راه اندازي ماشين آلات و توالي عمليات

"برتري هرگز براي انسان تضمين شده نيست بلكه پاداش عمل وي است". (سرجاشوا رينوارز)

۱-۸- مقدمه :

در ســـه فصل گذشته به استراتژيهاي عمده در طراحي سيستم پرداختيم. حال حوزه مطالعه را تنگتر نمـــوده و در مورد فعاليتهايي كه در يك ايستگاه كاري يا يك سلول واقع ميشود بحث ميكنيم. ما تمايل داريم تا بهـــترين حالت در كارايي عمليات يك سلول را پيدا كنيم. بطور كلي، ما مسئله را به دو بخش تخصيص ابزار به ماشـــين و ســـپس توالي عمليات تقسيم ميكنيم. فرض ما آنست كه مجموعه اي از دستوركارها در انتظار توليد هستند. يك دستور كار، مجموعه اي از يك يا چند قطعه مشابه است. هدف حداكثر نمودن بهره وري با حداقل نمـــودن زمـــان لازم براي توليد يك مجموعه كار است. در اين رابطه چندين امكان وجود دارد. مي توان توالي دســـته هاي توليدي را براي حداقل نمودن تغيير ابزار مرتب نمود. همچنين ميتوان توالي فعاليتهاي درون يك سلول را به نحوي مرتب نمود كه زمان بيكاري ماشينها و تجهيزات حمل و نقل را حداقل نمود. از سوي ديگر بهره وري را ميـــتوان با طراحي بهينه ايستگاه كاري از طريق تعيين مكان تغذيه كننده ها و ابزارها براي حداقل نمودن زمان مونـــتاژ بهبود داد. در فصل چهارم زمانبندي و توالي عمليات براي يك مجموعه دستوركار كه زمان فرآيندها از قـــبل معـــين باشد مورد بررسي قرار گرفت. در اين فصل ما به روشهايي ميپردازيم كه زمان عمليات مورد نياز دستور كارها را حداقل نمايد. لذا اين فصل، پلي است كه شكاف بين مدلسازي سيستمهاي توليد و تكنيكهاي تحليل صنعتي مهندسي صنايع را به هم متصل ميكند.

مـــا احـــتمالا نميتوانيم كليه مسائل توالي عمليات را كه در برنامه ريزي سلولهاي ساخت با آن مواجه ميشـــويم، تشـــريح نماييم. لذا به چندين مسئله عمومي و راه حلهاي هر يك را كه در بسياري از مسائل توالي عملـــيات مفـــيد اســـت ميپردازيم. ما ياد خواهيم گرفت كه بسياري از مسائل را ميتوان با مسائل بهينه سازي كلاسيك تطبيق داد. شناخت اين اشكال مدلسازي عمومي ما ره در جهت توسعه متدولوژي و راه حل ها براي مسائل جديدي كه با آن مواجه هستيم ياري ميكند.

جزيـــيات توالي عمليات هر قلم اهميت كمتري نسبت به طراحي كلي سيستم دارد. انتخاب اين نگرش اثـــرات جـــدي در محيط رقابتي بوجود ميآورد. عليرغم فوايد ناشي از طراحي سيستم مناسب، اگر هزينه متغير تولـــيد از قيمـــت فروش بازار بيشتر باشد، بقا در آن حوزه تجاري بسيار مشكل خواهد بود. يك سيستم خوب طـــراحي شده، فرصت كاهش هزينه توليد را در اختيار ميگذارد. عمليات كاراي يك سيستم منجر به تحقق اين فرصت ميشود. توجه نماييد كه وقتي يك فروشنده فروش را افزايش ميدهد، برگشت خالص به سازمان به چندين ســـنت براي هر دلار محدود است. مابقي درآمد در مواد و هزينه هاي توليد هزينه ميشود. در توليد، هر پني كه صرفه جويي ميشود در واقع يك پني درآمد است.

در ايـــنجا مناســـب اســـت كه اختلاف بين مسائل طراحي و عمليات را مجددا بازگو نماييم. وقتي كه طـــراحي سيســـتم را انـــتخاب ميكنيم، ميتوانيم از مدلهاي بزرگ كه به منابع محاسباتي قابل توجهي نياز دارد،

استفاده نماييم. انتظار براي طول يك شب جهت محاسبه كامپيوتر و بكارگيري يك الگوريتم مشكلي نخواهد بود. همچـــنين، هـــنوز مجاز هستيم تا تحليل حساسيت قابل قبولي را انجام دهيم و براي اجراي واقعي يك راه حل، به چندين ماه زمان فرصت نياز داريم. در مقابل، تصميم گيري توالي عمليات و كنترل حل مواد به زمانهاي واقعي وابسته اند. بسياري از اين تصميمات هر روز گرفته ميشود. اين فصل در اين محدوده قرار ميگيرد و ما به مسائل بـــرنامه ريزي كوتاه مدت ميپردازيم. معمولا، يك مسئله ممكن است براي هر نوع قطعه و يا تركيب توليد حل شـــود. در حالت قبلي، راه حلها را ميتوان براي اجراي توليد در آينده نگهداري نمود. پياده سازي خروجي هر مدل نسبتا جزيي است و نياز به زمان زياد مدلساز براي تطبيق حساسيت ندارد. اگرچه در درازمدت اثر برنامه هاي كوتاه مدت بر هم افزوده ميشوند و اجراي ساده اما اثربخش مدلسازي اتوماتيك را اصلاح ميكند.

۲–۸– تخصيص فعاليت :

مســـئله پايـــه تخصيص فعاليت – كارگر يكي از مسائل پايه تحقيق در عمليات است كه در چارچوب مسئله تخصيص خطي[1] منطبق است.

بـــه بيان دقيقتر، اين مسئله در گروه مسائل راه اندازي ماشين و توالي عمليات قرار نمي گيرد. اگرچه LAP يـــك پايه ضروري براي رويه هايي است كه در ادامه اين فصل مي آيد. بعلاوه، LAP كاربردهاي خاص خود را در برنامه ريزي ساخت دارد.

فـــرض كنيد كه N فعاليت براي اقدام وجود دارد و هر فعاليت به يك كارگر نيازمند است و قابليت كارگران مانند نيازهاي فعاليتها متفاوت است. ارزش تخصيص يك كارگر خاص به يك فعاليت خاص به تركيب فعاليـــت و كارگـــر مرتبط است. واژه هاي اين مسئله ميتواند متفاوت باشد و براي مثال، فعاليتها را ميتوان با ماشـــين، ايســـتگاه كاري، ابزار و يا دستور كار معادل گرفت. كارگران را نيز ميتوان با ماشين و يا محل كار جايگزين نمود. كليه مدلسازي در آنست كه موارد را از دو گروه در كنار هم قرار داد. عناصر را نميتوان دوبار استفاده نمود و هزينه فقط به تركيب جفتهاي تعريف شده ارتباط دارد.

مـــا فـــرض ميكنـــيم كه تعداد فعاليتها (N) و كارگران (M) با هم مساوي است. در غير اينصورت كارگران مجازي اضافه ميشوند كه فعاليت تخصيص يافته به آنها انجام نميشود و يا فعاليتهاي مجازي اضافه ميشوند كـــه كارگران آنها بيكار هستند. لذا N به منزله تعداد فعاليتها و كارگران است. همچنين C_{ij} را به عنوان هزينه (يا زمان) تعريف ميكنيم در صورتيكه كارگر i به فعاليت j تخصيص يابد. C_{ij} تطبيق بين سطح مهارت كاركنان (يا قابليت ماشين) ونيازهاي فعاليت را تعريف ميكند.

ميـــتوان هزيـــنه تخصـــيص را در ماتريس C خلاصه نمود كه در آن سطرها براي كارگران و ستونها براي فعاليـــتها تعريف شده باشد. و C_{ij} جريمه تاخير فعاليت j است اگر i يك كارگر مجازي باشد. به همين ترتيب C_{ij} هزيـــنه كارگر بيكار است اگر j يك فعاليت مجازي باشد. مسئله پايه LAP را ميتوان بدينصورت فرموله نمود :

[1] Linear Assignment Problem (LAP)

$$LAP: \min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} C_{ij} X_{ij} \qquad (8.1)$$

$$ST: \sum_{i=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall j \qquad (8.2)$$

$$ST: \sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall j \qquad (8.3)$$

$X_{ij} = 0$ یا 1

تـــابع هدف 8.1 مجموع هزينه اجراي فعاليت است. هر فعاليت داراي محدوديت به شكل محدوديتهاي 8.2 است. محدوديتها هر كارگر را دقيقا به يك فعاليت تخصيص ميدهد. محدوديت 8.3 اين اطمينان را بوجود مي آورد كه هر كارگر دقيقا به يك فعاليت تخصيص يابد.

LAP يـــك بـــرنامه ريزي عدد صحيح زيبا است. اين مدل حالت خاص از يك مسئله عمومي حداقل هزينه جريان در يك شبكه است. اگرچه محدوديت عدد صحيح را كنار گذاشته و مسئله مربوطه را حل مينماييم ولي پاسخ به هر صورت به شكل عدد صحيح تبديل ميشود. بعلاوه، روشهاي ساده تري براي حل مسئله LAP و مسئله حمل و نقل وجود دارد. به همين منظور الگوريتم هانگرين[۲] را كه در بسياري از كتب تحقيق در عمليات آمـــده است مرور مينماييم. آهوجا و همكاران (1989) چندين روش حل ديگر را بررسي نموده اند. اين الگوريتم از دو واقعيت پايه استفاده مينمايد.

۱ـ اگـــر به هر سطر يا ستون از C مقداري ثابت اضافه نماييم، جواب بهينه تغيير نميكند و مقدار پاسخ بهينه به همان ميزان تغييرات اضافه شده، تغيير ميكند.

۲ـ اگر تمام $c_{ij} \geq 0$، در آنصورت هر جواب موجه با هزينه صفر بهينه خواهد بود.

بـــراي آنكه مشخص شود چرا دو نكته فوق صحيح است، مقادير C هر سلول متناسب با متغير هاي تصميم گيري X_{ij} را در نظر بگيريد. مجموعه محدوديتهاي 8.2 و 8.3 معين ميكند كه كليه جوابهاي موجه فقـــط يك سلول را در هر سطر و ستون انتخاب ميكند. لذا اضافه نمودن يك مقدار ثابت به يك سطر يا ستون، جواب موجه را به همان ميزان تغيير ميدهد. نكته دوم به دليل تابع هدف 8.1 و غير منفي بودن متغيرهاي X_{ij} است.

الگوريـــتم با اضافه و كم كردن مقادير ثابت از سطرها و ستونها كار ميكند تا يك ماتريس هزينه غير مـــنفي بوجـــود آورد. و به محض آنكه يك جواب موجه با استفاده از سلولهاي مقدار هزينه صفر پيدا ميشود در آنصورت به جواب بهينه دست يافته ايم.

الگوريتم Hungarian

گـــام اول : كـــاهش هزينه : از هر سطر حداقل مقدار را انتخاب و از تمام سطر كم كنيد. از هر ستون حداقل مقدار را انتخاب و از تمام عناصر ستون كم كنيد. ماتريس نتيجه داراي هزينه هاي كاهش يافته است.

[۲] Hungarian Algorithm

گـــام دوم : تلاش نمایید که یك جواب موجه را با انتخاب سلولهاي داراي مقدار صفر از ماتریس کاهش هزینه یافـــته پـــیدا نمایید. اگر در این کار موفق شدید متوقف شوید و جواب بهینه است. اگر کلیه عناصر صفر را با کمتر از N خط افقي و عمودي میتوان پوشش داد و به گام سوم بروید.

گـــام سوم : کاهش بیشتر : حداقل عنصر پوشش داده نشده را بیابید. این مقدار را از کلیه عناصر پوشش داده نشده کم نموده و آن را به سلولهایي که دوبار پوشش داده شده اند اضافه نمایید. به گام دوم بروید.

اگرچه گام سوم بنظر پیچیده تر از گام اول است ولي در عمل این روش اضافه نمودن مقادیري ثابت به برخي از سطرها و ستونها است به نحویکه هیچ عنصري منفي نشود.

مثال 8.1

یـــك سرپرست تولید داراي پنج کارگر و پنج ماشین است. کارگران در تجربه با هم تفاوت دارند و ماشـــینها در ســـهولت و یکپارچگي عملیات با هم متفاوتند. تخصیص بالقوه کارگران به ماشینها در شکل 8.1 آمده است. سرپرست مقدار سود روزانه را مطابق جدول 8.1 و براساس تخصیص کارگران به ماشینها پیش بیني نموده است. این مقادیر براساس تخمین کارهاي تکمیل شده روزانه بدست آمده است.

