

برنامه ریزی و افزایش بهره‌وری نیروی کار در معادن

سید محمد تقی فاطمی قمی
دانشیار

سید حمید سکاکی
فارغ التحصیل دوره دکتری

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر / دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

برنامه ریزی مناسب در عملیات معدنکاری موجب کاهش زمان انجام و افزایش بهره‌وری می‌باشد. در فعالیت‌هایی که انجام آنها از توالی خاصی برخوردار است، اهمیت این امر مشهودتر است که عملیات پیشروی در سینه کارهای معادن زیرزمینی، نمونه خوبی از آن می‌باشد. این سلسله عملیات که توسط گروه‌های کاری، انجام می‌شود، نیاز به زمانبندی دقیقی در هر شیفت دارد که در این مقاله نحوه آن تشریح شده است. این مدل برنامه ریزی با اتکاء بر دانش تحقیق در عملیات (O. P.)، این هدف را تعقیب می‌کند که با کاستن زمان‌های بیکاری و انتظار گروه‌های کاری، ضمن حفظ تقدم و تاخر آنها، موعد پایان کار هر يك را بزودترین زمان ممکن تقلیل دهد. اطلاعات مورد نیاز که همان ورودی‌های مدل هستند، در قالب جداول و پارامترها تشریح شده، متغیر تصمیم‌گیری «زمان شروع فعالیت هر يك از گروه‌های کاری» در سینه کارها، انتخاب شده است، محدودیت‌های این مدل ریاضی نیز بررسی و تعیین گردیده‌اند. این مطالعه تحقیقاتی در حوزه مباحث MILP (برنامه ریزی مختلط خطی و عدد صحیح) که یکی از شاخه‌های دانش تحقیق در عملیات می‌باشد، صورت پذیرفته است.

Manpower Programming and Productivity Increasing in Mine

S. M. T. Fatemi Ghomi
Associate Professor

S. H. Sakkaki
Ph.D. Graduate

Ind. Eng. Dept., Amirkabir Univ. of Tech. / Ind. Eng. Dept., Tarbiat Modarres Univ.

Abstract

Appropriate programming in mining operations provide decreasing needed time and manpower productivity increasing. This matter has more appearance when the operation is made of special sequencing, such as "tunnel excavating", that it's operation is done by teamworks and needs an exact time scheduling in

each period. This article describes programming for such operations.

The model based on "Operations Research (O, R.)", follows decreasing idle and waiting time of teamworks as the objective, once protects the sequencing order to minimize the endtime of each teamwork and increase productivity.

Necessary information as input data are described in form of schedules. Teamworks start time in each facework is selected as decision variable. The constraints of this mathematical model have been discussed and determined.

This study is related to MILP (Mixed integer linear programming) which is one of the Operations Research fields.

مقدمه

۱-۱. اشاره ای کوتاه به مراحل و عملیات معدنکاری

بعد از تکمیل عملیات اکتشافی در معادن و کسب اطلاعات لازم برای طراحی استخراج معدن، طرح بهره برداری از معادن تدوین می گردد. فرآیند بهره برداری و مراحل استخراج از معادن، بسته به نوع ماده معدنی، اشکال مختلفی را به خود می گیرد. اگر چه که کاربرد مطالب این مقاله قابل تعمیم در کلیه معادن است، اما به منظور استفاده بهتر خواننده، کلیه مثال ها بر روی معادن زغال سنگ متمرکز شده است. از همین رو در اینجا اشاره مختصری به فرآیند استخراج در اینگونه معادن می گردد.

