مدل غیر خطی تعیین چیدمان تسهیلات پویا با آنالیز تعویض ماشین آلات در شرایط عدم قطعیت

مسعود ربانی[۱]، سید مجتبی سجادی[۲]
۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تهران
E-mail: Mrabani@ut.ac.ir

چکیده

این مقاله به بررسی مسائل چیدمان تسهیلات پویا با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و آنالیز تعویض ماشین آلات می پردازد. مساله چیدمان پویا شامل انتخاب مکان مناسب برای استقرار تسهیلات در اولین دوره برنامه ریزی و سپس تغییر دپارتمان ها در دوره های بعدی است. در این مقاله سعی بر آن است که از دیدگاه ارزش زمانی پول به هزینه های انتقال و جابجایی بین دپارتمانها در مسالهٔ برنامه ریزی چیدمان پویا پرداخته شود.با توجه به پیشرفت تکنولوژی و لزوم استفاده از ماشین آلات جدید ، تعویض ماشین آلات در دوره های میانی برنامه ریزی امری غیر قابل اجتناب می نماید. بنابر این محدودیت های مربوط به این فاکتور را نیز در مدل پیشنهادی ارائه می کنیم. در این مقاله مدل پیشنهادی، یک مثال، جزئیات روش حل و نتایج عددی محاسبات ارائه می گردد.

واژه‌های کلیدی: چیدمان تسهیلات پویا ، آنالیز تعویض ، ارزش زمانی پول، شبیه‌سازی

۱- مقدمه

مسالهٔ چیدمان تسهیلات پویا(DPLP[1]) در حقیقت توسعه یافتهٔ مدل چیدمان تسهیلات ایستا می باشد با این فرض که جریان حمل و نقل بین بخش ها در دوره های مختلف افق برنامه ریزی مدام در حال تغییر است. از طرفی باتوجه به این موضوع که در هر دوره تغییرات خاصی در چیدمان بین بخش ها متناسب با جریان پیش بینی شدهٔ بین آنها خواهیم داشت، هزینهٔ مربوط به این چیدمان مجدد نیز باید لحاظ گردد.اهمیت پرداختن به مسائل چیدمان پویا از آنجا معلوم می شود که بدانید سالانه میلیارد ها دلار صرف تعیین نوع چیدمان در صنایع تولیدی و خدماتی می شود و یا برای چیدمان مجدد، متناسب با نیازمندی های صنایع مختلف هزینه می شود.۲۰ تا ۵۰ درصد کل هزینه های تولید درون یک کارخانهٔ تولیدی مربوط به هزینه های حمل و نقل می باشد.این امر سبب می شود که در صورت عدم بهینه بودن چیدمان دپارتمانهای مختلف مبالغ هنگفتی صرف حمل و نقل مواد و در نتیجه افزایش قیمت تمام شدهٔ محصول گردد.
در شرایط واقعی، در صورتی که جریان حمل و نقل بین بخش ها برای مدت زمان زیادی تغییر نکند ، مسائل چیدمان ایستا می تواند جوابگوی نیاز ما باشد.اما با توجه به این موضوع که امروزه اغلب محیط های کاری در حال تغییر هستند، بررسی چیدمان های پویا ضروری به نظر می رسند.

1) Dynamic Plant Layout Problem

در این مقاله از دیدگاه ارزش زمانی پول نیز به هزینه های انتقال و جابجایی بین دپارتمانها در مسالهٔ برنامه ریزی چیدمان پویا پرداخته می شود.معمولاً هزینه های انتقال بخش ها و جابجایی مواد بین بخش ها در دوره های مختلف زمانی مبلغ ثابتی در نظر گرفته می شوند. مدل پیشنهادی با توجه به اینکه این هزینه ها در واقع تابعی از گذر زمان می باشد ، به ارائه الگویی جدید می پردازد. از طرفی با توجه به پیشرفت تکنولوژی و لزوم استفاده از ماشین آلات جدید ، تعویض تجهیزات موجود در یکی از دوره های میانی برنامه ریزی امری غیر قابل اجتناب می نماید. موارد زیادی پیش می آید که قبل از اتمام عمر ماشین آلات بنابر دلائلی همچون تغییر محصول و تغییر تکنولوژی نیاز به تعویض آنها ضروری به نظر می رسد. بنابر این فاکتور آنالیز تعویض را نیز در مدل پیشنهادی بررسی می کنیم.
الگوی جدید به مراتب پیچیده تر از الگوی اولیهٔ مسالهٔ چیدمان پویا می باشد و قطعاً در حل مسائلی با ابعاد بزرگ می بایست از تکنیک ها و الگوریتم های ابتکاری مرسوم استفاده نمود.بررسی و استفاده از روشهای ابتکاری و هوشمند در حل این مدل را به عنوان ایده های جدید برای ادامهٔ کار پیشنهاد می نمایم.در این تحقیق نشان داده خواهد شد که الگوی جدید نسبت به مدل های قبلی تطابق بیشتری با جهان واقع دارد و جواب های مسائل پیشین ، با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و آنالیز تعویض ماشین آلات تغییر خواهد کرد. بخش بعد به مرور ادبیات و بررسی چند نوع مدل ریاضی رایج برای فرموله کردن مسائل چیدمان پویا می پردازد، ساختار مدل جدید با توجه به محدودیت های بیان شده با تمام جزئیات تشریح می گردد و پس از تعیین اعتبار به تجزیه و تحلیل پارامتر ها و نتایج آن پرداخته خواهد شد.

۲- الگوریتم های حل مسالهٔ برنامه ریزی تسهیلات پویا

همانطور که قبلاً نیز بیان شد مسالهٔ برنامه ریزی تسهیلات پویا جزء مسائل NP-hard می باشد[۴]. در صورتی که n دپارتمان و t دورهٔ برنامه ریزی داشته باشیم، تعداد چیدمان هایی که برای رسیدن به جواب بهینه می بایست بررسی گردنند $(n!)^t$ می باشد، که n! تعداد کل ترکیبات چیدمان در هر دوره می باشد.به عنوان مثال برای یک مساله با ابعاد نسبتاً کوچک n=5 و t=6 تعداد کل نقاط فضای جواب 1.93×10^{14} خواهد بود.بنابراین عملاً یافتن جواب بهینه برای مسائل با ابعاد بزرگ غیر ممکن می باشد.از این رو است که استفاده از الگوریتم های ابتکاری برای حل این مساله توصیه می شود.در عمل، در صورتی که هزینهٔ تغییر مکان هر دپارتمان نسبت به سایر هزینه های حمل و نقل پایین باشد ، معمولاً ترجیح می دهیم که متناسب با تغییر جریان در هر دورهٔ برنامه ریزی به صورت غیر پویا (ایستا) چیدمان دپارتمان ها را تعیین کنیم.ولی در صورتی که هزینهٔ تغییر مکان دپارتمان ها نسبت به هزینه های حمل و نقل زیاد باشد، چاره ای جز استفاده از برنامه ریزی تسهیلات پویا نداریم.
رزنبلات[۲] اولین فردی بود که از برنامه ریزی پویا برای حل این مساله استفاده نمود.در مدل او چیدمان هر دوره به عنوان حالت و دوره های برنامه ریزی به عنوان مرحله در نظر گرفته می شدند.اما این روش حل برای مسائل بزرگ غیر عملی بود.بنابر این او به روش های ابتکاری برای استفاده از برنامه ریزی پویا برای حل این مساله روی آورد.مدل او در هر دورهٔ برنامه ریزی تنها تعداد محدودی از چیدمان ها را در نظر می گرفت.او از یک الگوریتم ساده برای انتخاب این چیدمان ها بصورت تصادفی استفاده می کرد.بنابراین روش او چندان موثر نبود.
یک روش موثر تر که چیدمان های با کیفیت بالا را انتخاب می‌نمود در ادامهٔ کار مورد استفاده قرار گرفت، اگر چه این اگوریتم منجر به جواب های بهتری برای مسالهٔ چیدمان پویا می شود اما در مقابل مجبور به صرف زمان محاسباتی

