کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح و روش تاگوچی برای بهینه‌سازی استفاده از مواد اولیه پیوسته

دکتر علی محمدی[۱]، محمدرضا صادقی*[۲]

چکیده

مصرف بهینه مواد اولیه همواره یکی از مسایل مهم برای مدیران بوده‌است. مدیران تلاش می‌کنند که در استفاده از مواد اولیه چنان برنامه‌ریزی کنند که ضایعات این مواد به حداقل مقدار ممکن برسد و همچنین بتوانند در صورت امکان به نوعی مجدداً از این ضایعات در آینده استفاده کنند. به عبارت دیگر قابل استفاده مجدد بودن ضایعات مواد اولیه در پروژه‌های بعد یا تولیدات بعد یکی از ویژگی‌های خوب برنامه‌ریزی استفاده از مواد اولیه است. در این مقاله هدف طراحی روشی جهت بهینه سازی استفاده از مواد اولیه‌ی پیوسته است. مواد اولیه پیوسته موادی هستند که در قطعات طولانی موجود هستند، مثل کابلها، و پیوسته بودن ضایعات آن‌ها باعث می‌شود بتوان از آن‌ها در کارهای بعد استفاده کرد. در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح و روش تاگوچی یک الگوریتم ارایه شده است و در قسمت آخر برای روشن‌تر شدن مطلب این الگوریتم طی یک مطالعه موردی اجرا گردیده است. نتایج اجرای این الگوریتم نشان می‌دهد که استفاده از آن باعث صرفه‌جویی‌هایی در برنامه‌ریزی خرید و همچنین مصرف بهینه‌ی این نوع مواد اولیه می‌شود.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی آرمانی خطی عدد صحیح، روش تاگوچی، مواد اولیه پیوسته، مدیریت پروژه.

۱. مقدمه

مواد اولیه همواره عمده‌ترین بخش هزینه‌ها در پروژه‌های مختلف را شامل می شود. برخی از مواد اولیه (مصالح) که در پروژه‌ها استفاده می‌شوند باید از خصوصیّت پیوستگی برخوردار باشند و در صورت انفصال و قطع شدن، پیوند مجدد آن‌ها یا از لحاظ فنی توجیه پذیر نیست، مثل کابل‌های برق فشار قوی و ستون‌های فلزی و یا این که هزینه‌بر است. از طرفی تأمین این مواد همواره به صورت متراژهای استاندارد انجام می‌شود مثلا کابل‌ها که در متراژ های ۵۰۰ ، ۱۰۰۰و نظایر آن بر روی قرقره‌های کابل به پروژه‌ها تحویل می‌شود یا تیرآهن که در قطعات مشخص توسط کارخانجات تولید می‌شود.

۱- استادیار بخش مدیریت دانشگاه شیراز
۲-دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات دانشگاه علامه طباطبایی
*- نویسنده مسؤول m.r.sadeghi61@gmail.com

تقسیم و برش این مواد به قطعات مورد نیاز و همچنین ترتیب این تقسیم‌بندی، همواره از مشکلات مهندسین پروژه‌ها می‌باشد، چرا که برآورده نمودن دو هدف زیر به صورت همزمان مستلزم یک برنامه‌ریزی دقیق می باشد :

۱- تمامی قطعات مورد نیاز بریده شوند .

۲- درصورت امکان باقیمانده‌ها به صورت پیوسته روی یک مجموعه باشند و از ایجاد قطعات کوچک و پراکنده خودداری شود.

با توجه به تعداد بسیار زیاد این قطعات مثل کابل (چندین ده هزار قطعه) در یک پروژه بزرگ مثل پترو شیمی، پالایشگاه و نیروگاه و متراژ چند صد کیلومتری کل کابل‌ها، تقسیم‌بندی بسیار مشکل است و لذا همواره در پروژه‌ها علی‌رغم در نظر گرفتن مقدار قابل توجه اضافه خرید، با کمبود مواد مواجه می‌شوند و تأخیراتی نیز به وجود می‌آید. از طرف دیگر ضایعاتی که به وجود می‌آیند به دلیل عدم پیوستگی بدون استفاده می‌مانند و هزینه زیادی را بر شرکت تحمیل می‌کنند.

از آنجا که حالت‌های بسیار زیادی برای ترتیب و محل برش‌ها می‌توان در نظر گرفت وجود یک الگوریتم که بتواند با استفاده از تکنیک‌های بهینه سازی (مثل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی و...) این مشکل را حل کند مفید به نظر می رسد.

در واقع تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام قطعه از ماده مورد نظر (مثلاً کابل) از کدام بسته (قرقره) برش داده شود مسأله مهمی است که می تواند تاثیر زیادی روی میزان ضایعات و همچنین به هم پیوستگی ضایعات داشته باشد.

برای این کار یعنی تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در مورد نحوه برش قطعات مورد نیاز، متخصصان شرکت معمولا از روش‌های ابتکاری استفاده می‌کنند. غالب این روش‌ها یک روش بهینه نیست و روش‌های برش دیگری نیز می‌توان به کار برد که جواب نهایی بهتری ارائه کند.

هنگامی که ضایعات یا اضافاتی که بعد از برش باقی می‌مانند دارای اندازه طولانی باشند، ممکن است بتوان از آنها در پروژه‌های بعدی یا در کارهای دیگر مربوط به پروژه درست استفاده کرد. حتی می‌توان آن‌ها را ضایعات محسوب نکرد. ولی اگر این ضایعات به صورت قطعات منفصل باشند به علت اینکه در زمان های دیگر قابل استفاده نیستند، دورریز محسوب می‌شوند و این موضوع باعث تحمیل هزینه‌های زیادی به پروژه می‌شود.

در این مقاله سعی می‌شود الگوریتمی ارائه شود که با کمک آن بتوان یک جواب بهینه برای برنامه‌ریزی برش این نوع مواد اولیه پیدا کنیم. این الگوریتم باید این خصوصیت را داشته باشد که از میان راه‌حل‌های متنوع و زیادی که برای نحوه برش این مواد وجود دارد راه‌حلی را که باعث می‌شود اضافات بعد از برش بیشترین پیوستگی را داشته باشد، پیدا کند. در این الگوریتم از برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح[۳] و روش تاگوچی[۴] استفاده شده است.

برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح در دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی توسط لی[۵] و موریس[۶] ارائه شد. و از آن پس جایگاه خاصی در ادبیات تحقیق در عملیات پیدا کرده-است. پاتی[۷] و دیگران(۲۰۰۸) از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی مختلط برای کمک به مدیران در بهینه سازی بازیافت کاغذهای باطله استفاده کردند. ریس[۸] و

3 - Integer Linear Goal Programming
4 - Taguchi Method
5 - Lee
6 - Muriss
7 - Pati
8 - Reyes

فرازیر[9](۲۰۰۷)با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی غیرخطی عدد صحیح نحوه‌ی اختصاص فضاها در یک مکان مشخص به اقلام مختلف را بهینه‌سازی کردند. آهرن[10] و آناندراش[11](۲۰۰۷) از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح برای رتبه‌بندی پروژه‌های مختلف راه‌آهن جهت سرمایه گذاری استفاده کردند. کواک[12] و دیگران (۲۰۰۵) از مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مختلط برای انتخاب رسانه‌ها جهت تبلیغات محصولات استفاده کرده‌اند. بدری[13] و دیگران(۲۰۰۵) از مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده کردند. فوکوکاوا[14] و چن هنگ[15] (۱۹۹۳) از برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح برای تعیین تعداد بهینه کارت‌های کانبان در یک سیستم تولید به هنگام استفاده کردند.

روش تاگوچی یک روش کنترل کیفیت است که در دهه‌ی ۱۹۶۰ میلادی توسط تاگوچی ارائه شده است و در علوم مختلفی کاربرد پیدا کرده است. راجو[16] و فیلای[17] (۱۹۹۶) با استفاده از روش تاگوچی و تصمیم‌گیری چند شاخصه به ارزیابی عمل‌کرد سیستم‌های آبیاری پرداختند. وانگ[18] و هوانگ[19] (۲۰۰۷) با کمک روش تاگوچی کارایی پیش‌بینی را افزایش دادند. ونگ چنگ[20] و لنگ چنگ[21] (۲۰۰۷) با استفاده از روش تاگوچی و الگوریتم ژنتیک زمان‌بندی تولید کارگاه را بهینه سازی کردند.

حال که قسمتی از کاربردهای روش تاگوچی و برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح بیان شد در قسمت بعد در مورد برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح و مدل‌های آن توضیحاتی ارایه می‌شود. سپس تکنیک تاگوچی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در قسمت بعد الگوریتم مورد نظر جهت بهینه‌سازی استفاده از مواد اولیه پیوسته ارائه می‌گردد. در نهایت جهت روشن‌تر شدن، الگوریتم در یک مطالعه موردی، مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۲. برنامه ریزی آرمانی عدد صحیح

برنامه‌ریزی آرمانی[22] یکی از روش های مواجه با مسایل تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه[23] است. این روش اولین بار توسط چارنز[24] و دیگران در سال ۱۹۵۵ ابداع شد [۱۸]. مسایل تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه مسایلی هستند که در آنها تصمیم گیرنده باید اهداف مختلفی را در نظر بگیرد [۱۸]. گاهی اوقات این اهداف با هم در تضاد هستند. تضاد اهداف یعنی رسیدن به یکی باعث دور شدن از دیگری می شود. تا قبل از به وجود آمدن تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه، متخصصین تحقیق در عملیات و علم مدیریت از تکنیک‌های مختلفی برای حل این گونه مسایل استفاده می‌کردند. بعد از ابداع این روش‌ها (تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه)، استفاده روز افزون از رایانه و قابلیت حل این گونه مسایل توسط رایانه، استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه روز به روز بیشتر شده است [۸].

نمایش عمومی یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی به

9 - Frazier
10 - Ahern
11- Anandarajah
12 - Kwak
13 - Badri
14 - Fukukawa
15 - Chan Hong
16 - Raju
17 - Pillai
18 - Wang
19 - Huang
20 - Wen Cheng
21 - Lang Chang
22 - Goal Programming
23 - Multi Objective Decision making
24 - Charnz

شکل ریاضی به صورت زیر است[۳]:

$$\min\ z=\sum_{i=1}^{k}(u_i n_i+v_i p_i)$$

$$subject.to:\begin{cases} f_i(x_j)+n_i-p_i=b_i,(i=1,2,..k),(j=1,2,..m) \\ x_j\in C_s \\ x_j,n,p\geq 0 \end{cases}$$

در این مدل x_i متغیرهای تصمیم هستند. تعداد متغیرهای تصمیمm است. f_i یک تابع خطی (هدف) از x_i ها است. تعداد توابع هدف یا توابع خطی k است. n_i و p_i به ترتیب انحراف منفی از آرمان و انحراف مثبت از آرمان است. u_i و v_i وزن‌های غیر منفی هستند که به این انحرافات داده شده‌اند. C_s فضای حاصل شده از محدودیت‌های کارکردی است. هر هدف در واقع یک عبارت ریاضی است که نشان دهنده خواسته تصمیم-گیرنده است. در برنامه‌ریزی آرمانی تصمیم‌گیرنده برای هر هدف یک آرمان تعیین می کند [۳]، مثلا کسب سودی معادل حداقل x ریال یا صرف هزینه‌ای حداکثر معادل y ریال. که در مساله بالا این آرمان‌ها یا سطح تمایل ها توسط b_i نشان داده شده است.

هنگام تصمیم‌گیری با حل مدل فوق ممکن است تصمیم‌گیرنده نتواند به یک یا چند هدف به طور کامل برسد یا از حد مطلوب یا سطح تامین شده عبور کند. در حالت اول n_i مثبت است و p_i برابر صفر است، در حالت دوم p_i یک عدد مثبت است و n_i برابر صفر است . توجه شود که n_i و p_i نمی توانند به صورت همزمان بزرگتر از صفر باشند چون در عمل نمی‌توان هم از یک آرمان یا هدف گذشت و به آن آرمان نرسید [۳].