به طور کلی فعالیت های بهره برداری از معادن زغال سنگ را در دو مجموعه عملیات متوالی می توان خلاصه نمود. این دو مجموعه عملیات که به طور موازی و با اختلاف زمانی نسبت به هم آغاز می گردند، عملیات پیشروی و آماده سازی و فعالیت های استخراجی نام می گیرند. از آنجا که مباحث بعدی در این مقاله تکیه بیشتر بر روی عملیات پیشروی دارد، تنها به ذکر مراحل آن اکتفاء می نماییم. معمولاً عملیات پیشروی از تکرار فرآیند حفاری و چالزنی، خرج گذاری، آتشباری، لق گیری، حمل و نقل مواد، نصب تجهیزات نگهداری، نصب تجهیزات تهویه، نصب تجهیزات هوای فشرده، ریل گذاری، نصب تأسیسات روشنایی و نقشه برداری و جهت دهی در سینه کارهای پیشروی شکل می گیرد. البته ممکن است پس از هر چند تکرار برخی از فعالیت های فوق قابل انجام باشد. سازماندهی نیروی انسانی در معادن به طور عمده براساس تشکیل گروه های کاری است که به صورت تخصصی یک یا چند عنوان از وظایف فوق را به خود اختصاص داده است. [۷].

۱-۲. تعریف برخی اصطلاحات و عبارات بکار گرفته شده در این مقاله

همانگونه که ذکر شد، مشی کلی حاکم بر این مقاله، استفاده از دانش مهندسی صنایع و کاربرد آن در مدیریت و برنامه ریزی عملیات استخراج معادن و دستیابی به افزایش بهره وری در آنها، از این طریق است. در این راستا، طبیعی است که اصطلاحات و واژه های تخصصی دو دانش مهندسی معدن و بهره وری به صورتی آمیخته با هم در این مقاله مورد استفاده قرار خواهد گرفت. از اینرو لازم می بینیم که برای سهولت و درک بهتر مفهوم مقاله در ابتدا یک بار برخی واژه ها و اصطلاحات فوق را برای خواننده تعریف نماییم.

ایستگاه های کاری: این واژه تخصصی در دانش مهندسی صنایع برای معرفی کلیه نقاطی از معدن که در آنجا فعالیت های اساسی مرتبط با اهداف استخراج صورت گیرد، قابل استفاده است. در این مقاله منظور از ایستگاه کاری، سینه کار تونل های پیشروی می باشد.

گروه های کاری: منظور از این اصطلاح، همان واژه منابع (Resource) در مهندسی صنایع است که در این مقاله، به مجموعه ای (یک تیم تخصصی) از کارکنان معدن که وظیفه خاصی را دنبال می نمایند، اطلاق می شود. در واقع این اصطلاح جلوه خاصی از مفهوم «نیروی کار» (Manpower) می باشد.

دانش تحقیق در عملیات: یکی از جدیدترین شاخه های علوم ریاضی می باشد که در آن انواع تکنیک های برنامه ریزی ریاضی که مبتنی بر تئوری های معادلات و نامعادلات خطی و غیرخطی است، مورد استفاده قرار می گیرد تا بهترین تخصیص منابع محدود به متغیرهای مجهول، با توجه به محدودیت های موجود، و در راستای هدف معینی شناسایی شود.

بخش دوم - طرح و تشریح صورت مسئله

همانگونه که ذکر شد، توالی عملیات در برنامه استخراج از یک سو، و وجود گروه‌های کاری جهت انجام آن عملیات، از سویی دیگر، ایجاب می‌کند تا پس از خاتمه فعالیت یک گروه (مثلاً آتشباری) در یکی از سینه کارها، تیم کاری که عهده‌دار انجام فعالیت بعدی (مثلاً لقی‌گیری و نصب تجهیزات نگهداری) است در سینه کار حضور یافته با انجام کار خود، توالی عملیات برنامه ریزی شده استخراج را حفظ نماید.

اما آنچه در عمل و واقع امر پیش می‌آید، تأخیر ورود گروه کاری بعدی است به نحوه‌ای که پس از خاتمه کار تیم قبلی، در عمل تا حضور و ورود گروه کاری بعدی، عملیات استخراج در این بخش از معدن متوقف می‌ماند^(۱).

پیش آمد دومی که نشانه پایین آمدن بهره‌وری نیروی انسانی در معادن زغال سنگ می‌باشد، مشاهده مکرر این پدیده است که تیم کاری دوم، قبل از خاتمه عملیات تیم کاری اول، در محل کار حضور یابد. در این حالت (بر خلاف حالت قبلی) این تیم کاری است که باید منتظر آماده شدن سینه کار برای انجام عملیات بعدی استخراج باشد.