2) Resenblatt

بیشتری بود. این الگوریتم با در نظر گرفتن زیر مجموعه ای از کل جواب ها و استفاده از برنامه ریزی پویا به حل مساله می پردازد. اما استفاده از برنامه ریزی پویا که منجر به جواب های بهینه در زیر مجموعه ای از کل فضای جواب می شد نمی توانست جواب بهینهٔ کلی مسالهٔ باشد.توجه به این نکته نیز مهم است که اگر ما جواب بهینه را در هر یک از دوره ها به صورت مستقل بدست آوریم ترکیب این جواب های بهینه انفرادی نمی تواند به عنوان افق برنامه ریزی t دوره ای ما لحاظ شود، چرا که بخش دوم هزینه ها یعنی هزینهٔ جابجایی بخش ها در نظر گرفته نشده است.الگوریتم های دیگری که بعداً ارائه شدند، جواب و عملکرد بهتری نسبت به روش برنامه ریزی پویا ابتکاری قبلی داشتند. اوربن[۳] در سال ۱۹۹۳ دیدگاهی را بکار گرفت که با استفاده از تعویض های دوتایی تند ترین شیب شبیه CRAFT به جواب می رسید.لکسونن[۴] و انسکور[۵] در سال ۱۹۹۳ دیدگاه ریاضی کاملاً متفاوتی را برای حل این مساله بکار گرفتند. ونتکاتارامانان[۶] وکان‌وی[۷] در سال ۱۹۹۴ و چنگ[۸] و بالاکریشنان[۹] در سال ۲۰۰۰ از الگوریتم ژنتیک برای حل این مساله استفاده کردند. مازولا[۱۰] و کاکو[۱۱] و در سال ۱۹۹۷ با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع به حل مساله پرداختند.تحقیقات دیگری در زمینهٔ برنامه ریزی تسهیلات پویا با در نظر گرفتن دپارتمانها غیر یکسان صورت گرفته است، که از آن جمله می توان به کارهای لکسونن در سال ۱۹۹۴ ،مونتیل[۱۲] و ونکاترادیز[۱۳] در سال ۱۹۹۰ اشاره نمود.
یک دیدگاه تکامل یافتهٔ دیگر شبیه الگوریتم ژنتیک توسط ایرابایاشی[۱۴] در سال ۱۹۹۹ برای سیستم های تولید انعطاف پذیر (FMS) و در سال ۲۰۰۰ توسط وستکامپر[۱۵] برای دپارتمانهای با ابعاد غیر یکسان توسعه داده شد.
بایکازوگلو[۱۶] و گیندی[۱۷] در سال ۲۰۰۱ الگوریتم شبیه سازی تبرید را برای مسالهٔ چیدمان پویا بکار گرفتند.آنها با استفاده از یک مسالهٔ عددی اثبات کردند که الگوریتمشان بسیار کاراتر از الگوریتم ژنتیک بالاکریشنان و چنگ که در سال ۲۰۰۰ ارائه شد، می باشد. یکی از ضعف های الگوریتم ژنتیک در حل مسائل برنامه ریزی تسهیلات پویا این است که الگوریتم به خوبی از نوع ساختار مساله بهره برداری نمی کند[۴].

۳- مرور ادبیات: مدل های ریاضی چیدمان تسهیلات پویا

مدل های زیادی برای فرموله کردن چیدمان تسهیلات پویا در مقالات متعدد ارائه شده است. به منظور شکل گیری مدل جدید در ذیل سه نمونه از این مدل ها ارائه و بررسی می گردد.
مدل اول:

$$Min = \sum_{t=1}^{p}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} f_{tik}\, d_{tjl}\, x_{tij}\, x_{tkl} + \sum_{t=2}^{p}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} A_{tijl}\, Y_{tijl} \qquad (۱)$$

2) Urban
3) Lacksonen
4) Enscor
5) Venkataramanan
6) Conway
8) Cheng
8) Balakrishnan
9) Mazzola
11) kaku
12) Monteuil
13) Venkatradiz
14) Hirabayashi
15) Westkamper
1) Baykasoglu
17) Gindy

Subject to

$$\sum_{i=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,..., p \qquad j = 1,..., p \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,...p \qquad j = 1,...p \qquad (۳)$$

$$Y_{tijl} = x_{(t-1)ij}\, x_{til} \qquad i, j, l = 1,..., n \qquad t = 2,..., p \qquad (۴)$$

p= تعداد دوره های افق برنامه ریزی

n= تعداد دپارتمانها در چیدمان

i,k= اندیس دپارتمانها در چیدمان

j,l= اندیس مکان ها در چیدمان

f_{tik} **= هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t**

d_{tjl} **= مسافت بین دو بخش j و l در دورهٔ t**

x_{tij} **= برابر یک است اگر دپارتمان i در دورهٔ t به مکان j تخصیص یابد. در غیر اینصورت صفر است.**

y_{tijl} **= برابر ۱ است در صورتی که دپارتمان i در پریود t از بخش j به بخش l منتقل شود در غیر اینصورت صفر است.**

A_{tijl} **= هزینهٔ انتقال دپارتمان i در پرود t از بخش j به بخش l**

معادلهٔ (۱) : مجموع هزینه های جریان مواد و چیدمان مجدد در افق های برنامه ریزی شده را نشان می دهد.

معادلهٔ (۲) : نشان دهندهٔ آن است که در هر دورهٔ افق برنامه ریزیt، مکان j تنها و تنها به یک دپارتمان تخصیص می یابد.

معادلهٔ (۳) : نشان دهندهٔ آن است که در هر دورهٔ افق برنامه ریزیt ، دپارتمانi تنها و تنها به یک مکان تخصیص می یابد.

معادلهٔ (۴): نشان دهندهٔ این واقعیت است که متغییر y_{tijl} در صورتی مقدار یک را خواهد گرفت که دپارتمان i که در پریود t-1 در مکان j قرار داشته در دورهٔ بعدی (t) به مکان l منتقل گردد.

همانطور که مشاهده می شود در این مدل هزینهٔ انتقال بخش ها در افق های برنامه ریزی مختلف که با فاکتور A_{tijl} نشان داده شده مقداری ثابت مستقل از زمان می باشد.[۵]

مدل دوم

$$L^{*}_{tm} = \min_{k} \left\{ L_{t-1,k^{*}} + C_{km} \right\} + Z^{*}_{tm} \qquad t = 1,2,...,n$$

L_{tm} **= کمترین هزینهٔ بدست آمده برای چیدمان نوع m در دورهٔ t**

k **= اندیس نوع چیدمان در هر دورهٔ دلخواه**

C_{km} **= هزینهٔ چیدمان مجدد برای تبدیل نوع k به نوع m**

Z_{tm} **= هزینهٔ حمل و نقل مواد برای چیدمان نوع m در دورهٔ t**

در این مدل با استفاده از رابطهٔ باز گشتی فوق و روش حل برنامه ریزی پویا می توان جواب بهینه را بدست آورد.در کاربرد مدل برنامه ریزی پویا برای حل این مساله، می بایست مرحله و حالت را تعریف کنیم. با توجه به خصوصیات ذکر شده در این مدل، مرحله را تعداد دوره های برنامه ریزی و حالت را نوع چیدمان هر مرحله تعریف می کنیم.[۵]

مدل سوم

$$\min \sum_{s=1}^{T}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{N} A_{ijklst}\ X_{ijs}\ X_{klt}$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ijs} = 1, \qquad j = 1,\ldots, N \quad s = 1,\ldots, T$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ijs} = 1, \qquad i = 1,\ldots, N \quad s = 1,\ldots, T$$

$$X_{ijs} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j, s$$

Where

$$A_{ijklst} = \begin{cases} C^{1}_{ikt}\, d_{jl} & if \quad (i \neq k \quad or \quad j \neq l) and \quad s = t \\ C^{2}_{ijt} & if \quad i = k \quad and \quad j = l \quad and \quad s = t \\ C^{3}_{ikt} & if \quad i \neq k \quad and \quad j = l \quad and \quad s = t \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$X_{ijs} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