در تابع هدف، تصمیم گیرنده سعی دارد متغیر های انحراف از آرمان را حداقل کند. صفر شدن متغیرهای انحراف از آرمان معادل رسیدن به اهداف مربوط به آن متغیرها است. هر هدفی که در جواب نهایی، متغیر های انحراف از آرمان آن یعنی n_i و p_i هر دو برابر صفر شوند به این معنی است که آن هدف به طور کامل برآورده شده است.

گاهی اوقات برآورده شدن یک هدف برای تصمیم گیرنده مهم‌تر از سایر اهداف می‌باشد مثلا برای شرکتی که به رضایت مشتری اهمیت زیادی می‌دهد، رسیدن به هدف کیفیت (آرمان کیفیت) و حداقل کردن انحراف از آرمان برای این هدف مهمتر از رسیدن به هدف هزینه است. به همین خاطر تصمیم گیرنده باید به هر یک از انحراف از آرمان ها یک وزن دهد که این وزن نشان دهنده اهمیت آن هدف یا آرمان است. البته تصمیم-گیرنده می تواند به چند هدف یا آرمان یا همه اهداف به صورت هم‌زمان وزن مساوی دهد. در واقع وزن دادن به هر یک از آرمان‌ها و اهداف روشی است برای مقابله کردن با مشکل تضاد اهداف [۷].

در دنیای واقعی گاهی اوقات متغیرهای تصمیم نمی‌توانند مقادیر اعشاری داشته باشند، مثلا متغیر تصمیمی که نشان‌دهنده تعداد افرادمورد نیاز برای انجام یک فعالیت است نمی‌تواند مقداری اعشاری (مثلا ۱/۵) داشته باشد چون در دنیای واقعی این رقم بی‌معنی است. به همین دلیل در مسایل برنامه‌ریزی بعضی از متغیرهای تصمیم فقط مقادیر غیراعشاری یا عدد صحیح باید داشته باشند و این شرط، عدد صحیح بودن متغیر تصمیم، جز قیود مساله است. در بعضی از مسایل تصمیم‌گیری تمام متغیرهای تصمیم باید عدد صحیح باشند که به این مسایل، مسایل برنامه‌ریزی عدد صحیح محض گفته می‌شود. در گروهی از مسایل بعضی از متغیرهای تصمیم عدد صحیح هستند، به این مسایل، مسایل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط گفته می‌شود[۲].

در مسایل برنامه‌ریزی آرمانی نیز گاهی اوقات باید از متغیرهای تصمیمی استفاده کنیم که فقط می‌توانند عدد صحیح داشته باشند. از این رو، لی و موریس در

سال ۱۹۷۷ روش برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح را ابداع کردند که برای حل این مدل‌ها از روش‌های صفحه برش و انشعاب و تحدید استفاده می‌شود [۱۵]. نمایش عمومی این مسایل به صورت زیر است:

$$\min \ z=\sum_{i=1}^{k}(u_i n_i+v_i p_i)$$

$$subject\ .to:\begin{cases} f_i(x_j)+n_i-p_i=b_i,(i=1,2,...k),(j=1,2,..m) \\ x_j\in C_s \\ n,p\geq 0 \\ x_j\geq 0, Integer \end{cases}$$

البته در این مسایل نیز مانند مسایل برنامه‌ریزی عدد صحیح ممکن است همه متغیرهای تصمیم عدد صحیح نباشند و فقط بعضی از متغیرهای تصمیم عدد صحیح باشند.

۳. روش تاگوچی

روش تاگوچی یک رویکرد کنترل کیفیت است که توسط تاگوچی[۲۵] در دهه ۱۹۶۰ ابداع شده است. زمانی که سیستم مورد علاقه برای طراحی محصول به صورتی پیچیده و مشکل باشد و نتوان آن را به صورت ریاضی فرموله کرد، از این روش استفاده می‌شود[۲۰].

این روش اولین بار در طراحی محصولاتی که از چندین جز تشکیل شده بودند و هر جز نیز می‌توانست یک سطح از چند سطح ممکن را داشته باشد استفاده شد. هدف، رسیدن به یک طراحی مناسب برای محصولات بود[۶]. این روش خیلی سریع در میان رشته‌های دیگر نیز جایگاه خاصی پیدا کرد. در این روش در واقع هدف اصلی کم کردن هزینه‌ی یافتن بهترین ترکیب برای طراحی محصول است. کم کردن هزینه‌ها به وسیله کاهش دادن تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای طراحی محصول حاصل می‌شود. در واقع از این روش هنگامی که تصمیم‌گیرنده مجبور باشد برای رسیدن به تصمیم مناسب از روش آزمایش و خطا استفاده کند و تعداد آزمایش‌ها نیز زیاد باشد و همچنین زمان و هزینه زیادی صرف انجام این آزمایش‌ها شود، استفاده می‌گردد.

در طراحی یک محصول یا فرایند که از ترکیب عوامل مختلف با مقادیر متفاوت تشکیل شده است، انتخاب عوامل و سطح هر یک از آن‌ها از مشکلات عمده تصمیم‌گیران است که معمولاًبرای حل آن از روش سعی و خطا استفاده می‌شود. اما روش تاگوچی روشی سیستماتیک برای حل این مشکل است. روش تاگوچی یک رویکرد توسعه یافته برای بهینه کردن پارامترهای طراحی است [۱۹]. این روش علاوه بر کاهش هزینه ها و افزایش کیفیت، یک طرح مستحکم و بهینه را ارائه می‌کند[۱۴]. این شیوه، در ابتدا به عنوان وسیله‌ای برای بهبود کیفیت محصولات از طریق کاربرد مفاهیم مهندسی و آماری ارائه شد، اما به سرعت در سایر شاخه‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت. زیرا به دلیل هزینه‌های زیاد و زمان‌بر بودن رویه‌های آزمایش، باید روشی انتخاب شودکه اهداف طرح را به صورت سیستماتیک با حداقل تکرارو مشروط به کاهش نیافتن کیفیت برآورده نماید.