در صورت بی‌توجهی و نداشتن برنامه ریزی صحیح در توالی عملیات استخراج، مشاهده وقایع فوق‌آمری اجتناب ناپذیر است که هدف این مقاله، ارائه الگویی برای کاهش آنها به حداقل ممکن می‌باشد. راستی شما چه راه حل منطقی برای بهبود نظام برنامه ریزی و حرکت از حالت نامطلوب به حالت مطلوب برای یک معدن زغال سنگ پیشنهاد می‌کنید؟

بخش بعدی این مقاله پاسخگوی این سؤال برای شماست.

بخش سوم - تجزیه و تحلیل و تشریح راه حل مسئله

۱-۳- تعریف هدف

همانگونه که در بخش قبلی ذکر شد، می‌خواهیم برنامه اجرایی هر یک از گروه‌های کاری در معدن را به گونه‌ای برنامه ریزی و زمانبندی نماییم که مجموع زمان‌های بیکاری بین انجام دو کار متوالی هر یک از گروه‌ها در دو سینه کار مختلف به حداقل خود برسد که به طور طبیعی منجر به افزایش بهره‌وری نیروی کار در معدن خواهد شد [۱].

۲-۳- تعیین ماتریس P (Processing Time)

یا جدول زمان انجام عملیات:

برای دستیابی به هدف فوق‌الزام است در ابتدا زمان انجام هر یک از فعالیت‌های استخراج توسط هر یک از گروه‌های کاری و در هر یک از سینه کارها، از پیش برآورد و تعیین گردند. مسلماً در این برآورد زمان لازم برای حرکت تیم از محل استقرار خود به سینه کار و بالعکس و همچنین انجام هر گونه اقدامات اولیه و مرتبط به کار گروه، منظور خواهد شد. بر همین اساس و به عنوان مثال زمان انجام عملیات حفاری (Processing Time) در سینه کار یکی از تونل‌ها با تونل دیگر مساوی نخواهد بود. همچنین با توجه به اینکه کلیه عملیات معدنی در این جدول ذکر خواهد شد، ممکن است به سبب شرایط خاص کاری زمان انجام کار برخی گروه‌ها در آنها، صفر باشد (مثلاً نیاز به نصب تجهیزات نگهداری در یکی از تونل‌ها، به سبب شرایط خاص مکانیکی سنگ‌ها در آن، وجود نداشته باشد). در شکل ۱ نمای کلی «ماتریس P » ترسیم شده است.

شماره گروه‌های کاری

۱ ۲ ۳ k m

۱					
۲					
۳					
i				P _{ik}	
n					

شکل (۱)

۲-۳- تعریف ماتریس R یا جدول توالی عملیات:

الگوی پیشنهادی در این مقاله برای برنامه ریزی عملیات استخراج در معادن زغال سنگ، هنگامی از ارزش واقعی برخوردار خواهد بود که ضرورت‌های تبیین شده از سوی مهندسين معدن در سلسله عملیات متوالی و تقدم و تأخر کارها را، مثلاً در یک سینه کار پیشروی، ملحوظ و رعایت نماید. این کار با تعریف پارامتری به نام r_{ijk} میسر خواهد بود. بر این اساس مقدار r_{ijk} تنها

- آیا اگر r_{ijk} برابر صفر باشد، مقدار p_{ik} هم صفر خواهد شد؟
 - خیر
 - آیا اگر p_{ik} برابر صفر باشد مقدار r_{ijk} هم صفر می‌گردد؟
 - بله
 - آیا r_{ijk} همان متغیر تصمیم‌گیری در این مسئله است؟
 - خیر، بلکه مقادیر آن قبل از شروع به حل مسئله باید توسط مهندس استخراج، تعیین گردد.
 - آیا اگر معدن چند ایستگاه کاری داشته باشد، تنها با یک جدول R می‌توان توالی عملیات را مشخص نمود؟
 - خیر، بازای تعداد ایستگاه‌های کاری، ماتریس R را در هر دوره کاری باید تشکیل داد که هر یک از آنها توالی عملیات در آن ایستگاه را تعریف می‌کند.
 با توجه به نکات فوق کاملاً مشخص می‌گردد که ماتریس R به گونه‌ای است که در هر یک از سطر و ستون‌های آن فقط یک، ۱ باید وجود داشته باشد و مابقی خانه‌های جدول صفر خواهند بود [۵]. مثالی از ماتریس R در شکل ۲ آمده است.

