

## ارائه مدلی ترکیبی برای انتخاب تامین کنندگان مبتنی بر رویکرد خوشه بندی و حل آن با استفاده از الگوریتم های NPGA و NSGA-II

پرهام عظیمی\*، فرزانه گلدار\*\*، اسماعیل مهدی زاده\*\*\*

(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱ - تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۰)

### چکیده

مدیریت زنجیره تامین یکی از مهمترین استراتژی های رقابتی است که در شرکت های مدرن استفاده می شود. هدف اصلی مدیریت زنجیره تامین ادغام تامین کنندگان مختلف برای برآوردن تقاضای بازار است. به همین دلیل فرآیند ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان نقش حیاتی و تاثیر قابل توجهی روی مدیریت در زنجیره تامین دارد. این مقاله، یک مدل ترکیبی را بر اساس نگرش خوشه بندی و انتخاب تامین کنندگان ارائه می دهد. به طوری که ابتدا روش خوشه بندی K-هارمونیک که یکی از روش های پرکاربرد در آنالیز خوشه بندی محسوب می شود برای خوشه بندی تامین کنندگان مورد استفاده قرار می گیرد، سپس بر اساس خروجی حاصل از خوشه بندی، یک مدل چند هدفه برای انتخاب مناسب ترین تامین کننده در نظر گرفته می شود. از آن جا که مسئله چندهدفه مورد مطالعه به دسته مسایل NP-hard تعلق دارد، برای حل مدل پیشنهادی در یک زمان موجه از الگوریتم های ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II) و ژنتیک رتبه بندی نامغلوب (NPGA) بهره گرفته ایم. نتایج محاسباتی بدست آمده نشان می دهد که آنالیز خوشه بندی می تواند به عنوان یک راه کار موثر در انتخاب تامین کنندگان در نظر گرفته شود. برای ارزیابی تاثیر آنالیز خوشه بندی بر روی انتخاب تامین کنندگان چندین مجموعه ی داده در نظر گرفته می شود.

### واژگان کلیدی:

انتخاب تامین کننده، مدیریت زنجیره تامین، خوشه بندی، K-هارمونیک.

\* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین - دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک (نویسنده مسئول)

p.azimi@yahoo.com

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین - دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک

\*\*\* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین - دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک

## مقدمه

تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله استخراج ماده خام به حالت نهایی (برای مصرف) و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آن‌ها زنجیره تامین گفته می‌شود. تشدید صحنه رقابت جهانی در محیطی که به صورت دائم در حال تغییر است، ضرورت واکنش‌های مناسب سازمان‌ها و شرکت‌های تولیدی - صنعتی را دو چندان کرده است و سازمان‌های امروزی در عرصه ملی و جهانی به منظور کسب جایگاهی مناسب و حفظ آن نیازمند بهره‌گیری از الگوی مناسب همچون مدیریت زنجیره تامین در راستای تحقق مزیت رقابتی و انتظارات مشتریان هستند [Assaoui et al., 2007]. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تامین‌کننده / تامین‌کنندگان مناسب، یکی از اصلی‌ترین و مهمترین مؤلفه‌ها در مدیریت زنجیره تامین است و اهمیت آن در به موفقیت رساندن شرکت‌ها قابل چشم‌پوشی نیست؛ چرا که انتخاب تامین‌کننده مناسب، به طور قابل توجهی شاخص‌های مختلفی از جمله هزینه‌های خرید مواد اولیه و زمان سفارش را کاهش و سطح رقابت‌پذیری در سازمان‌ها را افزایش می‌دهد [Shligram, 2008]. در سال‌های اخیر، مساله انتخاب تامین‌کننده به عنوان یک عامل کلیدی در بسیاری از مباحث مهندسی به کار گرفته شده است، که از جمله می‌توان به: تحلیل پوششی داده‌ها (Data Envelopment Analysis (DEA)، قابلیت اطمینان، سیستم‌های صف، تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه اشاره کرد [Dulmin and Mininno, 2003]. رویکردهای مورد استفاده در ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان به دو دسته کلی رویکردهای انفرادی و رویکردهای ترکیبی تقسیم بندی می‌شود [De Boer et al., 2001]. رویکردهای انفرادی را می‌توان به هفت دسته کلی تحلیل پوششی داده‌ها، برنامه‌ریزی ریاضی، فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process (AHP)، فرآیند تحلیلی شبکه‌ای (Analytic Network Process (ANP)، نظریه مجموعه‌های فازی، تکنیک رتبه بندی چند شاخصه ساده و الگوریتم‌های فراابتکاری تقسیم بندی می‌شود. رویکردهای ترکیبی را نیز می‌توان به سه دسته کلی، رویکردهای تلفیقی فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی و رویکردهای

تلفیقی فازی و رویکردهای خوشه‌بندی تقسیم‌بندی می‌شوند که خود در برگیرنده‌ی شاخه‌های مختلف زیادی هستند [Po et al., 2009]. مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تحت تاثیر عوامل متعددی است که اغلب در تقابل با یکدیگرند. در نظر گرفتن توابع هدفی مانند مینیم کردن هزینه‌ها، ماکزیم کردن کیفیت و مینیم کردن زمان تحویل به صورت هم‌زمان، ماهیت مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را به یک مسئله‌ی چندهدفه تبدیل کرده است [Shligram, 2008]. مهدی زاده و توکلی مقدمیک الگوریتم ترکیبی FPSO کهادغام ترکیب فازی (FCM)C-means و الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (Particle swarm optimization (PSO)) می‌باشد را به منظور خوشه‌بندی تأمین‌کنندگان تحت محیط‌های فازی و طبقه‌بندی گروه‌های کوچکتر با ویژگی‌های مشابه پیشنهاد کردند. همچنین آزمایشات تجربی آن‌ها نشان داد که زمان محاسبات FPSO (زمان CPU) برای تمام مثال‌ها به میزان قابل توجهی کمتر از روش FCM با کیفیت بالای جواب در مقدار تابع هدف هستند [TavakkoliMoghaddam and Mehdizadeh, 2008]. چه و ونگیک روش ترکیبی برای آنالیز خوشه‌بندی تأمین‌کنندگان بر روی تقاضای مشتریان از جمله هزینه تولید، کیفیت محصول، زمان تدارکات با استفاده از روش ترکیبی SA، K-means، CPSO و روش تاگوچی (Taguchi) به صورت مختصر به عنوان KSACPSO را پیشنهاد کردند. آن‌ها برای رسیدن به اثر بهینه خوشه‌بندی، الگوریتم خوشه‌بندی KSACPSO را برای بهبود نقص K-means سنتی، یکپارچه‌سازی قابلیت جستجوی جهانی PSO، احتمال بدست آوردن راه حل بهینه محلی SA، و پارامترهای بهینه از روش تاگوچی را پیشنهاد کردند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که کیفیت همگرایی الگوریتم KSACPSO بالاتر از الگوریتم‌های K-means، KSA، KGA، KGSA، KCPSO است [Che, 2010]. چه دو مدل ریاضی بهینه‌سازی را برای خوشه‌بندی و انتخاب تأمین‌کننده با توجه به تقاضای مشتری ارائه داد و همچنین از یک روش دو مرحله‌ای برای حل دو مدل ریاضی و از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (Simulated annealing (SA)) برای حل مدل استفاده کرده است [Che, 2012]. فائزی رازی مدل ترکیبی جدیدی را مبتنی بر خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به منظور انتخاب تأمین

کنندگان در زنجیره تامین ارائه کرد و آن را با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی حل نمود [Faezy razai,2014].