Table 8.1 Profits per Day

Worker	Machine A	B	C	D	E
1	20	15	40	8	0
2	20	15	35	10	−5
3	10	10	30	5	5
4	10	10	25	3	0
5	5	10	25	3	−2

جدول 8.1 – سود روزانه

چگونه کارگران تخصیص مي یابند؟

پاسخ :

گـــام اول تبدیل سود به ماتریس هزینه براي حداقل نمودن است. این کار به سادگي با منفي نمودن سودها انجام میشود. چارچوب مدل عبارتست از :

$$\min -20\,X_{1A} - X_{1B} + \ldots\ldots + 2\,X_{5E}$$

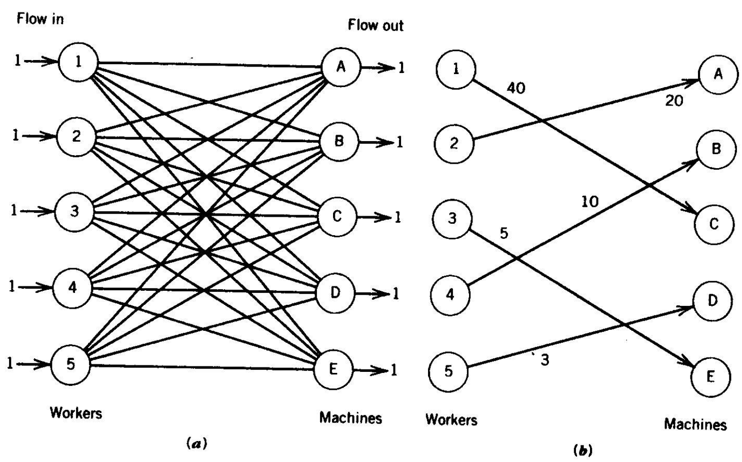
ST :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ I & I & I & I & I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{1A} \\ X_{1A} \\ X_{1A} \\ X_{1A} \\ X_{1A} \\ X_{5E} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

1 معـــین کننده بردار سطري (۱و۱و۱و۱و۱) و I ماتریس پایه 5x5 است. ساختار خاص نشان داده شـــده در ماتریس تخصیص رابطه 8.4 مسئله تخصیص را ساده میکند. این ماتریس یوني مدولار[۳] است (یعني هر زیــــر ماتـــریس مربع داراي دترمینان ۱ ، ۰ و یا ۱- است). این ویژگي براي مسائل مرتبط مانند حمل و نقل و جـــریان شبکه نیز صادق است و براي ایجاد الگوریتمهاي حل مسئله نیز بکار گرفته میشود. یوني مدولار بودن این اطمینان را ایجاد میکند که جواب موجه پایه، عدد صحیح است. لذا میتوان الگوریتمهایي مانند سیپلکس را بدون نگراني از محدودیت عدد صحیح بکار گرفت.

براي تبدیل مسئله به شکل حداقل نمودن، ضرایب سود را در ۱- ضرب میکنیم. در نتیجه ماتریس به صورت زیر در مي آید :

$$\left(\begin{array}{rrrrr|r} -20 & -15 & -40 & -8 & 0 & -40 \\ -20 & -15 & -35 & -10 & 5 & -35 \\ -10 & -10 & -30 & -5 & -5 & -30 \\ -10 & -10 & -25 & -3 & 0 & -25 \\ -5 & -10 & -25 & -3 & 2 & -25 \end{array}\right)$$



شکل 8.1 – نمایش شبکه اي از مسئله تخصیص

۳Unimodular

مقدار حداقل در سمت راست هر سطر نشان داده شده است. این مقادیر را از هر عنصر در سطر کم میکنیم که در نتیجه :

$$\begin{pmatrix} 20 & 25 & 0 & 32 & 40 \\ 15 & 20 & 0 & 25 & 40 \\ 20 & 20 & 0 & 25 & 25 \\ 15 & 15 & 0 & 22 & 25 \\ 20 & 15 & 0 & 22 & 27 \end{pmatrix}$$

ماتریس جدید داراي مقادیر حداقل ستوني ۲۵،۲۲،۰،۱۵،۱۵ است. این مقادیر از هر ستون کم میشود. ماتریس نتیجه عبارت است از :

$$\begin{pmatrix} 5 & 10 & 0 & 10 & 15 \\ 0 & 5 & 0 & 3 & 15 \\ 5 & 5 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

با بکارگیري عناصر صفر، میتوان جواب موجه که کارگران (1,2,3,4,5) را به ماشینهاي (C,A,E,B,D) تخصیص دهد شکل داد.

این راه حل داراي سود روزانه 78 & است. توجه کنید که مجموع ضرایب کاهش یافته سطر و ستونها هزینه اي معادل 78=25+.....+35-40- = C را در مقایسه با سود حاصل شده ایجاد میکند. جواب بهینه در شکل 8.1.b آمده است.

حال آیا منطقي است که از سرپرستان انتظار حل مسئله تخصیص را داشته باشیم؟ توسط دست که احتمالا نیست. اگرچه، غیرمنطقي نخواهد بود اگر سرپرست پارامترهاي مناسب ورودي را به یك برنامه نرم افزاري وارد نماید که میتواند برنامه زمان بندي را در اختیار بگذارد. حتي بدون چنین نرم افزار پشتیبان کننده، اگر چنین بخش سبب شود تا خواننده تعادل بین تصمیم گیري در مورد زمانبندي منابع را با قابلیت آنها درك نماید، اهداف اولیه خود را انجام داده است. بعلاوه ، LAP مقدمه خوبي براي مسائلي است که در ادامه این فصل با آن روبه رو میشویم.

۳–۸– توالي فعالیت :

در این بخش به دو نوع از مسائل توالي فعالیتها مي پردازیم. گروه اول از این مسائل به تحلیل هزینه تغییر خط در مواردي که هزینه کاملا به راه اندازي دستور کار جاري و دستور کار بعدي فرآیند ارتباط دارد مي پردازد. در گروه دوم مسائل لازم است مجموعه توالي دستور کارها براي تعیین هزینه مشخص باشد.

۱-۳-۸- تغيير كامل خط – مسئله فروشنده دوره گرد.

فـــرض كنيد N دستور كار براي انجام بر روي يك ماشين داريم. كل زمان فرايند ثابت بوده و به زمان فرآيـــند بـــراي هـــر واحـــد كار و اندازه دسته توليدي ارتباط دارد. مجموع زمان راه اندازي به توالي اجراي دستوركارها مرتبط است.

بـــراي مثال در تكنولوژي گروهي، قطعات در يك خانواده در زمينه راه اندازي داراي تغيير كم و يا بـــدون تغـــيير هستند در صورتيكه قطعات در خانواده هاي مختلف ممكن است به تغيير كامل و جايگزين مجدد ابزارها نياز داشته باشند. تغيير اندازه در يك خط بسته بندي ممكن است تقريبا ساده باشد اما تغيير محتوايي بسته بـــندي بـــه تميز كردن گسترده و جابجايي ماشين آلات نياز دارد. نقطه مشترك در هر دو مثال فوق اين واقعيت است كه زمانهاي تغيير خطوط هر يك به محصول جاري و بعد وابسته است. براي تجهيزات گلوگاهي، حداكثر نمـــودن توليد محصولات قابل فروش هدف اوليه است. اين حالت به مسئله فروشنده دوره گرد (TPS) شباهت دارد. در TPS ، يك فروشنده بايستي هر يك از شهرهاي حوزه خود را بازديد نموده و سپس به خانه بازگردد. در مـــثال ما، كارگر بايستي هر دستور كار را انجام داده و سپس به نقطه شروع بازگردد. اين مسئله را ميتوان بوسيله گراف نمايش داد. هر شهر (دستوركار) يك گره ميشود. طول يالها نشاندهنده فاصله بين شهرهاي متصل (زمانهاي تغيير خطوط دستور كارها) است.

فروشـــنده درصـــدد است كه كوتاهترين تور بر روي گراف را پيدا كند. يك تور، يك چرخه كامل اســـت. بـــا شروع از محل خانه در يك شهر، هر شهر بايستي فقط يكبار قبل از بازگشت به خانه بازديد شود. مسير هر تور بر روي كمان (كناره) بين دو شهر است. طول يك تور مجموع طول فواصل كناره هايي است كه انتخاب ميشود. شكل 8.2 يك TPS پنج شهر را نمايش ميدهد. ساخت منوها بر روي كناره ها در شكل 8.2.a نمايش داده شده است. فاصله بين شهر i و j را با C_{ij} نمايش ميدهيم. در شكل تصور نموده ايم كه كليه جاده هـــا (كـــناره هـــا) دو طـــرفه هستند. اگر طول كناره برحسب جهت آن تفاوت داشته باشد مسئله را TPS غيرمتقارن ميخوانند. يك تور ممكن است در شكل 8.2.b نشان داده شده است. هزينه اين تور برابر است با :

$$c_{12}+c_{24}+c_{43}+c_{35}+c_{51}$$

فرموله نمودهاي رياضي مختلفي براي TPS وجود دارد. يك روش آنست كه $X_{ij}=1$ اگر شد j بلافاصله بعد از i بازديد شود و در غير اينصورت $X_{ij}=0$ است. يك روش فرموله نمودن اين مسئله عبارتست از :

$$\min \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}x_{ij} \qquad (8.5)$$

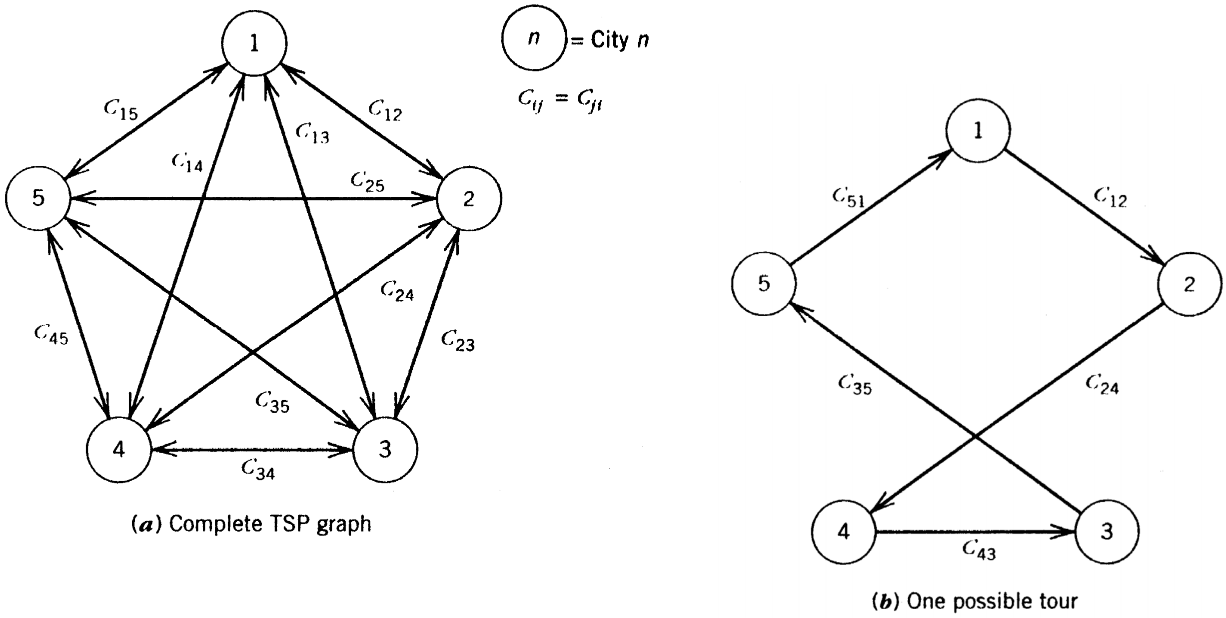
ST:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij}=1 \qquad \forall i \qquad (8.6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij}=1 \qquad \forall j \qquad (8.7)$$

$$x_{ij}=0$$ يا ۱ بدون تور (8.8)

تـــابع هدف زمان عبور از شهر i به j را با هم جمع مي زند. محدوديت 8.6 اين اطمينان را به وجود مـــي آورد كه ما هر شهر را ترك كنيم. محدوديت 8.7 اين اطمينان را بوجود مي آورد كه ما هر شهر را بازديد نماييم.



شكل 8.2 – نمايش TSP بر روي يك گراف

يـــك زير تور هنگامي بوجود مي آيد كه ما قبل از آنكه كليه شهرهاي ديگر را بازديد نموده باشيم به يـــك شـــهر بازمي گرديم. بدون محدوديت 8.8 ، مدل فرموله شده مانند يك LAP است. متاسفانه، محدوديت حذف زير تور حل مسئله را بسيار پيچيده ميكند.

سوال روشن آنست كه چگونه يك مسئله TSP را حل ميكنيم. TSP متعلق به كلاس مسائل سخت[4] اســـت كـــه حـــل مسائل با بزرگ شدن اندازه مسئله N سختر ميشود. براي مسائل بزرگ، يافتن جواب بهينه ســـخت اســـت. روشهاي ابتكاري براي اينگونه مسائل مورد استفاده قرار ميگيرد. مسئله تخصيص كه با كنار گذاشـــتن موقتي محدوديت 8.8 حاصل ميشود، ميتواند براي يافتن حد پايين TSP عمل نمايد و در نتيجه معياري ضعيف را در اختيار ميگذارد كه تا چه ميزان به هدف نزديك شده ايم. مسائل كوچك تا متوسط و حتي بزرگ (۱۰۰۰ شـــهر) بـــا ساختار مخصوص را ميتوان با روش شاخه و تحديد به جواب بهينه رساند و يا از روشهاي مقداري بهينه يابي استفاده نمود. برخي از كاربردهاي TSP در اين فصل متاسفانه بسيار پرحجم است. اگرچه در ايـــن موارد از روشهاي ابتكاري استفاده بعمل مي آيد. روشهاي ابتكاري وجود دارند كه ميتوانند راه حلهاي خوب را با تعداد محاسبات N^2 پيدا نمايند ($O N^2$) . خوب در اينجا بدين معني است كه پاسخ در حدود 5% بهينه است. با چندين تلاش بيشتر، راه حلي را ميتوان با دقت 1% جواب بهينه حل نمود.

[4] Hard

يـــك روش ايجـــاد كنـــنده منطقي الگوريتم جايگزين نزديك[٥] است. اين الگوريتم با هر شهر انتخاب شروع مي كند. آنگاه بقيه N-1 شهر را به همين ترتيب با اضافه نمودن يك شهر به توالي هر مرحله تداوم مي يابد. لذا يك زير مجموعه متوالي همواره باقي مي ماند و توالي با افزوده شدن يك شهر در هر مرحله رشد ميكند. در هـــر مـــرحله از مجموعـــه شهرهايي كه انتخاب نشده اند و شهرهاي موجود كه در زير توالي وجود دارند نزديكترين شهر انتخاب ميشوند. ما شهر را به محلي كه بيشترين افزايش را به تور ميدهد اضافه مي نماييم. ميتوان نشـــان داد كـــه الگوريـــتم نزديكترين جايگزيني ميتواند راه حلي را با هزينه اي نه بيشتر از دو براي پاسخ بهينه ماتريس داراي هزينه هاي متقارن كه نامساوي مثلث را نيز برآورده مي نمايند، مي باشد.

تقارن به مفهوم تساوي $C_{ij} = C_{ji}$ است كه در آن C_{ij} هزينه رفتن مستقيم از شهر i به شهر j اســـت. متاســـفانه لـــزومي نـــدارد كه تقارن در مسائل تغيير خطوط رعايت شود، معمولا رابطه نامساوي $C_{ij} \le C_{ij} + C_{kj}$ ارضا ميشود ولي اين حالت به تنهايي نميتواند اطمينان به ايجاد يك جواب بهينه را بوجود آورد لذا در اين ارتباط هشيار باشيد. همچنين مي توانيم اين الگوريتم را با شروع از شهرهاي مختلف تكرار نماييم و در هر بار بهترين توالي را پيدا كنيم. بديهي است اين عمل، حجم كار را با ضريب N افزايش ميدهد.

اكـــنون الگوريـــتم را به صورت معمول بيان ميكنيم. فرض كنيد S_a مجموعه شهرهاي در دست (تخصـــيص نيافـــته) در هـــر مـــرحله باشـــد. S_p يـــك زير توالي موجود در هر مرحله باشد كه بوسيله $S_p = \{S_1, S_2, \ldots S_n\}$ نمـــايش داده ميشـــود و معناي اين توالي آنست كه شهر S_2 بلافاصله بعد از مي آيد.

بـــراي هـــر شهر تخصيص نيافته j ، از C (j) براي ردیابي شهري كه در زيرمجموعه متوالي نزديك به است استفاده مي كنيم [نگهداري C (j) براي جلوگيري از تكرار محاسبات در هر مرحله است]. انديس [i] به i ام شهري كه در توالي جاري وجود دارد اشاره ميكند.

الگوريتم نزديكترين جايگزيني :

گام صفر : ايجاد

$$n = 1, S_p = \{1\}, S_a = \{2, \ldots N\}. \text{For } j = 2, \ldots, N_c(j) = 1$$

گام اول : انتخاب شهر جديد. j را به صورت زير انتخاب نماييد.

$$j^* = \arg\min_{j \in S_a} \{C c_{j,c(j)} \vee C_{c(j),j}\}$$

$$n=n+1$$

گام دوم : j^* را اضافه نماييد $C_{(j)}$ را به هنگام كنيد. $S_a = S_a - j^*$

شهر $i^* \in S_p$ را انتخاب نماييد به نحويكه

$$i^* = \arg\min_{[i] \in S_p} c_{|i| j^*} + c_{j^* |i+1|} - c_{|i|,|i+1|}\}$$

$S_p = \{s_1, \ldots, i^*, j^*, i^* + 1, \ldots s_n\}$ را به هنگام كنيد. براي كليه $j \in S_a$ ر $c_{j,c(j)} \succ \min\{c_{j,j^*}, c_{j,j^*}\}$

---

[٥] Closest Insertion Algorithm

در آنصورت : $C(j) = j^*$

اگر $N \succ n$ باشد در آنصورت به گام دوم بروید.

مثال 8.2

یـــك ماشـــين در حال اتمام دسته 1098A است. چند دسته ديگر نيز بايستي در اين دوره تكميل شود. جدول 8.2 زمانهاي تغيير راه اندازي را نشان ميدهد. با بكارگيري الگوريتم نزديكترين جايگزيني يك توالي براي كارها پيدا كنيد.

Table 8.2 Changeover Times

From/To	1098A	1102A	321B	310B	316B
1098A	—	1.1	2.8	2.4	2.6
1102A	0.7	—	2.9	2.5	2.7
321B	2.6	3.1	—	0.4	0.6
310B	2.6	3.1	0.8	—	0.6
316B	2.7	3.2	2.9	0.5	—

جدول 8.2 – زمانهاي راه اندازي

راه حل :

ايـــن مســـئله به يك مسير TSP به جاي ماشين يك تور اشاره ميكند. نيازي نيست كه به شرايط راه انـــدازي 1098A بـــه جاي تكميل پنج كار ديگربازگرديم. در واقع زمان راه اندازي مربوط به 1098A ديگر لـــزومي ندارد، زيرا هم اكنون در حال توليد آن هستيم. براي حل اين مشكل در جدول 8.2 و در ستون يك مقادير مربوطه را به صفر تغيير ميدهيم. اين هزينه برابر صفر است زيرا در عمل به اين نقطه باز نمي گرديم. وقتي يك شهر را براي ورود انتخاب ميكنيم $C(j)$ هزينه صفر برگشت به شهر يك را صرفنظر ميكنيم.

در غـــير اينصورت، كليه شهرها به صورت مساوي براي ورود به برنامه زمانبندي در هر مرحله قابل قبول خواهند بود. زيرا هر يك با هزينه صفر را ميتوان اضافه نمود.

بـــراي ســـادگي، كارهـــا را از شمـــاره يك تا پنج و به ترتيب نامگذاري ميكنيم. حال اجازه بدهيد نزديكترين جايگزيني را انجام دهيم.

گام صفر : با كار يك شروع كنيد. $S_a = \{2,3,4,5\}, S_p = \{1\}, n = 1$

تمام شهرها به شهر يك نزديك هستند. **C(2) = C(3) = C(4) = C(5) =1**

گام يك : شهر جديد را انتخاب كنيد.

براي شهر 2 ، C(2)=1 ، هزينه آن برابر است با $C_{12} = 11$

(توجه نمایید که c_{21} به دلیل مشکل ایجاد مسیر صرفنظر شده است).

براي شهر 3 ، C(3)=1 ، هزينه آن برابر است با $c_{13} = 2.8$

براي شهر 4 ، C(4)=1 ، هزينه آن برابر است با $c_{14} = 2.4$

براي شهر 5 ، C(5)=1 ، هزينه آن برابر است با $c_{15} = 2.6$

شهر 2 داراي كمترين هزينه است لذا $j^* = 2$ و n = 2

گام دوم : شهر دو را انتخاب كنيد و C(5),C(4),C(3) را به هنگام كنيد.

$S_a = \{3,4,5\}$. شهر 2 را بعد از شهر 1 قرار ميدهيم. هزينه افزودن 2 بعد از 1 برابر است با :

تور جديد در شكل 8.3.a آمده است. $c_{12} + c_{21} - c_{11} = 1.1 + 0 - 0 = 1.1$

حال كنترل ميكنيم كه آيا عضوي از S_a براي اتصال به عضو جديد ارجحيت دارد (دستور كار2). اگرچه در هر حالت $c_{1,j} \prec c_{j,2}$ و $c_{1,j} \prec c_{2,j}$. لذا هيچ تغييري حاصل نمي شود.

گام يك : شهر جديدي انتخاب كنيد.

مقدار $\min\{c_{1,3}, c_{1,4}, c_{1,5}, \ldots\} = \min_{j \in s_a}\{c_{j,c(j)}, c_{c(j),j}\}$ در مقدار $c_{1,4} = 2.4$ اتفاق مي افتد

لذا $j^* = 4$ و n = 3

گام دوم : دستور كار 4 را اضافه كنيد.

$S_a = \{3,5\}$ را به هنگام كنيد. ميتوان دستور كار 4 را بعد از كار 1 و 2 اضافه نمود. افزايش هزينه برابر خواهد بود با :

4 بعد از يك : $c_{14} + c_{42} - c_{12} = 2.4 + 3.1 - 1.1 = 4.4$

4 بعد از دو : $c_{24} + c_{41} - c_{21} = 2.5 + 0 - 0 = 2.5$

انـــتخاب در جمع، 4 بعد از دو است (شكل 8.3.b). با به هنگام سازي C (j) براي دستور كارهاي 3 و 5 كه تخصيص نيافته است.

دستور كار 3 : $\min\{c_{13}, c_{34}, c_{43}\} = c_{34} = 0.4, C(3) = 4$

دستور كار 5 : $\min\{c_{15}, c_{45}, c_{54}\} = c_{54} = 0.5, C(5) = 4$

گام يك : شهر جديد را انتخاب كنيد.

چون $c_{3,4} \prec c_{5,4}$ ، دستور كار 3 بهتر است و لذا n= 4 $j^* = 3$

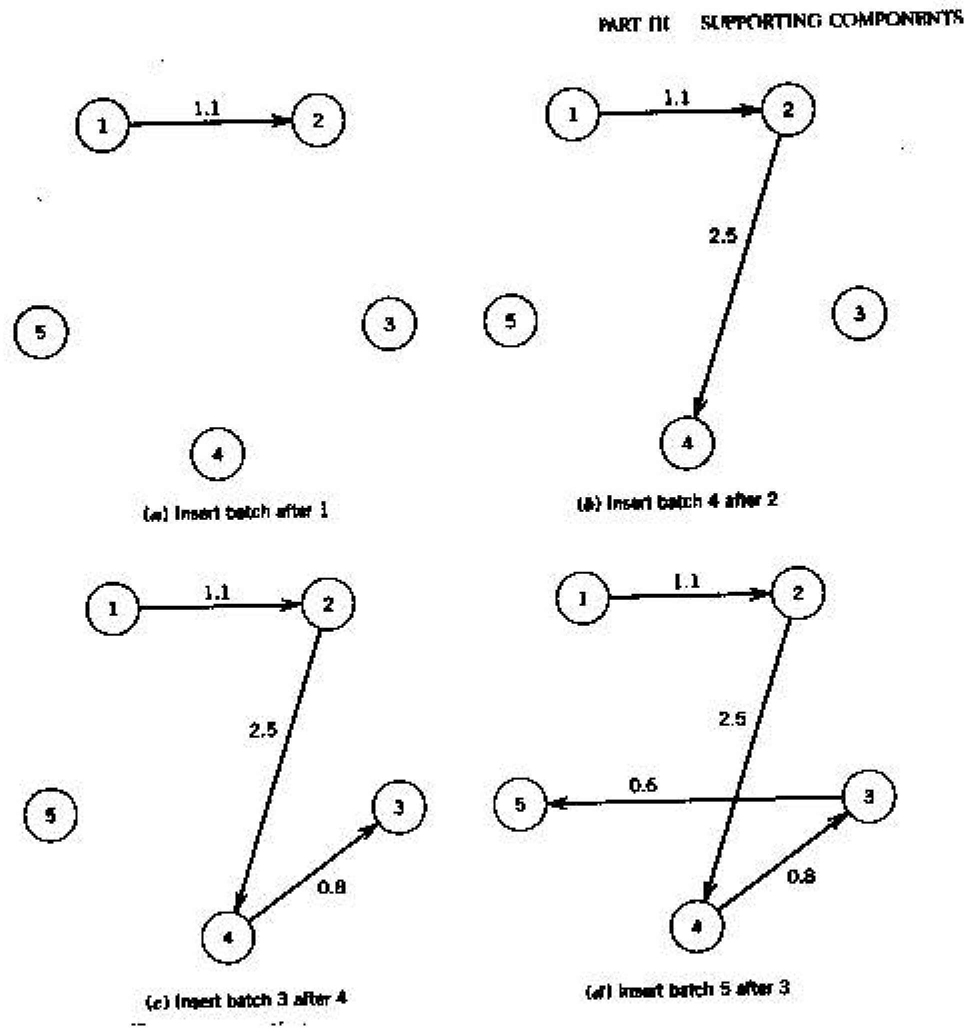
گام دوم : دستور كار 3 را اضافه نماييد.

با به هنگام نمودن $S_a = \{s\}$ ، انتخاب به قرار زير است :

3 بعد از 1 : $c_{13} + c_{32} - c_{12} = 2.8 + 3.1 - 1.1 = 4.8$

3 بعد از 2 : $c_{23} + c_{34} - c_{24} = 2.9 + 0.4 - 2.5 = 0.8$

3 بعد از 4 : $c_{43} + c_{31} - c_{41} = 0.8 + 0 - 0 = 0.8$



شکل 8.3 – ایجاد تور

مـــا مواردیکه حالت تساوي بوجود مي آید 3 را بعد از 4 قرار میدهیم. با به هنگام سازي C(5) ، خواهیم داشت :

دستور کار 5 : بدون تغییر C(5) ، $\min\{c_{54}, c_{35}, c_{53}\} = c_{54} = 0.5$

گام یك : دستور کار جدید را انتخاب کنید.

تنها دستور کار 5 باقي مانده است و $j^* = 5$

گام دوم : دستور کار 5 را اضافه نمایید.

به به هنگام سازي $S_a = \{\}$ ، انتخابها به قرار زیر است :

5 بعد از 1 : $c_{15} + c_{52} - c_{12} = 4.7$

5 بعد از 2 : $c_{25} + c_{54} - c_{24} = 0.7$

5 بعد از 4 : $c_{45} + c_{53} - c_{43} = 0.7$

5 بعد از 3 : $c_{35} + c_{51} - c_{31} = 0.6$

دستور کار 5 را بعد از 3 قرار دهید. توالي نهايي عبارتست از {1,2,4,3,5} که داراي هزینه زیر است :

$$C = c_{12} + c_{24} + c_{43} + c_{35} = 5$$

گام يك : S_a خالي است. N=5 و توقف كنيد.

كتابهاي زيادي در مورد TSP نوشته شده است. بعلاوه، اين مورد يكي از بزرگترين مسائل تحقيق شده در تحقيق در عمليات است. مسائلي با صدها، هزارها شهر حل شده است. ما اين مسئله را با روش نزديكترين جايگزيني تنها لمس نموده ايم. تعدادي ديگر از روشهاي ايجاد تور با بكارگيري اصول درخت پوششي حداقل پيشنهاد شده است. يك درخت پوششي حداقل مجموعه اي از N-1 كمان است كه هر گره با مجموع كمترين هزينه را در بر ميگيرد. اگر اين مجموعه از كمانها را بتوان به صورت يك تور درآورد كه هر شهر فقط با دو كمان در درخت متصل در تماس باشد، در آنصورت يك جواب TSP حاصل شده است. ما ميتوانيم با جواب مسئله تخصيص شروع كنيم و سپس دو زير تور را به هم متصل كنيم همانطور كه در شكل 8.4 آمده است. هر گاه كليه زيرتورهاي LAP با هم تركيب شوند جواب يك مسئله TSP حاصل ميشود. استراتژيهاي بهبود با يك تور اوليه شروع شده و سپس جستجوي بهبود صورت ميگيرد. يكي از روشهاي معمول بهبود با حذف K كناره از تور و جايگزيني آن با كناره ديگر است به نحويكه جمع هزينه كمتر شود. [1973] Kernighan , Lin يك روش ابتكاري بهبود را براي مسئله متقارن TSP ارايه نموده اند، كه داراي درجه $o(n^{2.2})$ بوده و خوب كار ميكند. اين روش در فصل ششم و تجزيه گراف آمده است. اصلاحاتي براي حالتهاي غيرمتقارن نيز توسط Papadinitriou , Kanellakis [1980] ارايه شده است. روشهايي مانند شاخه و تحديد براي يافتن جواب بهينه وجود دارد. خواننده علاقه مند ميتواند منابع انتهاي فصل را براي اين مطلب استفاده نمايد. هدف اوليه ما ارايه مدل بوده است.

تغيير خطوط جزيي :

ما اكنون به مسائل توالي عمليات با تغييرات پيچيده در ساختار هزينه مي پردازيم. به عنوان مثال : يك ماشين NC داراي يك انباره ابزار با قابليت نگهداري M ابزار را در نظر بگيريد. N دستور كار بايستي بر روي اين ماشين انجام شود. دستور كار j نيازمند يك مجموعه ابزار A_j است. ابزارها معمولا توسط چند دستور كار مورد استفاده قرار مي گيرند اما در هر صورت تعداد ابزارهاي مورد نياز دستور كارها از M بيشتر است. در نتيجه لازم است كه جابجايي ابزار صورت گيرد. فرض مي كنيم كه هيچ دستور كاري بيش از M ابزار احتياج ندارد. شكل 8.5 به صورت گرافيكي اين موقعيت را نشان ميدهد. دستور كارها بر روي ماشين مرتب ميشوند. در خاتمه هر دستور كار، ابزارهاي مورد نياز براي دستور كار بعدي كه بر روي ماشين قرار ندارد، اضافه ميشود. ابزارهاي غير ضروري برداشته مي شود. هدف توالي دستوركارها و جابجايي ابزار به گونه اي است كه مجموع تغييرات ابزار بر روي ماشين حداقل شود. جابجايي ابزار شامل برداشتن يك ابزار و گذاشتن ابزار جديد است. اين مسئله با آنچه در بخش قبل آمده است به دليل وابستگي تغييرات متوالي تفاوت دارد. به جاي آنكه مسئله را كاملا از نظر راه اندازي تفكيك نماييم محلهاي خالي ابزار در هر بار تنظيم ماشين را اشغال شده نگهداري مي نماييم لذا آگاهي به دستور كار جاري بر روي يك ماشين فقط بخشي از نياز به تنظيم ابزار را مشخص ميكند.

چـــندين نتيجه گيري قبلي براي ساده كردن مسئله به ما كمك ميكند. اولا، با فرض آنكه اگر ابزاري در جايي مورد نياز نباشد، فايده اي در كمتر از M ابزار داشتن بر روي ماشين وجود ندارد. ثانيا ترتيب دستور كارهـــا بـــر روي ماشين داده شده است. Tang و Denardo [1988] اثبات نمودند كه براي تغيير ابزار بر روي انـــباره، قـــاعده حسي نگهداري ابزاري كه به زودي مورد نياز است[6]، يك قاعده بهينه است. در KTN فقط ابزارهايي تعويض ميشوند كه براي كار بعدي مورد نياز است و ابزارهايي كه برداشته ميشوند آنهايي هستند كه تـــا زمـــان طـــولاني مورد استفاده نيستند. اين كار باعث ميشود كه از برداشتن ابزارهايي كه به زودي بايستي برگـــردند جلوگيري شود. موارد يكسان از نظر آينده استفاده از ابزار به صورت دلبخواه برخورد ميشود. لذا با داشتن توالي دستور كارها ابزارهاي مورد نياز براي دستور كار اول در دستگاه قرار داده ميشود. محل ابزارهاي باقـــيمانده بـــراي نصـــب ابزارهايي كه براي دستور كار بعد لازم است استفاده ميشود و اين كار براي دستور كارهـــاي بعـــدي تا آنگاه ادامه مي يابد كه محلي براي ابزار وجود نداشته باشد. بعد از شروع به ساخت و در زمانـــيكه M ابـــزار جديـــد مورد نياز است، M ابزاري كه در فاصله زماني ديرتري مورد نياز است برداشته ميشوند.

ما همچنان مسئله چگونگي مرتب نمودن دستور كارها را داريم. ميتوان مسئله را كمي ساده نمود. فرض كنيد دستور كار r به زير مجموعه ابزارهاي دستور كار S نياز دارد. گذاشتن دستور كار r بلافاصله بعد از S نمـــي تواند تغيير خطوط را بوجود آورد و لذا بهينه است. بنابراين در ابتدا مجموعه ابزارهاي مورد نياز هر دستور كـــار را در نظر مي گيريم و براي كليه مواردي كه A_r زير مجموعه A_s باشد، دستور كار r را بلافاصله بعد از S قرار ميدهيم. وجود هر رابطه فراگير بودن اندازه مسئله را كاهش ميدهد.

مســـئله توالي دستور كارها شبيه به مسئله پيدا كردن گروهها در تكنولوژي گروهي است. در واقع، ميـــتوان يك ماتريس ابزار – دستور كار را با قرار دادن عدد 1 در سطر i و ستون j تشكيل داد كه نشاندهنده ابزار i در كار j باشد. با مرتب نمودن سطرها و ستونها برحسب مقدار صفر – يك ميتوان توالي از دستوركارها پـــيدا نمود كه كارهاي با ابزار مشترك را در كنار هم قرار دهد. همچنين، ميتوان از روش استفاده نمود. تعداد ابـــزارهايي مـــورد نـــياز بـــراي دستور كار K كه براي دستور كار i مورد نياز نباشد تخميني بدبينانه از تعداد ابـــزارهايي اســـت كـــه بايستي با انجام كار j بعد از K تعويض نمود. اين تخمين را بدبينانه مي گوييم زيرا در واقعيـــت مي توانيم خوش شانس بوده و برخي از ابزارهاي مورد نياز را از قبل بر روي دستگاه داشته باشيم. به هر ترتيب ميتوانيم اين تخمين را بعنوان هزينه TSP برآورد نماييم.

روش حـــل ما داراي سه گام است. در گام اول، دستور كارها با هم تركيب ميشوند تا اندازه مسئله كوچـــك شود. در گام دوم، دستور كارها مرتب ميشوند. روش TSP و يا طبقه بندي صفر – يك[7] براي اين كـــار قابل استفاده هستند. در نهايت و گام سوم، اجراي برنامه ريزي تنظيم ماشين با بكارگيري قاعده KTNS انجام ميشود. KTNS مي گويد كه اگر دستور كار بعدي مشخص باشد، چه ابزاري زودتر مورد نياز است.

همچـــنين اين حاليت امكانپذير است كه دستور كارهايي كه با بكارگيري ابزارهاي جاري موجود در دســـتگاه كار ميكنند در ليست موجود باشند. وقتي توالي تعويض ابزارها را برنامه ريزي ميكنيم، بايستي در نظر

---

[6] Keep Tool Needed Soonest (KTNS)

[7] Binary Clustering

داشـــته باشيم به تاخير انداختن دستوركارهايي كه ابزارهاي آنها بر روي ماشين موجود ميباشد فايده اي را ايجاد نميكـــند. لذا قبل از برداشتن هر ابزار، لازم است ليست ابزارهاي باقيمانده را كنترل نماييم. هر دستور كاري كه بتواند با ابزارهاي جاري بر روي ماشين كار كند لازم است به ابتداي ليست كار آمده و اجرا شود.

ايـــن روش را از طريق يك مثال نمايش مي دهيم. ابتدا از طبقه بندي صفر – يك استفاده نموده وسپس روش TSP را بـــراي مشـــاهده تفاوت در آنها ارايه مي كنيم. هر دو روش سعي در يافتن جواب بهتر هستند اما هيچيك لزوما وقتي در مسئله توالي كار و ابزارگذاري مورد استفاده قرار مي گيرند بهينه عمل نميكنند.

مثال 8.3

فرض كنيد مجموعه دستوركار و ابزارهاي موردنياز مطابق جدول 8.3 باشد. ماشين ميتواند ابزار را نگهداري كند. انباره ابزار در حال حاضر خالي است.

Table 8.3 NC Machine Job Set for Example

Tool	Job 1	2	3	4	5	6	7	8	9	Row Value
a				1			1			36
b		1						1	1	131
c			1			1				72
d		1			1	1			1	153
e		1	1		1	1				216
f	1			1						288
g	1			1			1	1	1	295
h			1			1				72
Col. Value	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

جدول 8.3 – مجموعه دستوركار بر روي ماشين NC براي مثال

راه حل :

روش طبقه بندي صفر – يك

گـــام اول : كـــاهش. ميتوان دستور كارهايي كه چند دستوركار ديگر را پوشش ميدهند در ماتريس شناسايي نمـــود. فعلا اين گام را تا طبقه بندي ماتريس كنار ميگذاريم. خواننده بايستي با نگاه به جدول 8.3 به اين نكته توجـــه نمايد كه دستور كار 4 دستور كار يك را پوشش داده و دستور كار 6 دستور كار 5 را پوشش ميدهد. همچنين ميتوان ساير روابط پوشش را مشاهده نمود.

روش طبقه بندي :

گام دوم : مرتب نمودن كارها : طبقه بندي صفر – يك براي مرتب نمودن كارها در بخش (6.4.2) آمده است. مقـــدار سطري طبقات در جدول 8.3 آمده است. توالي ابزارهاي جديد عبارتست از a,b,c,h,d,e,f,g . بعد از دو مرحله مرتب نمودن سطري و ستوني، الگوريتم به توالي مندرج در جدول 8.4 ميل ميكند. در اين نقطه ارزش هر سطر تثبيت ميشود.

Table 8.4 Final Tool-Job Ordering for Example

	Job									
Tool	4	1	7	9	8	2	6	5	3	
g	1	1	1	1	1					496
f	1	1								384
a	1		1							320
b				1	1	1				54
d				1		1	1	1		46
e						1	1	1	1	15
c							1		1	5
h							1		1	5
	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

جدول 8.4 - توالي نهايي دستوركار – ابزار براي مثال

در ارتباط با الگوريتم ابتكاري ما، دستوركارها عبارتند از : 4,1,7,9,8,2,6,5,3 . در اين نقطه ارزش سطري تثبيت ميشود. در ارتباط با الگوريتم ما سفارش كارها به ترتيب عبارتند از : 3,5,6,2,8,9,7,1,4 . مجموعه هاي پوششي ديگر نيز در اين مقطع واضح ميشود. دستور كار 7,1,4 بوسيله ابزارهاي a,f,g و دستور كارهاي 8,9 تركيب ميشود و نيازمند ابزارهاي d,b,g است. دستور كارهاي 3,5,6 با هم تركيب ميشوند. (خواننده هوشيار متوجه ميشود كه ميتوان دستور كار 5 را بعد از 2 قرار داد).

روش TSP

گام دوم : مرتب نمودن كارها : بعد از كاهش ابعاد مسئله، ميتوان از TSP براي چهار شهر مطابق جدول 8.5 استفاده نمود. S/E به موقعيت شروع و ختم اشاره ميكند. از آنجا كه به هنگام ختم يك كار نيازي به برداشتن ابزار وجود ندارد لذا هزينه بازگشت به موقعيت S/E صفر است.

Table 8.5 TSP Costs for Example 8.3

From Job(s)	To Job(s)				
	S/E	417	98	2	653
S/E	—	3	3	3	4
417	0	—	2	3	4
98	0	2	—	1	3
2	0	3	1	—	2
653	0	3	2	1	—

جدول 8.5 - هزينه TSP براي مثال 8.3

هزینــــه از S/E بـــه يك مجموعه از دستور كارهاي بعدي، مجموع تعداد ابزارهاي مورد استفاده توسط دستور كارها است. مجموعه دستوركارهاي 417 از ابزارهاي a,f,g استفاده ميكند. براي مشاهده ساير هزينه ها تصور كنيد پس از مجموعه دستور كار 417 دستور كارهاي 98 انجام شود. هزينه اين تبديل اضافه نمودن دو ابزار b و d است. ابزار g بايستي از قبل وجود داشته باشد. لذا $C_{417,98} = 2$. هزينه هاي ساير موارد نيز به همين ترتيب قابل محاسبه است. ميتوانيم اين TSP را با بكارگيري الگوريتم نزديكترين جايگزين حل نماييم.

در ابـــتدا تور شامل S/E است و $S_a = \{417,98,2,653\}$. مجموعه دستور كار 417 از ساير موارد به مجموعه شروع نزديكتر است لذا آن را براي اضافه نمودن به تور انتخاب ميكنيم. تورهاي ممكن عبارت خواهند بود از :

S/E ----- 417 -------S/E 417 -------- S/E ------- 417

هـــر دو اين حالتها هزينه اي برابر دارند. ما ميتوانيم اولين را انتخاب كنيم زيرا با ذهنيت ما از تور مورد نظر مطابقت دارد. $S_a = \{98,2,653\}$ را به هنگام مي كنيم.

از آنجا كه 98 نزديكترين است $(C_{98,417} \prec \min\{C_{2,417}, C_{653,417}, C_{S/E,98}, C_{S/E,2}, C_{S/E,653}\})$ ، لذا دستور كار 98 را اضافه ميكنيم. بايستي اين دستور كار را قبل از دستور كار 417 قرار دهيم. در هر دو حالت افزايش هزينه معادل 2 است لذا به صورت اختياري 98 را بعد از 417 قرار ميدهيم.

كوچكـــترين هزيـــنه از يـــك زير تور بيروني به يك مجموعه دستور كار در تور (و يا برعكس) مقدار $C_{2,98} = 1$ اســـت. لـــذا دستور كار 2 را اضافه ميكنيم. دستور كار 2 ميتواند بعد از S/E , 417 و يا 98 قـــرار گيرد. اضافه نمودن 2 بعد از S/E موجب افزايش هزينه با $C_{S/E,2} + C_{2,417} - C_{S/E,417} = 3$ ميشود. اضافه نمودن 2 بعد از 98 افزايش هزينه را بوجود مي آورد.

$$C_{98,2} + C_{2,417} - C_{417,2} + C_{2,98} - C_{417,98} = 2$$

دو موقعيت براي انتخاب وجود دارد و توالي {S/E,417,98,2} را انتخاب ميكنيم.

تعداد مجموعه دستور كارهاي 653 باقي مانده است. كمترين افزايش هزينه برابر 2 است كه با افزودن 653 بعد از 2 حاصل ميشود. قرار دادن 653 بعد از S/E هزينه را به مقدار 4 افزايش ميدهد. قرار دادن 653 بعد از 417 نيز هزينه را به مقدار 4 افزايش ميدهد و قرار دادن آن بعد از 98 موجب افزايش هزينه به مقدار 3 ميشود. لذا جواب عبارت خواهد بود با {S/E,417,98,2,653,S/E} و با هزينه

$$C=C_{S/E,417} + C_{417,98} + C_{98,2} + C_{2,653} + C_{653,S/E} = 8$$

تخمـــين هزيـــنه بدبينانه ما برابر با تغيير 8 ابزار است. توجه نماييد كه توالي بدست آمده مشابه روش طبقه بندي است. اين حالت در تمام مسائل بوجود نمي آيد.

گـــام ســـوم : برنامه ريزي ابزار : اولين چهار ابزار مورد استفاده بر روي ماشين قرار داده ميشود. اين ابزارها عبارتـــند از b,a,f,g . دستور كار 7,1,4 با اين ابزارها انجام ميشود. دستور كار 9 نيازمند ابزار d است. در اين صورت يا ابزار f و يا a كه ديگر مورد استفاده قرار نمي گيرند بايستي برداشته شوند. به صورت اختياري f را انـــتخاب مي كنيم. حال ميتوانيم دستور كارهاي 8 , 9 را انجام دهيم. دستور كار بعدي نيازمند ابزار e است كـــه بـــه جـــاي g قرار داده ميشود. بعد از دستور كار 2 ، ابزارهاي b,a برداشته ميشوند تا امكان گذاشتن ابزارهاي b,c فراهم شود. بدين ترتيب توالي تنظيم ماشينها به صورت زير خواهد بود.

Tools Added	Tools Removed	Tools on Machine	Jobs Run
g, f, a, b	—	*g, f, a, b*	4, 1, 7
d	*f*	*g, a, b, d*	9, 8
e	*g*	*a, b, d, e*	2
c, h	*a, b*	*d, e, c, h*	6, 5, 3

از آنجــا کــه هر ابزار بايستي حداقل يكبار اضافه شود. لذا قرار دادن مجموعا 8 ابزار، حد پايين اين مسئله است. جواب بدست آمده در مسئله كاملا بهينه است زيرا هيچ ابزاري دوباره نصب نگرديد.

يــك مســئله مشابه به مسئله ماشين NC در مونتاژ بردهاي مدار چاپي بوجود مي آيد. دستگاههاي مونــتاژ كننده قطعات، هر يك از اجزاء را بر روي مكانهاي مشخص شده بر روي برد قرار ميدهد. ماشينهاي نصب كننده، تعادل محدودي از تغذيه كننده هاي قطعات را دارند. يك تغذيه كننده معمولا يك نوع از قطعات را ميتواند اضافه نمايد. توالي توليد بردها بايستي تعيين شده و قطعات بايستي به نحوي به تغذيه كننده ها تخصيص يابــند كــه تعداد تغيير در تغذيه كننده ها را حداقل نمايند. Baker [1988] و Shtub & Maiman [1991] اين مسئله را مورد بررسي قرار داده اند.

ايـــن مسئله زماني پيچيده ميشود كه ابزارها (تغذيه كننده هاي قطعات) به گروههايي تقسيم شوند كه داراي قطعـــات مشـــابه باشند و ماشينها داراي تعداد محدودي تغذيه كننده باشند. با بكارگيري تكنولوژي برش سطحي[8]، ماشينها قطعات را بر روي بردهاي الكتريكي قرار ميدهند. هر ماشين تعداد 6 تا 10 انباره قطعات را دارد و هـــر انـــباره قابليـــت نگهداري چندين تغذيه كننده را دارد. هر روز ماشين به يك مجموعه از بردهاي الكـــتريكي تخصيص مي يابد تا مونتاژ انجام شود. در اين حالت مسئله تعيين توالي بردها، تخصيص تغذيه كننده به انباره و توالي است كه انباره ها بر روي يك ماشين نصب ميشوند. با كنار گذاشتن حالت جديد تخصيص تغذيه كننده به انباره ها، ساختار مسئله كاملا مشابه است. اگر انباره ها فقط يك تغذيه كننده را شامل شوند، مسئله به تغيير جزيي خطوط[9] كه قبلا مطالعه شد تبديل ميشود.

٤-٨- تخصيص يكپارچه و توالي عمليات :

در بخش قبل ما رابطه راه اندازي سلول و توالي دستور كارها را مرور نموديم. راه اندازي سلول (ابزار) با تعيين توالي دستور كارها مشخص ميشود. در اين بخش به مسائلي مي پردازيم كه اين تصميمات به آن مرتبط اســـت ولي هيچيك به صورت اتوماتيك ديگري را ديكته نمي كند. اين رابطه از طريق دو گونه مسائل مشخص تجـــربه ميشـــود. مسائلي كه در اين بخش به آن پرداخته ميشود برحسب اهميت تصميم گيري براي تعيين توالي سفارشـــات و تصـــميم گيري بر چگونگي تعيين ابزار براي انباره ابزار طبقه بندي ميشوند. تعيين ابزار در اين حالت ممكن است شامل انتخاب ابزار و تعيين مكان ابزار در انباره ابزار است.

[8] Surface Monrting
[9] Partial Changeover

مســـئله اول هنگامي بروز ميكند كه برنامه ريزي راه اندازي و عمليات مونتاژ در سلول لازم است. مسئله دوم در مورد راه اندازي و توالي يك پرس NC است. در هر دو حالت، هدف حداقل نمودن زمان سيكل است. مسئله ها از نظر سطح تعامل بين تصميم گيري در مورد مكان ابزار با هم تفاوت دارند.

هر دو نوع مسئله را ميتوان به صورت برنامه ريزي رياضي صفر – يك فرموله كرد. اگرچه، مسائل با انـــدازه واقعـــي نســـبتا بزرگ هستند و نياز براي يافتن متوالي جواب براي قطعات جديد، يافتن جواب بهينه را مشـــكل ميكند. ما درصدد بكارگيري روشهاي ابتكاري كه براي اينگونه مسائل مفيد شناخته شده اند هستيم. روشهاي ابتكاري كه مورد بحث قرار مي گيرند هر دو جنبه از مسائل را در بر مي گيرند. معمولا اين روشهاي ابتكاري جوابهاي خيلي خوبي در اختيار ميگذارند كه به طور ويژه اي از استراتژيهايي كه توالي و يا راه اندازي را در نظر نمي گيرند بهتر است.

۱–٤–۸– طرح استقرار سلولهاي مونتاژ و توالي عمليات :

مرحله عمومي نهايي در توليد يك محصول شامل مونتاژ قطعات بر روي يك فريم است. چندين حالت براي مونتاژ وجود دارد.

اين حالتها عبارتند از :

- يك محصول توليد انبوه ميشود.
- چندين محصول در دسته هاي مختلف با تغيير خطوط توليد ميشوند.
- تركيبي از قطعات بدون تغيير خطوط در يك سلول توليد ميشوند.

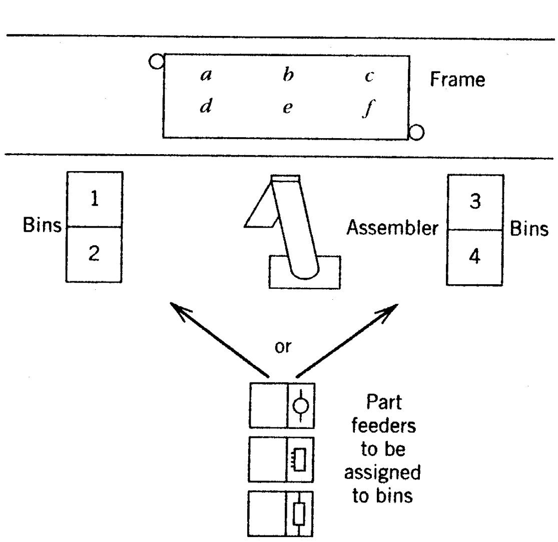
فصل دوم تخصيص كار به ايستگاههاي منفرد را تشريح نمود. در اين بخش ما به مواردي مي پردازيم كه چگونـــه ميتوان يك مجموعه از فعاليتها را كه به يك دستگاه تخصيص يافته است انجام داد. ما در ابتدا به موردي كـــه در آن يك محصول وجود دارد مي پردازيم و سپس نشان ميدهيم كه چگونه اين روش ميتواند براي حالت تركـــيبي تعميم داده شود. حالت چند محصولي با تكرار راه حل براي مسئله تك محصول انجام ميشود. اين بخش براســـاس مطالعـــات Drezner و NOF (1984) براي راه اندازي و توالي بر روي يك ماشين تهيه شده است. Crama و همكـــاران (1990) يك مدل جامع و سلسله مراتبي براي برنامه ريزي يك خط جريان چند ماشينه با وابستگي فعاليتها به زمانهاي راه اندازي ارايه داد.

تك قطعه اي :

موردي است كه يك نوع محصول مونتاژ ميشود. چارچوب محصول داراي N مكان است كه قطعات بـــه آن اضافه ميشوند. دستگاه داراي مكان (ظرف) است كه تغذيه كنندگان قطعات در آن قرار ميگيرند. هر مكـــان ميـــتواند يك نوع قطعه را نگهداري كند. مسئله ما تخصيص تغذيه كننده قطعه براي هر يك از N نوع قطعـــه به يك ظرف يگانه است. شكل 8.6 يك تصوير شماتيك از ايستگاه كاري را نشان ميدهد. بعلاوه براي تخصيص تغذيه كننده به ظروف، بايستي توالي اضافه نمودن قطعات به چارچوب تعيين شود.در متن اين دو تصميم گيري را به ترتيب طرح استوار و توالي عمليات مي نماييم.

اين مسئله را ميتوان در قالب يك مسئله فروشنده دوره گرد 2N شهر مدل نمود. شباهت TSP به مسئله را ميتوان به صورت زير ارايه داد. مونتاژگر (ربات يا كارگر) از يك نقطه اوليه شروع ميكند. مونتاژ گر بايستي بـــه محل يك ظرف براي برداشت يك قطعه سفر نمايد و آنگاه به يك مكان مشخص بر روي چارچوب حركت كـــند. و ســـپس به محل قطعه ديگري بازگردد. اين عمل آنقدر ادامه مي يابد تا تمام قطعات بر روي چارچوب اضافه شود و سپس به محل اوليه براي محصول دوم باز ميگردد. شهر بدين ترتيب در اين مسئله شهرها معادل N محـــل ظرف و N محل بر روي فريم است. (در اين مسئله مكان شروع صرفنظر ميشود زيرا زمان سفر به مكان شروع و برگشت به اولين تغذيه كننده بيشتر از زمان برداشتن محصول تمام شده و قرار دادن چارچوب جديد در آن مكـــان است. اگر چنين حالتي مصداق نداشته باشد، محل شروع به عنوان يك شهر تلقي ميشود). فروشنده معمولا مجاز است كه بين هر جفت از شهرها در TSP حركت نمايد و در اين مسئله مونتاژ گر بايستي بين شهر محـــل ظرف و شهر محل چارچوب حركت نماييد. براي جلوگيري از حركتهايي نامناسب، هزينه بزرگ C_{ij} را بـــراي رفتن بين دو محل ظروف و يا بين دو مكان چارچوبها تعريف نمايد. راه حل مسئله TSP توالي 2N عنصر براي رفتن به مكانها است. از آنجا كه در جواب مكان يك ظرف قبل از محل فريم است و هر محل چارچوب به يـــك قطعه مشخص نياز دارد لذا محل تغذيه كننده هر قطعه مشخص است. وجود تغذيه كننده در محل ظرف با فاصله كمي قبل از محل فريم است زيرا قطعه مورد نياز را برآورده نمايد.

ايـــن مدل خيلي منعطف نيست. فرضيات پايه محدود كننده هستند فرض كنيد چند نوع قطعه از يكبار مصرف شوند و به عبارت ديگر تعداد محل بر روي چارچوب از تعداد ظروف بيشتر باشد. اين حالت بدان معني است كه به برخي از شهرها يا محل قطعات بايستي بيش از يكبار در هر سيكل توليد مراجعه شود. اين حالت در TSP اســـتاندارد مجاز نيست. محدوديتهاي پيش نيازي نيز براي سفارشات مونتاژ با اين نوع فرموله كردن بسيار دشـــوار اســـت. ميتوان يك نوع مشكلات را با تجزيه مسئله به دو مرحله برطرف نمود. ابتدا، قطعات را به محل ظروف تخصيص ميدهيم. ثانيا در مورد توالي كه در آن قطعات بايستي اضافه شوند تصميم گيري ميشود.



شكل 8.6 – طرح شماتيك يك ايستگاه كاري

تخصيص ظروف :

يـــك هـــدف معقول در تخصيص قطعات به ظروف حداقل نمودن زمان سفر (فاصله) براي مونتاژ گر اســـت. جمع زمان محل به طور ساده مجموع زمان سفر به محل چارچوب از محلي است كه تغذيه كننده قطعه را نگهـــداري دارد. در صـــورتي كه بدانيم قطعات در كجا واقع هستند ميتوانيم به راحتي مجموع زمان سفر براي مونتاژ گر را براي آن قطعات محاسبه نماييم. اگر يك قطعه بيش از يكبار مصرف شده باشد، جمع سفرهاي آن را بـــراي تعيين هزينه تخصيص قطعه به محل ظرف محاسبه نماييد. تخصيص قطعات به ظروف يك مسئله تخصيص خطي است.

مثال 8.4

يك سلول روباتيك داراي ٤ مكان ممكن براي انباره قطعات است (به شكل 8.6 مراجعه كنيد). فقط سه نوع قطعه مورد استفاده است. بخش اصلي محصول در مركز سلول و در جلوي روبات قرار ميگيرد. مجموع شـــش قطعـــه، دو قطعه A و يك قطعه B و سه قطعه C بايستي به محصول اضافه شود. A ها در محل c,a و بايســـتي قـــرار گيرند. B بايستي در محل e و C در محل هاي b و f,d قرار گيرد. به دليل اندازه محصول، بسيار سخت است (زمانبر است) كه از محلهاي خاصي از انباره به محلهاي خاص از محصول حركت شود. زمان سفر براي دستهاي روبات براي برداشتن يك قطعه از ظرف معين، سفر و قرار دادن آن در محل يك محصول در شكل 8.6 آمده است. قطعات انباره را به محلهاي ظروف تخصيص دهيد.

Table 8.6 Travel Times from Bins to Frame Locations

Bin	Frame Location *a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
1	10	12	15	11	20	21
2	10	10	13	15	19	21
3	14	10	10	21	16	16
4	21	12	10	26	13	13

جدول 8.6 – زمان سفر بين ظروف تا محل بخش اصلي محصول

راه حل :

اولـــين گـــام شامل محاسبه ضرايب هزينه، زمان سفر با بار منتج از تخصيص هر قطعه به ظرف مربوطه است. به عنوان مثال، تصور كنيد قطعه A را به ظرف 1 تخصيص دهيد. فرض كنيد t_{KL} زمان سفر مندرج در جـــدول فوق براي سفر از ظرف K به محل L بر روي فريم باشد. مجموع زمان سفر با بار تخصيص قطعه A به ظرف 1 ، C_{A1} ، برابر خواهد بود با $C_{A1} = t_{1a} + t_{1C} = 25$

C_{A1} بیانگر زمان سفر از محل 1 به هر دو محل a و c است که به قطعه A احتیاج دارد. مقادیر باقیمانده در جدول 8.7 به روشي مشابه قابل محاسبه است. قطعه D نشان دهنده يك انباره مجازي است که در محل مورد استفاده قرار نمي گیرد اما به منظور توازن بین تعداد محلها و تنوع قطعات در مدل بکار میرود.

Table 8.7 Total Travel Times for Part Type Assignments

	Bin Location			
Part	1	2	3	4
A	25	23	24	31
B	20	19	16	13
C	44	46	47	51
D	0	0	0	0

جدول 8.7 – مجموع زمان سفر براي تخصیص قطعات

جدول 8.7 نشاندهنده يك مسئله تخصیص 4*4 است. يك جواب بهینه با هزینه 81 واحد زمان نشاندهنده تخصیص قطعات انباره ها (A,B,C) به محلهاي (2,4,1) است. محل 3 که در شکل 8.6 يك مکان خوب ارزيابي میشود، خالي نگاه داشته میشود. این کار به این دلیل است که نیاز به سفر حول قطعات براي اضافه نمودن قطعات e,d و f است.

توالي جايگذاري :

حال توالي فعالیتهاي مونتاژ را در نظر مي گیریم. تخصیص به ظروف زمان سفر با بار را حداقل میکند. اما سفر بدون بار از محل جايگذاري بر روي فريم به محل ظروف براي برداشتن قطعه بعدي بايستي صرفنظر شود. حال که مکان تغذیه کننده تثبیت شده است، میتوان بر روي توالي جايگذاري قطعات به منظور حداقل نمودن زمان سفر بدون بار تمرکز نمود. مجددا، در این حالت با يك TSP روبرو هستیم.

محل جايگذاري بر روي فريم مشخص کننده شهرها هستند. هزینه ها نیز زمان سفر بدون بار براي سفر از يك محل بر روي فريم به محل تغذیه قطعات و به منظور برداشتن قطعه بعد است. (مجموع زمان سفر با بار در برگشت به فريم به دلیل تخیص ظروف ثابت است و میتوان آنرا کنار گذاشت). TSP میتواند به دلیل وجود محدوديتهاي پیش نیازي پیچیده تر شود زيرا برخي از قطعات بايستي قبل از ديگران به فريم اضافه شوند. پیش نیاز مونتاژ تغییر مشخص دارد زيرا فعالیتهاي مونتاژ بايستي يکي بعد از ديگري انجام شود. تور TSP بايستي

داراي يـــك نقطه شروع باشد (مثلا محل شروع براي ماشين). به هنگام تعيين توالي بايستي محدوديتهاي توالي را راضي نمود.

خواننده ممكن است بپرسد كه چرا با بكارگيري گام تخصيص ظروف خود را آزار ميدهيم زيرا دوباره بـــا يك TSP روبه رو هستيم. براي اين كار دو دليل وجود دارد. اول، فقط N محل فريم محصول براي سفارش وجـــود دارد در مقابل 2N ظرف مازاد بر محل فريم وجود دارد. اين كار سبب ميشود كه مسئله از نظر سخت بودن به نصف كاهش يابد. ثانيا، همانطور كه گفته شد با موارد خاص مانند استفاده چند باره از يك قطعه قابل انجام است.

الگوريـــتم نزديكـــترين جـــايگذاري را ميتوان با اصلاحاتي براي موارد با محدوديت پيش نيازي بكار گرفـــت. توجـــه كنيد كه يك شهر معادل يك مكان بر روي فريم محصول است و بازديد از يك شهر مشخص كننده جايگذاري يك قطعه مناسب در يك مكان بر روي فريم است. در انتخاب فعاليتها، تنها مواردي انتخاب ميشوند كه با توجه به تمام پيش نيازها در برنامه زمانبندي وجود دارد. با يك شهر بدون پيش نياز شروع نماييد.