می‌تواند برابر صفر و یا یک گردد. هر گاه $r_{ijk} = 1$ باشد به این معنی است که انجام‌آمین مرحله عملیات ایستگاه کاری شماره i ، نیاز به حضور گروه کاری k را دارد. و مسلماً $r_{ijk} = 0$ خلاف این مفهوم را در بر دارد. به عنوان یک مثال عینی می‌توان گفت $r_{325} = 1$ یعنی پس از انجام اولین مرحله عملیات (مثلاً حفاری) در تونل شماره ۳، دومین مرحله عملیات استخراجی (مثلاً آتشیاری) باید آغاز گردد که نیاز به حضور تیم تخصصی آتشیاری (به شماره گروه کاری ۵) دارد.
 حال اگر بر فرض، تونل شماره ۳، تونل درون لایه بوده، ضخامت لایه زغال هم زیاد باشد، طبیعی است بعد از عملیات حفاری (خاص تونل دنبال لایه) نیازی به آتشیاری نخواهد بود و لذا تا زمانی که تونل شماره ۳ وارد لایه سنگی نشده $r_{325} = 0$ می‌باشد.
 برای تفهیم بهتر ماتریس صفر و یک r ، که باید توسط مهندس استخراج معدن تکمیل گردد، به چند سوال و جواب با خواننده می‌پردازیم. دقت در آنها کمک شایانی به درک بهتر مفهوم ماتریس R خواهد نمود.

شماره گروه‌های کاری $k = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5$

$z =$ شماره ترتیب عملیات

۱	۰	۱	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۱	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۱	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۱
۵	۱	۰	۰	۰	۰

$$= r_{ijk}$$

شکل (۲) ماتریس R (جدول توالی عملیات) برای تونل شماره ۳

۳-۴. تعیین متغیر تصمیم‌گیری

با عنایت و توجه به آنچه تا به حال به میان آمده مدیر استخراج معدن علاقه مند است در ابتدای هر شیفت کاری برنامه کاری هر یک از تیم‌های تخصصی در آن شیفت را به آنان ابلاغ نماید. این برنامه که در قالب زمان ارسال و شروع کار تیم‌ها به ایستگاه‌های مختلف کاری است، همان مجموعه متغیرهای تصمیم‌گیری این مدل ریاضی می‌باشد که با x_{ik} آن را نشان می‌دهیم. در واقع مقدار x_{ik} زمان آغاز فعالیت گروه کاری k ام در سینه کار با ایستگاه کاری شماره i می‌باشد. اگر یک شیفت کاری شش ساعت معادل ۳۶۰ دقیقه، فرض گردد، مسلماً $x \leq 360$ خواهد بود. در زیر مثال‌هایی برای تبیین بهتر مفهوم x_{ik} آورده شده است.
 $x_{13} = 0$ ، بلافاصله پس از شروع شیفت کاری تیم شماره ۳ (حفار) به تونل شماره ۱ جهت انجام حفاری اعزام گردد.
 $x_{25} = 150$ در دقیقه ۱۵۰، تیم کاری شماره ۵ (مثلاً

با عنایت و توجه به آنچه تا به حال به میان آمده مدیر استخراج معدن علاقه مند است در ابتدای هر شیفت کاری برنامه کاری هر یک از تیم‌های تخصصی در آن شیفت را به آنان ابلاغ نماید. این برنامه که در قالب زمان ارسال و شروع کار تیم‌ها به ایستگاه‌های مختلف کاری است، همان مجموعه متغیرهای تصمیم‌گیری این مدل ریاضی می‌باشد که با x_{ik} آن را نشان می‌دهیم. در واقع مقدار x_{ik} زمان آغاز فعالیت گروه کاری k ام در

آتشبار) که کار قبلی اش خاتمه یافته است، به تونل شماره ۲ اعزام گردد.