در این مقاله، یک مدل ریاضی ترکیبی برای خوشه بندی و انتخاب تامین کنندگان توسعه داده می شود. به طوری که در فاز اول، تامین کنندگان بر اساس شاخص های هزینه، کیفیت، زمان، انعطاف پذیری خوشه بندی می شوند و در فاز دوم، با استفاده از نتایج بدست آمده از فاز اول، یک مدل چندهدفه برای انتخاب مناسب ترین تامین کننده برای هر بخش در نظر گرفته می شود. نتایج محاسباتی بدست آمده نشان می دهد که آنالیز خوشه بندی می تواند به عنوان یک راه کار موثر در انتخاب تامین کنندگان در نظر گرفته شود.

ادامه مقاله به شرح زیر سازماندهی می شود: در قسمت دوم، توضیحاتی در خصوص آنالیز خوشه بندی ارائه می شود. مدل ترکیبی پیشنهادی در قسمت سوم، تشریح خواهد شد. در قسمت چهارم الگوریتم های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب سازی نامغلوب ها (Non-dominated sorted genetic algorithms (NSGAI)) و ژنتیک مرتب سازی نامغلوب ها (Non-dominated ranked genetic algorithms (NRGA)) به منظور حل مدل پیشنهادی ارائه می گردند. سپس نتایج محاسباتی در قسمت پنجم، مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت در قسمت ششم، نتیجه گیری مقاله آورده می شود.

### آنالیز خوشه بندی

خوشه بندی فرآیندی است که در آن مجموعه ای از اشیاء به گروه های مجزایی از خوشه ها (کلاس ها) خوشه، تقسیم می شوند به طوری که اشیای یک خوشه تا حد امکان به یکدیگر شبیه بوده و با اشیاء دیگر خوشه ها، متفاوت می باشند [مومنی، ۱۳۹۰].

## الگوریتم K- هارمونیک

الگوریتم K- هارمونیک یک روش‌های خوشه‌بندی قطعی می‌باشد که اولین بار توسط ژانگ و همکارانش پیشنهاد شد [Jianget al., 2010]. الگوریتم K- هارمونیک به حل مشکل مقداردهی اولیه در الگوریتم K- میانگین می‌پردازد. هدف این الگوریتم، حداقل کردن میانگین هارمونیک تمامی نقاط موجود در یک مجموعه داده تا مراکز خوشه مربوط به آن‌ها می‌باشد.

گام‌های الگوریتم K- هارمونیک به صورت زیر می‌باشد [Wang and Wang, 2005].

۱- مقداردهی اولیه الگوریتم با مراکز حدسی C (انتخاب تصادفی مراکز).

۲- مقدار تابع هدف که از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$KHM(X, C) = \sum_{i=1}^n \frac{k}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\|x_i - c_j\|^p}} \quad (1)$$

که  $p$  یک پارامتر ورودی با مقدار  $p \geq 2$  می‌باشد.

۳- برای هر داده  $x_i$ ، تابع عضویت  $m(c_j | x_i)$  به ازای هر مرکز  $c_j$  از (۲) محاسبه می‌شود:

$$m(c_j | x_i) = \frac{\|x_i - c_j\|^{-p-2}}{\sum_{j=1}^k \|x_i - c_j\|^{-p-2}} \quad (2)$$

۴- برای هر داده  $x_i$ ، وزن  $w(x_i)$  مربوط به آن با استفاده از (۳) محاسبه می‌شود:

$$w(x_i) = \frac{\sum_{j=1}^k \|x_i - c_j\|^{-p-2}}{\left[ \sum_{j=1}^k \|x_i - c_j\|^{-p} \right]} \quad (3)$$

۵- برای هر مرکز  $c_j$ ، فاصله آن از تمامی نقاط  $x_i$  بر طبق توابع عضویت و وزن‌هایشان از (۴)

محاسبه مجدد می‌شود:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i)} \quad (4)$$

۶- گام‌های ۲ تا ۵ را به ازای تعداد تکرار از پیش تعریف شده‌ای انجام می‌دهیم یا تا زمانی که  $KHM(X, C)$  به اندازه قابل توجهی تغییر نکند.

۷- نقطه  $x_i$  را به خوشه  $J$  با بزرگترین  $m(c_j | x_i)$  تخصیص می‌دهیم.

### ضریب نیمرخ (Silhouette Coefficient)

تخمین تعداد بهینه خوشه یک از ارکان مهم در هر مساله خوشه‌بندی است که باعث بهبود خوشه‌بندی می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین تعداد خوشه وجود دارد. در این تحقیق ما از روش مشهور ضریب نیمرخ برای تعیین تعداد بهینه خوشه استفاده می‌کنیم [Kaufman and Rousseeuw, 1990].

مقدار نیمرخ برای هر شیء، برابر است با میزان شباهت آن شیء با اشیا داخل خوشه خودش در مقایسه با اشیا سایر خوشه‌ها است که به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$S(i) = \frac{(b(i) - a(i))}{\text{Max}\{a(i), b(i)\}} \quad (5)$$

که در آن:

$$b(i) = \text{Min}\{d(i, k)\} \quad (6)$$

همچنین  $a(i)$  متوسط فاصله شیء  $i$ ، با همه اشیا داخل خوشه خودش و  $d(i, k)$  میانگین فاصله شیء  $i$ ، با همه اشیا سایر خوشه‌ها  $k$  است. دامنه  $S(i)$  بین  $-1$  تا  $1$  است، که این مقدار هر چقدر به  $1$  نزدیک‌تر باشد نشان دهنده این است که شیء  $i$ ، به خوشه خودش نسبت به خوشه همسایه نزدیک‌تر است. همچنین این مقدار هر چقدر به  $-1$  نزدیک‌تر باشد نشان دهنده این است که

فاصله شیء  $i$ ، با خوشه خودش زیاد و با خوشه همسایه کم است. زمانی که این مقدار نزدیک به صفر باشد روشن نیست که این شیء باید در خوشه خودش یا خوشه همسایه قرار بگیرد. بنابراین برای تعیین تعداد بهینه خوشه از شاخص ضریب نیمرخ، استفاده می‌شود که در (۷) نشان داده شده است.