روش تاگوچی نیز مشابه روش کلاسیک و سایر رویکردهای آزمایش از سه مرحله اصلی تشکیل می‌شود که عبارتند از: مرحله‌ی طراحی ، مرحله‌ی اجرا و مرحله‌ی تجزیه و تحلیل [۹].

مرحله‌ی طراحی از اهمیت ویژه ای در فراهم کردن اطلاعات مورد نیاز آزمایشگر برخوردار می باشد. در مرحله طراحی مهمترین اقدامی که انجام می‌شود انتخاب

25 - Taguchi

بردار ارتوگونال[۲۶] است. نقش بردار ارتوگونال در روش تاگوچی این است که یک نقشه یا راهنما برای مرحله‌ی اجرای آزمایش‌ها ارایه می‌کند. در روش تاگوچی بردارهای ارتوگونال مختلفی وجود دارند.

انتخاب بردار ارتوگونال به سه آیتم زیر به ترتیب اولویت، بستگی دارد:

۱. تعداد عوامل و تعاملات بین آن‌ها.
۲. تعداد سطوح هر یک از عوامل.
۳. دقت مناسب آزمایش یا محدودیت‌های هزینه‌ای.

دو مورد اول کوچکترین بردار ارتوگونال ممکن را ارائه می‌کند که الزاماً آزمایش با کمترین دقت و کمترین هزینه خواهد بود. ممکن است آزمایشگر بردار ارتوگونال بزرگتر با تعداد بیشتر آزمایش را انتخاب کند. تا به دقت بالاتری دست یابد.

دو نوع بردار ارتوگونال پایه به شرح زیر هستند :

۱. بردارهای دو سطحی: L4,L8,L12,L16,L32
۲. بردارهای سه سطحی : L9,L18,L27

در مرحله‌ی اجرای آزمایش‌ها، آزمایش‌های مختلفی با توجه به بردار ارتوگونال انتخاب شده اجرا می‌شود. در اجرای هر آزمایش نتایج آن ثبت می‌گردد.

مرحله نهایی فرایند آزمایش تاگوچی شامل تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش می‌باشد که خصوصیات عملکردی مورد نظر مشتری، درباره محصول یا فرایند را بهبود می‌بخشد. پس از اجرای آزمایش‌ها، تصمیمات مربوط به اینکه کدام پارامتر عملکرد محصول یا فرایند را متاثر می سازد، باید آغاز شوند. این تصمیم از روش های تحلیلی مختلفی مانند روش مشاهده، روش رتبه بندی، روش تاثیرات ستون، روش ترسیمی و یا روش تحلیل واریانس، انجام می‌شود. ساده‌ترین روش، مشاهده است ولی زمانی که از طریق مشاهده نتوان یکی از طرح‌ها (ترکیب‌ها) را انتخاب کرد باید با استفاده از سایر روش‌ها این کار را انجام داد. روش تحلیل واریانس یک ابزار تصمیم‌گیری و هدفمند و مبتنی بر آمار برای تشخیص هر گونه انحراف از عملکرد متوسط گروه آیتم‌های آزمایش شده، می‌باشد. در این روش تصمیم به جای اینکه بر اساس قضاوت خالص اتخاذ شود تغییرات را مد نظر قرار می دهد.

۴. الگو ریتم نحوه برش قطعات مورد نیاز

همانطور که در قسمت های قبلی گفته شد هدف این مقاله ارایه یک الگوریتم برای مشخص کردن نحوه برش مواد اولیه مورد نیاز برای انجام یک فعالیت در یک پروژه یا ساخت یک محصول می‌باشد، به طوری که تا آنجا که امکان دارد اضافه‌ها و ضایعات بعد از انجام برش پیوسته باشند. در این قسمت از مقاله سعی داریم این الگوریتم را توضیح دهیم. مراحل این الگوریتم به صورت زیر است:

الف) مشخص کردن لیست قطعات مورد نیاز و لیست بسته‌های موجود: در این مرحله باید مشخص شود که طول قطعات مورد نیاز چقدر است و از هر قطعه چند عدد لازم است. همچنین باید تعیین کنیم که مواد اولیه مورد نیاز دارای چه طول هایی هستند مثلا اگر هدف ما اجرای این الگوریتم برای برش چند قطعه کابل مورد نیاز باشد، باید لیست کابل های مورد نیاز موجود و همچنین لیست قرقره های موجود و تعداد هر یک مشخص باشد. سپس جدولی به صورت جدول شماره ۱ تشکیل دهیم .

26- Orthogonal array

قطعات‌مورد نیاز / مواداولیه موجود	A_1	A_2	…	A_n	طول مواد اولیه موجود
D_1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1n}	L_1
D_2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2n}	L_2
.	.			.	.
.	.			.	.
.	.			.	.
D_m	x_{m1}	…	…	X_{mn}	L_m
طول قطعات مورد نیاز	r_1	r_2	…	r_n	
تعداد قطعات مورد نیاز	q_1	q_2	…	q_n	

جدول شماره۱: نمونه جدول اطلاعات قطعات موجود و قطعات مورد نیاز

جدول بالا A_j (j=1,2,..n) نشان دهنده قطعات مورد نیاز است که طول هر قطعه و تعداد هر قطعه در دو سطر پایین جدول قابل مشاهده است. D_i تعداد نشان دهنده مواد اولیه موجود است که طول هر کدام در جدول در ستون سمت راست نوشته شده است.

باید توجه شود که در جدول بالا برای هر قرقره یک ردیف تشکیل شده است، حتی اگر از هر قرقره چند عدد موجود باشد، مثلا اگر از یک قرقره ۳۰۰متری ۳ عدد موجود باشد ۳ ردیف باید برای آن در نظر گرفت. برای هر قطعه مورد نیاز نیز یک ستون در نظر گرفته شده است اما اگر از یک قطعه بیش از یک عدد مورد نیاز بود نیازی به تشکیل چند ستون برای آن قطعه نیست فقط در سطر تعداد قطعات مورد نیاز باید تعداد قطعات مورد نیاز آن را نوشت.