در دقیقه ۲۱۰ از شروع شیفت، تیم شماره ۱ به تونل شماره ۵ اعزام گردد: $x_{51}=210$

واضح است که اگر نیروی کار در معدن شامل m تیم تخصصی که در n ایستگاه کاری فعالیت خواهند نمود، باشد، تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در این معدن برای هر شیفت $m \times n$ خواهد بود.

۳-۵- تشریح هدف به صورت تابع ریاضی:

همانگونه که ذکر شد، هدف در این الگوری برنامه ریزی، کاستن مجموع زمان‌های بیکاری تیم‌های کاری است. پیروی از این هدف منجر به خاتمه هر چه زودتر کار گروه‌ها در معدن خواهد بود.

در حوالی آخرین دقایق کار در هر شیفت، هر یک از گروه‌ها برای انجام آخرین کار خود به یکی از ایستگاه‌های کاری اعزام خواهد شد (در دقیقه X_{ik}). در این موقعیت مقدار تابع ریاضی زیر نشانه مجموع دقایقی است که کل گروه‌ها تا آن لحظه در معدن مشغول به کار بوده‌اند:

$$\sum_{i=1}^n X_{ik}$$

طبیعی است اگر بهینه‌سازی در برنامه کاری آنان صورت پذیرفته شده باشد، هدف مورد نظر در این مسئله به بهترین وجه برآورد شده، مقدار تابع ریاضی فوق به حداقل خود خواهد رسید. اما شرط محاسبه تابع ریاضی فوق مشخص بودن (k ها) می‌باشد که این کار تنها با اصلاح زیر در تابع ریاضی فوق میسر خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \Gamma_{imk} \cdot X_{ik}$$

بنابراین تابع هدف در این مدل ریاضی به شکل زیر خواهد بود:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \Gamma_{imk} \cdot X_{ik}$$

اما آیا تنها با مینیمم کردن مقدار تابع فوق می‌توان پاسخگوی مدیر استخراج معدن در تعیین مقادیر X_{ik} بود؟

۳-۶- بازنگری به مدل ریاضی (تابع هدف) جستجوی نارسائیا

با ساده‌ترین نگاه به ساختار تابع هدف در می‌یابیم که بهترین پاسخ برای حداقل کردن مقدار آن، تخصیص مقادیر صفر به کلیه X_{ik} ها است، که نامعقول بودن آن کاملاً واضح است. چرا که به این معنی است که آخرین مرحله عملیات در هر سینه کار، باید در آغاز شروع شیفت کاری انجام شود!

با این مقدمه روشن شد که نارسائیهایی در این ساختار وجود دارد که در ذیل به بررسی و ارائه راه حل برای آنها می‌پردازیم.

۳-۶-۱- همزمان شدن شروع کار یک تیم در دو یا چند ایستگاه کاری مختلف

ممکن است پس از حل ریاضی مسئله، جوابی به صورت زیر، برای آن پیدا شود: $X_{rk} = X_{sk}$ که مفهوم آن این است که گروه کاری شماره k ، همزمان کار خود را در تونل یا ایستگاه کاری شماره r ، s شروع نماید. واضح است که امری ممتنع را، حل مسئله به ما پیشنهاد کرده است. برای جلوگیری از پدید آمدن چنین حالتی عبارت ریاضی $X_{rk} - X_{sk}$ را در نظر می‌گیریم. قدر مطلق مقدار عبارت ریاضی فوق (مقدار آن ممکن است مثبت یا منفی باشد) فاصله زمانی میان شروع فعالیت گروه کاری شماره k در ایستگاه‌های r ، s را نشان می‌دهد، که مسلماً این مقدار، بزرگتر یا مساوی با زمان انجام فعالیت گروه کاری k در ایستگاه متقدم r یا s خواهد بود:

$$\text{IF } X_{rk} - X_{sk} \geq 0 \Rightarrow X_{rk} - X_{sk} \geq p_{sk} \quad X_{rk} \geq X_{sk} + p_{sk}$$

$$\text{IF } X_{rk} - X_{sk} \leq 0 \Rightarrow X_{sk} - X_{rk} \geq p_{rk} \quad X_{sk} \geq X_{rk} + p_{rk}$$

بر اندیشه خواننده مقاله، بلافاصله این موضوع خطور خواهد نمود که آیا با وارد کردن نامعادلات فوق به صورت محدودیت‌های تابع هدف، ساختار مدل اصلاح و نارسائی ذکر شده بر طرف خواهد شد؟!