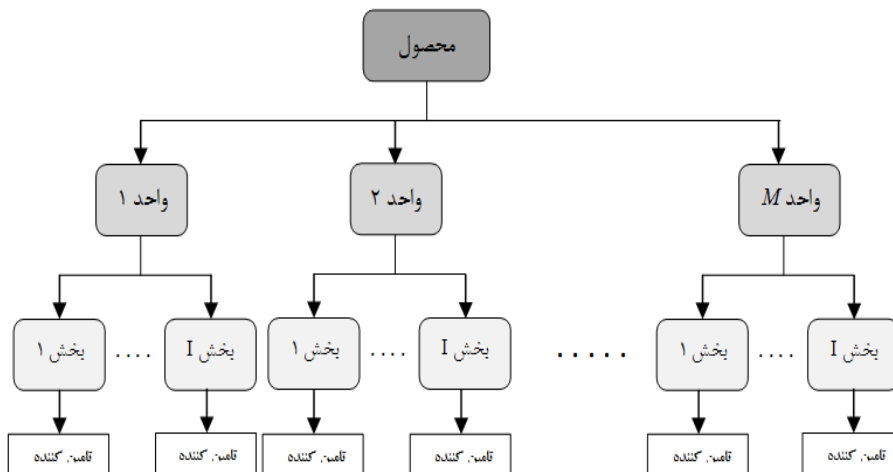
$$SC = \text{Max} \{ \bar{s}(k) \} \quad (7)$$

که در آن  $\bar{s}(k)$  متوسط پهنای نیم رخ نامیده می‌شود و برابر متوسط  $s(i)$  همه اشیا در خوشه‌ها است. دامنه SC نیز از ۱- تا ۱ بوده که هر چه قدر به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده اعتبار بیشتر خوشه‌بندی است. از این رو می‌توان با تغییر در تعداد خوشه‌ها به ضریب‌های نیمرخ متفاوت برسیم. بنابراین تعداد خوشه با بالاترین مقدار ضریب نیمرخ به عنوان خوشه بهینه در نظر گرفته می‌شود.

## طراحی مدل

### ۱-۱- رویکرد مدل سازی

در این قسمت یک مدل ریاضی ترکیبی برای خوشه‌بندی و انتخاب تأمین کنندگان توسعه داده می‌شود. در فاز اول، ابتدا خوشه‌بندی تأمین کنندگان با استفاده از الگوریتم  $K$ -هارمونیک که در قسمت دوم معرفی شد، صورت می‌پذیرد. خروجی این سطح، تعیین عضویت تأمین کنندگان در خوشه‌های مختلف می‌باشد. در فاز دوم، مناسب‌ترین تأمین کننده برای هر بخش بر اساس یک مدل سه هدفه انجام می‌گیرد. شکل (۱)، نمایی از مونتاژ یک محصول سه سطحی را نشان می‌دهد. سطح اول شامل  $m=1, 2, \dots, M$  واحد، هر یک از واحدها شامل  $i=1, 2, \dots, I$  بخش، که هر بخش نیز  $j=1, 2, \dots, J$  تأمین کننده می‌باشد.



شکل (۱): نمایی از مونتاژ یک محصول سه سطحی

### ۲-۱- مفروضات مدل

مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

- هیچیک از خوشه ها نمی توانند خالی بمانند.
- حداقل تعداد خوشه باید برابر دو باشد.
- هر تامین کننده تنها می تواند به یک خوشه تعلق پیدا کند.
- پارامترهای مساله قطعی می باشند.
- تامین کنندگان هر بخش متفاوت می باشند.

### پارامترهای مدل

### ۳-۱- پارامترها و متغیرهای تصمیم

پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله به صورت زیر تعریف می شوند:

- اندیس ها



$i$ : اندیس تعداد بخش‌ها ( $i:1, 2, \dots, I$ )

$j$ : اندیس تعداد تأمین کنندگان ( $j:1, 2, \dots, J$ )

$h$ : اندیس تعداد طبقه ( $h:1, 2, \dots, H$ )

$m$ : اندیس تعداد واحد ( $m:1, 2, \dots, M$ )

$h_m$ : اندیس واحد  $m$  در طبقه  $h$

• پارامترها

$AD_i$ : تقاضا واقعی برای بخش  $i$

$D_i$ : تقاضا برای بخش  $i$

$I_i$ : موجودی برای بخش  $i$

$HC_i$ : هزینه موجودی برای بخش  $i$

$hc_i$ : هزینه نگهداری

$UC_{ij}$ : هزینه واحد بخش  $i$  بدست آمده توسط تأمین کننده  $j$

$UT_{ij}$ : زمان واحد بخش  $i$  بدست آمده توسط تأمین کننده  $j$

$F_{ij}$ : انعطاف پذیری تأمین کننده  $j$  برای بخش  $i$

$Q_{ij}$ : کیفیت تأمین کننده  $j$  برای بخش  $i$

$f_{ij}$ : هزینه ثابت سفارش دهی بخش  $i$  بدست آمده تأمین کننده  $j$

$FD_i$ : تقاضای دوره بعد

در دوره بعد  $i$  میانگین هزینه متغیر خرید برای بخش  $i$ :  $U_i$

$M_{ij}$ : ظرفیت تولید کننده

$W_i$ : وزن شاخص‌ها

$AC^{h,hm}$ : هزینه مونتاژ برای واحد  $h_m$

$AT^{h,hm}$ : زمان مونتاژ برای واحد  $h_m$

$MPT^{h,h_m}$ : حداکثر زمان تولید بخش برای واحد  $h_m$

$C_i^{h,h_m}$ : واحد  $h_m$  در طبقه  $h$

$TC$ : هزینه کل تولید

$TQ$ : کیفیت کل تولید

$TT$ : زمان کل تولید

$TF$ : انعطاف پذیری کل تامین کننده

• متغیرهای تصمیم

$ND_{ij}$ : مقدار سفارش بخش  $i$  به دست آمده توسط تامین کننده  $j$

$X_{ij}$ : اگر تامین کننده  $j$  به بخش  $i$  تخصیص یابد برابر 1 و در غیر این صورت برابر 0

خواهد بود.