C^{1}_{ikt} = هزینهٔ حمل و نقل مواد بین دپارتمان های i،k در دورهٔ t

C^{2}_{ijt} = هزینهٔ تخصیص دپارتمان i به مکان j در دورهٔ t

C^{3}_{ikt} = هزینهٔ انتقال دپارتمان i به محل دپارتمان k در دورهٔt

d_{jl} = فاصلهٔ بین دو موقعیت j و l

در این فرمول بندی مجموع سه نوع هزینه را مینیمم می کنیم.دستهٔ اول هزینه های مربوط به حمل و نقل بین دپارتمان ها در هر دورهٔ برنامه ریزی است.هزینهٔ دوم مربوط به تخصیص دپارتمان ها به موقعیت های قرار گیری شان است و بلاخرهٔ دستهٔ سوم مربوط به هزینهٔ چیدمان مجدد در دورهٔ های برنامه ریزی مختلف می باشد.[۵]

۴- تشریح محدودیت های مدل

با استفاده از سه مدل ارائه شده و مباحث آنالیز تعویض و ارزش زمانی پول ، مدل پیشنهادی شکل گرفته است.در ادامه تابع هدف مدل جدید که هزینه های چیدمان وابسته به زمان (ارزش زمانی پول) و آنالیز تعویض در آن در نظر گرفته شده و محدودیت های مورد نیاز ارائه می گردد.قبل از ارائهٔ مدل جدید به بحث در مورد دلائل تعویض ماشین آلات، تشریح آنالیز تعویض،تفکیک هزینه ها و تعیین عمر اقتصادی دارائی ها می پردازیم.

۴-۱- تعویض دارائی های فعلی بنا به یکی از دلائل زیر صورت می گیرد[۳]

۴-۱-۱- فرسودگی فیزیکی

۴-۱-۲- اسقاط برنامه ریزی شده

۴-۱-۳- اسقاط برنامه ریزی نشده

۴-۱-۴- عدم بهره وری وسائل موجود

۴-۱-۵- پیشرفت تکنولوژی و ظهور ماشین آلات با هزینه های عملیاتی به مراتب کمتر

در ادبیات تحلیل تعویض، ماشین آلات فعلی را طرح مدافع و ماشین آلات جدید که کاندید تعویض می باشند را رقیب می نامند.

۴-۲- هزینه های مختلفی که می توان به طرح مدافع نسبت داد عبارتند از:

۴-۲-۱- قیمت اصلی (قیمت اولیهٔ مدافع)

۴-۲-۲- قیمت فعلی (قیمتی که در حال حاضر می توان مدافع را فروخت)

۴-۲-۳- قیمت دفتری (تفاضل هزینهٔ اولیه و مقادیر استهلاک مدافع با توجه به عمر استهلاکی)

۴-۲-۴- قیمت بازاری

۴-۲-۵- قیمت مبادله ای

هزینهٔ معقول و مناسب برای مدافع ، قیمت بازاری آن است که بیانگر شرایط فعلی بوده و همیشه باید این هزینه در مقایسهٔ اقتصادی به عنوان هزینهٔ اولیه مورد بررسی قرار بگیرد.

۴-۳- فرضیات مدل:

۴-۳-۱- ارزش بازاری کل تجهیزات در سال صفر مقدار معلوم P_0 در نظر گرفته شده است.

۴-۳-۲- عمر اقتصادی کل تجهیزات فعلی r است. این مقدار مجهول بوده و بر اساس مدل به گونه ای تعیین می گردد که کل هزینهٔ یکنواخت سالیانه EUAC ، کمینه شود.

۴-۳-۳- p کل افق برنامه ریزی است و r دوره ای است که تعویض کلیهٔ ماشین آلات در آن صورت می گیرد. الگوی جریان حمل و نقل بین دپارتمان ها بعد از تعویض ماشین آلات تغییر کرده و هزینه های مربوطه کوچکتر یا مساوی حالت قبل خواهد بود.

۴-۳-۴- نرخ بهره در تمام دوره ها q_t ثابت و برابر q در نظر گرفته می شود.

۴-۳-۵- هزینه های تعمیرات و نگهداری و عملیات از سال دوم با مقدار G شروع شده به صورت خطی با ضریب G افزایش می یابد.این فرض کاملاً منطقی است زیرا یا فرسودگی ماشین آلات هزینه های ناشی از دوباره کاری، عملیات ، تعمیرات و نگهداری سال به سال افزایش می یابد.

۴-۳-۶- ارزش اسقاط کل دارایی ها در سال r ام ، انتهای عمر اقتصادی ، برابر SV_r می باشد.از آنجا که r متغیر می باشد و با توجه به محدودیت های مدل و تابع هدف تعیین می گردد، SV_r نیز متغیر خواهد بود.برای سادگی مدل فرض می شود که ارزش اسقاط کل دارائی ها در انتهای عمر مفید اقتصادی(r) مقدار ثابت SV می باشد و مستقل از r می باشد.

۴-۳-۷- ابعاد دپارتمان ها قبل و بعد از تعویض ماشین آلات ثابت بوده و تغییر نمی کند.

۴-۳-۸- ابعاد تمام دپارتمان ها با یکدیگر برابر می باشد.چیدمان هایی با ابعاد متفاوت و با رویکرد آنالیز تعویض و ارزش زمانی پول می تواند به عنوان ایده هایی برای ادامهٔ کار مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۳-۹- در صورتی که عمر اقتصادی تجهیزات فعلی بیشتر از افق برنامه ریزی باشد تعویض صورت نمی گیرد.

۴-۳-۱۰- در این مدل هزینه های یکنواخت سالیانهٔ تجهیزات رقیب با مدافع مقایسه نمی شود، بلکه از تجهیزات فعلی تا پایان عمر مفید اقتصادی آن استفاده می شود.دلیل این فرض آن است که در مواقع زیادی علی رغم هزینه های یکنواخت سالیانهٔ کمتر برای رقیب ، شرکت ها توان خرید ماشین آلات جدید و گران را ندارند و ترجیح می دهند با پرداخت هزینه های عملیات و تعمیرات بیشتر از ماشین آلات قدیمی تا پایان عمر مفید اقتصادی آنها استفاده نمایند.

با توجه به فرضیات بالا هزینه های یکنواخت سالیانه را می توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$EUAC = P_0(A/P,q\%,r) - SV(A/F,q\%,r) + G(A/G,q\%,r) \quad (۵)$$

or

$$EUAC = P_0\left(\frac{q(1+q)^r}{(1+q)^r-1}\right) - SV\left(\frac{q}{(1+q)^r-1}\right) + G\left(\frac{1}{q}+\frac{r}{(1+q)^r-1}\right) \quad (۶)$$

در ادبیات اقتصاد مهندسی عبارت $\left(\frac{q(1+q)^r}{(1+q)^r-1}\right)$ را فاکتور بازیافت سرمایه و عبارت $\left(\frac{q}{(1+q)^r-1}\right)$ را فاکتور وجوه استهلاکی می نامند. r بگونه ای تعیین می شود که EUAC (که بخشی از تابع هدف است) مینیمم گردد. نمودار معادلهٔ (۶) بر حسب r در ادامه ارائه شده است [۵] .