ب) نوشتن مدل برنامه‌ریزی آرمانی: در این مرحله باید یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح برای جدول تهیه شده در مرحله قبل بنویسیم. در این مدل متغیر های تصمیم عبارتند از x_{ij} که در جدول بالا هم قابل مشاهده هستند .x_{ij} به معنای تعداد قطعاتی است که از قرقره i ام برای تهیه قطعه مورد نیاز j ام بریده می‌شود. می‌توان معادله شماره ۱ را برای هر قرقره نوشت.

$$\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}\times r_j)+n_i=L_i \qquad \text{معادله شماره۱}$$

در معادله شماره ۱، r_j عبارت است از طول قطعه مورد نیاز j ام و L_i برابر است با طول قرقره i ام و n_i هم برابر است با طولی از قرقره که بعد از فرایند برش جز اضافات یا ضایعات محسوب می‌شود . اما برای اینکه اطمینان داشته باشیم که تمام تعداد قطعات مورد نیاز از قطعه j ام بعد از فرایند برش حاصل می شود باید معادله شماره ۲ نیز برای هر قطعه مورد نیاز برقرار باشد.

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=q_j \qquad \text{معادله شماره۲}$$

در معادله شماره۲،q_j که عبارت است از تعداد کل قطعات مورد نیاز از قطعه j ام. توجه شود که x_{ij} ها همواره باید یک عدد صحیح باشند چرا که اعشاری بودن آن‌ها در دنیای واقعی بی‌معنی است، چون پیوستگی قطعات برای ما مهم است و نمی توان بخشی از یک قطعه مورد نیاز را از یک قرقره و بخش دیگر را از قرقره دیگر تأمین کرد.

در قسمت‌های قبل گفته شد که هدف این است که تا آنجا که امکان دارد بعد از انجام برش اضافات به هم پیوسته باشند، همچنین گفتیم که برای هر قرقره موجود یک معادله وجود دارد که اضافات آن بعد از برش برابر n_i است. یعنی هدف ما این است که تا آنجا که ممکن است n_i های بیشتری صفر باشند، چون وقتی که تعداد کابل‌های موجود و تعداد قطعات مورد نیاز مشخص باشند مجموع n_i ها معلوم است (برابر است با مجموع کابل‌های موجود منهای مجموع قطعات مورد نیاز). اما تابع هدفی که می توانیم برای معادلات شماره ۱ و ۲ بنویسم به صورت معادله شماره ۳ است :

$$\min\ z = \sum_{i=1}^{m} n_i$$ معادله شماره۳

پس مدل برنامه ریزی آرمانی تا کنون به صورت زیر است:

$$\min z = \sum_{i=1}^{m} n_i$$

$$\text{subject.to}\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} (x_{ij} \times r_j) + n_i = L_i (i = 1,2,...,m) \\ \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = q_j (j = 1,2,...,n) \\ n_i \geq 0 \\ x_{ij} \geq 0, \text{integer} \end{cases}$$

در محدودیت‌های مدل فوق مجموعه معادلات اول تشکیل دهنده اهداف یا آرمان‌های مدل هستند. توجه شود که در این مدل انحراف مثبت از آرمان بی‌معنی است چرا که وقتی طول یک قرقره L_i باشد نمی توان به اندازه L_i+p_i (p_i عددی بزگتر از صفر) از آن برش داد پس دیگر نیازی به اینکه p_i را وارد مدل کرد وجود ندارد.

ج)مشخص کردن تعداد اولویت‌ها و تعداد آزمایش‌ها:

همانطور که گفته شد در برنامه‌ریزی آرمانی تصمیم گیرنده می‌تواند در تابع هدف برای هر کدام از آرمان‌ها یک اولویت تعیین کند. این اولویت با اختصاص دادن یک عدد بزرگتر از صفر به هر کدام از متغیرهای انحراف از آرمان به وجود می آید .

هدف اصلی ما از طراحی مدل برنامه‌ریزی آرمانی این است که تا آنجا که امکان دارد n_i های بیشتری در جواب نهایی صفر باشد و اولویت بندی متغیرهای انحراف از آرمان نیز باید در همین جهت، صفر کردن n_i های بیشتر، انجام گیرد.

همانطور که قبلا گفته شدm کابل داریم که هر کدام یک تابع هدف و به تبع آن یک متغیر انحراف از آرمان منفی به اسم n_iدارد بنابراین ما می‌توانیم آنها را به k(1<k<m) اولویت تقسیم کنیم.

اما بعد از اینکه تعداد اولویت‌ها یعنی k مشخص شد باید تعیین شود که متغیرهای انحراف از آرمان چگونه بین k اولویت مختلف تقسیم شود. این کار به حالت‌های مختلفی می‌تواند انجام شود. تعداد حالات ممکن برابر است با تعداد حالاتی که می‌توانیم m مهره متمایز را در k جعبه قرار دهیم و تکرار نیز مجاز باشد. این تعداد مساوی با K^m است. [۱]

مثلا وقتی ۱۰ قرقره داشته باشیم و بخواهیم آن‌ها را در سه اولویت تقسیم کنیم باید $۳^{۱۰}$حالت را امتحان کنیم.

انجام تمام K^m حالات و اجرای مدل برنامه‌ریزی آرمانی طراحی شده برای این مسأله کار بسیار وقت‌گیر و پرهزینه‌ای است. بنابراین باید دنبال روشی باشیم که بتوانیم تعداد این حالات ممکن را کاهش دهیم. این کار می تواند به کمک روش تاگوچی انجام شود .

در روش تاگوچی ما m سطح داشتیم که هر کدام از این m سطح می توانستند مقادیری بین ۱ تا k به خود اختصاص دهند. در این مسأله نیز m متغیر انحراف از آرمان داریم که هر کدام از این متغیرهای انحراف از آرمان می توانند یک سطح بین ۱ تا k انتخاب کنند . انتخاب هر سطح برای یک متغیر انحراف از آرمان به معنی این است که به هر کدام از متغیرهای انحراف از آرمان چه اولویتی اختصاص دهیم.