پاسخ سؤال فوق منفی است. چرا که اگر هر دو نامعادله به صورت محدودیت مدل، همزمان ارضاء گردند، دوباره نارسائی مورد بحث به صورت $X_{rk} = X_{sk} = 0$ آشکار خواهد شد. (علت آن بدین خاطر است که تنها در صورتی قدر مطلق عبارتی با علامت منفی و مثبت،

همزمان بزرگتر یا مساوی با صفر خواهد شد، که مقدار آن خود برابر با صفر باشد).

از اینرو ست که برای رفع نارسایی فوق از متغیر y_{rsk} که مقدار آن همیشه برابر با صفر یا یک است، به شرح زیر استفاده می‌نماییم: $y_{rsk} = 1$

گروه کاری شماره k ، فعالیت خود را بر روی تونل شماره r قبل از تونل شماره s آغاز خواهد نمود.

گروه کاری شماره k ، فعالیت خود را بر روی تونل شماره r بعد از تونل شماره s آغاز خواهد نمود. $y_{rsk} = 0$.
حال نامعادلات فوق را به شکل محدودیت‌های زیر وارد مدل ریاضی خواهیم نمود:

$$x_{rk} - x_{sk} \geq p_{sk} - M y_{rsk} \quad (1)$$

$$x_{sk} - x_{rk} \geq p_{rk} - (1 - y_{rsk}) M \quad (2)$$

بر خلاف تصور اولیه، عبارت فوق فقط از یک جمله تشکیل شده است. چرا که ماهیت ماتریس R که قبلاً تشریح شد اینچنین حکم می‌نماید. با این توصیف، عبارت فوق زمان شروع زامین مرحله فعالیت‌ها در تونل نام را به ما خواهد داد.

حال با تعریف محدودیتی به فرم زیر و وارد نمودن آن در مدل، از بروز مشکل مذکور در بالا جلوگیری می‌نماییم:

$$\sum_{k=1}^m \Gamma_{ijk} \cdot (x_{ik} + p_{ik}) \leq \sum_{k=1}^m \Gamma_{i,j+1,k} \cdot x_{ik}$$

محدودیت فوق به نرم افزار حل مسئله دیکته می‌کند که زمان شروع $z + 1$ زامین مرحله عملیات در سینه کار شماره i را همزمان و یا پس از خاتمه زامین مرحله عملیات در همان تونل یا سینه کار، تعیین نماید [۲].

۳-۲- طرح نهایی مدل ریاضی برای حل مسئله

بنابر آنچه در قبل گفته شد، مدل نهایی مسئله به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \Gamma_{imk} \cdot x_{ik}$$

subject to:

$$\left. \begin{aligned} x_{rk} - x_{sk} &\geq p_{sk} - M y_{rsk} \\ x_{sk} - x_{rk} &\geq p_{rk} - (1 - y_{rsk}) M \end{aligned} \right\} \begin{aligned} k &= 1, 2, \dots, m \\ r, s &\in \{i / i = 1, 2, \dots, n\} \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^m \Gamma_{ijk} \cdot (x_{ik} + p_{ik}) \leq \sum_{k=1}^m \Gamma_{i,j+1,k} \cdot x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

بخش چهارم - یک مثال کاربردی

در یک معدن زغال سنگ فعالیت‌های عملیاتی در تونل‌های پیشروی محدود به ایستگاه‌های کاری زیر شده است.

۱ - سینه کار تونل‌های پیشروی در افق ۱۱۳۰ و ۱۱۸۰ و ۱۲۳۰

(ایستگاه‌های کاری شماره ۱ و ۲ و ۳)

۲ - سینه کار تونل اصلی معدن

(ایستگاه‌های کاری شماره ۴ و ۵)

فرم محدودیت‌ها به گونه فوق موجب می‌شود که همیشه یکی از آنها ارضاء گردد و دیگری رها شده باقی بماند. لازم به ذکر است که مقدار M در واقع عددی بسیار بزرگ انتخاب خواهد شد (۷).