معادلات (۷) و (۸) نشان دهندهٔ ارزش زمانی پول برای هزینه های حمل و نقل و چیدمان مجدد دپارتمان ها می باشد.

$$A_{tijl} = \prod_{h=1}^{t} (1+q_h)^{-1} A_{ijl} = (1+q)^{-t} A'_{tijl} \quad (۷)$$

$$f_{tik} = \prod_{h=1}^{t} (1+q_h)^{-1} f'_{tik} = (1+q)^{-t} f'_{tik} \quad (۸)$$

q_h = نرخ بهره در دورهٔ h است . بر اساس فرض (۳-۳-۴) ، نرخ بهره در تمام دوره ها ثابت و برابر q در نظر گرفته می شود.

f'_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t به ازای یک واحد مسافت طی شده

f_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در سال پایه به ازای یک واحد مسافت طی شده با در نظر گرفتن نرخ بهره

A'_{tijl} = هزینهٔ انتقال دپارتمان i در پریود t از بخش j به بخشl

A_{tijl} = هزینهٔ انتقال دپارتمان i ی پریود t ، از بخش j به بخش l ، در سال پایه با در نظر گرفتن نرخ بهره

معادلهٔ (۹) برای مدل کردن فرض (۳-۳-۳) ارائه شده است. الگوی جریان حمل و نقل بین دپارتمان ها بعد از تعویض ماشین آلات تغییر کرده و هزینهٔ مربوطه کمتر یا مساوی حالت قبل خواهد بود. این فرض منطقی است، چون معمولاً پیشرفت تکنولوژی که منجر به تولید ماشین آلات جدید می گردد، کاهش هزینه های حمل و نقل بین دپارتمان ها را به دنبال خواهد داشت.

$$f'_{tik} = \begin{cases} u_{tik} & t < r \\ v_{tik} & t \geq r \end{cases} \quad (۹)$$

u_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t قبل از تعویض ماشین آلات

v_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t بعد از تعویض ماشین آلات

برای وارد کردن معادلهٔ (۹) در مدل متغییر های صفر و یک y را به ترتیب زیر تعریف می کنیم.معادله های (۱۰) تا (۱۳) به خوبی مفهوم معادلهٔ (۹) را که بیان کنندهٔ فرض (۳-۳-۳) می باشند، به مدل وارد می کنند.

y_1 = برابر یک است اگر $t < r$ در غیر اینصورت صفر است.

y_2 = برابر یک است اگر $t \geq r$ در غیر اینصورت صفر است.

$$f'_{tik} = u_{tik} y_1 + v_{tik} y_2 \quad (۱۰)$$

$$ty_1 < r \quad (۱۱)$$

$$ry_2 \le t \qquad (۱۲)$$

$$y_1 + y_2 = 1 \qquad (۱۳)$$

۵- مدل جدید

$$Min = \left(\sum_{t=1}^{p} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} f_{tik} d_{tjl} x_{tij} x_{tkl} + \sum_{t=2}^{p} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} A_{tijl} Y_{tijl} \right) \left(\frac{q(1+q)^r}{(1+q)^r - 1} \right) + P_0 \left(\frac{q(1+q)^r}{(1+q)^r - 1} \right) - SV \left(\frac{q}{(1+q)^r - 1} \right) + G \left(\frac{1}{q} - \frac{r}{(1+q)^r - 1} \right) \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,..., p \qquad j = 1,..., p \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,..., p \qquad i = 1,..., p \qquad (۱۶)$$

$$Y_{tijl} = x_{(t-1)ij}\, x_{til} \qquad i, j, l = 1,..., n \qquad t = 2,..., p \qquad (۱۷)$$

$$A_{tijl} = (1+q)^{-t} A'_{tijl} \qquad (۱۸)$$

$$f_{tik} = (1+q)^{-t} f'_{tik} \qquad (۱۹)$$

$$f'_{tik} = u_{tik} y_1 + v_{tik} y_2 \qquad (۲۰)$$

$$ty_1 < r \qquad (۲۱)$$

$$ry_2 \ge t \qquad (۲۲)$$

$$y_1 + y_2 = 1 \qquad (۲۳)$$

$$0 \le q \le 1 \qquad (۲۴)$$

$$x_{tij}, x_{tkl}, y_{tijl}, y_1, y_2 = 0 \quad or \quad 1 \qquad (۲۵)$$

$$r = 1,2,3,..., p \qquad (۲۶)$$

۵-۱- معرفی متغییر های مدل جدید

x_{tij} = **برابر یک است اگر دپارتمان** i **در دورهٔ** t **به مکان** j **تخصیص یابد. در غیر اینصورت صفر است.**

y_{tijl} = **برابر ۱ است در صورتی که دپارتمان** i **در پریود** t **از بخش** j **به بخش** l **منتقل شود در غیر اینصورت صفر است.**

r = **سال تعویض ماشین آلات** $(r = 1,2,3,..., p)$

y_1 = **برابر یک است اگر** $t < r$ **در غیر اینصورت صفر است.**

y_2 = **برابر یک است اگر** $t \ge r$ **در غیر اینصورت صفر است**

۵-۲- معرفی پارامتر های مدل جدید

P = **تعداد دوره های افق برنامه ریزی**

f'_{tik} = **هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای** i **و** k **در پریود** t **به ازای یک واحد مسافت طی شده**

f_{tik} = **هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای** i **و** k **ی پریود** t **، به ازای یک واحد مسافت طی در سال پایه شده با در نظر گرفتن نرخ بهره**

d_{tjl} = **مسافت بین دو بخش** j **و** l **در دورهٔ** t

A'_{tijl} = **هزینهٔ انتقال دپارتمان** i **در پریود** t **از بخش** j **به بخش** l

A_{tijl} = هزینهٔ انتقال دپارتمان i ی پریود t ، از بخش j به بخش l ، در سال پایه با در نظر گرفتن نرخ بهره

P_0 = ارزش بازاری کل تجهیزات در سال پایه

q = نرخ بهره

SV = ارزش اسقاط کل دارایی ها در انتهای عمر اقتصادی

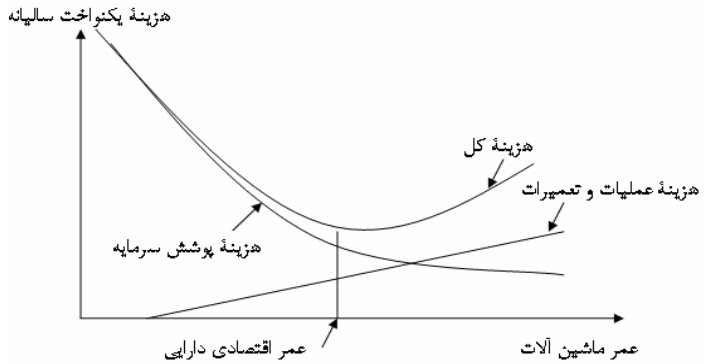
G = نرخ رشد هزینه های تعمیرات و نگهداری و عملیات (این هزینه ها در سال اول صفر بوده و هرسال با همین ضریب ثابت افزایش می یابد)

u_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t قبل از تعویض ماشین آلات

v_{tik} = هزینهٔ جریان بین دپارتمانهای i و k در دورهٔ t بعد از تعویض ماشین آلات

۶- تحلیل مدل

شکل (۱) تحلیل هزینه های یکنواخت سالیانه برای تعیین عمر اقتصادی ماشین آلات را نشان می دهد.[۳] همانطور که قبلاً بیان شد، هزینه های عملیات و تعمیرات با شیب ثابت افزایش می یابند.هزینه های پوشش سرمایه که شامل تفاضل قیمت اسقاط از هزینهٔ اولیهٔ ماشین آلات است نیز به صورت غیر خطی کاهش می یابد.مجموع این دو هزینه هزینهٔ کل را می دهد که به صورت یکنواخت سالیانه توزیع شده است. [۱] ،[۲]



شکل (۱) تحلیل هزینه های یکنواخت سالیانه برای تعیین عمر اقتصادی ماشین آلات

مینیمم این هزینه در نقاط عدد صحیح، عمر اقتصادی دارایی را نشان می دهد.این همان متغییر r است که مدل آنرا تعیین می کند. قبل و بعد از تعویض ماشین آلات با توجه به هزینه های جابجایی و فاصلهٔ بین دپارتمان ها، چیدمان بهینه نیز تعیین می گردد.