د) تعیین جدول تاگوچی مورد نیاز: در این مرحله جدول تاگوچی مربوط به K^m انتخاب می شود و مبنای اولویت بندی هرکدام از متغیر های انحراف از آرمان قرار می‌گیرد .

ه) اجرای مدل برنامه ریزی آرمانی با استفاده از آزمایش‌ها تاگوچی:

در این مرحله با توجه به اولویت‌های داده شده به متغیرهای انحراف از آرمان مدل برنامه ریزی آرمانی را با کمک آن اولویت بندی ها اجرا می کنیم و نتایج جواب بهینه را مشخص می‌کنیم.

و) انتخاب جواب بهینه:

در نهایت نحوه برشی که جواب بهتری حاصل کند یعنی تعداد n_i های بیشتری را برابر صفر قرار دهد به عنوان نحوه برش بهینه انتخاب می‌شود و مبنای برنامه ریزی برش قرار می گیرد. در این مرحله می توان از هر یک از روش‌های مشاهده ، رتبه بندی، تاثیرات ستون و یا تحلیل واریانس برای انتخاب بهترین روش (برنامه برش) استفاده کرد.

۵. مطالعه موردی

در این قسمت یک مثال عددی برای روشن‌تر شدن الگوریتم طراحی شده در قسمت های قبل ارائه می شود. داده‌های این مثال مربوط به شرکت پیدک (یکی از شرکت‌های طراحی و اجرای طرح‌های نیروگاهی و پتروشیمی در جنوب ایران) می‌باشد .

تعداد قطعات مورد نیاز از یک نوع کابل در یکی از بخش‌های یک نیروگاه در حال ساخت به صورت جدول شماره ۲ است:

تعداد(عدد)	طول قطعه مورد نیاز (متر)	تعداد(عدد)	طول قطعه مورد نیاز (متر)
۳	۱۶۰	۴	۱۵۰
۲	۳۸۵	۳	۱۲۵
۱	۲۱۵	۲	۲۳۰
۱	۱۳۵	۲	۷۰
۲	۲۴۰	۳	۹۰

جدول شماره۲: لیست قطعات مورد نیاز در نیروگاه

جمعاً ۳۹۲۵ متر کابل مورد نیاز است . قرقره‌های موجود که می توان این نوع کابل را به وسیله برش از آن‌ها تهیه کرد به این صورت هستند: دو کابل ۱۰۰۰متری ۲کابل ۷۵۰متری و ۴ کابل ۵۰۰متری جدولی که باید برای مرحله اول الگوریتم طراحی شود به صورت جدول شماره ۳است :

قطعات مورد نیاز / مواداولیه موجود	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	طول‌مواداولیه موجود(متر)
D_1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{110}	۱۰۰۰
D_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	X_{27}	X_{28}	X_{29}	X_{210}	۱۰۰۰
D_3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}	X_{38}	X_{39}	X_{310}	۷۵۰
D_4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}	X_{47}	X_{48}	X_{49}	X_{410}	۷۵۰
D_5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}	X_{57}	X_{58}	X_{59}	X_{510}	۵۰۰
D_6	X_{61}	X_{62}	X_{63}	X_{64}	X_{65}	X_{66}	X_{67}	X_{68}	X_{69}	X_{610}	۵۰۰
D_7	X_{71}	X_{72}	X_{73}	X_{74}	X_{75}	X_{76}	X_{77}	X_{78}	X_{79}	X_{710}	۵۰۰
D_8	X_{81}	X_{82}	X_{83}	X_{84}	X_{85}	X_{86}	X_{87}	X_{88}	X_{89}	X_{810}	۵۰۰
طول‌قطعات‌مورد نیاز	۱۶۰	۳۸۵	۲۱۵	۱۳۵	۲۴۰	۱۵۰	۱۲۵	۲۳۰	۷۰	۹۰	
تعدادقطعات‌مورد نیاز	۳	۲	۱	۱	۲	۴	۳	۲	۲	۳	

جدول شماره۳: جدول اطلاعات مربوط به لیست قطعات مورد نیاز و قطعات موجود

بنابراین برنامه‌ریزی آرمانی مورد نظر برای این مساله به صورت زیر است توجه شود که در این مثال uiها باید به کمک جداول مربوط به بردارهای متعامد آزمایش تاگوچی، در نظر گرفته شوند. یعنی جداول ارتوگونال کمک می‌کنند که به هر کدام یک از قرقره ها چه وزنی (اولویتی) داده شود. در این مثال تعداد الویت ها ۳ در نظر گرفته شده است و از جدول ارتوگونال L18 استفاده می‌کنیم.

جدول ارتوگونال L18 در صفحات بعد (جدول شماره ۴) قابل مشاهده است توجه شود. هر کدام یک از اعداد جدول نشان دهنده وزنی است که باید به متغیر انحراف از آرمان در تابع هدف داده شود. مثلا در آزمایش شماره ۱۸ اعداد عبارتند از (از چپ به راست) ۱و۳و۲و۱و۲و۳و۳و۲. این اعداد به این مفهوم هستند که در این آزمایش تابع هدف به صورت زیر است:

$$\min z = 2\ n_1 + 3n_2 + 3n_3 + 2n_4 + n_5 + 2n_6 + 3n_7 + n_8$$

بعد از اختصاص دادن وزن‌های موجود در جدول بالا به هر یک از متغیرهای انحراف از آرمان و اجرای مدل آرمانی مربوط به این مسأله، مقدار هر یک از متغیرهای انحراف از آرمان به صورت جدول شماره ۵ خلاصه شده است .