۱-۴- فاز دوم- مدل سه هدفه

$$\text{Min } TC \quad (۸)$$

$$\text{Min } TT \quad (۹)$$

$$\text{Max } (TF + TQ) \quad (۱۰)$$

$$TC = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f_{ij} \times x_{ij} + \sum_{i=1}^I HC_i + \sum_{h=1}^{H-1} \sum_{h_m=1}^{h_m} AC^{h,h_m} \quad (۱۱)$$

$$+ \sum_{i=1}^I FD_i U_i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J UC_{ij} (ND_{ij} - AD_i) \times x_{ij}$$

$$AD_i = D_i - I_i \quad ; \quad \forall_i \quad (۱۲)$$

$$HC_i = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [(ND_{ij} - AD_{ij}) \times x_{ij}] \times hc_i \quad ; \quad \forall_i \quad (۱۳)$$

$$TQ = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Q_{ij} \times x_{ij} \quad (14)$$

$$TT = \sum_{h=1}^H \sum_{m=1}^{h_M} MPT^{h,h_m} \quad (15)$$

$$MPT^{h,h_m} = \max \left\{ \left[ \sum_{j=1}^J (UT_{ij} \times x_{ij}) \times C_i^{h,h_m} \right] | 1 \leq m \leq M \right\} \text{ for } h = H \quad (16)$$

$$MPT^{h,h_m} = \max [MPT^{h+1,h_m} + AT^{h,h_m}] | 1 \leq m \leq M, \text{ for } h = 1, 2, \dots, H-1 \quad (17)$$

$$TF = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ij} \times x_{ij} \quad (18)$$

S.t :

$$\sum_{j=1}^J ND_{ij} \geq AD_i ; \forall i \quad (19)$$

$$ND_{ij} \leq x_{ij} \times M_{ij} ; \forall i, j \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = 1 ; \forall i \quad (21)$$

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^J UC_{ij}}{S(i)} \quad (22)$$

روابط (۸) و (۹)، به ترتیب نشان دهنده توابع هدف کمینه سازی مقدار هزینه کل و زمان کل می‌باشد همچنین رابطه (۱۰) نمایانگر تابع هدف حداکثرسازی مجموع دو شاخص کیفیت و انعطاف‌پذیری کل پس از نرمال‌سازی هر یک از شاخص‌ها می‌باشد. رابطه (۱۱) بیانگر هزینه کل است که از طریق مجموع هزینه سفارش دهی، هزینه موجودی، هزینه مونتاژ برای واحد، هزینه متغیر سفارش‌دهی و صرفه‌جویی در هزینه خرید دوره بعد بدست می‌آید. رابطه (۱۲) بیانگر تقاضای واقعی محصول می‌باشد. رابطه (۱۳) بیانگر چگونگی محاسبه هزینه موجودی می‌باشد. رابطه (۱۴) بیانگر چگونگی محاسبه مجموع کیفیت کل بخش‌های تولید می‌باشد.

رابطه (۱۵) بیانگر زمان کل می‌باشد که از طریق زمان‌های کل واحدها برای تمامی طبقات محاسبه می‌شود. رابطه (۱۶) طریقه محاسبه زمان واحد آخرین طبقه از طریق حداکثر کردن زمان تولید بخش مربوط به واحد را نشان می‌دهد. رابطه (۱۷) طریقه محاسبه زمان واحد هر طبقه مونتاژ می‌باشد که از طریق مجموع زمان مونتاژ واحد مربوطه و حداکثر زمان زیر طبقات به دست می‌آید. رابطه (۱۸) بیانگر چگونگی محاسبه مجموع انعطاف‌پذیری تامین‌کننده می‌باشد. محدودیت (۱۹)، اطمینان می‌دهد که تقاضای هر مشتری برآورده می‌شود. محدودیت (۲۰)، نشان دهنده محدودیت ظرفیت تولیدکننده است. محدودیت (۲۱)، تضمین می‌کند که برای هر بخش تنها یک تامین‌کننده انتخاب شود. محدودیت (۲۲)، بیانگر میانگین هزینه متغیر خرید برای هر بخش در دوره بعد می‌باشد.

با توجه به اینکه براکر نشان داد مسئله خوشه‌بندی از منظر پیچیدگی در دسته مسائل NP-hard قرار دارد [Brucker, 1987]؛ از این رو در این مقاله به منظور حل مدل از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک مرتبسازی نامغلوب و ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها که در بخش بعد تشریح می‌گردد استفاده می‌شود.

### روش‌های حل مدل

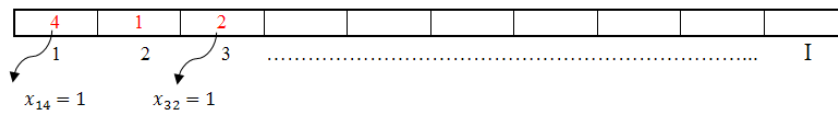
همان‌طور که اشاره شد مسئله خوشه‌بندی از منظر پیچیدگی در ابعاد بزرگ در رسته مسائل NP-hard قرار می‌گیرد از این رو قصد داریم برای حل مدل چند هدفه در سطح دوم الگوریتم‌های فراابتکاری NSGA-II و NPGA استفاده کنیم و در نهایت به مقایسه نتایج این دو الگوریتم می‌پردازیم.

### نحوه نمایش کروموزوم

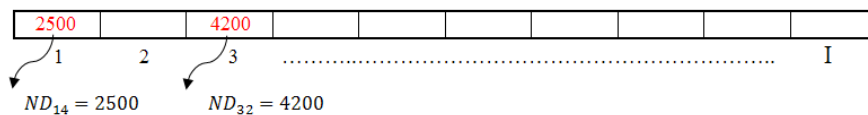
طریقه تعریف ساختار نمایش جواب‌ها، از جمله تاثیرگذارترین بخش‌ها برای افزایش کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به این که جواب‌های خوشه‌بندی و جواب‌های بدون خوشه‌بندی در نظر گرفته می‌شود، از این‌رو دو ساختار کروموزوم جواب در این تحقیق در نظر گرفته شده‌است:

#### • ساختار جواب بدون خوشه‌بندی

کروموزوم هر جواب مساله بدون خوشه‌بندی، دارای  $I \times J$  ژن است، که  $I$  تعداد بخش‌ها و  $J$  تعداد تأمین‌کننده‌ها می‌باشد. شکل‌های (۲) و (۳) ساختار نمایش جواب را نشان می‌دهد. دو پارامتر  $I$  و  $J$  که پارامتر ورودی هستند طول کروموزوم را مشخص می‌کنند.



شکل (۲): ساختار نمایش جواب



شکل (۳): ساختار نمایش جواب

شکل (۲) نشان دهنده این است که در هر بخش با کدام تأمین‌کننده کار می‌کنیم و شکل (۳) بیانگر این است که از آن تأمین‌کننده به چه میزان خریداری می‌کنیم.

### ساختار جواب با خوشه بندی

ساختار کروموزوم جواب با خوشه بندی، دارای  $I \times J$  ژن است، که  $I$  تعداد بخش‌ها و  $J$  تعداد تامین‌کننده‌ها می‌باشد. مقدار هر ژن بین ۱ تا  $K$  (حد اکثر تعداد خوشه) متغیر است. شکل (۴) ساختار نمایش جواب را نشان می‌دهد. دو پارامتر  $I$  و  $J$  که پارامتر ورودی هستند طول کروموزوم را مشخص می‌کنند.

به منظور ارائه توضیحی کامل تر نحوه نمایش جواب و روند رمزگشایی آن را در قالب یک مثال عددی تشریح می‌کنیم. فرض کنید تعداد بخش‌ها برای یک محصول ۷، تعداد کل تامین‌کننده‌ها ۱۰۰ که به ترتیب برای بخش‌های ۱ تا ۷ به صورت ۱۰، ۱۳، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۰ و ۱۰ می‌باشد. ساختار کروموزوم این مثال به صورت شکل (۴) نشان داده شده است.

		تامین‌کنندگان																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
بخش‌ها	1	3	1	3	3	4	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	3	3	1	1	2	1	3	1	4	3	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	1	4	3	1	1	1	1	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	3	1	2	1	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3	0	0	0	0	0
	5	4	2	4	2	4	4	2	3	4	4	3	4	2	2	2	2	1	4	4	2
	6	4	4	1	2	4	2	4	4	2	4	4	4	4	2	4	2	4	4	3	2
	7	1	4	1	1	1	2	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شکل (۴): ساختار نمایش جواب مثال عددی

در کروموزوم نشان داده شده در شکل بالا اعداد داخل هر ژن، شماره خوشه تعلق گرفته تامین‌کننده‌های بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد. برای مثال هفتمین تامین‌کننده از بخش چهار، در خوشه سه قرار گرفته است.

### الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها

این الگوریتم یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه می‌باشد که توسط Deb و همکاران ارائه شد [Deb et al., 2000]. این الگوریتم می‌تواند با

مجموعه بهینه پارتو همگرا شود و راه حل‌های بدست آمده را در تمام مجموعه گسترش دهد، این روش از مکانیزم طبقه‌بندی غیرمسلط برای اطمینان از همگرایی مناسب استفاده می‌نماید. بعلاوه NSGA-II از برآورد چگالی و عملگر مقایسه‌ای ازدحام برای برش راه حل‌هایی که توزیع‌های بدی دارند جهت دستیابی به راه حل‌های خوب، استفاده می‌کند [Deb et al., 2000].

### الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب‌ها

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چندهدفه جدید مبتنی بر جمعیت با نام NPGA به‌طور موفقیت‌آمیزی توسط الجدانو همکارانش برای بهینه‌سازی غیرمحدب، غیرخطی و گسسته توسعه داده شد [Jadaan et al., 2007]. این الگوریتم در اکثر موارد قادر به دستیابی به گستردگی بهتری از جواب‌ها در مرز پارتو و همچنین همگرایی زودتر به مرز بهینه پارتو، در مقایسه با سایر الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه می‌باشد. روند کار هر دو الگوریتم معرفی شده شباهت زیادی با یکدیگر دارد. در واقع تنها تفاوت الگوریتم NPGA با NSGA-II در بخش استراتژی انتخاب، مرتب کردن جمعیت و انتخاب برای نسل بعد می‌باشد. در الگوریتم NPGA از عملگر چرخه رولت مبتنی بر رتبه‌بندی به جای استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام استفاده می‌شود.

روند کار این الگوریتم‌ها بدین قرار است که ابتدا تمام جواب‌های جمعیت را در مرزهای نامغلوب مرتب می‌شود به طوری که اولین مرز دارای بهترین جواب‌ها در جمعیت می‌باشد. بنابراین هرچه امتیاز بالاتر باشد جواب‌های آن مرز، جواب‌های بهتری است. بعد از رتبه‌بندی مرزها، جواب‌های درون هر مرز را نیز بر اساس فاصله ازدحامی رتبه‌بندی می‌شود. پس از محاسبه فاصله ازدحامی برای تمام جواب‌های موجود در هر مرز، جوابی که بیشترین فاصله ازدحامی را دارد بیشترین رتبه و به جواب با کمترین فاصله ازدحامی رتبه یک تخصیص می‌یابد.

همانطور که در بالا توضیح داده شد هر عضو جمعیت دارای دو مشخصه رتبه مرز غیر مغلوبی که در آن قرار دارد و رتبه خودش درون مرز بر اساس فاصله ازدحامی می باشد. بنابراین برای انتخاب یک جواب، ابتدا باید یک مرز غیر مغلوب انتخاب شود سپس درون آن مرز یک جواب انتخاب شود. احتمال انتخاب مرز غیر مغلوب  $i$  ام به صورت رابطه (۲۳) زیر محاسبه می شود [Jadaan et al., 2007].

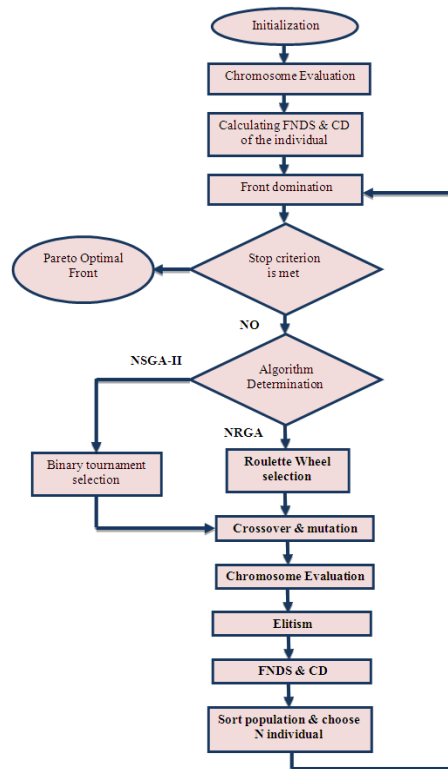
$$p_i = \frac{2 \times rank_i}{N_f \times (N_f + 1)} = \frac{rank_i}{\sum_{i=1}^P rank_i} \quad (23)$$

که در آن،  $rank_i$  رتبه مرز  $i$  ام،  $N_f$  تعداد مرزهای مشخص شده در مرحله مرتب کردن غیر مغلوب ها می باشد. واضح است که جواب هایی که در مرزهای بهتر قرار دارند احتمال انتخاب بیشتری به خود می گیرند. احتمال انتخاب جواب  $j$  ام موجود در مرز غیر مغلوب  $i$  ام به صورت رابطه (۲۴) زیر محاسبه می شود.

$$p_{ji} = \frac{2 \times rank_{ji}}{N_j \times (N_j + 1)} = \frac{rank_{ji}}{\sum_{j=1}^P rank_{ji}} \quad (24)$$

در این معادله،  $N_j$  نشان دهنده تعداد جواب های موجود در مرز  $i$  ام و  $rank_{ji}$  نشان دهنده رتبه جواب  $j$  ام در مرز  $i$  ام بر اساس فاصله ازدحامی است. در این معادله نیز واضح است که جواب های با فاصله ازدحامی بیشتر، احتمال انتخاب بیشتری پیدا می کنند. در شکل (۵) فلوجارت روند پیاده سازی دو الگوریتم NSGA-II و NRGا نشان داده شده است:





شکل (۵): فلوچارت روند پیاده‌سازی الگوریتم‌های NSGAII و NPGA

### شاخص‌های مطرح برای بررسی خروجی الگوریتم‌های چند هدفه

شاخص‌های استاندارد مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه با رویکرد پارتو ارائه می‌شود. به طور کلی برخلاف بهینه‌سازی تک هدفه دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چند هدفه می‌توان در نظر گرفت. در این تحقیق برای مقایسه شاخص‌های زیر پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها عبارت‌اند از:

### بیشترین گسترش (Maximum Spread or Diversity)

این شاخص که توسط زیتزler ارائه شده است، طول قطر مکعب فضایی که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جواب‌های نامغلوب به کار می‌رود را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه (۲۵) رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد [Zitzler, 1999].

$$D = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\max_i f_i^j - \min_i f_i^j)^2} \quad (25)$$

این شاخص برابر با فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هرچه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است.

### فاصله‌گذاری (Spacing)

این شاخص، میزان فاصله نسبی جواب‌های متوالی را با استفاده از رابطه (۲۶) زیر محاسبه می‌کند [Schott, 1995].

$$D = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\max_i f_i^j - \min_i f_i^j)^2} \quad (26)$$

$$d_i = \min_{k \in n \setminus \{i\}} \sum_{j=1}^m |f_j^i - f_j^k|$$

شاخص بالا انحراف معیارهای مقادیر مختلف  $d_i$  را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی که جواب‌ها بطور یکنواخت در کنار هم باشند آنگاه مقدار  $d_i$  نیز کوچک خواهد بود، بنابراین الگوریتمی که جواب‌های نامغلوب نهایی آن دارای مقدار Spacing کوچکتری باشند بهتر خواهد بود.

### تعداد جواب‌های پارتو (Number of Pareto Solution)

مقدار شاخص NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم می‌باشد [Deb, 2001].

### فاصله از جواب ایده‌آل (Mean Ideal Distance)

این شاخص که برای اندازه‌گیری میزان نزدیکی به سطح بهینه پارتو واقعی، به کار می‌رود. هرچه مقدار این شاخص باشد، مطلوبیت آن مجموعه بیشتر خواهد بود. این شاخص از (۲۷) محاسبه می‌شود:

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{f_{i1}^2 + f_{i2}^2}}{n} \quad (27)$$

که در آن  $f_{i1}$  و  $f_{i2}$  به ترتیب نشان دهنده مقادیر اولین و دومین تابع هدف در جواب  $i$ ام می‌باشد [Deb, 2001].

### زمان اجرای الگوریتم (Time)

زمان اجرای الگوریتم یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در کارایی هر الگوریتم فرا ابتکاری است [Deb, 2001].

### نتایج محاسباتی

#### مثال عددی

برای ارزیابی روش پیشنهادی، از سه مجموعه داده واقعی برگرفته از اطلاعات شرکت سایپا استفاده شده است. ویژگی این مجموعه داده‌ها در جدول (۱) خلاصه شده است. این مجموعه داده‌ها طوری برگزیده شده‌اند که از نظر تعداد واحدها، تعداد بخش‌ها و همچنین تعداد تأمین کنندگان متفاوت هستند.

جدول (۱): اطلاعات مربوط به مثال‌های عددی

مثال	تعداد واحد	تعداد بخش	تعداد تأمین کننده
۱	۱۲	۹۰	۶۹۸
۲	۲	۱۳	۹۵
۳	۸	۳۹	۲۷۸

## تنظیم پارامتر

از آن جایی که نتایج الگوریتم‌های فرابتکاری تا حد زیادی به مقادیر پارامترهای ورودی آن‌ها وابسته است، از این رو در این بخش به تنظیم مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های ارائه شده در مقاله می‌پردازیم.

در این بخش از روش طراحی آزمایشات «Design Of Experiments (DOE)» به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های ارائه شده و تعیین عوامل موثر بر روی آن استفاده می‌شود سپس روش سطح پاسخ (Response Surface Methodology (RSM)) را برای تعیین مقادیر بهینه این پارامترها به کار می‌بریم. پارامترهایی از الگوریتم‌ها که تنظیم می‌شوند عبارتند از: اندازه جمعیت ( $n_{pop}$ )، نرخ عملگر تقاطع ( $P_c$ )، نرخ جهش ( $P_m$ ). محدوده جستجوی پارامترهای ورودی و مقادیر بهینه آنها در جداول (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول (۲): محدوده جستجو و مقادیر بهینه پارامترهای NSGA-II

مقدار بهینه	حد بالا	حد پایین	پارامتر
۷۳	۱۰۰	۵۰	$n_{pop}$
۰٫۵۲	۰٫۷	۰٫۴	$P_c$
۰٫۳	۰٫۳	۰٫۱	$P_m$

جدول (۳): محدوده جستجو و مقادیر بهینه پارامترهای NPGA

مقدار بهینه	حد بالا	حد پایین	پارامتر
۷۵	۱۰۰	۵۰	$n_{pop}$
۰٫۶	۰٫۷	۰٫۴	$P_c$
۰٫۱	۰٫۳	۰٫۱	$P_m$

### شرط توقف

شرط توقف برای الگوریتم‌ها، سپری شدن تعداد معینی از تکرارها بدون مشاهده بهبود می‌باشد که در اینجا برابر ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است.

### مقایسه الگوریتم‌های ارائه شده بر اساس شاخص‌های عملکردی

در این بخش به مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله می‌پردازیم. بعد از تعریف شاخص‌های استاندارد مقایسه الگوریتم‌های چند هدفه مبتنی بر پارتو در بخش ۴-۴، این شاخص‌ها برای تک تک مسائل آزمایشی تولید شده محاسبه شده و نتایج آن به ترتیب برای هر یک از مثال‌ها در جداول (۴)، (۵) و (۶) آورده شده است.

جدول (۴): مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NPGA در مثال ۱ بر اساس شاخص‌های عملکردی

NSGA-II	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	1.0151e+012	4.4212e+010	2.3176e+008	73	426.26
Quality Flexibility +	1.0387e+012	5.1197e+010	3.5871e+008	73	407.03
Time	1.0311e+012	5.1299e+010	2.8576e+008	73	397.27
NPGA	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	1.0223e+012	4.4666e+010	4.3758e+008	50	110.25
Quality Flexibility +	1.0316e+012	2.7997e+010	3.3942e+008	50	111.19
Time	1.0287e+012	5.0993e+010	4.3886e+008	50	102.29

جدول (۵): مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NPGA در مثال ۲ بر اساس شاخص‌های عملکردی

NSGA-II	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	8.9332e+010	3.7884e+009	6.1186e+007	73	333.40
Quality Flexibility +	8.9851e+010	3.1199e+009	2.3341e+007	73	322.20
Time	9.0165e+010	2.9662e+009	2.0468e+007	73	324.67
NPGA	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	9.0185e+010	2.8499e+009	2.2621e+007	50	101.23
Quality Flexibility +	9.0956e+010	5.9330e+009	1.6812e+008	50	115.96
Time	9.1487e+010	3.7941e+009	3.3204e+007	50	107.49

جدول (۶): مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و NPGA در مثال ۳ براساس شاخص‌های عملکردی

NSGA-II	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	6.9110e+011	2.5539e+010	1.7595e+008	73	407.70
Quality Flexibility	+ 7.4602e+011	1.5159e+011	1.1944e+009	73	398.73
Time	7.1554e+011	1.0820e+011	6.5722e+008	73	409.75
NPGA	MID	Diversity	Spacing	NOS	Time
Cost	7.0351e+011	3.4675e+010	2.8094e+008	50	119.51
Quality Flexibility	+ 7.2128e+011	6.7325e+010	7.6390e+008	50	108.94
Time	7.0605e+011	7.1473e+010	9.2475e+008	50	115.06

به منظور تعیین اینکه آیا بین نتایج شاخص‌ها اختلاف معناداری وجود دارد یا نه از آزمون فرض در سطح اطمینان ۰٫۹۵ استفاده می‌کنیم که نتایج آن در جدول (۷) گزارش شده است. نتایج جدول (۷) بیانگر این است که در معیارهای NOS، Spacing، Time تفاوت معنادار بین الگوریتم‌ها وجود دارد و در سایر معیارها الگوریتم‌ها کاملاً قابلیت رقابت با یکدیگر را دارند.

جدول (۷): مقایسه مقادیر شاخص‌های عملکردی NSGAII و NPGA

شاخص‌های عملکردی	P-value	نتیجه آزمون
MID	۰٫۵۲۵	دلیل برای رد فرض صفر وجود ندارد
NOS	۰٫۲۷۲	دلیل برای رد فرض صفر وجود ندارد
SPACING	۰٫۰۲۳	فرض صفر رد شده است
DIVERSITY	۰٫۰۰۰	فرض صفر رد شده است
TIME	۰٫۰۰۰	فرض صفر رد شده است

## نتایج

در این قسمت مثال‌های مطرح شده، با الگوریتم‌های ارائه شده در این تحقیق حل شده و نتایج حاصل از آن‌ها در حالت بکارگیری از روش خوشه‌بندی و بدون خوشه‌بندی در جداول (۸) تا (۱۳) آورده شده است. مقایسه نتایج برای هر مثال بر اساس حداکثر، میانگین و حداقل جواب پیدا شده در بیش از ۲۰ شبیه‌سازی متفاوت ارائه شده است. همان‌گونه که به وضوح از نتایج بدست آمده مشخص است مقادیر تابع هدف در تمامی مثال‌ها در حالت بکارگیری از روش خوشه‌بندی نسبت به حالتی که از خوشه‌بندی استفاده نشده است در هر دو الگوریتم ارائه شده برتری دارد و بر آن غلبه می‌کند. برای نمونه، در مثال ۱، در الگوریتم NRGا برای حالت خوشه‌بندی مقدار تابع هدف مربوط به هزینه، بر اساس شاخص میانگین و حداقل مقدار تابع هدف به ترتیب برابر با  $1,01e+011$  و  $9,91e+011$  می‌باشد. در حالی که این مقدار در حالت بدون خوشه‌بندی برابر با  $1,02e+012$  و  $1,01e+011$  می‌باشد. همچنین، مقدار تابع هدف مربوط به زمان، بر اساس شاخص میانگین و حداقل برای حالت با خوشه‌بندی به ترتیب برابر  $470,51$  و  $452$  می‌باشد. در حالی که این مقدار برای حالت بدون خوشه‌بندی برابر با  $498,42$  و  $463$  می‌باشد. برای تابع هدف کیفیت و انعطاف پذیری، بر اساس شاخص حداکثر و میانگین برای حالت با خوشه‌بندی، به ترتیب برابر  $148,23$  و  $132,40$  می‌باشد. در حالی که این مقدار برای حالت بدون خوشه‌بندی برابر با  $147,87$  و  $129,18$  می‌باشد. همچنین برای الگوریتم NSGA-II و برای سایر مثال‌های برتری روش خوشه‌بندی بندی به وضوح نمایان است. نتایج محاسباتی به دست آمده نشان می‌دهد که آنالیز خوشه‌بندی می‌تواند به عنوان یک راه کار موثر در انتخاب تأمین کنندگان در نظر گرفته شود.

جدول (۸): نتایج حاصل از روش بدون خوشه بندی در مثال ۱

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۱,۰۱e+۰۱۲	۹,۹۵e+۰۱۱		۱,۰۲e+۰۱۲	۱,۰۱e+۰۱۱	
Time	۴۷۸,۱۹	۴۵۰,۵		۴۹۸,۴۲	۴۶۳	
Quality+Flexibility	۱۳۰,۶۶		۱۴۸,۱۹	۱۲۹,۱۸		۱۴۷,۸۷

جدول (۹): نتایج حاصل از روش خوشه بندی در مثال ۱

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۱,۰۱e+۰۱۱	۹,۹۴e+۰۱۱		۱,۰۱e+۰۱۱	۹,۹۱e+۰۱۱	
Time	۴۷۲,۵۸	۴۴۵		۴۷۰,۵۱	۴۵۲	
Quality+Flexibility	۱۳۳,۵۹		۱۴۹,۶۸	۱۳۲,۴۰		۱۴۸,۲۳

جدول (۱۰): نتایج حاصل از روش بدون خوشه بندی در مثال ۲

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۸,۹۹e+۰۱	۸,۹۲e+۰۱۱		۸,۹۷e+۰۱	۸,۹۱e+۰۱۰	
Time	۸۵,۹۳	۷۹		۸۷,۱۹	۷۹,۱۴	
Quality+Flexibility	۱۹,۷۶		۲۳,۶۷	۲۰,۰۹		۲۳,۴۲