۷- حل مدل

با توجه به ابعاد پیچیدهٔ مدل، حل آن از طریق روش های معمولی بسیار مشکل می باشد.همانطور که در مقدمهٔ مقاله نیز اشاره شد حل یک مسالهٔ چیدمان پویا به تنهایی جزء مسائل NP-hard می باشد، حال آنکه شرایط و مفاهیم دیگری که در قالب محدودیت ها و توابع ریاضی به مدل اضافه شده است، مشکل بودن حل آرا دو چندان نموده است.از طرفی

هدف اصلی این مقاله مدل کردن شرایطی است که در جهان واقع وجود دارد ولی در کارهای قبلی که در این زمینه صورت گرفته است هیچ اشاره ای به فرضیات این مقاله نشده و تنها به خلق روش های ابتکاری جدیدی برای کسب نتایج بهتر در زمان کمتر پرداخته اند.بنا براین بدست آوردن یک روش مناسب و نزدیک به بهینه برای این مدل را می توان به عنوان ایده های جدید برای ادامهٔ کار معرفی نمود. مولف در این مقاله بر آن است تا با استفاده از یک الگوریتم پیشنهادی و استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی SLAM و برنامه نویسی Delphi به حل مدل بپردازد.با توجه به الگوریتم حل پیشنهادی انتظار می رود که جواب نهایی به جواب بهینهٔ نزدیک باشد.

۱-۷- الگوریتم حل

استراتژی کلی الگوریتم حل این مساله بر پایهٔ تجزیهٔ (Decomposition) آن به سه زیر مدل ساده تر می باشد.

۱-۱-۷- در گام اول با استفاده از یک مدل شبیه سازی شده، به تعیین عمر اقتصادی ماشین آلات(r) می پردازیم. این مدل در واقع مربوط به قسمت دوم تابع هدف مسالهٔ اصلی می باشد، که در آن هزینهٔ یکنواخت سالیانهٔ ماشین آلات را کمینه می کردیم.

$$Min = P_0\left(\frac{q(1+q)^r}{(1+q)^r-1}\right) - SV\left(\frac{q}{(1+q)^r-1}\right) + G\left(\frac{1}{q} - \frac{r}{(1+q)^r-1}\right) \qquad (۲۷)$$

با توجه به مدل شبیه سازی شده مقدار بدست آمده برای r در این فاز بهینه می باشد.

این مدل شبیه سازی شده را با استفاده از نرم افزار SLAM حل کرده ایم.هدف استفاده از این مدل شبیه سازی شده به این خاطر است که می توان شرایط عدم قطعیت برخی پارامتر ها را نیز در مدل وارد نمود.می توان حدس زد که وارد کردن شرایط عدم قطعیت پارامتر هایی همچون قیمت اسقاط ماشین آلات در پایان عمر اقتصادی و یا هزینهٔ تعمیرات و نگهداری در مسالهٔ اصلی واقعاً حل آنرا از طریق روش های حل بهینهٔ غیر ممکن می سازد. حال آنکه با استفاده از مدل شبیه سازی شده می توان به راحتی این موضوع را بررسی نمود.

۲-۱-۷- در گام دوم با استفاده از جستجوی تمام چیدمان ها در هر دورهٔ برنامه ریزی چیدمان بهینه را بدست می آوریم.این کار با استفاده از یک برنامهٔ نرم افزاری که با دلفی[18] کد نویسی شده صورت می گیرد.حل این زیر مدل مربوط به قسمت اول تابع هدف مسالهٔ اصلی است و تنها یک دورهٔ برنامه ریزی را تحت پوشش خود قرار می دهد.در زیر بخشی از تابع هدف و محدودیت های مدل اصلی که مربوط به این قسمت می شود آورده شده است.

$$Min = \left(\sum_{t=1}^{p}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} f_{tik}\, d_{tjl}\, x_{tij}\, x_{tkl}\right) \qquad (۲۸)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,\ldots,p \qquad j = 1,\ldots,p \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{tij} = 1 \qquad t = 1,\ldots,p \qquad i = 1,\ldots,p \qquad (۳۰)$$

$$f_{tik} = (1+q)^{-t} f'_{tik} \qquad (۳۱)$$

$$0 \le q \le 1 \qquad (۳۲)$$

$$x_{tij}, x_{tkl} = 0 \quad or \quad 1 \qquad (۳۳)$$

18) Delphi

هدف این بخش از مدل کمینه کردن هزینهٔ جابجایی بین دپارتمان ها در هر دورهٔ ریزی است.این برنامه با توجه به دیدگاه QAP و تنها برای یک دوره نوشته شده است.درحل این قسمت به چند نکتهٔ مهم باید توجه داشت. اولاً اینکه در ماتریس های حمل و نقل f_{ij} برای هر دوره می بایست ارزش زمانی پول در نظر گرفته شود. ثانیاً با توجه به گام اول که در آن سال تعویض ماشین آلات مشخص شده ، می بایست پس از اتمام دورهٔ r ام، از جدول هزینهٔ حمل و نقل مربوط به ماشین آلات جدید استفاده نمود.ثالثاً چون چیدمان بهینه تنها برای یک دوره برنامه ریزی محاسبه می گردد، مقدار P برابر یک می باشد.

۳-۱-۷- پس از اینکه برای هر دوره چیدمان بهینه را بدست آوردیم، تفاضل هزینهٔ حمل و نقل بین دپارتمان های هر دوره با دورهٔ قبل را محاسبه می کنیم. در صورتی که این هزینه از هزینهٔ جابجایی دپارتمان ها بیشتر بود، چیدمان بهینه را که برای آن دوره بدست آورده ایم در نظر می گیریم در غیر اینصورت چیدمان دوره قبل مطلوب خواهد بود.

$$Min = \left(\sum_{t=2}^{p} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{n} A_{tijl} Y_{tijl} \right) \qquad (۳۴)$$

Subject to

$$Y_{tijl} = x_{(t-1)ij}\, x_{til} \qquad i, j, l = 1,\ldots, n \qquad t = 2,\ldots, p \qquad (۳۵)$$

$$y_{tijl} = 0 \quad or \quad 1 \qquad (۳۶)$$

این بخش الگوریتم در ارتباط با جملهٔ دوم قسمت اول تابع هدف مسالهٔ اصلی است.همانگونه که قبلاً توضیح داده شد این بخش سعی می کند تا بین هزینهٔ حمل و نقل از یک سو و جابجایی دپارتمان ها در دورهٔ بعدی از سوی دیگر تعادل ایجاد نماید.به عنوان مثال در صورتی که هزینه های حمل و نقل به گونه ای است که تعویض دپارتمان ها با یکدیگر را ضروری می نماید، هزینهٔ تعویض نیز در این دوره مقرون به صرفه بودن این جابجایی را تصدیق می کند.اگر چه با توجه به الگوریتم ارائه شده نمی توان در این زیر بخش به یک جواب بهینه دست یافت، لیکن منطق بیان شده، تا حد بسیار زیادی جواب نزدیک به بهینه را تولید می کند.شاید اگر بخواهیم این مساله را بیشتر شفاف کنیم ذکر این نکته بی مورد نباشد که این بخش از الگوریتم یک جستجوی موضعی همانند الگریتم ژنتیک است.به پیوست یک مثال عددی ارائه شده است.

۸- نتیجه گیری

این مقاله مسائل چیدمان تسهیلات پویا را با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و آنالیز تعویض ماشین آلات فرموله نمود. این مدل با انتخاب مکان مناسب برای استقرار تسهیلات در اولین دورهٔ برنامه ریزی و سپس تغییر دپارتمان ها در دوره های بعدی هزینه های جابجایی و چیدمان مجدد را مینیمم می نماید.
با توجه به پیشرفت تکنولوژی و لزوم استفاده از ماشین آلات جدید ، تعویض ماشین آلات در دوره های میانی برنامه ریزی امری غیر قابل اجتناب می نماید.با تعیین عمر اقتصادی و تعویض ماشین آلات در آن سال، هزینه های یکنواخت سالیانه کمینه می گردد.تعویض ماشین آلات سبب تغییر در نوع چیدمان دپارتمان ها بعد از تعویض نیز می شود.چیدمان نهایی در هر دوره و زمان تعویض ماشین آلات، خروجی نهایی این مدل می باشد.مدل نهایی با در نظر

گرفتن فرضیاتی که در متن مقاله بدانها اشاره شد، تطابق زیادی با واقعیت خارج دارد، از این رو می تواند جوابگوی بخش وسیعی از نیاز مندی جهان صنعتی امروز باشد

۹- پیوست ها

پیوست ۱ : مثال عددی

فرض کنید جریان حمل و نقل بین شش دپارتمان یک واحد صنعتی در افق برنامه ریزی شدهٔ ۱۰ ساله برای ماشین آلات مدافع (فعلی) به صورت زیر است.

(period 1)						TO
۶	۵	۴	۳	۲	۱	FROM
۱۳۶	۱۱۶	۵۵۱	۶۰۵	۶۳	۰	۱
۱۹۱	۵۰	۹۴۱	۶۳۵	۰	۶۳	۲
۵۵	۱۳۶	۵۶۹	۰	۷۱	۱۰۴	۳
۹۰	۷۷	۰	۶۲۲	۱۹۳	۶۵	۴
۱۷۹	۰	۵۹۱	۶۰۷	۱۷۴	۱۶۲	۵
۰	۱۷۵	۶۱۱	۶۶۷	۱۳	۱۵۶	۶
(period 2)						
۱۳۶	۱۱۶	۵۵۱	۶۰۵	۶۵	۰	۱
۱۹۱	۵۰	۹۸۰	۶۳۵	۰	۶۵	۲
۵۵	۱۳۶	۵۶۹	۰	۷۱	۱۰۴	۳
۹۰	۷۷	۰	۶۲۲	۱۹۳	۶۵	۴
۱۷۹	۰	۵۹۱	۶۰۷	۱۷۴	۱۶۲	۵
۰	۱۷۰	۶۱۱	۶۶۷	۱۳	۱۵۶	۶
(period 3)						
۱۷۶	۵۶	۹۰۴	۸۰۴	۱۷۵	۰	۱
۱۷۷	۴۵	۹۳۶	۷۴۳	۰	۶۳	۲
۱۳۴	۱۳۸	۹۱۸	۰	۸۵	۱۶۸	۳
۳۹	۱۷۳	۰	۹۶۲	۹۴	۵۱	۴
۱۴۴	۰	۶۳۴	۷۳۰	۱۰۴	۹۷	۵
۰	۲۴	۵۹۷	۹۸۳	۱۱۵	۹۵	۶
(period 4)						
۱۷۶	۵۶	۹۰۴	۸۰۴	۱۷۰	۰	۱
۱۷۷	۴۵	۹۳۶	۷۴۳	۰	۶۵	۲
۱۳۴	۱۳۸	۹۱۸	۰	۸۵	۱۶۸	۳
۳۹	۱۷۳	۰	۹۶۲	۹۴	۵۱	۴
۱۴۴	۰	۶۳۴	۷۳۰	۱۰۴	۹۷	۵
۰	۸۰	۵۹۷	۹۸۳	۱۱۵	۹۵	۶
(period 5)						

۱	۰	۹۰	۷۷	۵۵۳	۷۶۹	۱۳۹
۲	۱۶۸	۰	۱۱۴	۶۵۳	۵۲۵	۱۵۸
۳	۳۲	۳۵	۰	۶۶۴	۸۹۸	۸۷
۴	۲۷	۱۶۶	۴۲	۰	۹۶۰	۱۷۹
۵	۱۵۸	۵۶	۴۴	۹۲۶	۰	۱۰۴
۶	۷۲	۱۲۸	۱۷۳	۶۳۴	۶۸۷	۰
(period 6)						
۱	۰	۹۸	۷۷	۵۵۳	۷۶۹	۱۳۹
۲	۱۶۰	۰	۱۱۴	۶۷۰	۵۲۵	۱۵۸
۳	۳۲	۴۰	۰	۶۶۴	۸۹۸	۸۷
۴	۲۷	۱۶۰	۴۲	۰	۹۶۰	۱۷۹
۵	۱۵۸	۵۶	۴۴	۹۲۶	۰	۱۰۴
۶	۷۲	۱۲۸	۱۷۳	۶۳۴	۶۸۷	۰
(period 7)						
۱	۰	۱۱۲	۱۵	۱۹۹	۶۶۵	۶۴۹
۲	۱۵۳	۰	۱۱۶	۱۷۳	۹۱۲	۶۷۱
۳	۱۰	۲۸	۰	۱۸۲	۸۵۵	۵۴۲
۴	۲۹	۶۹	۱۵	۰	۵۵۲	۷۵۱
۵	۱۹۸	۷۱	۴۲	۲۴	۰	۷۵۸
۶	۶۲	۱۰۹	۱۷۰	۹۰	۹۷۳	۰
(period 8)						
۱	۰	۱۲۰	۱۵	۱۹۹	۶۶۵	۶۴۹
۲	۱۵۰	۰	۱۱۶	۱۷۳	۹۱۲	۶۷۱
۳	۱۰	۲۸	۰	۱۸۲	۸۹۵	۵۴۲
۴	۲۹	۶۹	۱۵	۰	۵۵۲	۷۵۱
۵	۱۹۸	۷۱	۴۲	۲۴	۰	۷۵۸
۶	۶۲	۱۱۵	۱۷۰	۹۰	۹۷۳	۰
(period 9)						
۱	۰	۶۶۳	۲۳	۱۲۸	۱۱۹	۵۰
۲	۸۰۰	۰	۵	۹۸	۱۴۱	۶۶
۳	۸۲۲	۶۵۰	۰	۱۳۷	۷۸	۹۱
۴	۸۲۶	۵۷۰	۱۴۹	۰	۹۰	۱۵۱
۵	۹۱۵	۵۱۵	۵۳	۳۵	۰	۱۷۷
۶	۶۱۴	۷۲۹	۱۷۸	۱۰	۹۹	۰
(period 10)						
۱	۰	۶۶۳	۲۳	۱۲۸	۱۱۹	۵۰
۲	۸۲۰	۰	۵	۹۸	۱۴۱	۶۶
۳	۸۲۲	۶۵۰	۰	۱۳۷	۷۸	۹۱
۴	۸۲۶	۵۷۰	۱۴۹	۰	۹۳	۱۵۱
۵	۹۱۵	۵۱۵	۵۳	۳۵	۰	۱۷۷
۶	۶۱۴	۷۲۹	۱۷۸	۱۰	۹۹	۰

جریان حمل و نقل در هر سال بر اساس ارزش زمانی پول محاسبه شده و در جدول فوق آمده است. در غیر اینصورت می توان جریان حمل و نقل بین بخش ها را برای هر دورهٔ برنامه ریزی با احتساب ضریب مربوطه که در تابع هدف آمده بدست آورد.

جریان حمل و نقل برای ماشین آلات رقیب (ماشین آلاتی که در آینده پس از اتمام عمر ماشین آلات فعلی جانشین آنها خواهند شد) در افق برنامه ریزی شدهٔ ۱۰ ساله با احتساب ارزش زمانی پول به صورت زیر است.

TO	(period 1)					
FROM	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰	۶۳	۷۴۱	۵۵۱	۱۱۶	۱۳۶
۲	۶۳	۰	۶۳۵	۹۴۱	۵۰	۱۹۱
۳	۱۰۴	۷۱	۰	۵۶۹	۱۳۶	۵۵
۴	۶۵	۱۹۳	۶۲۲	۰	۷۷	۹۰
۵	۱۶۲	۱۵۰	۶۰۷	۵۹۱	۰	۱۷۹
۶	۱۵۶	۱۳	۶۶۷	۶۱۱	۱۷۵	۰
(period 2)						
۱	۰	۶۵	۶۰۵	۵۵۱	۱۱۶	۱۳۶
۲	۶۵	۰	۶۱۵	۹۴۱	۵۰	۱۹۱
۳	۱۲۵	۷۱	۰	۵۶۹	۱۳۶	۵۵
۴	۶۵	۱۹۳	۶۲۲	۰	۷۷	۹۰
۵	۱۶۲	۱۷۴	۶۰۷	۵۹۱	۰	۱۷۹
۶	۱۵۶	۱۳	۶۶۷	۶۱۱	۱۷۵	۰
(period 3)						
۱	۰	۱۷۵	۸۰۴	۹۰۴	۵۶	۱۷۶
۲	۶۳	۰	۷۴۳	۹۳۶	۴۵	۱۷۷
۳	۱۶۸	۸۵	۰	۹۱۸	۱۳۸	۱۳۴
۴	۵۱	۹۴	۹۶۲	۰	۱۷۳	۳۹
۵	۹۷	۱۰۴	۷۳۰	۶۳۴	۰	۱۴۴
۶	۹۵	۱۱۵	۹۸۳	۵۹۷	۲۴	۰
(period 4)						
۱	۰	۱۴۰	۸۰۴	۹۰۴	۵۶	۱۷۶
۲	۲۰	۰	۷۴۳	۹۳۶	۴۵	۱۷۷
۳	۱۶۸	۸۵	۰	۹۱۸	۱۳۸	۱۳۴
۴	۵۱	۹۴	۹۶۲	۰	۱۷۳	۳۹
۵	۹۷	۱۰۴	۷۳۰	۶۳۴	۰	۱۴۴
۶	۹۵	۱۱۵	۹۸۳	۵۹۷	۲۵	۰
(period 5)						
۱	۰	۴۵	۷۷	۵۵۳	۷۶۹	۱۳۹
۲	۱۱۵	۰	۱۱۴	۶۵۳	۵۲۵	۱۵۸
۳	۳۲	۳۵	۰	۶۶۴	۸۹۸	۸۷

۱۶۰	۹۶۰	۰	۴۲	۱۶۶	۲۷	۴
۱۰۴	۰	۹۲۶	۴۴	۵۶	۱۵۸	۵
۰	۶۸۷	۶۳۴	۱۷۳	۱۲۸	۷۲	۶
(period 6)						
۱۳۹	۷۶۹	۴۱۵	۷۷	۲۴	۰	۱
۱۵۸	۵۲۵	۶۵۳	۱۱۴	۰	۴۰	۲
۸۷	۸۹۸	۶۶۴	۰	۳۵	۳۲	۳
۱۷۹	۹۶۰	۰	۴۲	۱۶۶	۴۵	۴
۱۰۴	۰	۹۲۶	۴۴	۵۶	۱۵۸	۵
۰	۶۸۷	۶۳۴	۱۷۳	۱۲۸	۷۲	۶
(period 7)						
۶۴۹	۵۰۰	۱۹۹	۱۵	۱۱۲	۰	۱
۶۷۱	۹۱۲	۱۷۳	۱۱۶	۰	۱۵۳	۲
۵۴۲	۸۵۵	۱۸۲	۰	۲۸	۱۰	۳
۷۵۱	۴۱۲	۰	۱۵	۶۹	۲۹	۴
۷۵۸	۰	۲۴	۴۲	۷۱	۱۹۸	۵
۰	۹۷۳	۹۰	۱۷۰	۱۰۹	۶۲	۶
(period 8)						
۶۴۹	۶۶۰	۱۹۹	۱۵	۹۵	۰	۱
۶۷۱	۹۱۲	۱۷۳	۱۱۶	۰	۱۵۰	۲
۵۴۲	۸۵۵	۱۸۲	۰	۲۸	۶۵	۳
۷۵۱	۵۵۲	۰	۱۵	۶۹	۲۹	۴
۷۱۶	۰	۲۴	۴۲	۷۱	۱۹۸	۵
۰	۹۷۳	۹۰	۱۷۰	۱۰۹	۶۲	۶
(period 9)						
۵۰	۱۱۹	۱۲۸	۲۳	۶۶۳	۰	۱
۶۶	۱۴۱	۹۸	۵	۰	۸۲۰	۲
۹۱	۷۸	۱۳۷	۰	۶۵۰	۸۲۲	۳
۱۵۱	۹۳	۰	۱۴۹	۵۷۰	۸۲۶	۴
۱۷۷	۰	۳۵	۵۳	۵۱۵	۹۱۵	۵
۰	۹۹	۱۰	۱۷۸	۷۲۹	۶۱۴	۶
(period 10)						
۵۰	۱۱۹	۱۲۸	۲۳	۶۷۰	۰	۱
۶۶	۱۴۱	۱۰۵	۵	۰	۸۰۰	۲
۹۱	۷۸	۱۳۷	۰	۶۷۵	۸۲۲	۳
۱۵۱	۹۳	۰	۱۴۹	۵۷۰	۸۲۶	۴
۱۷۷	۰	۳۵	۵۳	۵۱۵	۹۱۵	۵
۰	۹۹	۱۰	۱۷۸	۷۲۹	۶۱۴	۶

هزینهٔ جابجایی دپارتمانها (ماشین آلات) برای ماشین آلات مدافع و رقیب در جدول زیر آمده است. این هزینه فقط به ماشین آلاتی که هر دورهٔ برنامه ریزی جابجا می شود بستگی دارد.

ماشین	۱	۲	۳	۴	۵	۶
هزینهٔ جابجایی	۸۸۷	۹۴۶	۲۱۳	۳۶۷	۲۸۹	۴۷۷

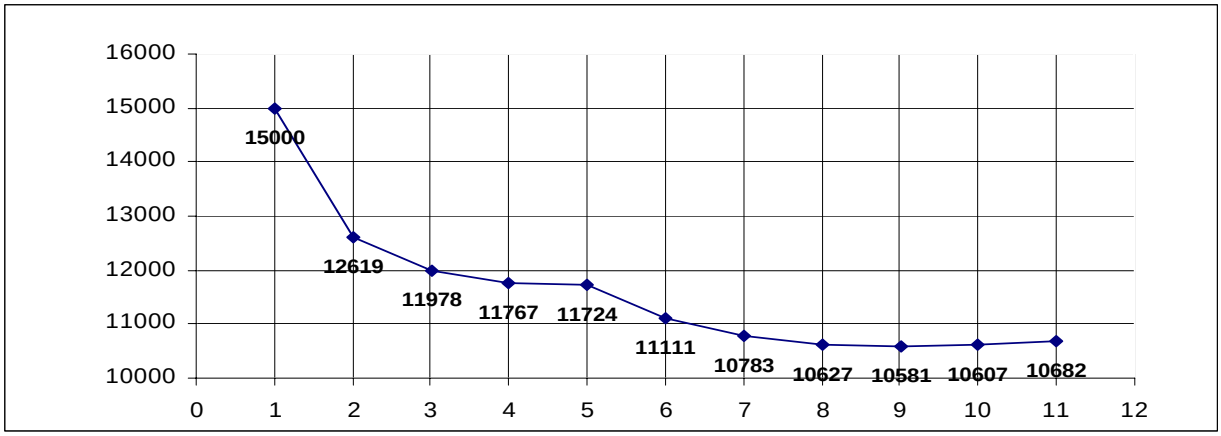
ماشین آلات فعلی را می توان به قیمت بازاری ۵۰۰۰۰ واحد پولی فروخت. مقادیر تخمینی ارزش اسقاطی و هزینه های تعمیرات و نگهداری سالیانه به شرح زیر می باشد.

عمر ماشین آلات r	ارزش اسقاطی SV	هزینهٔ تعمیرات و نگهداری
۰	۵۰۰۰۰	–
۱	۴۰۰۰۰	–
۲	۳۵۰۰۰	۱۰۰۰
۳	۳۰۰۰۰	۲۰۰۰
۴	۲۵۰۰۰	۳۰۰۰
۵	۲۰۰۰۰	۴۰۰۰
۶	۲۰۰۰۰	۵۰۰۰
۷	۲۰۰۰۰	۶۰۰۰
۸	۲۰۰۰۰	۷۰۰۰
۹	۲۰۰۰۰	۸۰۰۰
۱۰	۲۰۰۰۰	۹۰۰۰

با توجه به اینکه حد اقل درصد سود قابل قبول ۱۰ درصد می باشد، بهترین چیدمان دپارتمان ها و سال تعویض ماشین آلات را بدست آورید.