۳-۶-۲ برنامه ریزی بدون توجه به فعالیت‌های پیش‌نیاز

پس از حل مسئله، ممکن است، به عنوان مثال، با جوابی به شکل زیر مواجه شویم:

$x_{31} = 225$ عملیات تیم حفاری در تونل شماره ۳ در دقیقه ۲۲۵ آغاز گردد.

$x_{32} = 85$ عملیات گروه آتشیاری در تونل شماره ۳ در دقیقه ۸۵ آغاز گردد.

اما با توجه به ترتیب فعالیت‌ها، واضح است که عملیات حفاری، پیش‌نیاز فعالیت آتشیاری است و باید

قبل از آن شروع شود، نه بعد از آن یعنی باید: $x_{31} < x_{32}$ برای پیش‌گیری از بروز چنین مشکلی به عبارت زیر که برای هر یک از ایستگاه‌های کاری (i) می‌توان آن را نوشت، توجه می‌کنیم:

$$\sum_{k=1}^m \Gamma_{ijk} \cdot x_{ik}$$

به نظر شما عبارت فوق از چند جمله تشکیل شده است (حاصل جمع چند عامل است)؟

$$m \times n + m \binom{n}{2}$$

$$m \times n + m \binom{n}{2} = 6 \times 8 + 6 \times \binom{8}{2} = 216$$

و تعداد محدودیت های آن

$$(m-1) \times n + m \binom{n}{2} = 5 \times 8 + 2 \times 6 \times \binom{8}{2} = 376$$

می باشد.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^8 \sum_{k=1}^6 r_{i m k} \cdot X_{ik}$$

subject to:

$$\left. \begin{aligned} X_{rk} - X_{sk} &\geq p_{sk} - 1000000 y_{rsk} \\ X_{sk} - X_{rk} &\geq p_{rk} - 1000000 (1 - y_{rsk}) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &k = 1, 2, \dots, 6 \\ &r, s \{i / i = 1, 2, \dots, 8\} \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^6 r_{i j k} \cdot (X_{ik} + p_{ik}) \leq \sum_{k=1}^6 r_{i j+1, k} \cdot X_{ik}$$

$$i = 1, 2, \dots, 8$$

$$j = 1, 2, \dots, 5$$

زیر نویسها

۱- تحلیل اقتصادی ضررهای ناشی از این توقف کاملاً مشابه راکد ماندن سرمایه ها، بدون چرخش، انجا، کار و ایجاد ارزش افزوده است. مثال عملی و متداول آن در صنعت، کالاهای نیمه ساخته در یک خط تولید است (Work In Process) که به صورت موجودی های راکد، (که همگی معادل مقدار مشخصی سرمایه و پول هستند) مدتها در حواشی و کناره های خط تولید انبار می گردند تا پس از رفع نقص و نارسایی مربوطه، دو مرتبه در چرخه تولید قرار گیرند. تدبیرهای فنی (استراتژی) تولید در سیستم مشهور و ژاپنی (Just in Time) تلاش در جهت حذف این موجودی ها تا حد به صفر رساندن آنها دارد. تطبیق این تدبیر فنی در سیستم تولید معدنی، فعال بودن بدون وقفه سینه کارها و قسمت های اجرایی، در کار معدنی است [۶].

۲- برای روشن تر شدن استدلال فوق می توان گفت: اگر $y_{rsk} = 1$ باشد، طرف چپ نامعادله شماره (۱) مقداری منفی خواهد بود که همیشه از یک مقدار منفی با قدر مطلق بسیار بزرگ (طرف راست نامعادله) بزرگتر است و در نتیجه نامعادله شماره (۲) به صورت $y_{rsk} = 0$ اگر $X_{ik} - X_{rk} > = p_{rk}$ در مدل عمل خواهد نمود. اگر $y_{rsk} = 0$ باشد نیز به طریق مشابه می توان استدلال نمود.

