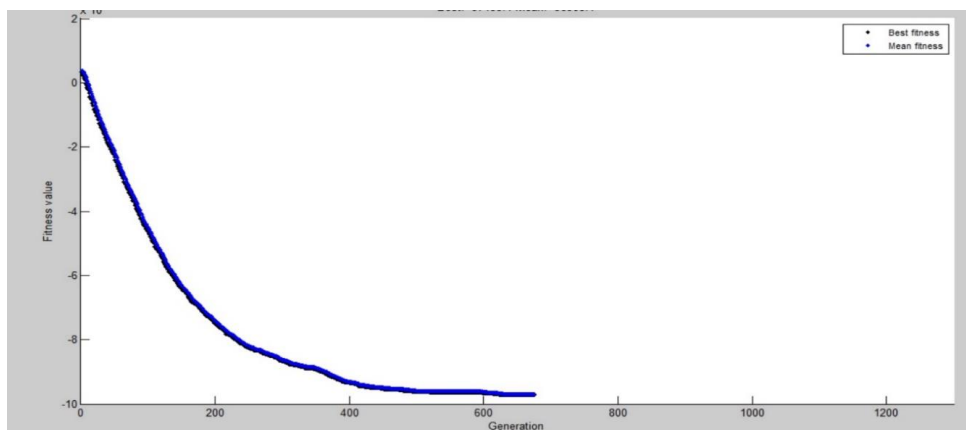
الگوریتم ژنتیک فن جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. الگوریتم‌های ژنتیک معمولاً به عنوان یک شبیه‌ساز کامپیوتر که در آن جمعیت یک نمونه‌ی انتزاعی (کروموزوم‌ها) از نامزدهای راه‌حل یک مسئله بهینه‌سازی به راه‌حل بهتری منجر شود، پیاده‌سازی می‌شوند. به طور سنتی راه‌حل‌ها به شکل رشته‌هایی از ۰ و ۱ بودند، اما امروزه به گونه‌های دیگری هم پیاده‌سازی شده‌اند. فرضیه با جمعیتی کاملاً تصادفی منحصر به فرد آغاز می‌شود و در نسل‌ها ادامه می‌یابد. در هر نسل گنجایش تمام جمعیت ارزیابی می‌شود، چندین فرد منحصر در فرایندی تصادفی از نسل جاری انتخاب می‌شوند (بر اساس شایستگی‌ها) و برای شکل دادن نسل جدید، اصلاح می‌شوند (کسر یا دوباره ترکیب می‌شوند) و در تکرار بعدی الگوریتم به نسل جاری تبدیل می‌شود.

۵- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر روی سیستم نمونه‌ای با ۱۳ واحد نیروگاهی (اطلاعات مربوط به آن در پیوست آورده شده) برای ۱۰ تقاضای مختلف با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده که نتایج آن در جدول ۱ و مسیر بهینه در نمودار ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج حاصل از شبیه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

ردیف	تقاضا / ظرفیت	۱۰۰۰	۱۱۵۰	۱۳۰۰	۱۵۰۰	۱۷۰۰	۱۹۰۰	۲۱۰۰	۲۳۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰
۱	P1	۳۲۰	۳۲۶٫۴۱	۳۵۹٫۰۴	۳۵۹٫۰۴	۳۵۹٫۰۴	۳۵۹٫۰۴	۳۵۹٫۰۲	۳۵۹٫۰۴	۳۵۹٫۰۸	۴۷۵٫۳۱
۲	P2	۱۲۰	۱۴۹٫۶	۱۴۹٫۶۰	۱۲۹٫۵۲	۱۵۲٫۴۸	۱۴۹٫۶۰	۲۲۴٫۴۰	۲۲۴٫۴۷	۲۳۲٫۸۵	۳۲۰
۳	P3	۰	۷۴٫۸۱	۷۴٫۸	۷۰٫۵۲	۲۲۴٫۴۴	۱۴۹٫۶۰	۱۴۹٫۵۰	۱۸۶٫۲۵	۲۳۴٫۱۹	۲۳۴٫۸۸
۴	P4	۶۰	۶۰٫۱۵۵	۶۰٫۱۱	۱۰۸٫۵۲	۱۰۹٫۸۷	۱۵۹٫۷۳	۱۵۹٫۷۲	۱۹۹٫۹۹	۱۹۹٫۹۹	۱۹۹٫۹۱
۵	P5	۶۰	۶۰٫۴۸	۹۰٫۸۸	۱۰۹٫۸۵	۱۰۹٫۸۷	۱۰۹٫۸۶	۱۵۹٫۷۱	۱۵۹٫۷۳	۲۰۰	۱۹۹٫۹۱
۶	P6	۶۰	۶۰٫۴۷	۸۳٫۲۳	۱۰۹٫۸۵	۱۰۹٫۹۵	۱۵۹٫۷۳	۱۵۹٫۷۲	۱۵۹٫۷۴	۱۹۹٫۹۹	۱۹۹٫۹۹
۷	P7	۶۰	۶۰٫۲۰	۶۰٫۰۷	۱۰۵٫۴۷	۱۰۹٫۹۰	۱۰۹٫۸۷	۱۵۹٫۶۷	۱۹۹٫۸۴	۱۹۹٫۹۹	۲۰۰۰
۸	P8	۶۰	۶۰٫۰۵	۶۰٫۰۱	۱۰۹٫۷۲	۱۰۹٫۸۹	۱۵۹٫۷۳	۱۵۹٫۷۲	۱۵۹٫۷۳	۱۹۴٫۹۹	۱۹۴٫۹۲
۹	P9	۶۰	۶۰٫۰۹۴	۶۰٫۰۳	۱۰۲٫۷۸	۱۰۹٫۸۷	۱۲۸٫۴۳	۱۵۹٫۷۲	۱۸۱٫۷۷	۱۹۹٫۹۷	۱۹۹٫۹۹
۱۰	P10	۵۰	۷۷٫۴۰	۷۷٫۴۰	۷۵٫۰۷	۷۷٫۵۲	۱۱۴٫۸۰	۱۱۲٫۵۱	۱۱۴٫۸۰	۱۱۸٫۹۶	۱۱۵٫۲۰
۱۱	P11	۴۰	۴۰٫۱۹	۷۷٫۴۰	۷۴٫۲۳	۷۷٫۶۸	۱۱۴٫۸۰	۱۱۴٫۳۸	۱۱۴٫۸۰	۱۱۹٫۹۹	۱۱۹٫۹۸
۱۲	P12	۵۵	۵۵٫۰۳	۹۲٫۴۰	۵۵٫۰۰	۹۲٫۴۰	۹۲٫۴۰	۹۱٫۸۰	۱۱۹٫۹۶	۱۱۹٫۹۹	۱۱۹٫۹۲
۱۳	P13	۵۵	۵۵٫۰۸	۵۵٫۰۲	۹۰٫۴۲	۵۷٫۰۶	۹۲٫۴۰	۹۰٫۱۲	۱۱۹٫۸۸	۱۱۹٫۹۹	۱۱۹٫۹۹
مقدار بهینه تابع		۱۱۷۹۲	۱۲۷۱۴	۱۴۰۵۸	۱۵۷۳۴	۱۷۰۷۲	۱۸۹۲۲	۲۰۵۰۴	۲۲۸۷۶	۲۴۸۵۰	۲۶۸۱۹



نمودار ۱: مسیر بهینه تابع هدف

نتیجه گیری

در این مقاله، مسئله بهینه‌سازی پخش بار اقتصادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده که هدف از انجام این مطالعه تشخیص میزان تولید توسط هر نیروگاه است به‌طوری‌که مجموع هزینه‌ها کمینه شود. برای این منظور در مسئله پخش بار، محدودیت‌های غیرخطی از جمله تلفات شبکه انتقال، تأثیر شیر ورودی بخار بر تابع هزینه تولیدی توازن تولید و مصرف در سیستم، حدود تولید و نرخ‌های افزایشی و کاهشی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک برای شبیه‌سازی ۱۰ تقاضای مختلف به‌خوبی عمل کرده است.

منابع

- ولن برگ، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت، ترجمه حسین سیفی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۸۴.
- حسن منصف- ورود و خروج واحدهای تولید انرژی در سیستم قدرت تجدید ساختار یافته با استفاده از الگوریتم مورچگان- سیستمین کنفرانس بین‌المللی برق
- D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Trans. Power System*, vol. 8, no. 3, pp. 1325-1332, Aug. 1993.
- Bakirtzis, V. Petridis, and S. Kazarlis, "Genetic algorithmsolution to the economic dispatch problem," *IEE Proceedings Inst. Elect. Eng. -Gen., Trans. Dist.*, vol. 141, no. 4, pp. 377-382, Jul. 1994.
- S. Khamsawang, C. Boonseng, and S. Pothiya, "Solving the economic dispatch problem with Tabu search algorithm," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial فناوری*, vol. 1, pp. 274-278, Dec. 2002.
- J. B. Park, K. S. Lee, J. R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 34-42, Feb. 2005.
- I. S. Kumar, K. Dhanushkodi1, J. Kumar, and C. K. C. Paul, "Particle swarm optimization solution to emission and economic dispatch problem," in *Proc. Conf. on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*, vol. 1, pp. 435-439, Oct. 2003.
- I. S. Kumar, K. Dhanushkodi1, J. Kumar, and C. K. C. Paul, "Particle swarm optimization solution to emission and economic dispatch problem," in *Proc. Conf. on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*, vol. 1, pp. 435-439, Oct. 2003.
- Z. L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Trans. On Power System*, vol. 18, no. 3, pp. 1187-1195, Aug. 2003.
- R. K. Pancholi and K. S. Swarup, "Particle swarm optimization for security constrained economic dispatch," in *Proc. Conf. on Intelligent Sensing and Information Processing, ICISIP '04*, pp. 7-12, 2004.
- Feng Gao ,Gerald B. Sheble "Optimal bidding strategy for GENCOs based on parametric linear programming considering incomplete information"

پیوست:

اطلاعات اولیه ۱۳ نیروگاه در جدول زیر آمده است.

جدول ۱- پیوست- اطلاعات اولیه ۱۳ نیروگاه

Unit	P_{min}	P_{max}	a_i	b_i	c_i	e_i	f_i	α_i	β_i	γ_i	P_i^0	UR_i	DR_i
1	0	680	550	8.1	0.00028	300	0.035	75.303	-5.763	.09	400	120	80
2	0	360	309	8.1	0.00056	200	0.042	63	-5.46	.093	200	120	80
3	0	360	307	8.1	0.00056	200	0.042	63	-5.46	.093	105	120	130
4	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	100	120	130
5	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	90	120	80
6	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	140	120	80
7	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	140	120	80
8	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	95	100	65
9	60	200	240	7.74	0.00324	150	0.063	72	-5.43	.054	105	100	60
10	40	120	126	8.6	0.00284	100	0.084	69	-4.2	.045	110	80	60
11	40	120	126	8.6	0.00284	100	0.084	69	-4.2	.045	60	80	80
12	55	120	126	8.6	0.00284	100	0.084	69	-4.2	.045	70	80	80
13	55	120	126	8.6	0.00284	100	0.084	69	-4.2	.045	75	80	80

ضرایب مربوط به تابع تلفات شبکه با ۱۳ واحد نیروگاهی:

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} .14 & .12 & .07 & -.1 & -.03 & -.01 & -.01 & -.01 & -.03 & .05 & -.03 & -.02 & .04; \\ .12 & .15 & .13 & .0 & -.05 & -.02 & 0 & .01 & -.02 & -.04 & -.04 & 0 & .04; \\ .07 & .13 & .76 & -.01 & -.13 & -.09 & -.01 & 0 & -.08 & -.12 & -.17 & 0 & -.26; \\ -.01 & 0 & -.01 & .34 & -.07 & -.04 & .11 & .5 & .29 & .32 & -.11 & 0 & .01; \\ -.03 & -.05 & -.13 & -.07 & .9 & .14 & -.03 & -.12 & -.1 & -.13 & .07 & -.02 & -.02; \\ -.01 & -.02 & -.09 & -.04 & .14 & .16 & .0 & -.06 & -.05 & -.08 & .11 & -.01 & -.02; \\ -.01 & 0 & -.01 & .11 & -.03 & .0 & .15 & .17 & .15 & .09 & -.05 & .07 & 0; \\ -.01 & .01 & 0 & .05 & -.12 & -.06 & .17 & 1.68 & .82 & .79 & -.23 & -.36 & .01; \\ -.03 & -.02 & -.08 & .29 & -.1 & -.05 & .15 & .82 & 1.29 & 1.16 & -.21 & -.25 & .07; \\ .05 & -.04 & -.12 & -.23 & .13 & -.08 & .09 & .79 & 1.16 & 2 & -.27 & -.34 & .09; \\ -.03 & -.04 & -.17 & -.11 & .07 & .11 & -.05 & -.23 & -.21 & -.27 & 1.4 & .01 & .04; \\ -.02 & 0 & 0 & 0 & -.02 & -.01 & .07 & -.36 & -.25 & -.34 & .01 & .54 & -.01; \\ .04 & .04 & -.26 & .01 & .02 & .0 & .01 & .01 & .07 & .09 & .04 & -.01 & 1.03 \end{bmatrix} * 0.00002;$$

$$B_{0i} = [0.01 \ 0.02 \ 0.28 \ 0.01 \ 0.01 \ 0.03 \ 0.02 \ 0.02 \ 0.06 \ 0.39 \ 0.17 \ 0 \ 0.32] * 0.0001;$$

$$B_{00} = 0.55;$$

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری برای مسئله کار کارگاهی منعطف با اهداف متناقض با منابع دوگانه محدود انسان و ماشین

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۹

کد مقاله: ۳۱۶۸۱

زهرا مقدم زرنندی^۱، مهدی یزدانی^۲

چکیده

زمان‌بندی کار کارگاهی منعطف با منابع دوگانه محدود انسان و ماشین یکی از مسائل مهم در محیط‌های تولیدی و صنعتی می‌باشد که در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این مسئله Np-Hard شامل دو بخش تخصصی و سپس تعیین توالی مرتبط است. در این مقاله دو الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر مبتنی بر رویکرد پارتو را برای حل این مسئله جهت کمینه‌سازی حداکثر زمان تکمیل کارها و کمینه‌سازی میانگین مجموع زمان دیرکرد کارها توسعه داده ایم. سپس برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده ۱۲ مسئله طراحی کرده و ۳ شاخص عملکرد پرکاربرد و موثر را برای این مسائل محاسبه کرده ایم. همچنین جهت مقایسه الگوریتم‌ها از نقطه نظر آماری نیز از آزمون ناپارامتریک من-ویتنی بهره گرفته ایم.

واژگان کلیدی: زمان‌بندی، کار کارگاهی منعطف، منابع دوگانه محدود، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران؛ Zahra.moghaddam91@gmail.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران؛ mehdi_yazdani2007@yahoo.com

۱- مقدمه

زمان‌بندی به عنوان یکی از شاخص‌ترین مباحثی است که در برنامه‌ریزی تولید همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است. زمان‌بندی در سه حوزه ماشین، نیروی انسانی و پروژه با توجه به اهداف مختلفی که اکثراً با یکدیگر در تناقض هستند، صورت می‌گیرد.

مسئله کار کارگاهی منعطف (FJSP)، یکی از پیچیده‌ترین مسائل زمان‌بندی می‌باشد (وانگ، ۲۰۰۲). در بسیاری از تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است تجهیزات کارگاهی نظیر ماشین‌آلات به عنوان تنها منبع محدود در نظر گرفته شده‌اند و به منابع انسانی توجهی نشده است. در حالی که در واقعیت در نظر گرفتن هر دو منبع انسان و ماشین در کنار هم در تنظیم برنامه زمان‌بندی و اجرای کارهای سیستم موثرند. به این گونه سیستم‌ها که در آن هر دو منبع ماشین و انسان در کنار هم در نظر گرفته می‌شود و منابع اشاره محدود هستند سیستم‌هایی با منابع دوگانه محدود (DRC) گفته می‌شود. در محیط این گونه سیستم‌ها حالت‌هایی پیش می‌آید که برای انجام یک کار بیش از یک کارگر وجود دارد. بنابراین در مسئله (DRCFJSP) با سه زیر مسئله تخصیص عملیات به ماشین‌ها، تخصیص نیروی انسانی به عملیات و تعیین توالی عملیات روی ماشین‌ها با توجه به معیار عملکرد رو به رو هستیم.

در این پژوهش مسئله DRCFJSP در حالت دو هدفه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و از آن جایی که مسئله فوق یک مسئله Np-Hard می‌باشد ارائه روش‌های دقیق برای حل مسئله از نظر زمان محاسباتی ناکارآمد هستند. به علاوه در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه باید راه حلی انتخاب شود که همزمان بهترین ترکیب پاسخ‌ها را برای توابع هدف داشته باشد که الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر رویکرد پارتو یکی از روش‌های موثر و کارا در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه پیچیده ترکیباتی هستند. لذا در این تحقیق یک الگوریتم فراابتکاری مناسب مبتنی بر رویکرد پارتو برای مسئله DRCFJSP ارائه خواهیم کرد و عملکرد آن را با الگوریتم‌های دیگر بر روی مسائل نمونه ایجاد شده مقایسه خواهیم کرد.

بخش‌های مختلف مقاله در ادامه به این صورت تنظیم شده است. در بخش دوم پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم به تعریف مسئله می‌پردازیم. در بخش چهارم الگوریتم‌های ارائه شده برای حل مسئله DRCFJSP مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج محاسباتی الگوریتم‌ها در بخش پنجم گزارش می‌شود و در بخش ششم نیز نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

تحقیقات فراوانی در طول ۴۸ سال اخیر در ارتباط با مبحث زمان‌بندی در محیط DRC انجام شده است. نلسون (۱۹۶۷) اولین کسی بود که محیط DRC را با عنوان سیستم‌های تولیدی با محدودیت منابع انسان و ماشین مورد مطالعه قرار داد. خیر و فرای (۲۰۰۱) در تحقیقی جامع، سیاست‌های عملیاتی مرتبط با ارائه عملکرد نزدیک به بهینه در تحویل سفارشات به مشتریان با اهمیت و اولویت متناقض را برای مسأله DRCJSP مطالعه کردند. معیارهای عملکرد مورد بررسی نرخ خدمت به مشتری و ریشه میانگین مربعات دیرکرد برای کارهای با اولویت بالا و پایین بود.

جینگیانو و همکارانش (۲۰۱۰) یک GA را برای مسأله DRCJSP دو هدفه، با فرض وجود کارکنان غیر یکسان، ارائه کردند. جابر و همکاران (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن عامل خستگی و توجه به بازیابی و بهبودی نیروی کاری، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی را برای مسأله DRCJSP به کار گرفتند. کائو و یانگ (۲۰۱۱) یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای مسأله DRCFJSP با هدف کمینه کردن ماکزیم زمان تکمیل کارها ارائه دادند. ژیانزو و ژنهی (۲۰۱۱) یک الگوریتم ایمنی مصنوعی و ژنتیک ترکیبی را به منظور حل مسأله زمان‌بندی کارگاهی منعطف با منابع دوگانه محدود انسان و ماشین (DRCFJSP) به کار گرفتند. لوبو (۲۰۱۳) مسأله DRCJSP را مورد بررسی قرار داد که در آن ماشین‌ها گروه‌بندی شده و هر کارگر به یک گروه از ماشین‌ها تخصیص یافته و هدف به حداقل رساندن حداکثر تأخیر کارها بود.

لوبو و همکاران (۲۰۱۴) یک روش کاربردی برای ارزیابی تخصیص نیروهای کاری در مسائل بزرگ برای مسئله DRCJSP توسعه داده و یک مدل ریاضی برای آن ارائه کردند. یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای مسئله DRCFJSP با هدف کمینه‌سازی بیشینه زمان تکمیل کارها ارائه کردند. روش مورد نظر از ترکیب الگوریتم‌های جستجوی همسایگی متغیر و شبیه‌سازی تبرید به منظور جستجوی فضای جواب استفاده می‌کرد. لی و گائو (۲۰۱۵) الگوریتم جستجوی همسایگی پویا برای مسئله زمان‌بندی DRCJSP با اهداف زیست محیطی را ارائه کردند. در این تحقیق زمان‌های پردازش به صورت بازه‌ای و منابع نیز ناهمگون بودند.

۳- شرح مسئله

مسئله DRCFJSP عبارت است از برنامه ریزی اجرای n کار روی m ماشین توسط l کارگر. در این مسئله مجموعه‌ای از کارها $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ ، ماشین‌ها $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ و کارگران $W = \{W_1, W_2, \dots, W_h\}$ وجود دارد. پردازش کارها به دو منبع محدود شده است: ماشین و انسان. هر کار J_i از n_i عملیات $(O_{i,1}, O_{i,2}, \dots, O_{i,n_i})$ تشکیل شده است که این عملیات‌ها با توجه به روابط پیش‌نیازی که بین آن‌ها وجود دارد، اجرا می‌شوند. هر عملیات $O_{i,j}$ ، عملیات z ام از کار i ام، می‌تواند روی یک ماشین از میان مجموعه ماشین‌های قادر به پردازش آن عملیات یعنی $\hat{M}_{i,j} = \{M_{i,j,1}, UM_{i,j,2}, U, \dots, UM_{i,j,l}, U, \dots, UM_{i,j,h-1}, UM_{i,j,h}\}$ اجرا شود جایی که $M_{i,j,l}$ نشان دهنده ماشینی است که می‌تواند عملیات $O_{i,j}$ را تحت کنترل کارگر l ام انجام دهد. هر عملیات $O_{i,j}$ می‌تواند توسط یکی از کارگران قادر به انجام $O_{i,j}$ یعنی $\hat{W}_{i,j} = \{W_{i,j,1}, UW_{i,j,2}, U, \dots, UW_{i,j,k}, U, \dots, UW_{i,j,m-1}, UW_{i,j,m}\}$ کنترل و اجرا شود جایی که $W_{i,j,k}$ نشان دهنده کارگرانی است که می‌توانند عملیات $O_{i,j}$ را روی ماشین k کنترل و انجام دهند.

فرضیات زیر در مسئله DRCFJSP برقرار است:

- تعداد نیروهای انسانی از تعداد ماشین‌ها کمتر است.
- برای ماشین‌ها خرابی و قطع جریان عملیات وجود ندارد.
- تمامی داده‌های استفاده شده، قطعی فرض می‌شود.
- مسیر پردازش هر کار از قبل مشخص شده است.
- زمان آماده سازی کارها روی ماشین‌ها نادیده گرفته شده است.
- تمامی ماشین‌ها و کارها و نیروهای انسانی از زمان صفر در دسترس هستند.
- زمان حمل و نقل بین ماشین‌ها و مراحل وجود ندارد.
- هر ماشین و هر نیروی انسانی در یک لحظه حداکثر یک عملیات را می‌تواند پردازش کند.
- قطع کار مجاز نیست.

۴- الگوریتم NSGA-II و MOVNS برای حل مساله DRCFJSP

الگوریتم NSGA-II که توسط دب و همکارانش (۲۰۰۱) ارائه شد نسخه چند هدفه الگوریتم شناخته شده GA می‌باشد و یکی از مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌یابی چندهدفه است که جهت مرتب سازی جمعیت از دو مفهوم مرتب سازی نامغلوب و مفهوم فاصله ازدحامی استفاده می‌کند.