به کمک جدول شماره‌ی۵ می توان برنامه برش بهینه را انتخاب کرد. در این جدول آزمایش‌ها شماره ۶ ، ۱۵، ۱۷ و۱۸ فاقد منطقه موجه هستند. همانطور که در جدول نیز قابل مشاهده است، در آزمایش شماره ۴ تعداد چهار متغیر انحراف از آرمان (که همان مقدار ضایعات است) برابر با صفر شده است. یعنی این ۴ قرقره ۱۰۰۰متری و ۷۵۰ متری به صورت کامل مصرف شده است و چیزی از آن باقی نمانده است. ۳ قرقره ۵۰۰ متری دارای مقدار ضایعات ۵۰۰ متر است،

$$\min z = u_1 n_1 + u_2 n_2 + u_3 n_3 + u_4 n_4 + u_5 n_5 + u_6 n_6 + u_7 n_7 + u_8 n_8$$

$$subjectto: \begin{cases}
160x_{11} + 385x_{12} + 215x_{13} + 135x_{14} + 240x_{15} + 150x_{16} + 125x_{17} + 230x_{18} + 70x_{19} + 90x_{110} + n_1 = 1000 \\
160x_{21} + 385x_{22} + 215x_{23} + 135x_{24} + 240x_{25} + 150x_{26} + 125x_{27} + 230x_{28} + 70x_{29} + 90x_{210} + n_2 = 1000 \\
160x_{31} + 385x_{32} + 215x_{33} + 135x_{34} + 240x_{35} + 150x_{36} + 125x_{37} + 230x_{38} + 70x_{39} + 90x_{310} + n_3 = 750 \\
160x_{41} + 385x_{42} + 215x_{43} + 135x_{44} + 240x_{45} + 150x_{46} + 125x_{47} + 230x_{48} + 70x_{49} + 90x_{410} + n_4 = 750 \\
160x_{51} + 385x_{52} + 215x_{53} + 135x_{54} + 240x_{55} + 150x_{56} + 125x_{57} + 230x_{58} + 70x_{59} + 90x_{510} + n_5 = 500 \\
160x_{61} + 385x_{62} + 215x_{63} + 135x_{64} + 240x_{65} + 150x_{66} + 125x_{67} + 230x_{68} + 70x_{69} + 90x_{610} + n_6 = 500 \\
160x_{71} + 385x_{72} + 215x_{73} + 135x_{74} + 240x_{75} + 150x_{76} + 125x_{77} + 230x_{78} + 70x_{79} + 90x_{710} + n_7 = 500 \\
160x_{81} + 385x_{82} + 215x_{83} + 135x_{84} + 240x_{85} + 150x_{86} + 125x_{87} + 230x_{88} + 70x_{89} + 90x_{810} + n_8 = 500 \\
x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} = 3 \\
x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} = 2 \\
x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} + x_{83} = 1 \\
x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} + x_{84} = 1 \\
x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} + x_{85} = 2 \\
x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} + x_{76} + x_{86} = 4 \\
x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{77} + x_{87} = 3 \\
x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} + x_{68} + x_{78} + x_{88} = 2 \\
x_{19} + x_{29} + x_{39} + x_{49} + x_{59} + x_{69} + x_{79} + x_{89} = 2 \\
x_{110} + x_{210} + x_{310} + x_{410} + x_{510} + x_{610} + x_{710} + x_{810} = 3 \\
x_{ij} \geq 0, \text{int}\, eger \\
n_i \geq 0
\end{cases}$$

یعنی نیازی به برش آن‌ها وجود ندارد و این قرقره‌ها اصلا در فرایند برش وارد نمی‌شوند. و قرقره هشتم که دارای طول ۵۰۰ متر است دارای اضافه‌ای برابر ۷۵ متر است. به دلیل اینکه آزمایش چهارم تعداد ۴ متغیر انحراف از آرمان را برابر با صفر می‌کند، این برنامه برش انتخاب می‌گردد. متغیرهای تصمیم آزمایش چهارم یعنی Xijهای آزمایش چهارم به عنوان خروجی‌های این آزمایش برای برش ارایه می گردند.

در واقع در این مثال به کمک روش مشاهده می توان نتایج را تجزیه و تحلیل کرد و گزینه بهینه را انتخاب کرد؛ ولی در صورتی که نتوان با مشاهده نتایج آزمایش‌ها گزینه بهتر را انتخاب کرد می‌توان از سایر روش‌های بیان شده مثل روش رتبه‌بندی، روش تاثیرات ستون و ... استفاده کرد و گزینه بهتر را انتخاب کرد.

۶. نتیجه‌گیری

در این مطالعه هدف ارایه الگوریتمی برای برنامه برش مواد اولیه‌ای بود که مطلوبیت، متصل‌تر بودن ضایعات بعد از برش است. یعنی هر چه ضایعات از قسمت‌های بزرگتری تشکیل شده باشد بهتر است. در این الگوریتم از روش تاگوچی (که بیشتر برای مسایل آزمایشگاهی یا طراحی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد) و برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح (که یک تکنیک بهینه‌سازی است) برای انتخاب برنامه برش استفاده شده است.

از این الگوریتم حتی می توان برای برنامه‌ریزی خرید مواد اولیه یک پروژه نیز استفاده کرد. به عنوان مثال در پروژه ذکر شده در مطالعه موردی در صورتی که قبل از خرید این الگورتیم اجرا شود، برنامه‌ریز و مسؤول تدارکات متوجه می شوند که نیازی به خرید سه قرقره کابل ۵۰۰متری وجود ندارد و باعث کاهش هزینه‌های پروژه می گردند.