جدول (۱۱): نتایج حاصل از روش خوشه بندی در مثال ۲

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۸,۹۱e+۰۱	۸,۸۶e+۰۱		۸,۹۳e+۰۱	۸,۸۵e+۰۱	
Time	۸۵,۲۶	۷۸		۸۵,۶۲	۷۸,۰۶	
Quality+Flexibility	۲۰,۳۰		۲۴,۶۰	۲۰,۲۱		۲۳,۹۶

جدول (۱۲): نتایج حاصل از روش بدون خوشه بندی در مثال ۳

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۷,۰۷e+۰۱	۶,۷۹e+۰۱		۷,۰۶e+۰۱	۶,۶۰e+۰۱	
Time	۲۵۹,۱۰	۲۴۳,۵		۲۵۹,۹۴	۲۴۴,۹۰	
Quality+Flexibility	۵۸,۳۵		۷۰,۸۵	۵۸,۰۵		۶۸,۹۱

جدول (۱۳): نتایج حاصل از روش خوشه بندی در مثال ۳

مقدار هدف	NSGA-II			NRGA		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
Cost	۶,۹۷e+۰۱	۶,۷۸e+۰۱		۷,۰۳e+۰۱	۶,۲۹e+۰۱	
Time	۲۵۷,۱۷	۲۴۱,۵		۲۵۸,۱۵	۲۴۲,۵	
Quality+Flexibility	۶۰,۲۷		۷۱,۶۱	۶۰,۱۰		۶۹,۳۹

## نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی چند هدفه به منظور انتخاب مناسب‌ترین تامین کننده بر اساس رویکرد خوشه‌بندی ارائه شد. با توجه به **NP-hard** بودن مسئله تحقیق، استفاده از روش‌های دقیق نمی‌تواند گزینه مناسبی برای مسائل با ابعاد بالا محسوب گردد. بنابراین به منظور حل مدل‌های ارائه شده از دو الگوریتم فراابتکاری به نام‌های **NRGA** و **NSGA-II** و برای تنظیم پارامترهای موثر بر این الگوریتم‌ها از روش **RSM** استفاده شده است. همچنین به منظور مقایسه الگوریتم‌های ارائه شده از پنج شاخص عملکردی بهره گرفته شده است و در انتها نتایج محاسباتی حاصل از حل مثال‌های عددی ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که جواب‌های به دست آمده از طریق روش خوشه‌بندی نسبت به حالتی که از روش خوشه‌بندی استفاده نمی‌شود برتری دارد و آن را مغلوب می‌کند.

در تحقیقات آتی، می‌توان فرضیات دیگری مانند فازی در نظر گرفتن پارامترهای مساله، افزودن محدودیت‌های دیگری از جمله تخفیف در مساله که می‌تواند شرایط واقعی‌تر و در عین حال پیچیده‌تری را بوجود آورد در نظر گرفت. همچنین می‌توان از معیارهای دیگری از قبیل سطح ریسک و گارانتی برای این مساله استفاده کرد.

## منابع

مؤمنی، منصور-۱۳۹۰، خوشه بندی داده - تهران، منصور مؤمنی.

Assaoui, N., Haouari, M., Hassini, E., (2007), " Supplier Selection and Order Lot Sizing Modeling": A review, **Computers & Operations Research**, 34, 3516- 3540.

Ben-Arieh, D., Gullipalli, D.K., (2012), "Data Envelopment Analysis of clinics with sparse data: Fuzzy clustering approach" ,**Computers& Industrial Engineering**, 63, 13-21 .

Brucker, P,(1987), On the Complexity of Clustering Problems, **Optimization and Operations Research Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems**, 157, 1978, pp 45-54

Che, Z.H.,(2010), "Using fuzzy analytic hierarchy process and particle swarm optimisation for balanced and defective supply chain problems considering WEEE/RoHS directives", **International Journal of Production Research**, 48, 3355-3381.

Che, Z.H., (2012), Clustering and selecting suppliers based on simulated annealing algorithms, **Computers and Mathematics with Applications**, 63, 228-238.

De Boer, L.; Labro, E. and Morlacchi, P.,(2001),"A review of methods supporting supplier selection", **European Journal of Purchasing and Supply Management**, 7(2), pp. 75-89.

Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., and Meyarivan, T. A. (2000)." fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization": **NSGA-II. In Proceedings of the parallel problem solving from nature VI (PPSN-VI) conference** , 849-858.

Deb, K. (2001),"Multi-objective optimization using evolutionary algorithms". **Chichester: Wiley**.

Dulmin, R. and Mininno, V.,(2003)."Supplier selection using a multi-criteria decision aid method", **Journal of Purchasing and Supply Management**, 9, pp. 177-187.

Jadaan , Al., Rao, O., Rajamani, C.R.,(2007)."Non-Dominated ranked genetic algorithm for solving Multi-Objective optimization problems: NRGGA", **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, 60-67 .

Jiang, H., Shenghe, Y, Jing, L., Yang, F., Hu.,(2010)"Ant clustering algorithm with K-harmonic means clustering", **Expert Systems with Applications**, 37, 8679–8684.

Kaufman L. and Rousseeuw P. J.,(1990)"FindinGroups in Data. An IntroductiontoCluster Analysis"**Wiley-Interscience**,

Mehdizadeh, E., Tavakkoli Moghaddam, R., (2008), Fuzzy Particle Swarm Optimization Algorithm for a Supplier Clustering Problem *Journal of Industrial Engineering* 1, 17-24.

Po, R.W., Guh, Y.Y., Yang, M.S.,(2009)."A new clustering approach using data envelopment analysis". **European Journal of Operational Research**,199, 276–284.

Razi, F. (2014). A supplier selection using a hybrid grey based hierarchical clustering and artificial bee colony.**Decision Science Letters** , 3(3), 259-268.

Schott, JR., (1995), Fault tolerant design using single and multi-criteria genetic algorithms optimization. Master's thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, **Massachusetts Institute of Technology**, Cambridge, MA.

Shligram,P.,(2008)."A two objective model for decision making in a supply chain"**Int.J.Production Economics**, 111, 378-388.

Wang, S.T., Wang, Z.J.,(2005). "Study of the application of PSO algorithms for nonlinear problems", **Journal of Huazhong University of Science and Technology** ,33, 4–7

Zitzler, E., (1999), Evolutionary Algorithms for Multi-objective Optimization: Methods and Applications. PhD. Thesis, Dissertation ETH No. 13398, **SwissFederal Institute of Technology (ETH),Zürich**, Switzerland.