حل مثال

گام اول : با توجه به داده های ارزش فعلی ماشین آلات، هزینه های تعمییرات و نگهداری و حداقل درصد سود قابل قبول و با استفاده از برنامهٔ شبیه سازی SLAM مقدار r بهینه را بدست می آوریم.خروجی نهایی این مدل در نمودار زیر آمده است. همانطور که مشاهده می شود بهترین سال تعویض ماشین آلات انتهای سال ۹ می باشد.برای مشاهدهٔ شبکه و دستورات کنترلی آن به پیوست ۲ مراجعه کنید.



گام دوم : با توجه به هزینه های حمل و نقل و با استفاده از برنامهٔ نرم افزاری نوشته شده به تعیین چیدمان های بهینه در هر پریود می پردازیم. توجه شود که تا سال ۹ از جداول جریان حمل و نقل ماشین آلات مدافع و برای سال ۱۰ از جدول سال آخر ماشین آلات رقیب استفاده می کنیم. همانگونه که در فرضیات مدل نیز اشاره شد، تمام دپارتمان ها طول و عرضی برابر یکدیگر دارند.این دپارتمان ها به صورت دو ردیف و سه ستون کنار یکدیگر قرار گرفته اند.

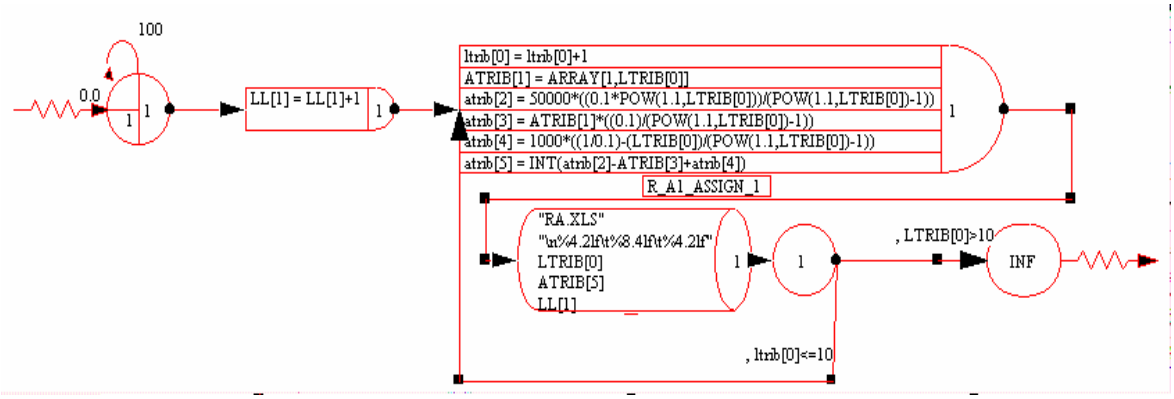
دورهٔ برنامه ریزی	چیدمان بهینه	هزینه حمل و نقل بین دپارتمان ها	تفاضل هزینهٔ حمل و نقل	هزینهٔ جابجایی ماشین آلات	چیدمان مطلوب
۱	۴ ۲ ۶ ۱ ۳ ۵	۱۱۵۲۶	--	---	۴ ۲ ۶ ۱ ۳ ۵
۲	۴ ۲ ۶ ۱ ۳ ۵	۱۱۶۱۲	۸۶	۰	۴ ۲ ۶ ۱ ۳ ۵
۳	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶	۱۴۹۷۴	۳۳۶۲	۲۵۸۷	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶
۴	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶	۱۴۹۵۴	-۲۰	۰	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶
۵	۶ ۴ ۲ ۱ ۵ ۳	۱۶۹۱۸	۱۹۶۴	۳۱۹۷	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶
۶	۶ ۴ ۲ ۱ ۵ ۳	۱۶۹۵۲	۳۴	۳۱۹۷	۴ ۱ ۵ ۲ ۳ ۶
۷	۲ ۵ ۳ ۱ ۶ ۴	۲۰۵۴۶	۳۵۹۴	۳۱۹۷	۲ ۵ ۳ ۱ ۶ ۴
۸	۲ ۵ ۳ ۱ ۶ ۴	۲۱۸۳۲	۱۲۸۶	۰	۲ ۵ ۳ ۱ ۶ ۴

۹	۲ ۵ ۶ ۱ ۴ ۳	۵۳۳۰	۱۶۵۰۲	۱۰۵۷	۲ ۵ ۶ ۱ ۴ ۳
۱۰	۲ ۵ ۶ ۱ ۴ ۳	۵۳۷۲	۴۲	۰	۲ ۵ ۶ ۱ ۴ ۳

گام سوم : در ستون های چهارم و پنجم جدول بالا بترتیب تفاضل هزینه های حمل و نقل بین دو پریود متوالی و هزینهٔ تعویض دپارتمان ها آمده است.با توجه به الگوریتم پیشنهادی، چیدمان بهینه برای افق برنامه ریـزی شـدهٔ ۱۰ سـاله آمده است. جمع اعداد ستون دوم و پنجم کل هزینهٔ طرح را می دهد که برابر ۱۵۳۲۵۲ می باشد.

پیوست ۲

شبکه SLAM برای تعیین عمر اقتصادی پروژه

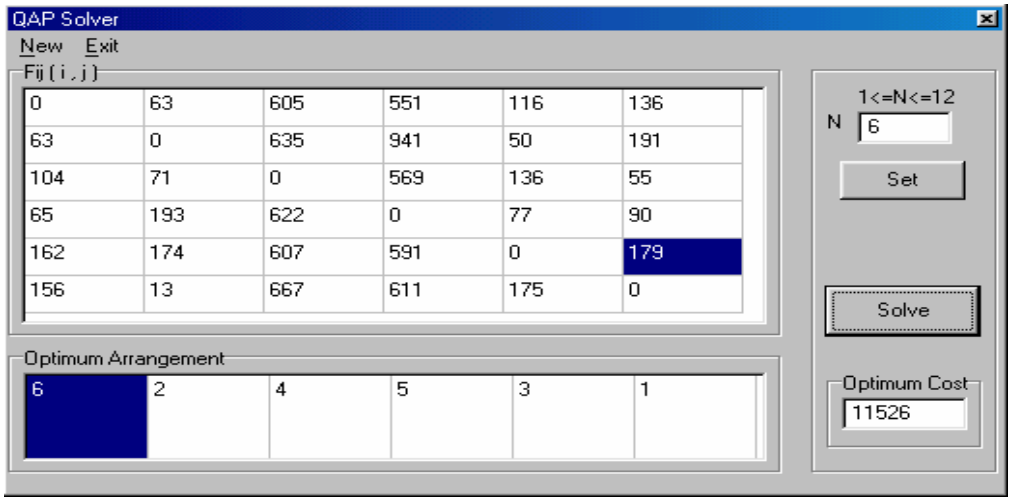


دستورات کنترلی شبکهٔ SLAM

```
GEN,"SM_SAJADI","REPLACEMENT_ANALYSIS",,1,YES,YES;
LIMITS,1,1,,5,1;
{ARRAY,1,11,{40000,35000,30000,25000,20000,20000,20000,20000,20000,20000,20000};
NET;
```

پیوست ۳

نمایی از برنامهٔ نرم افزاری مورد استفاده برای تعیین چیدمان بهینه در هر دورهٔ برنامه ریزی



مراجع

[1].Grant.EL,Ireson.WG,Leaveneorth.RS,Principles of Engineering Economy,Six edition.1976 by Ronald Press Company
[2].Sullivan.WG,Bontadelli.JA,Wicks.EM,Degarmo.EP, , ENGINEERING ECONOMY.Tenth edition.1997 by Prentice-Hall International,Chapter 11
[3].Thuesen.HG,Fabrycky.WJ,Thuesen.GJ, ENGINEERING ECONOMY.Fifth edition.1997 by Prentice-Hall
[4].Balakrishnan.J, Cheng.CH, Conway.DG. A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem. International of production economics 86(2003) 107-120
[5].Baykasoglu.A,Gindy.N,A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem. Computer & operation research 28(2001) 1403-1426
[6].Conway DG, Venkataramanan MA. Genetic search and the dynamic facility layout problem. Computers and
Operations Research 21:1994;955}60
[7]. Hartman.JC. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. European jornal of opration research 159(2004) 145-165