۳- سینه کار تونل های اکتشافی

(ایستگاه های کاری شماره ۶ و ۷ و ۸)

در این معدن ۶ گروه کاری که فعالیت تخصصی هر یک در ذیل مشروح است، انجام وظیفه می نمایند:

۱- گروه حفاری، لق گیری، نصب تجهیزات نگهداری و حمل و نقل

۲- گروه خرج گذاری و آتشباری

۳- گروه نصب تجهیزات هوای فشرده

۴- گروه ریل گذاری

۵- گروه نقشه برداری و جهت دهی

۶- گروه نصب تأسیسات روشنایی

زمان انجام فعالیت هر یک از گروه های کاری در تک تک تونل ها (ماتریس P) در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول شماره (۳) ماتریس P مثال کاربردی (زمان ها به دقیقه است)

	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۲۵۰	۶۰	۱۱۰	۳۱۰	۱۰۰	۰
۲	۲۸۰	۸۰	۱۲۰	۳۲۰	۱۱۰	۱۴۰
۳	۲۰۰	۵۰	۱۱۰	۳۰۰	۱۲۰	۰
۴	۲۰۰	۷۰	۱۳۰	۳۸۰	۹۰	۱۶۰
۵	۳۲۰	۸۰	۱۴۰	۴۰۰	۸۰	۱۷۰
۶	۱۲۰	۳۰	۱۰۰	۰	۱۳۰	۰
۷	۱۰۰	۰	۹۰	۰	۱۴۰	۰
۸	۱۵۰	۴۰	۱۰۰	۰	۱۵۰	۰

برنامه کاری روز شنبه به صورت تقدم و تأخر کارها در هر یک از تونل ها در قالب ماتریس R در شکل شماره ۴ آمده است.

به منظور تنظیم برنامه اجرایی و تعیین جدول زمانبندی فعالیت گروه های کاری در این روز مدل ریاضی زیر به نرم افزار کامپیوتری حل مسئله، همراه با اطلاعات جداول P و R داده خواهد شد.

یادآور می شود که تعداد متغیرهای این مسئله

•	۱	•	•	•	•
•	•	•	۱	•	•
•	•	۱	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	•	•	•	•	۱
•	•	•	•	•	•

R ۱

۱	•	•	•	•	•
•	۱	•	•	•	•
•	•	•	۱	•	•
•	•	۱	•	•	•
•	•	•	•	•	۱
•	•	•	•	۱	•

R ۲

•	•	۱	•	•	•
•	۱	•	•	•	•
۱	•	•	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	•	•	۱	•	•
•	•	•	•	•	•

R ۳

•	•	•	•	•	۱
•	•	•	۱	•	•
۱	•	•	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	۱	•	•	•	•
•	•	۱	•	•	•

R ۴

•	•	•	۱	•	•
۱	•	•	•	•	•
•	۱	•	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	•	۱	•	•	•
•	•	•	•	•	۱

R ۵

•	•	•	•	۱	•
•	۱	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
۱	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
•	•	۱	•	•	•

R ۶

•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	•	•	•	•	•
•	•	۱	•	•	•
•	•	•	•	•	•
۱	•	•	•	•	•

R ۷

•	۱	•	•	•	•
•	•	۱	•	•	•
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	۱	•
•	•	•	•	•	•
۱	•	•	•	•	•

R ۸

تصویر شماره (۲) ماتریس R تونل های معدن،
برای روز شنبه

مراجع

- [1] KENNETH R. BAKER, Introduction to sequencing and scheduling, John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- [2] Hamdy A. Taha, "Operations Research, an Introduction", MacMillan Publishing.
- [3] H. B. MAYNARD, "Industrial Engineering Handbook" McGraw-Hill, Inc.
- [4] Sidney G. Seiffert. Mine Feasibility Study.
- [5] G. L. Nemhauser, P. Garfinkel "Integer programming" Wiley-Inc.
- [6] Jimmie Browne, John Harhen, James Shivnan, "Production mangement systems", ADDISON-WESLEY Inc.
- [7] عزت ا... اورعی - «فنون معدنکاری» جلد ۱ و ۲، ۱۳۶۸.
- [8] سید حمید سکاکی - «الگوهای برای بهینه سازی عملیات بارگیری و حمل در معادن»، ۱۳۷۱.