-مفهوم مرتب سازی نامغلوب

در اکثر موارد در حل مسائل چندهدفه نقاطی یافت می‌شود که هیچ کدام بر دیگری برتری کامل ندارد و نمیتوان با مفهوم غلبه، دویه‌دو بین آن‌ها مقایسه‌ای انجام داد. لذا برای بدست آوردن بهترین جواب‌ها باید آن‌ها را بر اساس معیاری مرتب کرد. به این صورت که به هر جواب یک رتبه اختصاص داده می‌شود که بر اساس تعداد مغلوب شدن آن‌ها نسبت به سایر نقاط انجام می‌شود. در پایان، نقاطی که بهترین رتبه یعنی رتبه ۱ را دارا باشند به عنوان مجموعه جواب یا نقاط جبهه پارتو انتخاب می‌شوند.

-مفهوم فاصله ازدحامی

گاهی مجبوریم بین اعضای یک مجموعه که همگی رتبه یکسانی دارند مقایسه انجام دهیم و برخی از اعضا را حذف کنیم. در حذف کردن چند عضو از یک مجموعه سعی می‌شود طوری عمل شود که در آن مجموعه از هر بازه ای به طور منظم پاسخ وجود داشته باشد. در واقع نقاطی که فاصله ازدحامی بیشتری دارند در مجموعه باقی می‌مانند.

۴-۱- کروموزوم پیشنهادی

در الگوریتم‌های ارائه شده کروموزومی با سه سطر طراحی شده است. هر یک از سطرها این کروموزوم ماتریسی با ابعاد (مجموع عملیات تمام کارها * ۱) می‌باشد. سطر اول کروموزوم محل قرارگیری عملیات کارها می‌باشد. به این نحو که ابتدا عملیات تمام کارها شماره گذاری می‌شوند. پس از شماره گذاری تمام عملیات، شماره مربوط به هر عملیات با رعایت پیش‌نیازی عملیات به طور تصادفی در هر از خانه‌های ماتریس این بخش از کروموزوم قرار می‌گیرند. هر درایه از ماتریس مربوط به سطر دوم نیز، مربوط به محل قرار گیری ماشینی است که می‌تواند عملیات مربوط به همان درایه از سطر اول کروموزوم را پردازش کند. هر درایه از ماتریس مربوط به سطر سوم کروموزوم محل قرارگیری شماره کارگری است که می‌تواند عملیات مربوط به آن درایه را روی ماشین مربوطه پردازش نماید.

گام اول، تولید جواب اولیه

ابتدا از استراتژی تولید جواب تصادفی برای ایجاد جواب اولیه استفاده می‌گردد.

گام دوم، ارزیابی

جهت ارزیابی جواب‌ها از مقدار توابع هدف استفاده می‌گردد.

گام سوم، رویکرد مرتب سازی نامغلوب

در این مرحله اعضای جمعیت در داخل جبهه‌های پارتو قرار می‌گیرند. اعضای که در جبهه اول قرار دارند دیگر اعضای جمعیت فعلی را مغلوب می‌کنند. اعضای موجود در جبهه دوم هم تنها توسط اعضای جبهه اول مغلوب می‌شوند و این روند به همین شکل در جبهه‌های دیگر ادامه پیدا می‌کند تا اینکه به تمام اعضای موجود در تمام جبهه‌ها رتبه‌ای بر مبنای شماره جبهه اختصاص می‌یابد.

گام چهارم، محاسبه فاصله ازدحامی

برای هر عضو جمعیت از هر جبهه فاصله ازدحامی که میزان نزدیکی عضو موردنظر به دیگر عضوهای آن جبهه است محاسبه می‌شود.

گام پنجم، انتخاب والدین برای تولید مثل

بعد از انتخاب دو عضو از جمعیت به صورت تصادفی رتبه‌ی دو عضو انتخابی از نظر جبهه پارتو بررسی می‌شود. عضوی که رتبه کمتری دارد برنده می‌شود. در صورت یکسان بودن بودن رتبه‌ها عضوی که فاصله ازدحامی بیشتری دارد انتخاب می‌شود. برای انتخاب عضو برنده از روش تورنمنت بهره گرفته‌ایم.

گام ششم، جهش و تقاطع

جهت تغییر در ساختار جواب‌ها و ایجاد جواب‌های جدید، از سه عملگر تقاطع تک نقطه‌ای و دونقطه‌ای به منظور تغییر توالی جواب‌های کاندید در سطر اول کروموزوم و از تقاطع یکنواخت جهت تغییر در تخصیص کارگر و ماشین جواب‌های کاندید در سطر دوم و سوم کروموزوم استفاده شده است. همچنین برای جهش، از دو عملگر جهش جابه‌جایی و معکوس استفاده شده است.

۴-۲- الگوریتم VNS

این الگوریتم یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری بر پایه تغییرات سیستماتیک ساختار همسایگی است که برای جستجوی جواب بهینه در فضای مسائل بهینه سازی ترکیباتی به کار می‌رود. تغییرات سیستماتیک از طریق تغییر موقعیت از یک همسایگی به همسایگی دیگر جواب در حین جستجوی فضای جواب انجام می‌گیرد. VNS ساختارهای همسایگی مناسب و متنوع را به کار می‌گیرد و به این ترتیب جستجوی جواب را در نواحی مختلف از فضای جواب انجام می‌دهد. الگوریتم VNS روشی است که قادر است خود را از دام بهینه موضعی رها کند. مبنای این الگوریتم براساس این ایده می‌باشد که تغییرات ساختار همسایگی در هنگام جستجوی فضای جواب، از خطر افتادن در بهینه محلی که در بسیاری از مسایل بهینه سازی ترکیباتی محتمل می‌باشد، جلوگیری می‌کند. عملکرد مناسب الگوریتم VNS بستگی به کارایی ساختارهای همسایگی به کار گرفته شده دارد که دقت زیادی برای انتخاب آن باید انجام داد. ملادنویچ نخستین کسی بود که این الگوریتم را مطرح کرد. در الگوریتم VNS ارائه شده از دو ساختار همسایگی استفاده شده است. یک ساختار همسایگی جهت تغییر در توالی جواب‌های کاندید با ثابت نگه داشتن تخصیص ماشین‌ها و نیروی انسانی و یک ساختار همسایگی دیگر جهت تغییر در تخصیص عملیات به ماشین‌ها و نیروی انسانی استفاده شده است.

۵- نتایج محاسباتی

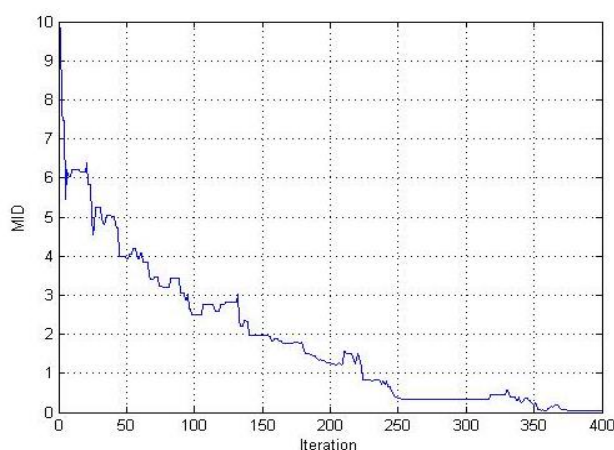
به منظور اجرای مطالعات محاسباتی ۱۲ مسئله در سایزهای کوچک، متوسط و بزرگ با عنوان P1:12 طراحی و ایجاد شده اند. ۴ مسئله اول در اندازه کوچک، ۴ مسئله دوم در اندازه متوسط و ۴ مسئله سوم در اندازه بزرگ ایجاد شده اند. زمان پردازش عملیات‌ها در این مسائل به صورت تصادفی در بازه عددی (۱،۹۹) در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های مسائل ایجاد شده در جدول ۱ نمایش داده شده است. ستون‌های اول تا پنجم در این جدول به ترتیب نام مسئله، تعداد کارها، تعداد ماشین‌ها، تعداد کارگران و مجموع عملیات‌های هر مسئله می‌باشد.

هر مسئله ۵ بار در نرم افزار MATLAB 2013 اجرا شده و میانگین جواب‌ها به عنوان خروجی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج محاسباتی الگوریتم‌ها بر روی شاخص‌ها

Problem					NNS metric		MS metric		MID metric	
Problem no.	n	m	w	TO	NSGA-II	MOVNS	NSGA-II	MOVNS	NSGA-II	MOVNS
P1	4	3	2	10	11	9	0.711	0.813	0.954	0.676
P2	4	3	2	12	41	24	0.535	0.746	0.314	0.712
P3	6	4	2	18	21.5	12.5	0.363	0.535	0.34	0.541
P4	6	4	3	25	84.25	52	0.704	0.637	0.422	0.727
P5	8	4	3	35	35	48	0.213	0.504	0.65	0.852
P6	10	5	3	45	58.25	34.25	0.374	0.642	0.414	0.501
P7	10	5	4	50	53.25	39	0.41	0.359	0.19	0.643
P8	10	5	4	55	41.75	40	0.376	0.798	0.619	0.613
P9	12	5	4	60	64	74.33	0.317	0.385	0.469	0.594
P10	12	6	3	70	103.75	83	0.328	0.474	0.886	0.976
P11	15	8	5	100	143.7514	104	0.361	0.409	0.56	0.853
P12	15	8	6	100	143.75	104	0.341	0.718	0.305	0.564
Average					66.771	52.006	0.419	0.585	0.51	0.687

همچنین سه شاخص عملکردی معروف و پرکاربرد تعداد جواب‌های پارتو (NNS)، میانگین فاصله از جواب ایده‌آل (MID) و شاخص بیشترین گسترش (MS) برای این مسائل محاسبه شده و خروجی در نرم افزار MINITAB 17 تحلیل شده است. روند بهبودی برای معیار MID نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

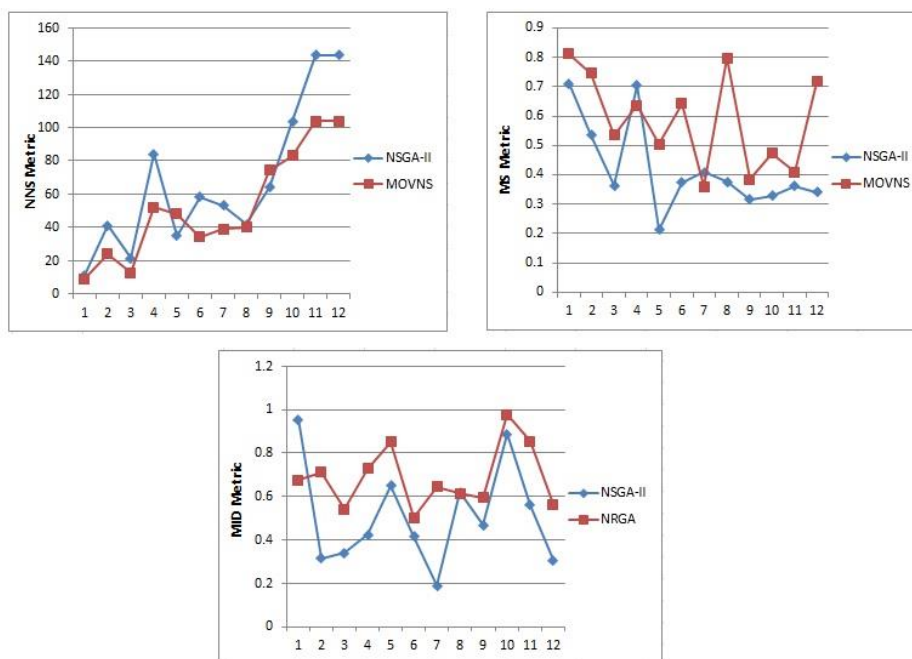


شکل ۱- نمودار مسیر همگرایی الگوریتم NSGA-II با توجه به شاخص MID

نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها برای کل شاخص‌ها و مسائل نیز بصورت گرافیکی در شکل ۲ قابل مشاهده است. همانطور که مشخص است:

از نظر شاخص تعداد جواب پارتو الگوریتم MOVNS نسبت به الگوریتم NSGA-II عملکرد بهتری دارد. یعنی این الگوریتم تعداد جواب‌های غیرمغلوب بیشتری را نسبت به الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب تولید کرده است. الگوریتم NSGA-II کمترین مقدار را از نظر شاخص MID به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که فاصله میان جواب‌های نامغلوب تولید شده و نقطه ایده‌آل در این روش نسبت به الگوریتم MOVNS کمتر است

جواب‌های نامغلوب تولید شده توسط الگوریتم MOVNS نیز پراکندگی بیشتری را نسبت به الگوریتم دیگر در مجموعه پارتو تقریبی ایجاد شده دارد و عملکرد بهتری را از نظر این شاخص به خود اختصاص داده است.



شکل ۲- نتایج بدست آمده از الگوریتم‌ها برای کل مسائل و شاخص‌ها

همچنین جهت مقایسه الگوریتم‌ها از نظر آماری با توجه به انجام آزمون کلموگروف و وجود دلایل کافی برای رد نرمال بودن مجموعه نتایج الگوریتم‌ها در برخی شاخص‌ها از آزمون ناپارامتریک من-ویتنی استفاده شده است. نتایج این آزمون در جدول ۲ داده شده است. با توجه به نتایج این آزمون مشخص است که الگوریتم NSGA-II در معیار میانگین فاصله از جواب ایده‌آل از نقطه نظر آماری بهتر عمل کرده است. اما در معیار تعداد نقاط نامغلوب تفاوت معناداری بین نتایج دو الگوریتم وجود ندارد. همچنین در معیار بیشترین گسترش الگوریتم MOVNS نسبت به الگوریتم دیگر بهتر عمل کرده است.

جدول ۲- نتایج مربوط به آزمون من-ویتنی

Metric	Algorithms	P-value	Result	Significant difference
MID	NSGAII VS MOVNS	0.0351	H_0 is rejected	√
NNS	NSGAII VS MOVNS	0.4025	H_0 is not rejected	×
MS	NSGAII VS MOVNS	0.013	H_0 is rejected	√

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسئله DRCFJSP را در حالت دو به عنوان یک مسئله Np-Hard مورد بررسی قرار دادیم. کمینه‌سازی معیارهای حداکثر زمان تکمیل کارها و میانگین مجموع زمان دیرکرد کارها به عنوان اهداف مسئله در نظر گرفته شد. در ادامه دو الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر رویکرد پارتو را برای حل آن توسعه دادیم و سه شاخص پرکاربرد و موثر مبنای مقایسات الگوریتم‌ها قرار گرفت. برای مقایسه نتایج دودویی الگوریتم‌ها نیز از آزمون ناپارامتریک من-ویتنی استفاده کردیم. نتایج این آزمون برتری الگوریتم NSGA-II نسبت به الگوریتم دیگر از نقطه نظر همگرایی به سمت یک مجموعه پارتو تقریبی مناسب را نشان داد.

- مهدی یزدانی، ۱۳۹۳. یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی منعطف با منابع دوگانه محدود انسان و ماشین، فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۷۴-۴۳.
- L. Wang. Job Shop Scheduling and Genetic Algorithms, Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- Nelson, R.T., 1967. Labor and machine limited production systems, Management Science 13 (9), 648-671.
- Kher, H.V., Fry, T.D., 2001. Labour flexibility and assignment policies in a job shop having incommensurable objectives. International Journal of Production Research; 39 (11), 2295-2311.
- Jingyao, L., Shudong, S., Yuan, H., Ganggang, N., 2010. Research on Double-Objective Optimal Scheduling Algorithm for Dual Resource Constrained Job Shop. Artificial Intelligence and Computational Intelligence; Lecture Notes in Computer Science, 2010; Volume 6319/2010, 222-229.
- Jaber, M.Y., Neumann, W.P., 2010. Modelling worker fatigue and recovery in dual-resource constrained systems. Modelling worker fatigue and recovery in dual-resource constrained systems, 59 (1), 75-84.
- Cao Xianzhou, Yang Zhenhe, "An Improved Genetic Algorithm for Dual Resource Constrained Flexible Job Shop Scheduling," International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, vol. 1, pp. 42-45, 2011.
- Xianzhou, C., Zhenhe, Y., 2011. An Improved Genetic Algorithm for Dual-Resource Constrained Flexible Job Shop Scheduling, Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 1, 42-45.
- Lobo, B. J., T. J. Hodgson, R. E. King, K. A. Thoney, and J. R. Wilson. 2013. "An Effective Lower Bound on L_{max} in a Workerconstrained Job Shop." Computers and Operations Research 40 (1): 328-343.
- Benjamin J. Lobo, James R. Wilson, Kristin A. Thoney, Thom J. Hodgson & Russell E. King, 2014. A practical method for evaluating worker allocations in large-scale dual resource constrained job shops. IIE Transactions, 1209-1226.
- Deming Lei, XiupingGuo, 2015. An effective neighborhood search for scheduling in dual resource constrained interval job shop with environmental objective. International Journal of Production Economics, 296-303.
- Deb, K., 2001, Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms, Wiley, New York.

برونسپاری موثر در یک لجستیک معکوس

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

کد مقاله: ۵۲۰۹۲

شیما سادات شریفیان^۱، علیرضا رشیدی کمیجان^۲

چکیده

امروزه سازمان‌ها برای حفظ مزیت رقابتی خود در بازارهای جهانی، به مسئله واگذاری بخشی یا کل امور لجستیکی خود که پیش از این در خانه انجام می‌شده است به شرکت‌های خدمات لجستیک طرف سوم که به برون سپاری معروف است، پرداخته‌اند. بنابراین برون‌سپاری یکی از مهمترین موضوعات در مدیریت زنجیره تامین است. تحقیق حاضر به دنبال انتخاب بهترین بنگاه‌های موجود، جهت واگذاری بخشی از فرایند تولید به علت افزایش تقاضا و عدم امکان افزایش ظرفیت در یک زنجیره تامین است بنابراین هدف، انتخاب بهترین بنگاه همکار و تعیین حجم واگذاری تولید آن با توجه به محدودیت‌های موجود است. در این پژوهش به موجب اینکه برون‌سپاری انجام گردد یا درونسپاری، در صورت تصمیم به برون‌سپاری انتخاب کارترین بنگاه، به طوری که هرگونه تصمیم منجر به مازاد زنجیره تامین مستقیم و معکوس گردد، در قالب یک مدل ریاضی عدد صحیح فرموله گردیده است.

واژگان کلیدی: شرکتهای خدمات لجستیک طرف سوم، مازاد زنجیره تامین، برونسپاری، درونسپاری

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

۲- استادیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

۱- مقدمه

با توجه به فشارهای اقتصادی زیادی که دنیای کنونی بر بسیاری از صنایع جهت کاهش قیمت ها و افزایش رقابت پذیری وارد می کند، صنایع مختلف ناگزیر از یافتن راه های موثری جهت کاهش هزینه ها و افزایش سودآوری هستند. و سازمان ها را بر آن داشتند تا در زنجیره تامین مستقیم و معکوس خود به دنبال حصول بهبود باشند. یکی از راه های نیل به این هدف برون سپاری^۱ بخشی از خدمات یا کل امور لجستیکی به شرکت های خدمات لجستیک طرف سوم^۲ می باشد. و از آنجایی که هزینه های لجستیکی همواره بخشی از قیمت نهایی محصول می باشند. بنابراین محاسبه هزینه های لجستیک^۳ و تلاش در جهت کاهش آن بسیار مهم است. برون سپاری می تواند موجب کارایی بیشتر، کیفیت بیشتر و هزینه کمتر گردد. با این وجود، در صورتی که برون سپاری به درستی انجام نشود، هزینه های فراوانی به زنجیره تحمیل خواهد نمود. بنابراین یکی از مهمترین تصمیمات در مدیریت لجستیک معکوس برون سپاری در مقابل درون سپاری^۴ است. در این تحقیق به بیان مدل ریاضی پرداخته شده است که بیان می دارد چنانچه هزینه انجام فعالیت تولیدکننده داخل کمتر از هزینه برون سپاری باشد، به طوری که هزینه کل لجستیک معکوس کاهش یابد تولید کننده خود به تولید بپردازد در غیر این صورت برون سپاری می شود و بهترین تولیدکننده با توجه به هزینه های موجود انتخاب و حجم واگذاری تولید به آن تعیین می شود به طوری که موجب کاهش هزینه کل و افزایش مازاد زنجیره تامین^۵ گردد. در ادامه به مرور ادبیات موضوع، تعریف مسئله، مدل سازی ریاضی و نتایج محاسباتی پرداخته و در پایان نتیجه گیری کرده و پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی ارائه می دهد.

۲- مرور ادبیات

لجستیک معکوس از سال ۲۰۰۰ تاکنون مطرح گردید اگرچه هنوز تعریف دقیق و مدونی نداشت. در اوایل سال ۲۰۰۱، یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط MILP برای تحلیل تأثیر بازیابی محصول بر طراحی شبکه لجستیک توسعه دادند و نشان دادند که رویکرد یکپارچه، یعنی بهینه سازی همزمان شبکه پیشرو و معکوس، در مقایسه با طراحی ترتیبی هر دو شبکه، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه دارد که میتواند باعث جلوگیری از زیر بهینگی ناشی از طراحی جداگانه لجستیک پیشرو و معکوس نیز بشود. جابارمن و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف حداقل سازی هزینه ارائه داده اند. مین و همکاران (۲۰۰۶) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته را با هدف حداقل سازی هزینه ها ارائه کردند. برای حل مدل ارائه شده، از یک رویکرد باینری در الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. کیم و همکاران (۲۰۰۶) یک چارچوب کلی را برای تولی مجدد ارائه کردند. به صورتی که مدل ریاضی ارائه شده، با هدف حداکثر سازی سود حاصل از صرفه جویی منابع، بتواند به تصمیم گیری در این باره بپردازد که چه تعداد قطعه از تامین کننده خریداری شود و چه تعداد از محصولات استفاده شده در هر مرکز تولید استفاده شود کارا و همکاران (۲۰۰۷) برای جمع آوری محصولات به صورت مؤثر در انتهای دوره عمرشان، یک مدل شبیه سازی شبکه لجستیک معکوس را طرح می کنند. فروتاتو و همکاران (۲۰۰۸) چارچوبی را برای طراحی و ارزیابی شبکه های پایدار لجستیک معکوس بر اساس تحلیل پوششی داده ها، برنامه ریزی چند هدفه ارائه کردند آنها در انتها به منظور اعتبار سنجی مدل ارائه شده، این مدل را در صنعت کاغذ و خمیر اروپا پیاده نمودند. سیرواستاوا (۲۰۰۸) مدلی برای بهینه سازی شبکه لجستیک معکوس و بازیابی ارزش و مفاهیم راه اندازی مراکز تولید دوباره، تعمیر و مرمت توسط تولیدکنندگان تجهیزات اصلی برای دسته های خاصی از محصولات را بررسی میکند. یک مدل پیشنهادی برای حل این مسئله، یک الگوریتم ژنتیک به همراه روش کدگذاری مبتنی بر اولویت پیشنهاد میشود. لی و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل ریاضی سیستم تولید دوباره را به صورت مدل شبکه لجستیک معکوس چند مرحله ای، چند محصولی برای کمینه سازی کل هزینه های حمل و نقل لجستیک معکوس و هزینه ثابت احداث مراکز دمونتاز و مراکز پردازش، فرموله میکنند. در مدل دو هدفه ارائه شده در این مقاله، کمینه سازی هزینه ها و اثرات زیست محیطی، به عنوان دو هدف، در طراحی شبکه لجستیک در نظر گرفته شده است. ال ساید و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل تصادفی برای طراحی شبکه لجستیک پیشرو/ معکوس چند لایه ای، چند دوره ای با ریسک را با هدف حداکثر کردن کل سود مورد انتظار توسعه می دهند. پیشوایی و همکاران (۲۰۰۹) برای پرداختن به نبود قطعیت در طراحی شبکه لجستیک یکپارچه، یک مدل بهینه سازی تصادفی ارائه میکنند. شبکه مورد

1 - Outsource

2 - Third Party Logistics (3PL) Service Porvider

3 - Logistics costs

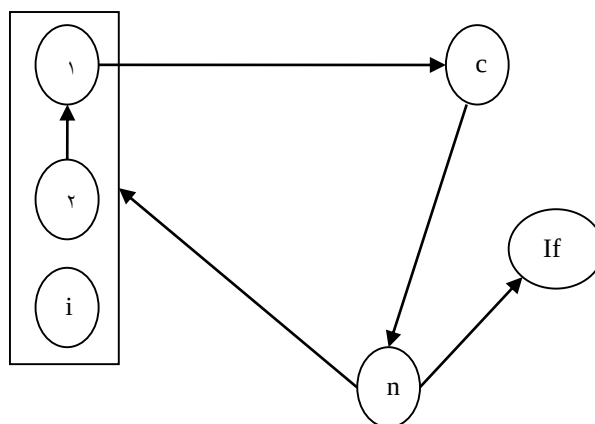
4 - Insourcing

5 - Supply Chain Surplus

مطالعه، یک شبکه لجستیکی یکپارچه پیشرو/معکوس حلقه بسته با هدف کمینه سازی هزینه کل است. پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) برای طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیک پیشرو/معکوس یک مدل دوهدفه برای کمینه سازی هزینه های کل و بیشینه سازی پاسخگویی شبکه لجستیکی را توسعه داده اند. حسین زاده و همکاران (۲۰۱۲) به ارائه یک مدل احتمالی برای شبکه لجستیک معکوس پرداخته و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل گسترده را با مفروضات آن حل نمودند.

۳- تعریف مسئله

شبکه مورد بررسی در این پژوهش یک شبکه لجستیک مستقیم و معکوس چندمحصولی ۴ سطحی است که مسیر رفت شامل مراکز تولید و مراکز مشتریان می باشد و در مسیر برگشت شامل مراکز بازیافت و دفن می باشد. ممکن است تعدادی از محصولاتی که به مشتری می رسند، نیازمند تعمیر باشند (خواه از ابتدا بی کیفیت بوده، خواه در اثر مصرف مشتری مستعمل و نیازمند تعمیر گردیده اند). این محصولات به واحدهای بازیافت ارسال می شوند. در آنجا محصول دمونتاژ می شود و به قطعات مختلف تجزیه می گردد. آن دسته از قطعات که قابل بازیافت هستند، پس از بازیافت مجدداً به طور مستقیم به کارخانجات تولیدی ارسال می شوند و آن قطعاتی که فاقد ارزش بازاری و قابل بازیافت نیستند در مکان مناسب دفن می گردند. در این شبکه ۱ تولید کننده وجود دارد هنگامی که تولید کننده ای به دلایلی نتواند نیاز مشتری را برطرف نماید می تواند در همان شبکه برون سپاری کرده و از ظرفیت بلااستفاده تولید کننده دیگر نیاز مشتری خود را برطرف نماید یا به عنوان مثال تولید کننده ۱ نتواند به هر دلایلی نیاز مشتری خود را برطرف کند از تولید کننده ۲ برون سپاری کرده و محصول را از تولید کننده ۲ دریافت و خود به طور مستقیم نیاز مشتری را برآورده می سازد که در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۱- چگونگی ارتباط مراکز

i = تولید کننده c = مشتری n = مرکز بازیافت If = مرکز دفن

۳-۱- مفروضات مدل

امکان برون سپاری به سایر تولیدکنندگان زنجیره وجود دارد. محصولات برون سپاری شده در نهایت توسط تولید کننده ای که سفارش را از مشتری دریافت کرده برای مشتری ارسال می شود.

کمیود مجاز است.

تمام اطلاعات از جمله تقاضا و ظرفیت قطعی است.

وسایل حمل و نقل ناهمگن هستند.

به تجربه مشخص شده است که درصد ثابتی از تعداد محصولی که به مشتریان می رسد، به مراکز بازیافت منتقل می شود.

درصد ثابتی از میزان قطعات موجود در مراکز بازیافت، قابل استفاده مجدد نیستند.

تنها یک مرکز دفن وجود دارد

مرکز دفن محدودیت ظرفیت ندارد.

اندیس ها و مجموعه های مدل

I مجموعه تمام تولید کنندگان

i	اندیس تولید کننده ($i \in I$)
J	مجموعه تمام مشتریان
j	اندیس مشتریان ($j \in J$)
R	مجموعه تمام مراکز باز یافت
r	اندیس مرکز باز یافت ($r \in R$)
S	مجموعه تمام قطعات
s	اندیس قطعه ($s \in S$)
P	مجموعه تمام محصولات
p	اندیس محصول ($p \in P$)
$v\alpha$	مجموعه تمام وسایل نقلیه موجود در بین مراکز تولید کننده
α	اندیس وسیله نقلیه موجود در بین مراکز تولید کننده ($\alpha \in v\alpha$)
$v\beta$	مجموعه تمام وسایل نقلیه موجود در مراکز تولید کننده
β	اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز تولید کننده ($\beta \in v\beta$)
$v\delta$	مجموعه تمام وسایل نقلیه موجود در مراکز مشتری
δ	اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز مشتری ($\delta \in v\delta$)
$v\theta$	مجموعه تمام وسایل نقلیه موجود در مراکز باز یافت برای سرویس دهی به تولید کنندگان
θ	اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز باز یافت برای سرویس دهی به تولید کنندگان ($\theta \in v\theta$)
$v\tau$	مجموعه تمام وسایل نقلیه موجود در مراکز باز یافت برای ارسال به محل دفن
τ	اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز باز یافت برای ارسال به محل دفن ($\tau \in v\tau$)

۳-۲- پارامترهای مدل

Inv_{vis}	موجودی اولیه تولید کننده i از قطعه S
C_{α}^{trans}	هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه α
C_{β}^{trans}	هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه β
C_{δ}^{trans}	هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه δ
C_{θ}^{trans}	هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه θ
C_{τ}^{trans}	هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه τ
v_{α}	ظرفیت وسیله نقلیه α بر حسب کیلوگرم
v_{β}	ظرفیت وسیله نقلیه β بر حسب کیلوگرم
v_{δ}	ظرفیت وسیله نقلیه δ بر حسب کیلوگرم
v_{θ}	ظرفیت وسیله نقلیه θ بر حسب کیلوگرم
v_{τ}	ظرفیت وسیله نقلیه τ بر حسب کیلوگرم
wp_p	وزن محصول p بر حسب کیلوگرم
w_s	وزن قطعه S بر حسب کیلوگرم
cap_i	ظرفیت کل تولید کننده i
cap_r	ظرفیت کل مرکز باز یافت r
B_{ps}	ضریب مصرف قطعه S در محصول p
pc_{pj}	درصد محصول p بازگشتی از مشتری j به مرکز باز یافت
$pc1_{rs}$	درصدی از تعداد قطعه S که در مرکز r قابل باز یافت نیست
$cost_{pi}$	هزینه تولید محصول p در تولید کننده i
$cost_{sr}$	هزینه باز یافت قطعه S از واحد باز یافت r
$cost_s$	هزینه دفن هر واحد قطعه S

$cost_p$	هزینه برون سپاری هر واحد محصول p
$scost_{pj}$	جریمه کمبود هر واحد محصول p برای مشتری j
$d_{ii'}$	فاصله تولید کننده i تا تولید کننده i'
d_{ij}	فاصله تولید کننده i تا مشتری j
d_{jr}	فاصله مشتری j تا مرکز بازیافت r
d_{ri}	فاصله مرکز بازیافت r تا تولید کننده i
dlf_r	فاصله مرکز بازیافت r تا واحد دفن
dem_{jp}	تقاضای مشتری j از محصول p

۳-۳- متغیرهای تصمیم گیری

x_{pi}	میزان تولید محصول p توسط تولید کننده i
$y_{pij\beta}$	میزان محصول p که از کارخانه i تا مشتری j توسط وسیله نقلیه β حمل می شود
$z_{pii'\alpha}$	میزان محصول p برون سپاری شده تولید کننده i به تولید کننده i' که توسط وسیله نقلیه α حمل می شود
$q_{pjr\delta}$	میزان محصول p که از مشتری j تا مرکز بازیافت r توسط وسیله نقلیه δ حمل می شود
$t_{sri\theta}$	میزان قطعه S که از مرکز بازیافت r تا تولید کننده i توسط وسیله نقلیه θ حمل می شود
$o_{sr\tau}$	میزان قطعه S که از مرکز بازیافت r تا محل دفن توسط وسیله نقلیه τ حمل می شود
sh_{jp}	میزان کمبود مشتری j از محصول p

۳-۴- محدودیت های مدل

محدودیت ورودی - خروجی تولید کننده

$$\sum_{r \in R} \sum_{\theta \in V\theta_r} t_{sri\theta} + Inv_{is} \leq \sum_{p \in P} B_{ps} x_{pi} \quad \forall s, i \quad (1)$$

محدودیت تقاضا

$$\sum_{i \in I} \sum_{\beta \in V\beta_i} y_{pij\beta} + sh_{jp} = dem_{jp} \quad \forall j, p \quad (2)$$

محدودیت توازن مرکز بازیافت

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{\delta \in V\delta_r} B_{ps} q_{pjr\delta} = \sum_{i \in I} \sum_{\theta \in V\theta_r} t_{sri\theta} + \sum_{\tau \in V\tau} o_{sr\tau} \quad \forall r, s \quad (3)$$

محدودیت ظرفیت مراکز بازیافت

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{\delta \in V\delta_r} q_{pjr\delta} \leq cap_r \quad \forall r \quad (4)$$

محدودیت های ظرفیت وسایل نقلیه

$$\sum_{p \in P} \sum_{i' \in I: i \neq i'} w_p z_{pii'\alpha} \leq v_\alpha \quad \forall i \in I, \alpha \in V\alpha_i \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} w_p y_{pij\beta} \leq v_\beta \quad \forall i \in I, \beta \in V\beta_i \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} w_p q_{pjr\delta} \leq v_\delta \quad \forall r \in R, \delta \in V\delta_r \quad (7)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} w_s t_{sri\theta} \leq v_\theta \quad \forall r \in R, \theta \in V\theta_r \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S} w_s o_{sr\tau} \leq v_\tau \quad \forall r \in R, \tau \in V\tau_r \quad (9)$$

۳-۵- محدودیت ظرفیت تولید کننده

$$\sum_{p \in P} x_{pi} \leq cap_i \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{i' \in I: i' \neq i} \sum_{\alpha \in V\alpha_i} z_{pii'\alpha} + \sum_{j \in J} \sum_{\beta \in V\beta_i} y_{pij\beta} = x_{pi} \quad \forall p, i \quad (11)$$

۳-۶- محدودیت بازگشتی

$$\sum_{r \in R} \sum_{\delta \in V\delta_r} q_{pjr\delta} = pc_{pj} \sum_{i \in I} \sum_{\beta \in V\beta_i} y_{pij\beta} \quad \forall p, j \quad (12)$$

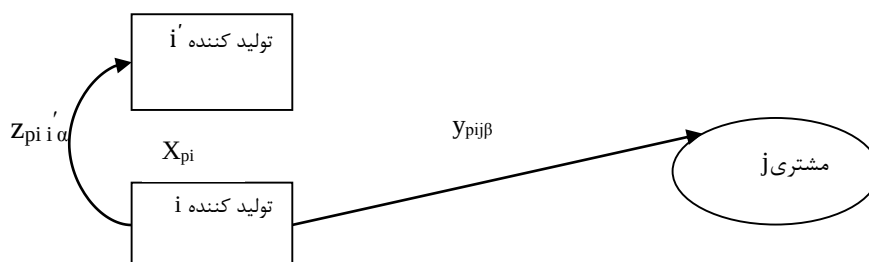
$$pc1_{rs} \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{\delta \in V\delta_r} B_{ps} q_{pjr\delta} = \sum_{\tau \in V\tau} o_{sr\tau} \quad \forall r, s \quad (13)$$

۳-۷- محدودیت مربوط به نوع متغیرها

$$x_{pi}, y_{pij\beta}, q_{pjr\delta}, t_{sri\theta}, o_{sr\tau}, z_{pii'\alpha}, sh_{jp} \geq 0 \quad \text{عدد صحیح} \quad (14)$$

محدودیت ۱ بیانگر محدودیت ورودی - خروجی تولید کننده می باشد. بیانگر این می باشد که به ازای هر قطعه در هر تولید کننده ای مجموع موجودی اولیه و میزان قطعات که وارد تولید کننده می شود نباید بیشتر از مجموع تعداد قطعات بکار برده شده در تولید محصول p باشد. محدودیت ۲ نشان دهنده محدودیت تقاضا می باشد. میزان تقاضای مشتری به ازای هر محصول برابر است با مجموع محصول p که از تولید کننده مورد نظر خود مستقیم دریافت میکند و میزان کمبودی که با آن مواجه می شود. تولید کننده مورد نظر مشتری که مشتری نیاز خود را از آن تقاضا کرده است می تواند تا آنجا که می تواند نیاز مشتری خود را برطرف نماید در غیر این صورت مشتری با کمبود مواجه می شود.

محدودیت ۳ محدودیت، توان مرکز باز یافت را نشان میدهد. میزان قطعات بدست آمده از محصولات p که از مشتریان به مراکز باز یافت انتقال داده می شوند، برابر است با مجموع میزان قطعاتی که به مراکز تولید و دفن می شوند، می باشد. به عبارت ساده تر قطعات s که در باز یافت از محصولات p بدست می آید یا به مراکز تولید کننده ارسال می شوند یا به مرکز دفن منقل می شوند. محدودیت ۴ بیانگر ظرفیت مراکز باز یافت است. مراکز باز یافت دارای یک ظرفیت می باشند و مجموع محصولاتی که از مشتریان به مراکز باز یافت ارسال می شود نباید بیشتر از ظرفیت مراکز باز یافت باشند. محدودیت های ۵-۹ نشان دهنده ظرفیت وسایل نقلیه می باشند. وسایل نقلیه نیز دارای یک ظرفیت می باشند و مجموع محصولات انتقالی توسط وسیله نقلیه مورد نظر نباید بیشتر از ظرفیت آن باشد. محدودیت ۱۰-۱۱ نشان دهنده محدودیت ظرفیت تولید کننده می باشد. محدودیت ۱۰ بیانگر این است که مجموع تعداد محصولاتی که هر تولید کننده می تواند تولید کند، محدود می باشد و بیشتر از آن نمی تواند تولید کند. محدودیت ۱۱ بیانگر این می باشد که مجموع تعداد محصولاتی که تولید کننده i تولید میکند برابر است با میزان برونسپاری که تولید کننده i می پذیرد و با وسیله α به تولید کننده i' منتقل می شود و میزان محصول که از تولید کننده i تا مشتری j توسط وسیله نقلیه β حمل می شود.



شکل ۲ چگونگی ارسال محصول p در کارخانه i

محدودیت ۱۲-۱۳ بیانگر محدودیت بازگشتی می باشد که نشان می دهد: محدودیت ۱۲ نشان می دهد که از بین آن تعداد محصول نوع p که به مشتری j می رسد، درصد مشخصی بازگشتی و معیوب است که باید به مراکز باز یافت ارسال شود. محدودیت بعدی بیانگر این است که از کل قطعات s در یک مرکز به میزان $pc1_{rs}$ درصد قابل باز یافت نیستند و باید به محل دفن ارسال شوند. محدودیت ۱۴ بیانگر محدودیت مربوط به نوع متغیرها می باشد.

۳-۸- تابع هدف مدل

$$\text{Min } Z = \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{\beta \in V\beta_i} c_{\beta}^{\text{trans}} w p_p d_{ij} y_{pij\beta} \quad (1)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{i' \in I: i' \neq i} \sum_{\alpha \in V\alpha_i} c_{\alpha}^{\text{trans}} w p_p d_{ii'} z_{pii'\alpha} \quad (2)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{i' \in I: i' \neq i} \sum_{\alpha \in V\alpha_i} \text{cost}_p z_{pii'\alpha} \quad (3)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \text{scost}_{pj} sh_{jp} \quad (4)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} \sum_{\delta \in V\delta_r} w p_p d_{jr} q_{pjr\delta} c_{\delta}^{\text{trans}} \quad (5)$$

$$+ \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} \sum_{\theta \in V\theta_r} c_{\theta}^{\text{trans}} w_s d_{ri} t_{sri\theta} \quad (6)$$

$$+ \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} \sum_{\theta \in V\theta_r} \text{cost}_{sr} t_{sri\theta} \quad (7)$$

$$+ \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{\tau \in V\tau_r} c_{\tau}^{\text{trans}} w_s d_{lr} o_{sr\tau} \quad (8)$$

$$+ \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{\tau \in V\tau_r} \text{cost}_s o_{sr\tau} \quad (9)$$

$$+ \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} x_{pi} \text{cost}_{pi} \quad (10)$$

در تابع هدف بخش ۱ هزینه حمل و نقل کالا از تولید کننده تا مشتری می باشد. بخش ۲ هزینه حمل و نقل کالای برون سپاری شده از تولید کننده i به تولید کننده i' می باشد. بخش ۳ هزینه برون سپاری محصولات می باشد.

بخش ۴ هزینه کمبود می باشد. که تولید کننده به ازای هر واحد محصول p برای هر مشتری که با کمبود مواجه می شود مجبور به پرداخت هزینه ای می شود. بخش ۵ هزینه حمل و نقل کالاهایی است که به هر دلیلی (خواه از ابتدا بی کیفیت بوده ، خواه در اثر مصرف مشتری مستعمل و نیازمند تعمیر گردیده اند.....) به مراکز باز یافت انتقال داده می شوند. بخش ۶ هزینه حمل و نقل قطعات s که در مراکز باز یافت از محصولات p بدست آمده و قابل باز یافت می باشند به مراکز تولیدی ارسال می شوند، است. بخش ۷ هزینه باز یافت قطعات s در مراکز باز یافت می باشد (شامل: دموثاژ، تست و آزمایش برای بررسی قابل باز یافت یا غیر باز یافت بودن آنها و.....) بخش ۸ هزینه حمل و نقل قطعات s غیر قابل باز یافت به مرکز دفن می باشد. بخش ۹ هزینه دفن قطعات s غیر قابل باز یافت در مرکز دفن می باشد. بخش ۱۰ هزینه تولید محصول p می باشد. (شامل هزینه نیروی انسانی ، هزینه خرید.....)

با این مدل می توانیم تصمیم گرفت که درونسپاری یا برونسپاری انجام گیرد و بهترین تولید کننده را برای برونسپاری انتخاب و تعیین حجم واگذاری تولید به آن را مشخص نمود به طوریکه این تصمیم موجب مازاد زنجیره گردد.

۴- تحلیل نتایج محاسباتی

برای ارزیابی مدل پیشنهادی، از یک مثال عددی استفاده شده و با نرم افزار GAMS حل شده است. شبکه مورد بررسی در این پژوهش یک شبکه لجستیک مستقیم و معکوس ۵ محصولی به نام های $p1, p2, p3, p4, p5$ در ۴ سطح است که مسیر رفت شامل مراکز تولید و مراکز مشتریان می باشد و در مسیر بازگشت شامل مرکز باز یافت و دفن می باشد. که مطابق شکل زیر با هم در ارتباط می باشند. هنگامی که تولید کنندگان به دلایلی نتوانند نیاز مشتری را برطرف نمایند می توانند در همان شبکه برون-سپاری کرده و از ظرفیت بلا استفاده تولید کننده دیگر استفاده نموده و نیاز مشتری را برطرف نمایند که این تولید کنندگان با وسیله نقلیه $a1, a2$ می توانند مقادیر برون سپاری خود را بین تولید کنندگان ارسال کنند که وسیله نقلیه $a1$ در ارتباط با تولید کننده $i1$ می باشد و وسیله نقلیه $a2$ در ارتباط با تولید کننده $i2$ می باشد. که فاصله بین تولید کنندگان ۱۰ واحد می باشد ظرفیت تولید کنندگان نیز ثابت و محدود می باشد ظرفیت تولید کننده $i1$ ، ۲۲۰۰ و ظرفیت تولید کننده $i2$ ، ۲۳۰۰ می باشد. ظرفیت مرکز باز یافت $r1, r2$ نیز ثابت و محدود می باشد که ظرفیت آنها را ۱۵۰۰ فرض نمودیم. یک مرکز دفن داریم که مرکز دفن محدودیت ظرفیت ندارد. هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه $a1=5, a2=5, b1=9, b2=8, c1=4, c2=3, d1=4$

جدول ۱ درصد محصول p بازگشتی از مشتری z به مرکز باز یافت

مشتری \ محصول	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p5$
Costomer1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5
Costomer2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2
Costomer3	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2
Costomer4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

جدول ۲ درصدی از تعداد قطعه s که در مرکز r قابل باز یافت نیست

قطعه \ مرکز باز یافت	$r1$	$r2$
S1	0.2	0.5
S2	0.5	0.2
S3	0.2	0.5
S4	0.2	0.5

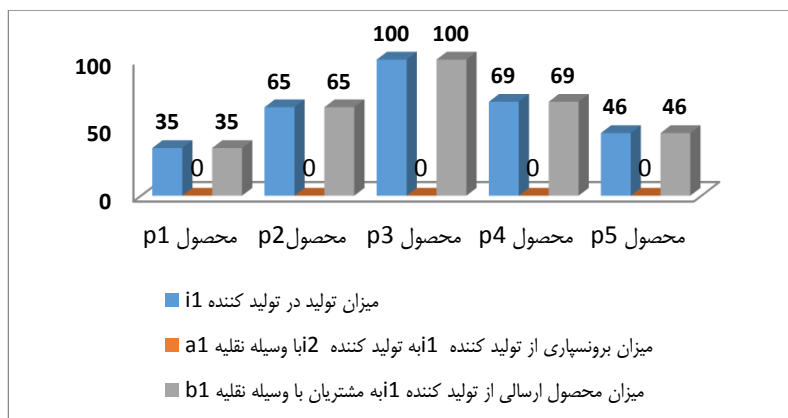
جدول ۳ تقاضای مشتری z از محصول p

مشتری \ محصول	Costomer1	Costomer ۲	Costomer ۳	Costomer ۴
P1	10	32	40	35
P2	15	50	89	78
P3	14	90	40	95
P4	19	58	34	12
P5	15	89	77	88

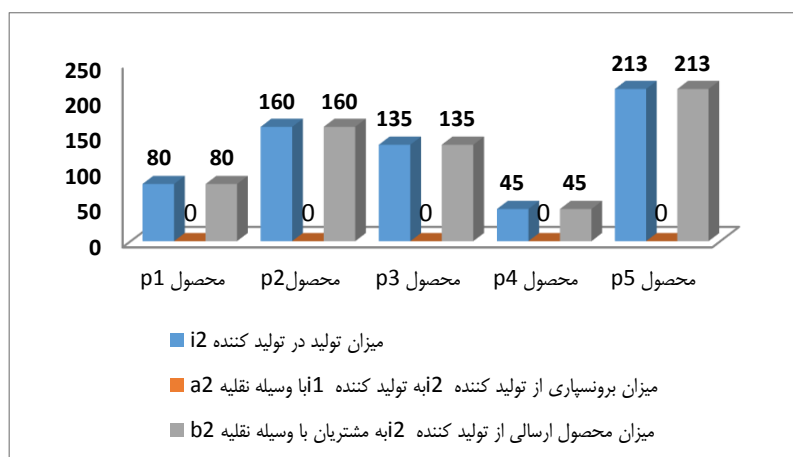
جدول ۴ جریمه کمبود هر واحد محصول p برای مشتری z

مشتری \ محصول	$p1$	$p2$	$p3$	$p4$	$p5$
Costomer1	1550	1300	1750	1500	1900
Costomer2	2850	1200	1620	1220	2450
Costomer3	3700	2550	1720	1150	1250
Costomer4	1950	2950	2350	2650	1450

این مسئله را با نرم افزار GAMS حل نمودیم و نمودارهای زیر میزان تولید و میزان برونسپاری دو تولید کننده را نشان میدهد. همانطور که از نمودار ۱ و ۲ مشخص است میزان برونسپاری صفر میباشد. عمل برونسپاری موجب کاهش مازاد زنجیره میشود و تولیدکننده ها باید تصمیم به درونسپاری کنند و فعالیتها در داخل پیاده شوند.



نمودار ۱: میزان تولید و میزان برونسپاری تولید کننده i1



نمودار ۲: میزان تولید و میزان برونسپاری تولید کننده i2

نتیجه گیری

امروزه رقابت در سطح بنگاههای اقتصادی که ارائه دهنده خدمات و محصولات هستند، چهره جهانی به خود گرفته است. به این دلیل برای باقی ماندن در صحنه رقابت، مدیریت زنجیره تامین نیازمند هماهنگی بیشتر و استفاده از تمامی پتانسیل های موجود است. از جمله فعالیت هایی که در این راستا برای تمامی زنجیره های تامین مطرح است برونسپاری فرایندها با هدف انجام آنها به صورت هماهنگ تر، سریع تر و متناسب با نیاز مشتریان می باشد. در مقاله حاضر به پرسش های پیرامون برونسپاری فعالیت ها مربوط به انتخاب بنگاه های تولید کننده و تصمیم گیری در رابطه با درصد واگذاری فعالیتها به هریک بنگاه ها با استفاده از مدل ریاضی پاسخ داده شده است. در این مدل با هدف تصمیم گیری مناسب تر به منظور کاهش هزینه های موجود به عنوان یکی از اولویتهای مدیریت زنجیره تامین محقق شده است. بنابراین اجرا و حل مسئله با الگوریتم های دیگر و برونسپاری در مراکز بازیافت و مراکز دفن در داخل یا خارج زنجیره به عنوان کارآیندگان پیشنهاد می شود.

- El-Sayed, M., Afia, N. & El-Kharbotly, A. (2010). "A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk." *Computers & Industrial Engineering*, Vol.58, PP. 423-431.
- Farhani, Z., Pishvae, M.S., (2008). "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design" *Journal of Faculty of Engineering, University of Theran, JFE*, Vol.42, No.7, 2008.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, JM. & Wassenhove, L.(2001). "The impact of product recovery on logistics network design" *Production and Operation Management*, Vol. 10, No.2, PP.156-173.
- Frota Neto, j. Q., Bloemhof, j., & van Nunen A.A.E., van Heck, E.(2008), "Designing and evaluating sustainable logistics network" , *International journal of production Economics*, 111,195-208.
- Hosseinzadeh, M., Roghani, E., (2012). "An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment using genetic algorithm" *International Journal of business and social science*, Vol.3, No.12, 2012.
- Jayaraman, V., Guige, V.D.R., Srivastava R. (1999). "A closed-loop logistics model for manufacturing" *Operational Research Society*, Vol. 50, PP.497-508.
- Kara, S., Rugrungruang, F. & Kaebernick, H. (2007). "Simulation modeling of reverse logistics network." *International Journal of Production Economics*, Vol. 106, PP. 61-69.
- Kim, K., Song, I., Kim, J., & Jeong, B. (2006), "Supply planning model for remanufacturing system in revers logistics environment " *Computers & Industrial Engineering*, 51, (2), 279-287.
- Lee, J.E., Gen, M. & Rhee, k.G. (2009). "Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm" *Computers and Industrial Engineering*, Vol.56, pp. 951-964.
- Min, H., Ko, H, J., Ko, c, s.(2006), " A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns " , *Omega*, 34, 56-69.
- Pishvae, M.S., Farahani, R.Z. & Dullaert, W.(2010). "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design." *Computers & Operations Research*, Vol. 37, PP.1100-1112.
- pishvae, M.S., Jolai, F. & Razmi, J. (2009). "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design." *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.28, PP. 107-114.
- Sirvastava, a.k. (2008). "Network design for reverse logistics." *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 36, PP. 535-548.

ارائه رویکردی ترکیبی جهت تعیین ساختار بهینه در شبکه‌های عصبی مصنوعی

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۳

کد مقاله: ۷۰۴۸۱

محسن صادق عمل نیک^۱، ناصر حبیبی‌فر^۲

چکیده

انتخاب ساختار بهینه یکی از عواملی است که می‌تواند در عملکرد شبکه عصبی تاثیر بسزایی داشته باشد. شبکه‌های عصبی دارای پارامترهایی می‌باشند که با تغییر آنها می‌توان ساختارهای مختلف ایجاد نمود. هدف این پژوهش ارائه روشی جهت تعیین ساختار بهینه است، یعنی ساختاری که عملکرد بهتری نسبت به سایر ساختارها داشته است. روش ارائه شده جهت تعیین ساختار بهینه شامل ۷ گام می‌باشد که عبارتند از: جمع‌آوری داده‌ها، تعیین مجموعه تست و آموزش، تعیین شاخص‌های ارزیابی، اجرای شبکه برای ساختارهای مختلف، محاسبه شاخص‌ها برای ساختارهای مختلف، انتخاب روش رتبه‌بندی و انتخاب ساختار بهینه. درصد میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و زمان اجرا، شاخص‌هایی می‌باشند که به عنوان معیارهایی برای ارزیابی عملکرد ساختارها پیشنهاد شده است. در پایان روش ارائه شده در قالب یک مسئله عددی با استفاده از روش TOPSIS اجرا شده است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های عصبی مصنوعی، رویکرد ترکیبی، انتخاب ساختار بهینه

۱- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۱- مقدمه

استفاده از شبکه‌های عصبی در سه دهه اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است. از دهه ۱۹۸۰ شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار محاسباتی قدرتمند توجه محققین را جذب خود کرد (Raza and Khosravi, 2015). از جمله کاربردهای شبکه‌های عصبی می‌توان به بهینه‌سازی، پیش‌بینی، کنترل فرایند و حل مسائل پیچیده اشاره نمود (Szoplik, 2015). شبکه‌های عصبی به دلیل اینکه توانایی بالاتری در مدل نمودن ورودی‌ها و خروجی‌های مدل بدون نیاز به فرمول‌سازی‌های پیچیده دارند نسبت به تکنیک‌های آماری عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند (Fausett, 2006). همچنین شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی شبکه ورودی‌ها و خروجی‌ها نیاز به اطلاعات جزئی ندارد (Szoplik, 2015). پژوهش‌های بسیاری انجام شده‌اند تا برتری شبکه‌های عصبی را نسبت به تکنیک‌های سنتی نشان دهند، بدین منظور علاقه‌مندان می‌توانند به منابعی که در ادامه آمده مراجعه کنند: (Tang and Fishwick, 1993; Chiang et al., 1996; Jhee and Lee, 1993; Hill et al., 1996; Hwang, 2001; Tang et al., 1991; Kohzadi et al., 1996; Stern, 1996; Indro et al., 1999; Azadeh et al., 2007a-b).

آموزش و تست دو عملیات اصلی در شبکه‌های عصبی هستند. آموزش شبکه عصبی یک عملیات یادگیری است تا شبکه بتواند ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را به خوبی فراگیرد. در طول عملیات تست شبکه به دنبال اینست که عملکرد خود را با توجه به آموزشی که داشته بیازماید و در صورتی که عملکردش صحیح نباشد دوباره به عملیات آموزش رجوع می‌کند. این فرایند تا زمانی که به حد مطلوبی از رضایت دست یابیم ادامه می‌یابد (Raza and Khosravi, 2015).

الگوریتم یادگیری مناسب، ساختار بهینه شبکه و داده آموزش می‌توانند در عملکرد شبکه و کاهش پیچیدگی نقش به سزایی داشته باشند (Ho K-L et al., 1999). یک مشکل عملی در شبکه‌های عصبی انتخاب ساختار مناسب و به عبارتی تنظیم صحیح پارامترهای شبکه می‌باشد (Choy et al., 2003). انتخاب صحیح پارامترهای شبکه در عمده پژوهش‌هایی که صورت گرفته است تنها با یک معیار ارزیابی انجام شده است. در این پژوهش با مرور منابع مناسب، چندین شاخص جهت ارزیابی ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی شناسایی شده‌اند و یک رویکرد جدید جهت انتخاب ساختار بهینه شبکه‌های عصبی ارائه شده است.

۲- متدولوژی

همانطور که بیان شد، در این مقاله یک روش ترکیبی با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت تعیین ساختار بهینه شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه شده است. این رویکرد دارای ۸ گام می‌باشد که در ادامه آمده است.

گام ۱: جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها

در ابتدا بایستی داده‌های مناسب از پایگاه‌های داده سازمان‌ها و یا از طریق پرسشنامه جمع‌آوری گردد. قبل از انجام هر عملی بر روی داده‌ها لازم است که داده‌ها آماده‌سازی شوند، به عنوان مثال معیارهای اضافی حذف شوند و مقادیر گم‌شده برآورد گردند.

گام ۲: تعیین مجموعه تست و آموزش

شبکه‌های عصبی ابتدا بایستی آموزش داده شوند، لذا نیاز است که داده‌های جمع‌آوری شده به دو دسته تقسیم شوند. معمولاً ۷۰٪ داده‌ها جهت آموزش و ۳۰٪ برای تست در نظر گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است که انتخاب مجموعه تست و آموزش بایستی به صورت تصادفی صورت گیرد.

گام ۳: تعیین شاخص‌های ارزیابی

جهت تصمیم‌گیری در مورد ساختار بهینه شبکه عصبی بایستی شاخص‌هایی در نظر گرفته شود. شاخص‌های زیر جهت این امر می‌توانند در نظر گرفته شوند.

$$\bullet \quad MAPE^1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_{Act_i} - Q_{ANN_i}}{Q_{ANN_i}} \right| \times 100 \quad (1)$$

$$\bullet \quad RMSE^2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (Q_{Act_i} - Q_{ANN_i})^2} \quad (2)$$

$$\bullet \quad R = \frac{N \sum_{i=1}^N (Q_{Act_i} \times Q_{ANN_i}) - \sum_{i=1}^N (Q_{Act_i}) \times \sum_{i=1}^N (Q_{ANN_i})}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N (Q_{Act_i})^2 - (\sum_{i=1}^N Q_{Act_i})^2} \times \sqrt{N \sum_{i=1}^N (Q_{ANN_i})^2 - (\sum_{i=1}^N Q_{ANN_i})^2}} \quad (3)$$

$$\bullet \quad Time \quad (4)$$

1 Mean Absolute Percentage Error

2 Root of Mean Square Error

در این شاخص‌ها Q_{ANN} و Q_{Act} به ترتیب بیانگر مقدار واقعی و مقدار خروجی شبکه عصبی هستند و N بیانگر تعداد داده‌ها می‌باشد. شاخص (۱) درصد میانگین خطای مطلق، شاخص (۲) ریشه میانگین مربعات خطا، شاخص (۳) ضریب همبستگی و شاخص (۴) مدت زمان اجرای شبکه عصبی می‌باشد که با توجه به ساختار آن متفاوت است. در میان این شاخص‌ها، شاخص شماره (۳) هرچه بیشتر باشد بهتر است و مابقی هرچه کمتر باشند بهتر است. ضمن اینکه می‌توان این شاخص‌ها را برای داده‌های آموزش و تست به صورت جدا محاسبه نمود.

