

Kapasite Planlama Aracı Olarak Üç Tane Doğrusal Karma Sıfır-Bir Programlama Modeli

Prof.Dr.Cemal Özgüven

Giriş

Bir ürünü üretmek için m farklı tipte makineden meydana gelen bir imalat hattının kurulması söz konusu olduğunda , temel sorun kapasite sınırlarına uyulması şartıyla hattın etkinliğini maksimize etmek için her bir makine tipinden kaç adet kullanılması gerektiğine karar vermektir . Bu kararın verilmesinde kullanılabilir üç doğrusal karma sıfır-bir programlama modeli geliştirilmiştir .

Doğrusal modellerin temelini teşkil eden model (İlk Model denilecektir) bir kuadratik programlama modelidir . Bu ilk modelde yer alan toplam makine sayısı değişkeni sabitleştirilince Model Ia , periyod uzunluğu değişkeni sabitleştirilince Model Ib elde edilecektir . Hem Model Ia hem de Model Ib doğrusal modellerdir .

Her bir alternatif toplam makine sayısı için Model Ia , her bir alternatif periyod uzunluğu için Model Ib ard arda çözülmüce , maksimum etkinlikteki imalat hattında m farklı makine tipinden kaç tane kullanılması gerektiği belirlenecektir .

İlk modele bir matematiksel transformasyonun uygulanmasıyla Model II elde edilecektir . Doğrusal olan Model II'nin Model Ia ve Model Ib'den farkı her ikisi de sabitleştirilmediği için hem toplam makine sayısının hem de periyod uzunluğunun birer karar değişkeni olmalarıdır . Bu durumda , Model II her bir alternatif toplam makine sayısı veya periyod uzunluğu için ard arda defalarca çözülmeksizin, bir seferde alt ve üst kapasite sınırları içinde en uygun toplam makine sayısını ve periyod uzunluğunu bulacak , maksimum etkinlikteki imalat hattında kullanılması gereken makine miktarlarını belirleyecektir .

Parametreler , Değişkenler ve Tanımlar

$y(1)$ = imalat hattında 1. tip makineden kullanılan miktar(adet)

$y(2)$ = imalat hattında 2. tip makineden kullanılan miktar(adet)

.....

$y(m)$ = imalat hattında m . tip makineden kullanılan miktar(adet)

$$y(1),y(2),\dots,y(m) = 1,2,\dots,\bar{A}$$

t_i = i 'inci tip bir makinenin bir birim ürün için çalışma süresi (dakika)

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

n = imalat hattındaki toplam makine sayısı

$$n = y(1)+y(2)+\dots+y(m)$$

T = periyod uzunluğu (darboğaz makine tipinin bir birim ürün için ortalama çalışma süresi)

$$T = \text{maksimum } (t_1/y(1) , t_2/y(2), \dots, t_m/y(m))$$

burada $t_1/y(1) , t_2/y(2), \dots, t_m/y(m)$ sırasıyla $y(1), y(2), \dots, y(m)$ adet kullanıldıkları takdirde, 1.,2.,...,m. tip makinelerin bir birim ürün için dakika olarak ortalama çalışma süreleridir.

E = İmalat hattının etkinliği

$$E = t_1+t_2+\dots+t_m / nT$$

K = imalat hattının bir vardiya üzerinden kapasitesi

$$K = 60X8 / T$$

$K_{\bar{U}}$ = üst kapasite sınırı

K_A = alt kapasite sınırı

$$K_A \leq 60X8 / T \leq K_{\bar{U}}$$

$$x_{1y(1)} = \begin{array}{ll} 1 & \text{1. tip makineden } y(1) \text{ adet kullanılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde } y(1)=1,2,\dots,\bar{A} \end{array}$$

$$x_{2y(2)} = \begin{array}{ll} 1 & \text{2. tip makineden } y(2) \text{ adet kullanılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde } y(2)=1,2,\dots,\bar{A} \end{array}$$

$$x_{my(m)} = \begin{array}{ll} \dots\dots\dots \\ 1 & \text{m. tip makineden } y(m) \text{ adet kullanılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde } y(m)=1,2,\dots,\bar{A} \end{array}$$

$T_{1y(1)} = y(1)$ adet kullanılırlarsa , 1. tip makinelerin ortalama çalışma sürelerini kapsayan zaman aralığı (dakika)

$T_{2y(2)} = y(2)$ adet kullanılırlarsa , 2. tip makinelerin ortalama çalışma sürelerini kapsayan zaman aralığı (dakika)

.....
 $T_{my(m)} = y(m)$ adet kullanılırlarsa , m. tip makinelerin ortalama çalışma sürelerini kapsayan zaman aralığı (dakika)

İlk Model

Etkinliği en yüksek olan imalat hattının kurulması hedef alındığına göre , ilk modelin amaç fonksiyonu ilk etapta şöyle ifade edilebilir :

$$\text{maksimize edin } t_1 + t_2 + \dots + t_m / nT$$

Kesirin payı pratikte her zaman sabit bir sayı olduğu için , aynı amaç fonksiyonu şöyle de yazılabilir :

$$\text{minimize edin } nT$$

Her makine tipi için bir sınırdan oluşan I. sınırlar kümesi , herbir makine tipinden imalat hattında sadece tek miktar (ya 1 , ya 2 , ... , ya da \bar{A} adet) kullanılmasını sağlamaktadır :

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1\bar{A}} &= 1 \\ x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2\bar{A}} &= 1 \\ &\dots\dots\dots \\ x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{m\bar{A}} &= 1 \end{aligned} \quad (I)$$

Yine her makine tipi için bir sınırdan oluşan II. sınırlar kümesi , herbir makine tipinin ortalama çalışma süresi ile imalat hattının periyod uzunluğu arasında bağlantı kurmaktadır :

$$\begin{aligned} (t_1/1) x_{11} + (t_1/2) x_{12} + \dots + (t_1/\bar{A}) x_{1\bar{A}} &\leq T \\ (t_2/1) x_{21} + (t_2/2) x_{22} + \dots + (t_2/\bar{A}) x_{2\bar{A}} &\leq T \\ &\dots\dots\dots \\ (t_m/1) x_{m1} + (t_m/2) x_{m2} + \dots + (t_m/\bar{A}) x_{m\bar{A}} &\leq T \end{aligned} \quad (II)$$

II. sınırlar kümesindeki herbir sınırın sol tarafı ilgili makine tipinin bir birim ürün için ortalama çalışma süresidir . Bu durumda , periyod uzunluğu (T) sol taraftaki ifadelerin en büyüğünden , yani darboğaz makinenin ortalama çalışma süresinden , az olamaz .

Bir tane sınırdan ibaret olan III. sınırlar kümesi şöyle yazılabilir :

$$(x_{11}+2x_{12}+\dots+\dot{A}x_{1A})+(x_{21}+2x_{22}+\dots+\dot{A}x_{2A})+\dots+(x_{m1}+2x_{m2}+\dots+\dot{A}x_{mA})=n \quad (III)$$

Bu sınır imalat hattındaki toplam makine sayısını tesbit etme görevini yapan bir nevi-sayaçtır .

İmalat hattının kapasitesinin $K_{\dot{U}}$ üst ve K_A alt sınırlar arasında kalması için

$$K_A \leq 60X8 / T \leq K_{\dot{U}}$$

ilişkisinden hareketle

$$\begin{aligned} T &\leq 60X8 / K_A \\ T &\geq 60X8 / K_{\dot{U}} \end{aligned} \quad (IV)$$

sınırları konulmaktadır .

Ortaya amaç fonksiyonu kuadratik , sınırları doğrusal olan bir karma sıfır-bir programlama modeli çıkmıştır . n değişkenini veya T değişkenini sabit bir sayıya eşitlemek suretiyle , bu modeli doğrusallaştırmak mümkündür .

Model Ia ve Model Ib

İlk modelde n değişkeni sabit bir sayıya (n_0) eşitlendiği takdirde , bir doğrusal model olan Model Ia elde edilmektedir :

minimize edin n_0T

sınırlar

$$x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1A} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2A} = 1$$

(Model Ia)

.....

(I)

$$x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mA} = 1$$

$$\begin{aligned}
(t_1/1) x_{11} + (t_1/2) x_{12} + \dots + (t_1/\bar{A}) x_{1\bar{A}} &\leq T \\
(t_2/1) x_{21} + (t_2/2) x_{22} + \dots + (t_2/\bar{A}) x_{2\bar{A}} &\leq T \\
\dots\dots\dots & \\
(t_m/1) x_{m1} + (t_m/2) x_{m2} + \dots + (t_m/\bar{A}) x_{m\bar{A}} &\leq T
\end{aligned} \tag{II}$$

$$(x_{11} + 2x_{12} + \dots + \bar{A}x_{1\bar{A}}) + (x_{21} + 2x_{22} + \dots + \bar{A}x_{2\bar{A}}) + \dots + (x_{m1} + 2x_{m2} + \dots + \bar{A}x_{m\bar{A}}) = n_0 \tag{III}$$

$$T \leq 60X8 / K_A \tag{IV}$$

$$T \geq 60X8 / K_{\bar{U}}$$

ve $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{m\bar{A}} = 0,1$

Model la farklı n_0 değerlerine göre ard arda defalarca çözülecek ve her seferinde farklı bir toplam makine sayısı için maksimum etkinlikteki imalat hattında kullanılması gereken makine sayıları bulunacaktır .

İlk modelde n değişkeni yerine T değişkeni $480/K_{\bar{U}}$ ile $480/K_A$ arasında sabit bir sayıya (T_0) eşitlendiği takdirde, bu sefer başka bir doğrusal model, Model Ib, elde edilmektedir :

minimize edin $T_0 n$

sınırlar

$$x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1\bar{A}} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2\bar{A}} = 1$$

(Model Ib)

.....

(I)

$$x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{m\bar{A}} = 1$$

$$(t_1/1) x_{11} + (t_1/2) x_{12} + \dots + (t_1/\bar{A}) x_{1\bar{A}} \leq T_0$$

$$(t_2/1) x_{21} + (t_2/2) x_{22} + \dots + (t_2/\bar{A}) x_{2\bar{A}} \leq T_0$$

.....

(II)

$$(t_m/1) x_{m1} + (t_m/2) x_{m2} + \dots + (t_m/\bar{A}) x_{m\bar{A}} \leq T_0$$

$$(x_{11}+2x_{12}+\dots+\hat{A}x_{1A})+(x_{21}+2x_{22}+\dots+\hat{A}x_{2A})+\dots+(x_{m1}+2x_{m2}+\dots+\hat{A}x_{mA})=n \quad (\text{III})$$

$$\text{ve} \quad \begin{aligned} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mA} &= 0,1 \\ n &= m, m+1, m+2, \dots, mA \end{aligned}$$

Model Ia ve Model Ib'nin Bir Örnek Probleme Uygulanması

Bir ürünün üretilmesi için üç farklı tipte makineden ($m=3$) bir imalat hattı kurulacaktır. Herbir makine tipinden en çok üç ($\hat{A}=3$) makine kullanılabilir. i'inci tip bir makinenin bir birim ürün için kullanım süresi

$$t_1 = 100 \quad , \quad t_2 = 50 \quad , \quad t_3 = 40$$

dakikadır. $K_A=10$ ve $K_U=16$ kapasite sınırları arasında maksimum etkinlikteki imalat hattında her bir makine tipinden kaç tane kullanılmalıdır ?

Bu özel karar problemini yansıtan Model Ia ve Model Ib şöyle yazılabilir :

minimize edin n_0T

sınırlar

$$\begin{aligned} x_{11}+x_{12}+x_{13} &= 1 \\ x_{21}+x_{22}+x_{23} &= 1 \\ x_{31}+x_{32}+x_{33} &= 1 \end{aligned} \quad (\text{I})$$

(Model Ia)

$$\begin{aligned} 100x_{11}+50x_{12}+33.33x_{13} &\leq T \\ 50x_{21}+25x_{22}+16.66x_{23} &\leq T \\ 40x_{31}+20x_{32}+13.66x_{33} &\leq T \end{aligned} \quad (\text{II})$$

$$(x_{11}+2x_{12}+3x_{13})+(x_{21}+2x_{22}+3x_{23})+(x_{31}+2x_{32}+3x_{33})=n_0 \quad (\text{III})$$

$$T \geq 30 \quad , \quad T \leq 48 \quad (\text{IV})$$

$$\text{ve} \quad x_{11}, x_{12}, \dots, x_{33} = 0,1$$

minimize edin $T_0 n$

sınırlar

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1 \quad (I)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$$

(Model Ib)

$$100x_{11} + 50x_{12} + 33.33x_{13} \leq T_0$$

$$50x_{21} + 25x_{22} + 16.66x_{23} \leq T_0 \quad (II)$$

$$40x_{31} + 20x_{32} + 13.66x_{33} \leq T_0$$

$$(x_{11} + 2x_{12} + 3x_{13}) + (x_{21} + 2x_{22} + 3x_{23}) + (x_{31} + 2x_{32} + 3x_{33}) = n \quad (III)$$

ve

$$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{33} = 0, 1$$

$$n = 3, 4, \dots, 9$$

n_0 'a 3'den 9'a kadar tamsayılı değerler vermek suretiyle Model Ia Lindo paket programından yararlanılarak 16 mhz hızındaki bir bilgisayarda bilgisayarda 7 defa koşturulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir :

n_0	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	T	$190/n_0 T$	Süre (dakika)
3												0.066
4												0.066
5												0.083
6	0	0	1	0	1	0	1	0	0	40	190/240	0.15
7	0	0	1	0	1	0	0	1	0	33.33	190/233.31	0.20
8	0	0	1	0	1	0	0	0	1	33.33	190/266.64	0.116
9	0	0	1	0	0	1	0	0	1	33.33	190/299.97	0.066

Bu liste 3'den 9'a kadar toplam makine sayılarından herbiri için hattın maksimum etkinliğinin ne olduğunu ve her makine tipinden kaç tane kullanılması gerektiğini göstermektedir. Mesela, imalat hattında 6 tane makine bulunacaksa, periyod uzunluğunun minimum değeri 40 dakika, hattın maksimum etkinliği 190/240 olur ki bu durumda birinci tip makineden 3, ikinci tip makineden 2 ve üçüncü tip makineden bir tane kullanmak gerekir. Listenin incelenmesinden, hattın ulaşılabilecek en yüksek etkinliğinin 190/233.31 olduğu ve bunun da toplam makine sayısı 7, periyod uzunluğu 33.33 dakika olduğu zaman gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Model Ia'nın $n_0 = 3,4,5$ için çözümsüz olmasının sebebi $T \leq 48$ sınırlandırmasıdır . Periyod uzunluğu 48 dakikayı aşamazsa , toplam makine sayısının en az 6 olmasının zorunlu olduğu II. sınırlar kümesindeki sınırların sol taraflarının incelenmesiyle anlaşılabilir .

T_0 'ın 30 dakika ve 48 dakika arasındaki alternatif periyod uzunluklarına eşitlenmesiyle Model Ib Lindo paket programından yararlanılarak 16 mhz hızındaki bir bilgisayarda iki defa koşturulmuş ve aşağıdaki sonuçlar alınmıştır :

T_0	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	n	$190/n_0T$	Süre (dakika)
33.33	0	0	1	0	1	0	0	1	0	7	190/233.31	0.133
40	0	0	1	0	1	0	1	0	0	6	190/240	0.15

Bu liste herbir periyod uzunluğu için hattın maksimum etkinliğinin ne olduğunu ve bu etkinliğe ulaşmak amacıyla her makine tipinden kaç tane kullanılması gerektiğini göstermektedir . Aynı sonuç burada da elde edilmiştir . Hattın ulaşılacak en yüksek etkinliği 190/233.31 'dir ve bu etkinlik periyod uzunluğu 33.33 dakika ,toplam makine sayısı 7 olduğu zaman gerçekleşmektedir .

Model II

İlk modeli doğrusal bir modele (n değişkenini veya T değişkenini sabit bir sayıya eşitlemeksizin) çevirmek için

$$\text{minimize edin } nT$$

amaç fonksiyonunun yerine

$$nT = (y(1)+y(2)+\dots+y(m))T = y(1)T+y(2)T+\dots+y(m)T$$

eşitliğinden yararlanılarak doğrusal terimlerin toplamı olan bir amaç fonksiyonu ve iki tane sınırlar kümesi (V. ve VI. sınır kümeleri) ikame edilebilir. Bu matematiksel transformasyona ilaveten ilk modelin dört tane sınırlar kümesi aynen aktarılırsa , ortaya hem n hem de T'nin değişken olduğu doğrusal bir model , Model II , çıkar :

$$\begin{aligned} \text{minimize edin } & 1T_{11}+2T_{12}+\dots+\Delta T_{1A} \\ & +1T_{21}+2T_{22}+\dots+\Delta T_{2A} \\ & \dots\dots\dots \\ & 1T_{m1}+2T_{m2}+\dots+\Delta T_{mA} \end{aligned}$$

sınırlar

$$\begin{aligned}
 x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1A} &= 1 \\
 x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2A} &= 1 \\
 &\dots\dots\dots \\
 x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mA} &= 1
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{Model II}) \quad (t_1/1) x_{11} + (t_1/2) x_{12} + \dots + (t_1/A) x_{1A} &\leq T \\
 (t_2/1) x_{21} + (t_2/2) x_{22} + \dots + (t_2/A) x_{2A} &\leq T \\
 &\dots\dots\dots \\
 (t_m/1) x_{m1} + (t_m/2) x_{m2} + \dots + (t_m/A) x_{mA} &\leq T
 \end{aligned}
 \tag{II}$$

$$(x_{11} + 2x_{12} + \dots + Ax_{1A}) + (x_{21} + 2x_{22} + \dots + Ax_{2A}) + \dots + (x_{m1} + 2x_{m2} + \dots + Ax_{mA}) = n \tag{III}$$

$$\begin{aligned}
 T &\leq 60X8 / K_A \\
 T &\geq 60X8 / K_{\ddot{U}}
 \end{aligned}
 \tag{IV}$$

$$\begin{aligned}
 T_{1y(1)} &\leq M x_{1y(1)} & y(1) &= 1, 2, \dots, A \\
 T_{2y(2)} &\leq M x_{2y(2)} & y(2) &= 1, 2, \dots, A \\
 &\dots\dots\dots & & \\
 T_{my(m)} &\leq M x_{my(m)} & y(m) &= 1, 2, \dots, A
 \end{aligned}
 \tag{V}$$

$$\begin{aligned}
 T &= T_{11} + T_{12} + \dots + T_{1A} \\
 T &= T_{21} + T_{22} + \dots + T_{2A} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{VI}$$

$$T = T_{m1} + T_{m2} + \dots + T_{mA}$$

ve

$$\begin{aligned}
 x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mA} &= 0, 1 \\
 n &= m, m+1, m+2, \dots, mA \\
 T_{11}, T_{12}, \dots, T_{mA} &\geq 0
 \end{aligned}$$

I. sınırlar kümesinden dolayı imalat hattında her tip makineden sadece tek miktar (1 veya 2 veya ...,veya λ adet) kullanılacaktır.

V. sınırlar kümesi her tip makineden kullanılan miktar ile o miktara ait ortalama çalışma süresini kapsamaya yeten zaman aralığı arasında bağlantı kurmaktadır. Mesela, 2. tip makineden 3 adet kullanılırsa, (I)'den dolayı $x_{23}=1$, $x_{21}=x_{22}=x_{24}=\dots=x_{2\lambda} = 0$ olur. Bu durumda, V. sınırlar kümesi T_{2b} değişkenlerinden sadece bir tanesinin pozitif olmasına imkan tanır: $T_{23}>0$, $T_{21}=T_{22}=T_{24}=\dots=T_{2\lambda} = 0$.

Amaç fonksiyonundaki toplamsal ifadenin nT 'ye denk olması için pozitif olan $T_{1y(1)}, T_{2y(2)}, \dots, T_{my(m)}$ değişkenlerinin tümünün T 'ye eşit olması gerekir. Bunu da VI. sınırlar kümesi temin etmektedir. VI. sınırlar kümesindeki her bir sınırın sağ tarafındaki değişkenlerden sadece bir tanesi (I. ve V. sınır kümelerinden dolayı) pozitif olacak ve bunların tümü II. sınırlar kümesi tarafından tayin edilen T değerine eşitlenecektir.

Model II'nin Aynı Örnek Probleme Uygulanması

Model Ia ve Ib'nin uygulandığı örnek karar problemini yansıtan Model II, $M=1,000$ olmak kaydıyla, şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \text{minimize edin} \quad & 1T_{11}+2T_{12}+3T_{13} \\ & +1T_{21}+2T_{22}+3T_{23} \\ & + 1T_{31}+2T_{32}+3T_{33} \end{aligned}$$

sınırlar

$$\begin{aligned} x_{11}+x_{12}+x_{13} &= 1 \\ x_{21}+x_{22}+x_{23} &= 1 \\ x_{31}+x_{32}+x_{33} &= 1 \end{aligned} \quad (I)$$

(Model II)

$$\begin{aligned} 100x_{11}+50x_{12}+33.33x_{13} &\leq T \\ 50x_{21}+25x_{22}+16.66x_{23} &\leq T \\ 40x_{31}+20x_{32}+13.66x_{33} &\leq T \end{aligned} \quad (II)$$

$$(x_{11}+2x_{12}+3x_{13})+(x_{21}+2x_{22}+3x_{23})+(x_{31}+2x_{32}+3x_{33}) = n \quad (III)$$

$$T \geq 30, \quad T \leq 48 \quad (IV)$$

$$\begin{aligned} T_{11} &\leq 1,000x_{11} \\ T_{12} &\leq 1,000x_{12} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (V)$$

$$T_{33} \leq 1,000 x_{33}$$

11

$$\begin{aligned}
 T &= T_{11} + T_{12} + T_{13} \\
 T &= T_{21} + T_{22} + T_{23} \\
 T &= T_{31} + T_{32} + T_{33}
 \end{aligned}
 \tag{VI}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ve} \quad x_{11}, x_{12}, \dots, x_{33} &= 0,1 \\
 n &= 3,4, \dots, 9 \\
 T_{11}, T_{12}, \dots, T_{33} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Ortaya çıkan 20 değişken ve 21 sınırlı model Lindo paket programından yararlanılarak 16 mhz hızındaki bir bilgisayarda koşulmuş ve aşağıdaki çözüm 0.616 dakikada elde edilmiştir :

amaç fonksiyonunun minimum değeri = 233.31

$$\begin{aligned}
 x_{13} &= x_{22} = x_{32} = 1 \\
 T_{13} &= T_{22} = T_{32} = 33.33 \\
 T &= 33.33 \quad n = 7
 \end{aligned}$$

Model II'nin çözümü Model Ia'yı yedi , Model Ib'yi iki kere çözünce bulunan çözümlerin en iyisinin ta kendisidir : Birinci tip makineden üç , ikinci ve üçüncü tip makinelerden ikişer tane kullanılarak bir imalat hattı kurulursa , n=7 makineden meydana gelen bu hat T=33.33 dakikalık periyod uzunluğu ile birlikte maksimum etkinliğe (190/233.31) ulaşır . Bu hattın bir vardiya üzerinden kapasitesi de $60 \times 8 / 33.33 = 14.4$ birim olacaktır ki bu kapasite $K_A = 10$ birim ile $K_{\bar{U}} = 16$ birim arasındadır .

Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada , bir ürünün üretilmesi amacıyla alt ve üst kapasite sınırları içinde maksimum etkinlikteki imalat hattını kurabilmek için üç tane doğrusal karma sıfır-bir programlama modeli geliştirildi ve hepsi de aynı örnek probleme uygulandı .

Model Ia , n değişkeninin , Model Ib de T değişkeninin sabitleştirilmesi suretiyle ilk modelden elde edilmiştir . Bu modeller , yukarıda açıklandığı gibi, alternatif n değerleri ve T değerleri için ard arda defalarca çözümlenmesine esasına dayanmaktadırlar . Model Ia ' da $m\bar{A}+1$ değişken ve $2m+3$ sınır , Model Ib'de ise $m\bar{A}+1$ değişken ve $2m+1$ sınır bulunmaktadır .

Model II , hem T hem de n 'i birer değişken olarak bulundurması ve buna bağlı olarak maksimum etkinlikteki imalat hattının toplam makine sayısı ve periyod uzunluğunu bir hamlede vermesi bakımından , Model Ia ve Model Ib'ye kıyasla daha ileri seviyede bir modeldir . Ancak, bu üstünlüğüne karşılık bu modelin değişken ve sınır sayısı daha fazladır : $2m\bar{A}+2$ değişken ve $m\bar{A}+3m+3$ sınır.

Değişken ve sınır sayıları bakımından daha büyük bir model olduğu için Model II'nin bilgisayardaki çözüm süresi de daha uzundur . Yukarıda kurulan model la' ların ve Model Ib'lerin çözüm süreleri 0.066 dakika ile 0.20 dakika arasında değişirken Model II nin çözümü 0.616 dakika sürmüştür. Model II'nin çözüm süresi daha uzundur ama Model Ia ve Model Ib her alternatif n ve T değeri için çözülmek zorundadır . Bu bakımdan, alternatif n ve T değerlerinin sayısı ne kadar artarsa Model II'nin uygulamada tercih edilme şansı o kadar yükselir .

Son olarak belirtilecek nokta , kaynakların kıt olması gerçeğinn bir takım sınırlar eklemek suretiyle her üç modelde de dikkate alınabilmesidir . Mesela, makinelerin tedarik maliyetleri sırasıyla A_1, A_2, \dots, A_m TL ve makine tedariki için harcanabilecek toplam fon Y TL ise, her üç modele de

$$A_1(x_{11} + 2x_{12} + \dots + Ax_{1A}) + A_2(x_{21} + 2x_{22} + \dots + Ax_{2A}) + \dots + A_m(x_{m1} + 2x_{m2} + \dots + Ax_{mA}) \leq Y$$

biçiminde bir sınır eklenebilir .