در هـــر مرحله وقتي كه يك شهر انتخاب ميشود، هزينه را براي كليه مكانهاي پيش نياز برابر قرار ميدهيم. در نتيجه يك فعاليت نمي تواند قبل از پيش نياز خود انجام شود.

مثال 8.5

مثال 8.4 را مرتب كنيد. توجه كنيد كه محل e بايستي قبل از f باشد.

راه حل :

يك شهر مجازي را اضافه مي كنيم كه نشاندهنده مكان مونتاژگر است. هزينه ها زمان سفر بدون بار از فـــريم محصول به ظرف تغذيه كننده مطابق جدول 8.8 است. براي كمك به درك چگونگي محاسبه هزينه ها، نـــوع قطعه و محل ظروف براي هر نوع قطعه نشان داده شده است. هزينه اضافه نمودن b بعد از a برابر زمان سفر از محل a و برگشت به محل نگهداري قطعه براي اضافه نمودن قطعه b است. براي اضافه نمودن b از قطعه نـــوع c استفاده ميشود. در مثال قبل تصميم گرفته شده بود كه قطعه c در ظرف 1 قرار گيرد. از جدول 8.6 ، زمـــان سفر از محل a به ظرف 1 برابر 10 واحد است. اين مقداري است كه در جدول 8.8 براي سفر از a به b ديده ميشود.

اجـــازه دهيد فرض كنيم كه براي اطمينان، مونتاژگر بايستي در حالي كه فريم محصول بارگيري و تخليه ميشـــود، در محل شروع ثابت باشد، در نتيجه هزينه از --- به ---- براي فعاليت مجازي مقداري غير صفر اســـت. ســـطر پاييني جدول 8.8 زمان سفر از نقطه شروع به هر ظرف را نشان ميدهد. ستون آخر نيز شامل زمان سفر از فريم محصول به نقطه شروع است.

Table 8.8 Empty Travel Times for Example 8.5

Part:	A	C	A	C	B	C	
Bin:	2	1	2	1	4	1	
Insertion:	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	0
a	—	10	10	10	21	10	12
b	10	—	10	12	12	12	15
c	13	15	—	15	10	15	9
d	15	11	15	—	26	11	8
e	19	20	19	20	—	20	16
f	21	21	21	21	13	—	13
0	5	6	5	6	8	6	—

جدول 8.8 – زمان سفر بدون بار براي مثال 8.5

مجـــددا از الگوريتم نزديكترين جايگذاري استفاده مي كنيم.تنها تفاوت آنست كه ورود به شهر f قبل از ورود بـــه شـــهر e مجاز نيست. بنابراين هنگاميكه به شهر f ورود ميشود قبل از آن بايستي شهر e واقع شده باشـــد. لذا ترتيب ورود عبارت خواهد بود با (0,a,c,b,d,e,f) . توالي زير تورها در اين ترتيب عبارت است از 0----a----d----b----c----e----f , 0----a----d----b----c----e , ، 0----a----b----c , 0----a----c , 0----a 0----a----d----b----c . توالي ايجاد شده داراي هزينه (زمان) 79 است.

مطالعه اين جواب داراي اطلاعات زيادي است. براي اضافه نمودن a,b,f و 0,a,b,f كمانهاي موجود داراي حداقل هزينه هستند و هزينه اي برابر 10 واحد را براي رفتن از c به e خواهيم داشت كه از كوچكترين كمان c (از c به 0) به مقدار 1 واحد بيشتر است. هزينه اي برابر 11 از d به b كه سه واحد بيشتر از مقدار حداقل براي b است و هزينه اي برابر 20 واحد از e به f كه 4 واحد بيش از مقدار حداقل براي e است. لذا حداكثر مقدار هزينه اي را كه ميتوان كاهش داد برابر است با 1+3+4=8 .

اگـــرچه اين كار نيازمند رفتن از e به 0 است كه غير ممكن است و f بايستي بين e و 0 قرار گيرد. با توجـــه به اين محدوديت اضافه شده، حداقل هزينه بدون توجه به e برابر 19 واحد و بدترين حالت دور شدن از مقدار بهينه به ميزان 5 واحد است.

ايـــن كار را ميتوان به همين ترتيب ادامه داد. براي مثال،f بايستي در انتها بيايد در غير اينصورت هزينه بـــدون در نظـــر گرفتن f برابر 21 است كه منجر به افزايش 8 واحد به هزينه ها ميشود كه 5 واحد بيشتر از مقـــداري اســـت كه در جواب موجود بهبود حاصل ميشود. اگر f بايستي در انتها بيايد در آنصورت كمانهاي موجود d و c در حد پايين خود قرار خواهند داشت. لذا ميتوان حداكثر به ميزان 1 واحد از مقدار بهينه دور شد و احـــتمالا توري با هزينه 78 خواهيم داشت. به هر صورت الگوريتم نزديكترين جايگذاري كار خود را انجام داده است زيرا جوابي تقريبا بهينه را با سرعت بدست آورده ايم.

بسط روش براي تركيب محصول :

يكـــي از حالـــتهاي معمول كه ديده ميشود، توليد چندين نوع محصول در يك سلول است. فريمها به صـــورت تصادفي وارد سلول ميشوند اما پس از ورود تقاضاي درازمدت را دارند. نسبت تقاضا بوسيله ليست

مـــواد محصولات نهايي و تقاضاي آنها تعيين ميشود. طرح استقرار سلول بايستي كليه محصولات را شامل شود. براي تحليل اين مسئله، بايستي تعيين شود كه خط توليد بالانس بوده و يا نابالانس است.

حـــالتي را در نظر بگيريد كه خط بالانس نيست و فرض كنيد كه نرخ تقاضاي نسبي مشخص است. هدف كاهش زمان متوسط مونتاژ هر محصول است[10]. اين روش براي حالتي در نظر گرفته شده است كه همواره عرضـــه قطعات انجام شده و قطعات منتظر ورود به سلول هستند. حتي بدون اين فرضيه در مورد وروديها، اين روش كماكان متوسط زمان جريان را حداقل نموده و ظرفيت سلول را حداكثر ميكند.

فـــرض كنيد M نوع فريم بايستي ساخته شود و p_m نسبت فريمهاي نوع m است. توالي جايگزيني را ميـــتوان برحسب هر قطعه به صورت مستقل حل نمود اما محل ظرفها بايستي ثابت نگه داشته شود. جدول زمان ســـفر مطـــابق جـــدول 8.7 را براي بررسي هر قطعه ميتوان استفاده نمود. اين جداول سپس با ميانگين وزني تركيب، تركيب ميشود.

$$C_{ij} = \sum_{m=1}^{M} P_m C_{ijm}$$

كـــه در آن C_{ijm} در صورتيكه قطعه i به ظرف j تخصيص يابد، مجموع زمان سفربراي فريم نوع m است. سپس يك مسئله تخصيص با هزينه هاي C_{ij} براي تعيين موقعيت قطعات حل ميشود.

مثال 8.6

فرض كنيد يك فريم نوع جديد بايستي علاوه بر آنچه در جدول 8.7 آمده است، ساخته شود. بطور تقريبي 20% از تقاضا از نوع جديد خواهد بود. فريم جديد از هر چهار نوع قطعه استفاده ميكند. مجموع زمان سفر براي فريم جديد در جدول 8.9 آمده است.

Table 8.9 Total Travel Times for the New Frame

	Bin Location			
Part	1	2	3	4
A	15	19	25	41
B	20	18	31	16
C	17	19	10	21
D	28	16	12	25

جدول 8.9 – مجموع زمان سفر براي فريم جديد

جواب :

يـــك ماتـــريس جديد زمان سفر براي تخصيص ظروف با در نظر گرفتن ارزشي معادل 80% مقادير جـــدول 8.7 و 20% مقادير 8.9 ايجاد ميشود. براي مثال، زمان متوسط سفر براي هر فريم در صورتيكه قطعه A به ظرف 1 تخصيص يابد عبارتست از :

$$C_{A1} = 0.8(25) + 0.2(15) = 23$$

تركيب زمان فريمها در جدول 8.10 آمده است.

---

[10] Bill of Material

Table 8.10 Average Times for Part Type Assignments

	Bin Location			
Part	1	2	3	4
A	23.0	22.2	24.2	33.0
B	20.0	18.8	19.0	13.6
C	38.6	40.6	39.6	45.0
D	5.6	3.2	2.4	5.0

جدول 8.10 – متوسط زمان براي تخصيص انواع قطعات

بـــا حـــل يك LAP ، جواب بهينه قرار دادن قطعات (A,B,C,D) در محلهاي (2,4,1,3) و با متوسط زمان سفر با بار 76.8 براي هر فريم بدست مي آيد.

اگر خط بالانس باشد، هدف حداقل نمودن بزرگترين زمان مونتاژ خواهد بود. يك سيكل زماني واحد را بايســـتي براي تمام قطعات تعين نمود و اين سيكل زماني بايستي اجازه تكميل براي كندترين فريم را در اختيار بگـــذارد. حل اين نوع مسئله به مراتب مشكلتر است. در اين حالت راه حلهاي مختلف تخصيص ظروف بايستي ارزيـــابي شده و بهترين انتخاب شود. براي هر تخصيص، توالي جايگذاري بايستي براي هر نوع فريم يافته شود و تخصيص ظروف با كوچكترين زمان مونتاژ براي هر فريم بهترين راه حل است.

طرح استقرار سلول و توالي فعاليتها با تعامل ابزارها :

فرض كنيد كه راه اندازي يك پرس NC مطابق شكل 8.7 باشد. پرس از انواع ابزارها (قالبهاي پانچ) براي ايجاد مشخصه (سوراخ) بر روي صفحات ورق استفاده ميكند. ابزارگير بايستي بوسيله كليه پانچهاي مورد نـــياز براي هر قطعه تجهيز شود (ابزارگير بر روي ماشين مطابق شكل 8.7 تا 36 ابزار را ميگيرد). هر قطعه به 200 ضـــربه احتياج دارد و هر يك از ضربه ها در محل خاص و با ابزار خاصي بايستي انجام شود. توالي ضربه ها بايســـتي محدوديتهاي پيش نيازي را ارضاء نمايد. براي راه اندازي ماشين، يك قطعه به همراه ابزارهاي مورد نياز بايستي بارگيري شود.

با شروع از نقطه اوليه، بستر ماشين به نقطه اي كه براي ضربه ديگر بر روي قطعه لازم است حركت ميكند. همزمان و در صورت لزوم ابزارگير مي چرخد تا ابزار مناسب بر روي نقطه ضربه قرار گيرد. سپس يك ضـــربه وارد ميشود. اين فرآيند تا تكميل شدن تمام ضربه ها ادامه مي يابد و بستر ماشين به نقطه شروع بازمي

گـــردد. هدف در اين مسئله نصب ابزارهاي مناسب بر روي ابزارگير و تعيين توالي ضربه ها است، به نحويكه ســـيكل توليد حداقل شود. زمان براي هر ضربه در حاليكه بستر و ابزارگير در محل خود واقع شده باشند، ثابت اســـت. لذا سيكل زماني فقط در نتيجه زمان تغيير وضعيت بين ضربه ها تغيير ميكند. براي هر ضربه، اين زمان حداكـــثر زمان تغيير مكان بستر قطعات و يا زمان نگهداري ابزار توسط ابزارگير است. معمولا تغيير وضعيت ابزارگير زماني بيش از چرخش آن دارد.

Walas و Askin [1984] يك فرمول رياضي براي اين مسئله ارايه دادند. اين مدل تركيبي از دو مسئله ســـخت است كه قبل مورد توجه قرار داده ايم. اگر توالي كه ابزارها مورد استفاده قرار ميگيرند معلوم باشد در آنصـــورت ميتوانيم بهترين نحوه قرار گرفتن آنها بر روي ابزارگير را با يك حل مسئله تخصيص كوادراتيك تعيين كنـــيم. هزينه قرار دادن ابزار K در موقعيت i و L در موقعيت j برابر زمان چرخش از i به j در تعداد دفعاتي است كه از ابزار K به L تغيير ابزار ميدهيم. توجه كنيد كه وقتي توالي ضربه ها تعيين ميشود در آنصورت توالي ابـــزارهاي مورد استفاده نيز مشخص خواهد بود، زيرا كه هر ضربه به ابزار خاص خود احتياج دارد. در مقابل، فـــرض كنـــيد كه تخصيص ابزار به ابزارگير مشخص باشد در انصورت لازم است كه توالي ضربه ها مشخص شـــود. زمان حركت بين ضربه ها يك مسئله فروشنده دوره گرد است. هر ضربه (و نقطه شروع) معادل يك شهر است. هزينه سفر بين شهرها حداكثر زمان ابزارگيري و چرخش بهتر است.

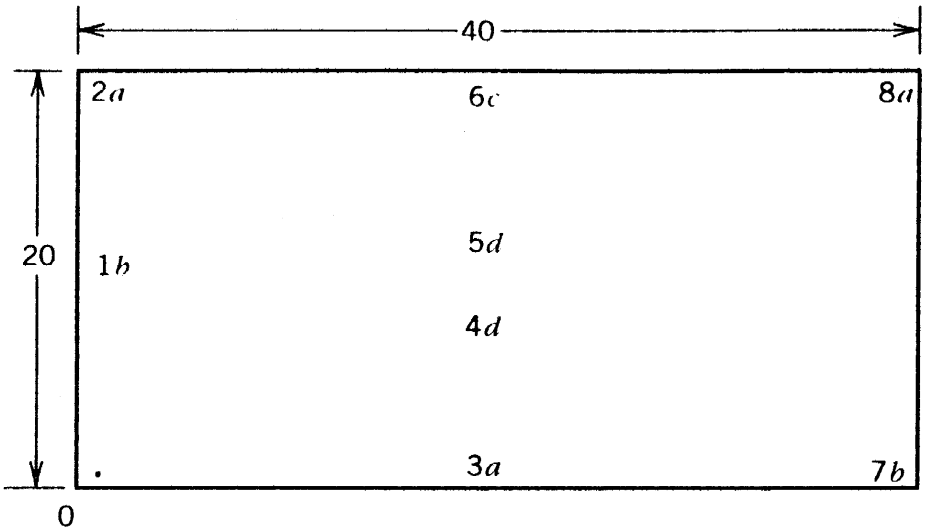
تعـــريف مسئله به عنوان تركيب QAP و TSP و ايجاد يك روش ابتكاري براي آن توسط Walas و Askin مـــنجر به يافتن راه حلهاي بهبود يافته تا 25% سيكل زماني نسبت به راه حلهاي ابتكاري TSP معمول شده است.

ساختار روش مورد استفاده Walas و Askin شامل حل پيوسته زير مسئله هاي QAP و TSP است. در ابـــتدا، يـــك ماتـــريس هزينه TSP براي ضربه ها تشكيل ميشود. در محاسبه هزينه ها، فرض ميشود كه در صـــورت لـــزوم جابجايي ابزار بين محلهاي نزديك به هم و موجه بر روي ابزارگير صورت ميگيرد. با ارايه توالي ضـــربه ها، ابزارها با حل يك QAP مشخص ميشود. محلهاي واقعي ابزارها براي به هنگام نمودن ماتريس هزينه TSP و حـــل مجدد آن استفاده ميشود. همانند مسائل بزرگ، گامهاي ديگري براي سرعت بخشيدن به پردازش لازم اســـت. بـــراي مـــثال، حل توالي ضربه هاي TSP براي يافتن جواب بهينه تا 200 ضربه دشوار است. لذا روشهاي ابتكاري سريع لازم است. لذا راه حل ابتكاري به چندين مجموعه "كاربرد ابزار" تقسيم ميشود.

زيرمجموعه "كاربرد ابزار" ، مجموعه ضربه هاي متوالي است كه از ابزار مشابه استفاده ميكنند. اين زير مجموعـــه ها پس از تركيب شدن با ضربه هاي قبل و بعدي يك گروه از مسائل كوچكتر TSP را بوجود مي آورند. بدين ترتيب روشي بهينه يا حداقل روش ابتكاري اثربخش تر را ميتوان در اين زيرمجموعه هاي كوچك بكـــار گرفت. زيرمجموعه ها را همچنين ميتوان به عنوان شهرهاي مستقل در نظر گرفت و يك TSP را ميتوان حـــل نمود تا توالي استفاده از اين ابزارها مشخص شود. همچنين امكانپذير است كه زيرمجموعه هاي استفاده از ابـــزارها مجـــددا مرتب شوند و يا دو زيرمجموعه كه از ابزارهاي مشابه استفاده ميكنند با هم تركيب شوند. اين روش را با يك مثال ساده تشريح ميكنيم.

مثال 8.7

قطعه شكل 8.8 را در نظر بگيريد. حروف كوچك نشان دهنده ابزار مورد نياز براي هر ضربه است. اگـــرچه بـــرخي از بستر ماشينها ميتوانند در جهت هاي افقي و عمودي به صورت همزمان حركت كنند ولي ماشين مورد بحث اين قابليت را ندارد. زمان سفر بين مكانها در شكل 8.11 آمده است.



شكل 8.8 – قطعه براي مثال 9.7

نقطـــه صـــفر، محـــل شروع است. ابزارگير ميتواند پنج ابزار را با هر ترتيبي نگهداري نمايد. ابزارگير همچـــنين ميـــتواند در هر امتدادي چرخش نمايد و زماني معادل 35 واحد زماني براي حركت به محل مجاور، 55 واحـــد زماني براي حركت به دو محل دورتر و 75 واحد زماني براي رفتن به سه محل دورتر احتياج دارد.مسئله تخصـــيص ابـــزارها و توالي ضربه ها است. از آنجا كه در مسئله فقط به چهار ابزار احتياج است، يك مكان در ابزارگير همواره خالي است.

Table 8.11 Interhit Travel Times for Example 8.7

	Hit								
Hit	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	—	10	20	20	28	32	40	50	60
1	10	—	10	30	20	20	30	40	50
2	20	10	—	42	32	28	20	50	40
3	20	30	42	—	8	12	20	30	42
4	28	20	32	8	—	5	20	22	32
5	32	20	28	12	5	—	20	22	28
6	40	30	20	20	20	20	—	30	20
7	50	40	50	30	22	22	30	—	20
8	60	50	40	42	32	28	20	20	—

جدول 8.11 – زمان سفر بين ضربه ها براي مثال 8.7

راه حل :

قبل از بکارگيري روش يکپارچه TSP - QAP ، اجازه دهيد به روشي ساده و سريع جوابي اوليه پيدا کنـــيم. يك روش معقول، شروع از نقطه صفر و رفتن به نزديکترين محل ضربه، نقطه 1 است. اين ضربه نيازمند اســـتفاده از ابـــزار b اســـت. حال کليه ضربه هايي که از ابزارb استفاده ميکنند را انجام ميدهيم. با اين کار کماکان به نزديکترين مکانها مراجعه ميشود. لذا از نقطه 7---1---0 حرکت مي کنيم. هيچ ضربه ديگري نياز بـــه ابـــزار b ندارد، نزديکترين ضربه نقطه است لذا به آن نقطه رفته و ابزار را به a تغيير مي دهيم. بعد از تکميل نمودن کليه ضربه هاي a (3,2,8) به نزديکترين نقطه بعدي (نقطه 4) رفته و ابزار را به d تغيير ميدهيم.
تداوم اين روش به توالي ضربه هاي 0---6---5---4---3---2---8---7---1---0
و بکارگيري ابزارهاي b---a---d---c و صرف هزينه 282 = 40 + 35 + 5 + 35 + 42 + 40 + 35 + 40 + 10 واحـــد زماني ميشود. در زمانهاي انتقال زمان مرتبط با تغيير ابزار در نظر گرفته نشده است، زيرا ابزار ميتواند در حاليکه قطعه در حال تخليه است و قطعه بعدي بارگيري ميشود، به موقعيت b بازگردد. روش فوق بنظر منطقي مي رسد. آيا روشي بهتر وجود دارد؟
اجازه دهيد از روش يکپارچه استفاده کنيم.
گام صفر : از ماتريس هزينه TSP فرض کنيد که کليه تغيير ابزارها 35 واحد زماني وقت مي گيرد. 35 واحد زمـــاني معين کننده حد پايين است و اگر جابجايي ابزارها به نقطه مجاور باشد اين مقدار صادق است. ماتريس هزينه متناسب با اين فرضيه در جدول 8.12 آمده است. و زمان صفر براي ضربه هاي صفر و هشت را در نظر بگيريـــد. عـــدد 60 مشخص کننده مجموع زمان 20 و 40 واحد براي حرکت بين دو محور مطابق شکل 8.8 است. توجه شود که مقدار 60 به اين دليل بکار گرفته شده است که از 35 واحد زماني تغيير ابزار بيشتر است. از سوي ديگر زمان سفر براي رفتن از 4 به 1 برابر 35 است زيرا که زمان حرکت بهتر قطعه 25 واحد زماني است که از تغيير ابزار بيشتر است.

Table 8.12 Interhit Travel Times for Example 8.7

	Hit								
Hit	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	—	10	20	20	28	32	40	50	60
1	10	—	35	35	35	35	35	40	50
2	20	35	—	42	35	35	35	50	40
3	20	35	42	—	35	35	35	35	42
4	28	35	35	35	—	5	35	35	35
5	32	35	35	35	5	—	35	35	35
6	40	35	35	35	35	35	—	35	35
7	50	40	50	35	35	35	35	—	35
8	60	50	40	42	35	35	35	35	—

جدول 8.12 –

گام يك : مسئله TSP را حل كنيد. يك جواب ابتكاري براي اين TSP تور 1---6---7---8---3---4---5---2---0 با هزينه 252 است.

گـــام دو : ابـــزارها را تخصيص دهيد. اگرچه تغيير ابزارها بنظر نمي رسد مورد قبول باشد توالي ابزارهاي مورد اســـتفاده عبارت خواهند بود با a----d----a----b----c----b . در اين صورت بايستي يك QAP را در اين نقطه حل نماييم. تغيير بين a و d دوبار، بين a و b يكبار و بين b و c دوبار انجام ميشود. در نتيجه هزينه تخصيص a به محل A و d به محل D برابر 2*35=70 خواهد بود كه دو برابر زمان چرخش از A به D است. ضرايب هزينه ديگـــر بـــه صورتي مشابه استفاده ميشود. قرار دادن ابزارها به صورت b و c و خالي و d و a بر روي ابزارگير جـــوابي را در اختيار ميگذارد كه فرضيات مجاور بودن را ارضاء ميكند. در نتيجه نيازي براي يافتن يك تخصيص بهتر QAP نيست. اين راه حل موجه است و هزينه 252 را دارد.

8.5 خلاصه

يـــك سيستم رقابتي بايستي منابع خود را به صورتي كارا و موثر بكار گيرد. مسائل عملياتي ماشينها را معمـــولا ميـــتوان به صورت مسائل برنامه ريزي عدد صحيح صفر – يك مدل نمود. اگرچه حل بسياري از اين مســـائل مشكل است ولي بسياري در محدوده مسائل طبقه بندي شده تخصيص و فروشنده دوره گرد قرار مـــي گيرنـــد كه تحقيقات زيادي در مورد حل آنها انجام شده است. با تكنولوژي موجود، جوابهاي غيربهينه كه خيلي خوب هستند براي مسائل واقعي قابل تحصيل است.

مسائل تخصيص خطي هنگامي بوجود مي آيد كه يك مجموعه از فعاليتها بايستي به مجموعه اي از منابع تخصيص يابند. فعاليتها ميتوانند دستور كار و منابع مي توانند كارگران و يا ماشينها باشند. همچنين مدل به همان انـــدازه صحت دارد كه فعاليتها را ابزارها يا تغذيه كنندگان قطعات و منابع را محلهاي فيزيكي تلقي نماييم. حل مسائل تخصيص خطي معمولا مسبتا ساده است.

تـــوالي فعاليتها معمولا شكل مسائل فروشنده دوره گرد را به خود مي گيرند. حل بهينه TSP دشوار اســـت اماروشـــهاي ابتكاري خوبي براي مسائلي تا صدها شهر وجود دارد. وقتي هزينه تغيير خط (جابجايي) به اطلاعـــاتي بيش از فعاليتهاي مجاور در توالي دارد در آنصورت الگوريتمهاي خاص منظوره بايستي استفاده شود. الگورتيم طبقه بندي صفر – يك كه در تكنولوژي گروهي استفاده ميشود روشي ديگر براي تعيين توالي فعاليتها است.

تكـــنولوژي مـــدرن ماشينهاي اتوماتيكي توليد كرده است كه قابليت ذخيره ابزار زيادي دارند. اين تكنولوژيها نيازمند بكارگيري برنامه ريزي ابزار و توالي عمليات دارند. روشهايي موجود است كه روشهاي حل مستقل را براي يافتن راه حلهاي بهتر و يكپارچه تركيب نموده اند. اين روشها معمولا مسائل توالي عمليات و تخصيص را به صورت زير مسائل خود بكار مي گيرند.