گام ۴: اجرای شبکه با ساختارهای مختلف

در این مرحله با تغییر پارامترهای تأثیرگذار بر خروجی شبکه عصبی، ساختارهای مختلفی ایجاد می‌شوند که هدف انتخاب ساختاری است که بالاترین امتیاز را نسبت به سایر ساختارها با توجه به شاخص‌های ارزیابی بدست آورد.

گام ۵: محاسبه شاخص‌ها برای ساختارهای مختلف

پس از اجرای شبکه با ساختارهای مختلف لازم است مقدار شاخص‌های ارزیابی که وابسته به خروجی شبکه عصبی و مقدار واقعی می‌باشند، محاسبه شود تا با استفاده از آنها ماتریس تصمیم تشکیل گردد.

گام ۶: انتخاب روش رتبه‌بندی

تکنیک‌های مختلفی جهت تصمیم‌گیری هنگامیکه معیارهای مختلفی داریم ارائه شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به ANP، AHP، WSA و TOPSIS اشاره نمود. در این مرحله بایستی یکی از تکنیک‌های موجود را جهت تصمیم‌گیری انتخاب نمود.

گام ۷: انتخاب ساختار بهینه

با توجه به ماتریس تصمیم تشکیل شده در گام ۵ و با استفاده از روش انتخاب شده در گام ۶ ساختارهای مختلف را رتبه‌بندی می‌کنیم و ساختاری که بالاترین امتیاز را کسب کند به عنوان ساختار بهینه انتخاب می‌کنیم.

۳- مثال عددی

در این بخش با ارائه یک مسئله نمونه سعی شده است که مراحل روش ارائه شده به طور عملی توضیح داده شود تا خوانندگان با روند انجام کار این پژوهش بیشتر آشنا شوند. در ادامه گام‌های روش به ترتیب اجرا شده‌اند.

گام ۱: داده‌های استفاده شده در این پژوهش به روش پرسشنامه جمع‌آوری شده است. از آنجاییکه پرسشنامه مذکور بر بستر وب طراحی شده و داده‌ها نیز از همین روش جمع‌آوری شده‌اند، مقدار گم‌شده‌ای در داده‌ها وجود نداشته و نیاز به آماده‌سازی خاصی ندارند.

گام ۲: همانگونه که بیان گردید، ۷۰٪ داده‌ها جهت آموزش شبکه عصبی و ۳۰٪ جهت تست شبکه عصبی در نظر گرفته شده است.

گام ۳: شاخص‌هایی که در گام سوم بیان گردید جهت ارزیابی ساختارهای شبکه عصبی در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که این شاخص‌ها برای مجموعه تست محاسبه شده است.

گام ۴: جهت اجرای روش برای مسئله نمونه، شبکه‌های عصبی چندلایه پرسپترون در نظر گرفته شده‌اند. پارامترهای تأثیرگذار بر خروجی این نوع از شبکه‌های عصبی عبارتند از: تابع آموزش، تعداد لایه‌های پنهان، تابع انتقال در هر لایه پنهان، تعداد نورون‌ها در هر لایه پنهان و تابع انتقال در لایه خروجی. با تغییر این پارامترها ساختارهای مختلفی تشکیل می‌شود که هدف انتخاب ساختاری می‌باشد که بهترین عملکرد را با توجه به شاخص‌های موردنظر داشته باشد. ساختارهای مختلف برای این مسئله در ستون‌های ۲ تا ۸ جدول ۱ آمده است.

گام ۵: حال که ساختارهای مختلف شبکه عصبی ایجاد شد زمان آنست که شاخص‌های مذکور برای هر ساختار محاسبه شود. اطلاعات این گام در ستون‌ها ۹ تا ۱۲ جدول ۱ خلاصه شده است.

گام ۶: همانطور که بیان شد تکنیک‌های مختلفی جهت انتخاب بهترین گزینه در هنگامیکه چند معیار ارزیابی داریم ارائه شده است. در این پژوهش جهت حل مسئله از روش TOPSIS استفاده شده است.

گام ۷: با استفاده از اطلاعات گام پنجم ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود و سپس با انجام روش TOPSIS گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌گردد. ستون‌های ۱۳ و ۱۴ جدول ۱ خروجی این عمل را نشان می‌دهند.

طبق نتایج بدست آمده ساختار شماره ۶ بهترین عملکرد را نسبت به سایر ساختارها دارا می‌باشد که با بررسی مقادیری که این ساختار برای شاخص‌های ارزیابی بدست داده است کاملاً منطقی و صحیح می‌باشد.

جدول ۱. رتبه، مقادیر شاخص های ارزیابی و پارامترهای ساختارهای مختلف

رتبه	امتیاز	شاخص های ارزیابی			تایید انتقال لایه خروجی	لایه پنهان دوم		لایه پنهان اول		تعداد لایه های پنهان	تابع آموزش	کد ساختار
		Time (S)	R	RMSE	MAPE (%)	تایید انتقال لایه	تعداد نورون ها	تابع انتقال	تعداد نورون ها	تابع انتقال		
۳	۰,۷۴	۱۵	۱۲۰۰	۱,۴۱	۲۶	purelin	۱۲	tansig	۱۲	tansig	LM	۱
۱۰	۰,۵۸	۱۴	۷۵۰	۱,۵۱	۲۶	purelin	۱۳	tansig	۱۴	radbas	GD	۲
۹	۰,۶۱	۱۶	۸۳۷	۱,۳۷	۲۴	purelin	۱۱	tansig	۱۳	tansig	BFG	۳
۶	۰,۶۸	۱۴	۸۸۰	۱,۳۱	۲۴	purelin	۸	tansig	۵	logsig	LM	۴
۱۳	۰,۵۲	۱۲	۴۵۱	۱,۴۱	۲۴	purelin	۱۵	logsig	۱۱	tansig	GDA	۵
۱	۰,۸۷	۱۱	۱۰۶۰	۱,۲۶	۲۴	purelin	-	-	۲۶	tansig	OSS	۶
۱۴	۰,۲۷	۱۴	۷۸۷	۱,۵۰	۵۰	purelin	-	-	۳۵	logsig	LM	۷
۷	۰,۶۵	۱۱	۷۴۰	۱,۴۰	۲۴	purelin	-	-	۹	logsig	BFG	۸
۱۲	۰,۵۳	۱۱	۴۸۴	۱,۳۸	۲۵	purelin	-	-	۸	tansig	GDA	۹
۵	۰,۷۲	۱۲	۸۸۸	۱,۳۳	۲۵	purelin	۲۵	tansig	۱۵	tansig	OSS	۱۰
۲	۰,۸۰	۱۲	۱۰۱۵	۱,۳۳	۲۵	purelin	۱۵	tansig	۱۲	tansig	CGP	۱۱
۴	۰,۷۲	۱۱	۸۵۷	۱,۲۶	۲۳	purelin	-	-	۱۳	tansig	BFG	۱۲
۱۱	۰,۵۵	۱۰	۵۰۸	۱,۳۸	۲۴	purelin	-	-	۱۸	logsig	CGP	۱۳
۸	۰,۶۲	۱۱	۶۵۹	۱,۲۳	۲۴	purelin	۱۲	tansig	۱۵	tansig	GDX	۱۴

نتیجه گیری

انتخاب ساختار بهینه یکی از عواملی است که می تواند در عملکرد شبکه عصبی تاثیر بسزایی داشته باشد. انتخاب ساختار بهینه عبارت است از تنظیم پارامترهای شبکه عصبی. شبکه عصبی که در این پژوهش استفاده شده است از نوع شبکه های عصبی

چندلایه پرسپترون می‌باشد. پارامترهای مهم شبکه‌های عصبی چندلایه پرسپترون عبارتند از: تابع آموزش، تعداد لایه‌های پنهان، تابع انتقال در هر لایه پنهان، تعداد نورون‌ها در هر لایه پنهان و تابع انتقال در لایه خروجی. با تغییر این پارامترها ساختارهای مختلفی ایجاد می‌شود که با توجه به داده‌های مسئله خروجی‌های متفاوتی دارا هستند. هدف این پژوهش ارائه روشی جهت تعیین ساختار بهینه است، یعنی ساختاری که عملکرد بهتری نسبت به سایر ساختارها داشته است.

روش ارائه شده جهت تعیین ساختار بهینه شامل ۷ گام می‌باشد که عبارتند از: جمع‌آوری داده‌ها، تعیین مجموعه تست و آموزش، تعیین شاخص‌های ارزیابی، اجرای شبکه برای ساختارهای مختلف، محاسبه شاخص‌ها برای ساختارهای مختلف، انتخاب روش رتبه‌بندی و انتخاب ساختار بهینه. درصد میانگین خطای مطلق، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و زمان اجرا، شاخص‌هایی می‌باشند که به عنوان معیارهایی برای ارزیابی عملکرد ساختارها پیشنهاد شده است.

در انتهای پژوهش، جهت ایجاد درک بهتر از روش ارائه شده یک مسئله عددی ارائه شده است. داده‌های این مسئله از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده است و همان ۴ شاخص جهت ارزیابی ساختارها در نظر گرفته شده است. با تغییر پارامترهای شبکه ۱۴ ساختار مختلف ایجاد شد و با اجرای شبکه، مقادیر شاخص‌های ارزیابی محاسبه گردید. جهت رتبه‌بندی ساختارها و انتخاب ساختار بهینه از روش TOPSIS استفاده شد و طبق خروجی این روش ساختار شماره ۶ در جدول ۱ به عنوان بهترین ساختار برگزیده شد.

منابع

- Szoplik, J. (2015). Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks. *Energy*, 85, 208-220.
- Raza, M. Q., & Khosravi, A. (2015). A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1352-1372.
- Fausett L. (2006). *Fundamentals Neural Networks: architectures, algorithms, and applications*. India: Pearson Education.
- Choy, K. L., Lee, W. B., & Lo, V. (2003). Design of an intelligent supplier relationship management system: a hybrid case based neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 24(2), 225-237.
- Azadeh, A., Ghaderi, S., Anvari, M., & Saberi, M. (2007a). Performance assessment of electric power generations using an adaptive neural network algorithm. *Energy Policy* 35, 3155-3166.
- Azadeh, A., Ghaderi, S.F., Anvari, M., Saberi, M., Izadbakhsh, H., (2007b). An integrated artificial neural network and fuzzy clustering algorithm for performance assessment of decision making units. *Applied Mathematics and Computation* 187, 584-599.
- Chiang, W.C., Urban, T.L., Baldridge, G.W., (1996). A neural network approach to mutual fund net asset value forecasting. *Omega, The International Journal of Management Science* 24, 205-215.
- Hwang, B.H., (2001). Insights into neural-network forecasting of time series corresponding to ARMA (p;q) structures. *Omega* 29, 273-289.
- Jhee, W.C., Lee, J.K., (1993). Performance of neural networks in managerial forecasting. *Intelligent Systems in Accounting Finance and Management* 2, 55-71.
- Hill, T., O'Connor, M., Remus, W., (1996). Neural network models for time series forecasts. *Management Science* 42 (7), 1082-1092.
- Indro, D.C., Jiang, C.X., Patuwo, B.E., Zhang, G.P., (1999). Predicting mutual fund performance using artificial neural networks, *Omega, The International Journal of Management Science* 27, 373-380.
- Kohzadi, N., Boyd, M.S., Kermanshahi, B., Kaastra, I., (1996). A comparison of artificial neural network and time series models for forecasting commodity prices. *Neurocomputing* 10 (3), 169-181.
- Stern, H.S., (1996). Neural networks in applied statistic. *Technometrics* 38 (3), 205-214.
- Tang, Z., Almeida, C., Fishwick, P., (1991). A Time series forecasting using neural networks vs. Box-Jenkins methodology. *Simulation* 57 (5), 303-310.
- Tang, Z., Fishwick, P.A., (1993). Back-propagation neural nets as models for time series forecasting. *ORSA Journal on Computing* 5 (4), 374-385. A.

پروژه‌های کاربردی در مهندسی صنایع

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹



۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