شماره آزمایش	سطوح انتخابی برای هر جز (وزن های انتخابی برای هر کدام از متغیر های انحراف از آرمان)							
	(n_1)۱	(n_2)۲	(n_3)۳	(n_4)۴	(n_5)۵	(n_6)۶	(n_7)۷	(n_8)۸
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳
۴	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۳	۳
۵	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۱	۱
۶	۱	۲	۳	۳	۱	۱	۲	۲
۷	۱	۳	۱	۲	۱	۳	۲	۳
۸	۱	۳	۲	۳	۲	۱	۳	۱
۹	۱	۳	۳	۱	۳	۲	۱	۲
۱۰	۲	۱	۱	۳	۳	۲	۲	۱
۱۱	۲	۱	۲	۱	۱	۳	۳	۲
۱۲	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۱	۳
۱۳	۲	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۲
۱۴	۲	۲	۲	۳	۱	۲	۱	۳
۱۵	۲	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۱
۱۶	۲	۳	۱	۳	۲	۳	۱	۲
۱۷	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۳
۱۸	۲	۳	۳	۲	۱	۲	۳	۱

جدول شماره۴: جدول ارتوگونال L18

شماره آزمایش	مقدار متغیرهای انحراف از آرمان (اضافات باقی مانده از قرقره ها بعد از برش)							
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8
۱								
۲	۰	۰	۳۰۰	۷۵۰	۳۴۰	۳۰	۱۱۰	۴۵
۳	۰	۰	۳۰۰	۷۵۰	۳۴۰	۳۰	۱۱۰	۴۵
۴	۰	۰	۰	۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۷۵
۵	۰	۱۷۰	۲۷۰	۶۱۵	۳۰۵	۲۱۵	۰	۰
۶	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م
۷	۶۵	۶۷۰	۱۰	۴۰	۵۵	۵۰۰	۱۱۵	۱۲۰
۸	۰	۶۱۵	۵۰	۱۸۵	۵۰۰	۵۵	۱۷۰	۰
۹	۰	۲۸۰	۷۵۰	۰	۵۰۰	۲۰	۰	۲۵
۱۰	۶۵	۳۰	۶۵	۷۵۰	۱۳۵	۳۰	۵۰۰	۰
۱۱	۳۵	۲۵	۳۰۵	۵۰	۲۵	۵۰۰	۵۰۰	۱۳۵
۱۲	۶۵	۰	۷۵۰	۲۲۵	۵۰	۰	۵۵	۴۳۰
۱۳	۱۰	۲۸۰	۰	۲۳۵	۵۰	۰	۵۰۰	۵۰۰
۱۴	۰	۴۸۰	۱۲۰	۷۵۰	۴۰	۱۰۰	۳۰	۵۵
۱۵	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م
۱۶	۸۰	۴۸۵	۰	۷۵۰	۳۰	۲۰۰	۰	۳۰
۱۷	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م
۱۸	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م	غ.م

جدول شماره ۵: نتایج اجرای آزمایشات

۷. فهرست منابع

۱- بهبودیان، جواد(۱۳۷۴). آمار و احتمال مقدماتی، مشهد، آستان قدس رضوی دانشگاه امام رضا

۲- مهرگان، محمدرضا(۱۳۸۲). پژوهش عملیاتی، تهران، کتاب دانشگاهی.

۳- مهرگان، محمدرضا(۱۳۸۳). پژوهش عملیاتی پیشرفته، تهران، کتاب دانشگاهی.

4- Ahern, Aoife and Anandarajah, Gabrial (2007)" Railway projects prioritisation for investment: Application of goal programming", Transport Policy, Vol. 14, Issue.1, , PP. 70-80

5- Badri,Masood A. , Mortagy,Amr K and Alsayed, Ali(1998)" A multi-objective model for locating fire stations" European Journal of Operational Research, Volume.110, Issue.2, PP.243-260.

6- Cheng, Bor-Wen and Chang, Chun-Lang(2007)." A study on flowshop scheduling problem combining Taguchi experimental design and genetic algorithm." Expert Systems with Applications, Vol.32, PP.415-421.

7- Fukukawa, Tadaaki and Chan Hong, Sung (1993)." The determination of the optimal number of kanbans in a Just-In-Time production System.", Computers & Industrial Engineering, Volume 24, Issue 4, PP.551-559.

8- Jahanshahloo, G.R. , Hosseinzadeh Lotfi, F. and Izadikhah, M.(2006)." Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data." Applied Mathematics and Computation, Volume 181, Issue 2,PP, 1544-1551.

9- Khoei, A.R., Masters, I., Gethin, D.T.(2002). "Design optimization of aluminum recycling processes using Taguchi technique.", Journal of Materials Processing Technology,

VOL. 127 ,PP. 96–106.

10- Kwak,N. K., Won Lee ,Chang and Kim, Ji Hee (2005)" An MCDM model for media selection in the dual consumer/industrial market.", European Journal of Operational Research, Vol.166, Issue.1, PP.255-265

11- Raju, Komaragiri Srinivasa and Pillai, C.R.S.(1999)" Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system.", European Journal of Operational Research VOL.112, PP. 479-488

12- Pati, Rupesh Kumar, Vrat, Prem and Kumar, Pradeep(2008). " A goal programming model for paper recycling system" Omega, Vol.36, Issue.3, PP.405-417.

13- Reyes, Pedro M. and Frazier, Gregory V.(2007)."Goal programming model for grocery shelf space allocation" European Journal of Operational Research, Vo,181, Issue 2, PP.634-644

14- Rose plillip(1996). Taguchi Techniques for engineering. New York , McGraw Hill.

15- Saad , Omar M. and Sharif ,Walied H.(2004)." Stability set for integer linear goal programming." Applied Mathematics and Computation, Vol. 153, Issue.3,PP. 743-750.

16- Shin Kuo, Ming, Shuh Liang, Gin and Chih Huang,Wen(2006). "Extensions of the multi criteria analysis with pair wise comparison under a fuzzy environment.", International Journal of Approximate Reasoning, Vol.43, Issue 3,PP. 268-275.

17- Taha, Hamdi (2004). Operation Research: An Introduction, New Delhi, Prentice Hall of India.

18- Tamiz ,M, Mirrazavi, S.K and Jones , D. F(1999)." Extensions of Pareto efficiency analysis to integer goal programming." Omega: International Journal of management science, Vol.27, Issue.2,PP. 179-188.

19- Wang, Tai-Yue and Huang, Chien-Yu (2007)."Improving forecasting performance by employing the Taguchi method." European Journal of Operational Research, VOL.176,PP. 1052–1065.

20- Yao ,Albert W.L. and Chi ,S.C(2004). "Analysis and design of a Taguchi–Grey based electricity demand predictor for energy management systems", Energy Conversion and Management, Vol.45 PP. 1205–1217.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی