

MAKİNA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Musa ŞENEL

A) MAKİNA KAPASİTESİ

Bir makinanın kapasitesi, uygun olan herhangi bir zaman aralığı içerisinde sözkonusu makinada üretilen birimlerin sayısı ile ölçülür. Bir makinada üretilen birim sayısı sadece bu makinanın üretim hızına değil, bakım için harcanan zamana ve makinaya bakan işçinin makinanın çalışması dışındaki işler için harcadığı zamana bağlıdır.¹ Örneğin, bir iplik fabrikasında işçinin makina çalışırken bakması dışında makaraları değiştirmesi, iplikleri birbirine bağlaması ve makaranın üzerine iplik numarasını gösteren etiketi yapıştırması için harcayacağı zaman makinanın üretebileceği birim sayısını (üretim kapasitesini) düşürecektir. Makina zamanının aşağıda görüldüğü şekilde bölündüğünü farzedelim :

Makaranın makinaya takılması	5 saniye
İpliğin bağlanması	5 saniye
İpliğin makaraya sarılması	25 saniye
Makaranın üzerine numara yazılması.	5 saniye
Makaranın makinadan çıkarılması	5 saniye
Toplam	45 saniye

Böylece makinanın (45) saniye içerisinde sadece (25) saniye üretim için faaliyette olduğu görülmektedir. Makinanın bir saatlik üretimi birim olarak,

(1) GAVETT, J. William; *Production and Operations Management*; Harcourt, Brace and World; New York 1968; S. 289.

$$\frac{60 \times 60}{45} = 80 \text{ makara/saat}$$

bulunur. Makinanın bir makara iplik sarmak için çalıştığı zaman esas alınır, üretim kapasitesi,

$$\frac{60 \times 60}{25} = 144 \text{ makara/saat}$$

olacaktır.

Böylece bir makinanın üretim kapasitesinin kaç birim olduğunu belirlerken,

$$\text{Kapasite} = \frac{\text{Makina zamanı}}{\text{Bir birimin üretim zamanı}}$$

formülünü kullanmak doğru değildir.

Makinanın faaliyet süresi üç safhada düşünülebilir :

a) Makinanın üretim süresi dışında harcanan zaman :

Makina çalışmadığı anda yapılan işler için harcanan zamanı kapsar. Yukarıda verilen örnekle makaranın makinaya takılması, ipliğin bağlanması ve makaranın çıkarılması için harcanan zaman toplamı makina üretim süresi dışındaki zamandır.

b) Makinanın çalışma süresi :

Makinanın çalışma süresi, verilen hammaddeyi işlemesi için geçen zamandır.

c) Makinanın çalışması sırasında yapılan faaliyetler için harcanan zaman :

Makina çalışırken işçinin yaptığı müdahaleler için harcayacağı zaman da önemlidir. Örneğin, yukarıdaki örnekte ipliğin makaraya sarılması sırasında kopma olur ve işçi kopan ipliği tekrar bağlarsa, bu faaliyet için de bir zaman kaybı olacaktır. Söz konusu zaman kaybı ne kadar az olursa, makinanın üretim kapasitesi o kadar artmış olur.²

(2) LOCKYER, K. G.; *Production Control in Practice*; Pitman Publishing 1971; S. 103 ve sonrası.

Böylece makinanın faaliyet devri şu şekilde belirlenir :

Makina faaliyet devri = Makinanın çalışma süresi + makinanın çalışması sırasında yapılan faaliyetler için harcanan zaman

Ancak ne makina dışı faaliyet, ne de makina faaliyet süresi kapsamına giren işçinin ve makinanın çalışmadığı bir süre vardır ki, buna aylak kapasite denir. Makina birçok nedenlerle aylak kalabilir. Bu durumda makinanın faaliye devri şu şekilde belirlenir:

Makina faaliyet devri = Makinanın normal çalışma süresi dışında harcanan zaman + Makina çalışma süresi + Makinanın aylak kaldığı zaman

Makinanın üretim miktarı ise;

$$\text{Üretim miktarı} = \frac{\text{Makina çalışma süresi}}{\text{Makina faaliyet devri}}$$

olur.

Burada görülüyor ki makinanın faaliyet devrinin kısaltılması üretim miktarını arttıracaktır. Bu da iş ve zaman etüdü yapmak veya mümkün olduğu kadar fazla makina dışı faaliyeti makina içi faaliyet haline dönüştürmek suretiyle yapılır.³

B) ÇOK MAKİNALI AMELİYE

Bir işçinin birden fazla makinayı yöneltmesinin sağlanması halinde, bu işçiden elde edilen verim artırılabilir. Verim artışının bu yolla gerçekleşmesi için, herhangi bir makinanın dış faaliyetlerinin diğer makinaların çalıştığı anda yapılması gerekir. Eğer,

$$\text{Makina faaliyet devri} = T$$

$$\begin{array}{l} \text{Makina dışı faaliyet} \\ \text{suresi} \end{array} = a$$

$$\text{Makina çalışma süresi} = t$$

olarak alınırsa, aylak kapasite olmadığında,

$$T = a + t$$

(3) LOCKYER, K. G.; A.g.e., S. 104.

EILON, SAMUEL; *Production Planning and Control*; The Macmillan Comp.; New York 1962; S. 284.

bağıntısı yazılır. Makinaların ve yaptıkları işlerin tamamen aynı olduğu varsayılırsa, makinaların çalışma süresi, makinaların dış faaliyet süresinden büyük olur.

$$a < t$$

Böylece bir makinanın dış faaliyetini, diğerlerinin çalışma süresi içinde yapmak suretiyle (n) makinaya hiçbir zaman kaybı ve rilmeden bakılabilir. Buradan,

$$(n-1) a = t$$

bağıntısı bulunur. Bu halde makinalar ve işçinin dengede olduğu söylenir.⁴

Bu durumu bir örnek ile açıklayalım :

Makinayı yüklemə süresi	= 2 dakika
Makinayı boşaltma süresi	= 3 dakika
Makina faaliyet süresi	= 15 dakika

olsun. Verilen verilerden makina dışı faaliyet süresi $2 + 3 = 5$ dakika olarak belirlenir. Böylece işçi bir makinanın çalıştığı süre içerisinde diğer üç makinayı yüklemek ve boşaltmak suretiyle dört makinaya bakılabilir. Bu durum Şekil 1. de bir «Gantt grafiği» şeklinde gösterilmiştir.

a) Çok makinalı ameliyede aylak zaman :

Makina ve işçi dengesindeki temel bağıntı;

$$(n-1) a = t$$
$$na = a + t$$
$$n = \frac{a + t}{a}$$

veya makina faaliyet süresinin makina dışı faaliyet süresine oranı (R) ise,

(4) NIEBEL, BENJAMIN W.; *Motion and Time Study*; Richard D. Irwin; S. 116.

LOCKYER, K. G.; A.g.e., S. 105.

$$R = \frac{t}{a}$$

$$n = R + 1$$

olarak bulunur. Genel olarak dengeyin tam olduğu hallerde (n) bir tam sayı olmayacaktır. Bu durumda (n) nin üst veya altındaki sayıyı kullanma gereği ortaya çıkacaktır. Eğer (n) in altındaki en yakın tam sayı (N) olarak gösterilirse,

$$N < n < N + 1$$

eşitsizliği bulunur. (N) makinanın çalıştırılması halinde işçi, N+1 makinanın çalıştırılması halinde makina aylak kalacaktır.⁵ Burada (N) veya (N+1) makinanın bir işçi tarafından idare edilmesi arasında bir seçim yapılması için ameliyenin maliyet analizinden yararlanır.

(C_o) işçinin bir saatlik çalışma maliyeti ve (C_n) makinanın bir saatlik çalışma maliyeti olsun. Bir işçinin (N) makinaı idare ettiği varsayılırsa, her saat çalışma için toplam maliyet,

$$C_o + NC_m$$

olacaktır. Bir makinanın bir saatte ürettiği birim sayısı $\left(\frac{60}{a+t}\right)$ olduğundan, her bir birimin maliyeti,

$$Y_N = \frac{C_o + NC_m}{(60/a+t)N} = \frac{60N}{C_m} (E + N) T$$

olacaktır. Formülde $E = \frac{C_o}{C_m}$ (emek ve makina maliyeti oranı) ve $T = a+t$ olarak alınmıştır.

(N+1) makina seçildiğinde ameliyenin bir saatlik çalışma maliyeti,

$$C_o + (N+1)C_m$$

olacaktır. Makinanın faaliyet devri,

$$T = (N+1) a$$

(5) LOCKYER, K. G.; A.g.e.; S. 106.

olur. Her makinanın bir saatlik üretimi,

$$\frac{60}{(N+1) a}$$

olacaktır. Her birimin maliyeti,

$$Y_N + 1 = \frac{60/(N+1)a (N+1)}{C_o + (N+1) C_m} = \frac{C_m}{60} (E + N+1) a$$

olarak belirlenir.

Eğer,

$$\frac{Y_N}{Y_{N+1}} > 1 \text{ ise } N+1 \text{ makina,}$$

$$\frac{Y_n}{Y_{N+1}} < 1 \text{ ise } N \text{ makina}$$

seçilir.⁶

aa) Çok makinalı ameliyede işçinin aylaklığı

Yukarıda belirtildiği gibi makinalar ve işçinin tam dengede olmaması, işçi veya makinaların aylaklığı ile sonuçlanmaktadır. İşçinin aylak kaldığı zaman \dot{I}_o olarak gösterilirse, işçi tarafından yönetilen makinaların sayısı da (N) olarak alınırsa,

$$(N-1)a < t$$

$$N < \frac{a + t}{a}$$

bağıntısı bulunur. Bu durumda makina faaliyet devri olan T,

$$T = a + t$$

olacaktır. İşçinin aylak kaldığı zaman ise,

$$\dot{I}_o = T - Na$$

bağıntısı ile belirlenir. İşçinin aylak kaldığı sürenin makina faaliyet devrine oranı,

(6) EILON, Samuel.; A.g.e., S. 286.

NIEBEL, Benjamin; A.g.e., S. 126, 127.

$$\frac{\dot{I}_o}{T} = 1 - N \frac{a}{T}$$

$$\frac{\dot{I}_o}{T} = 1 - \frac{N}{n}$$

olarak bulunur. $a = 2$, $t = 5$ ve $N = 3$ olmak üzere bir işçinin yönettiği üç makina için bir Gantt Grafiği Şekil 2. de gösterilmiştir.

bb) Çok makinalı ameliyede işçinin aylaklığı

Makinanın aylak kaldığı süre \dot{I}_m olarak alındığında, bir işçinin (N) makinayı yönetmesi halinde, aşağıdaki şart gerçekleşecektir.

$$(N-1) a > t$$

$$N > \frac{a+t}{a}$$

Bu durumda makinaların faaliyet devri olan T,

$$T = Na$$

olacaktır. Makina aylaklığı ise,

$$\dot{I}_m = T - na$$

$$\frac{\dot{I}_m}{T} = 1 - \frac{na}{T}$$

$$\frac{\dot{I}_m}{T} = 1 - \frac{n}{N}$$

olacaktır. $t = 5$, $N = 4$ ve $a = 2$ için $n = \frac{a+t}{a} = 3 \frac{1}{2}$ bulunur.

İdeal denge için işçinin $3 \frac{1}{2}$ makinayı yönetmesi gerekir.

Uygulamada işçi 3 veya 4 makina yönetebilir. İşçi 3 makinayı yönettiğinde işçinin aylığı,

$$\frac{\dot{I}_o}{T} = 1 - \frac{3}{3,5} = \frac{1}{7}$$

bulunur. Bu oran işçini toplam makina faaliyet devrinin $\left(\frac{1}{7}\right)$ si kadar aylak kalacağını gösterir.

Eğer işçi (4) makinayı yönetirse,

$$\frac{\dot{I}_m}{T} = 1 - \frac{3,5}{4} = \frac{1}{8}$$

olur ki, bu da makinanın faaliyet devrinin ($\frac{1}{8}$) i kadar aylak kaldığını gösterir. Bu durum Şekil 3. de Gantt grafiğinde gösterilmiştir.

b) Çok makinalı ameliyede tesadüfi müdahale :

Önce yapılan açıklamalarda aylıklık ve müdahalelerin önceden bilinen nedenlere bağlı olarak ortaya çıktığı varsayılmıştı. Uygulamada makinanın ve işçinin aylak kalması önceden kestirilmeyen nedenlerden de olabilir. Üretim ameliyesi devamlı olarak istatistik kalite kontrolü altında olduğu zamanda ortaya çıkan ve önceden bilinmeyen bir aksaklığın giderilmesi için işçi makinayı durduracaktır. Makinanın ayarlanması için geçen süre işçi ve makina için bir zaman kaybıdır. Bu şekilde kaybedilen zamana «Tesadüfi müdahale» süresi» denir.⁷

Bu durumda,

$$N < \frac{a+t}{a}$$

eşitsizliği ortaya çıkar ve işçinin aylak kaldığını gösterir. Tesadüfi müdahale halinde problemin aydınlığa kavuşması için gözlem yapmak gerekir. Gözlem metodu ekonomik olmadığından başka metodların uygulanması gereği ortaya çıkmıştır. Bu konuda birçok grafik ve tablo hazırlanmıştır. Örneğin Wright, Dale Jones ve Ashcroft'un tabloları.⁸ Bu tabloların dayandığı varsayımlar tartışmalıdır. Buna rağmen söz konusu tabloları kullanan işletmelerin oldukça iyi sonuçlar aldığı söylenebilir. Aşağıda bu tablolardan en çok kullanılan ASHCROFT tablolarından sözedilecektir.

(7) LUNDY, James L., *Effective Industrial Management*; Macmillan Company; New York 1957 S. 239.

LOCKYER, K. G.; A.g.e., S. 112.

(8) Wright tabloları hakkında geniş bilgi için bkz. NIEBEL, Benjamin; A.g.e., S. 117.

Bu tablolar H.Ashcroft tarafından bir çok makinayı bir işçi yönettiğinde, makinaların verimli olma oranının kolayca hesaplanması için hazırlanmıştır. Sözkonusu tablolar hazırlanırken $(\frac{a}{t})$ nin bilindiği kabule edilmiştir.

Ashcroft tabloları aşağıdaki varsayımlara dayanır :

1. Makinaların bozulması tesadüfidir :

Eğer makinanın bozulması tesadüfi ise, bu makinanın bir (t) periyodu içinde çalışma ihtimali,

$$H = e^{-kt}$$

olur. Burada (k) makina sayısına dayanan bir katsayıdır. İki makinalı bir problemde bir makina çalışırken diğeri işçi tarafından hazırlanıyorsa, ihtimal,

$H = e^{-P}$ dir. Burada (P), makinanın çalışmaya hazırlanma zamanının makinanın çalışma zamanına oranı olan $(\frac{a}{t})$ ye eşittir. İkinci makinanın durma ihtimali,

$P = (1 - e^{-P})$ olur. Bu tablolar Poisson dağılımının üstel fonksiyonu tablolarıdır.

2. İşçinin çalışma süresi sabittir.

Ashcroft sayısı (A_N), (N) makinayı idare eden bir işçinin tesirli olarak bir saat içinde baktığı makina sayısıdır. Başka bir deyimle, Ashcroft sayıları (N) makinanın beklenen çıktılarının ölçüsüdür.

$P = \frac{1}{R}$ (R daha önce $\frac{t}{a}$ ya eşit alınmıştı) olarak alınır.

Esas hesaplamada Ashcroft herhangi bir bozulmaya harcanan zamanı sabit olarak farzetmiştir. Ondan sonraki çalışmalarda tamir süresi dağılımındaki değişik faraziyelere bağlı olarak (A_N) e farklı değerler bulunmuştur. Bu farklar (a) ve (t) nin güvenilir biçimde tayin edilmesi halinde önemsiz olmaktadır. Örneğin bir işçinin o makineye bağlı, makine dışı faaliyeti süresi 2 dakika ve makina faaliyet süresi 100 dakika olarak alınırsa,

$$N = 10$$

$$P = \frac{a}{t} = \frac{100}{2} = 0,02 \text{ ve}$$

Ekte görülen tablodan bu değerler için $A_N = 9.76$ olarak bulunur. Bu sonuç bize bir saat çalışan on makinanın gerçekte 9,76 saat çalıştığını gösterir.

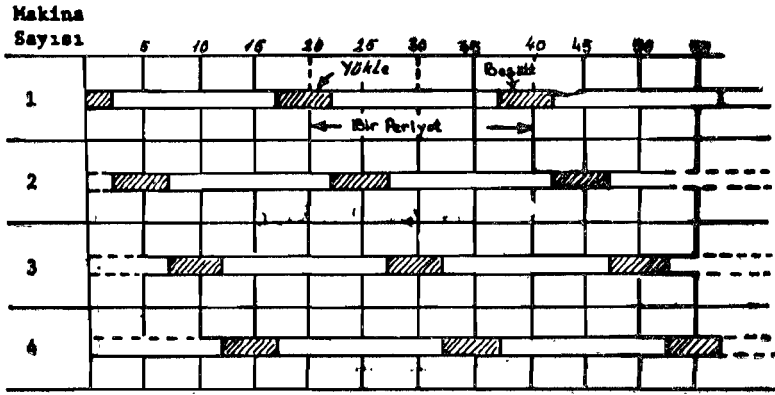
EK — ASHCOROFT SAYISI

P = 0.010 to 0,021

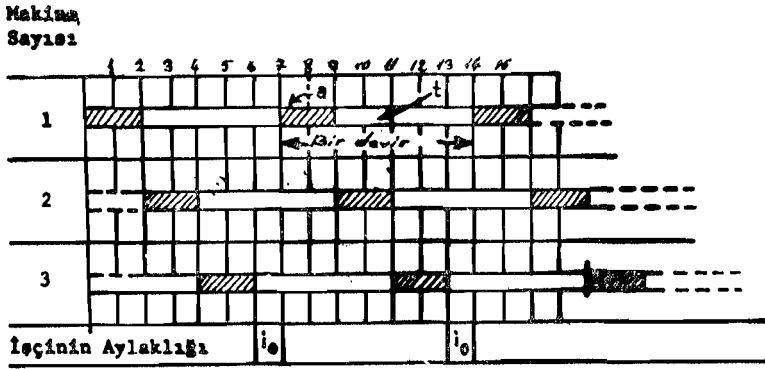
N	P									
	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,020
1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,984	0,983	0,982	0,980
2	1,98	1,98	1,98	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,96	1,96
3	2,97	2,97	2,96	2,96	2,96	2,95	2,95	2,95	2,95	2,94
4	3,96	3,95	3,95	3,95	3,95	3,93	3,93	3,93	3,93	3,92
5	4,95	4,94	4,94	4,93	4,93	4,92	4,92	4,91	4,91	4,89
6	5,94	5,93	5,92	5,92	5,91	5,00	5,00	5,89	5,88	5,87
7	6,93	6,92	6,91	6,90	6,80	6,89	6,88	6,87	6,86	6,85
8	7,91	7,91	7,90	7,89	7,88	8,85	8,84	8,83	8,82	8,80
9	8,90	8,89	8,88	8,87	8,86	7,87	7,86	7,85	7,84	7,82
10	9,89	9,88	9,87	9,85	9,84	16,67	16,6	16,6	16,6	16,5
11	10,88	10,87	10,85	10,84	10,82	9,83	9,82	9,81	9,79	9,76
12	11,87	11,85	11,84	11,82	11,81	10,81	10,80	10,80	10,80	10,70
13	11,87	12,84	12,82	12,80	12,79	11,79	11,80	11,80	11,70	11,70
14	13,84	13,92	13,80	13,79	13,77	12,77	12,80	12,70	12,70	12,70
15	14,83	14,81	14,79	14,77	14,74	13,75	13,70	13,70	13,70	13,60
16	15,81	15,79	15,77	15,75	15,72	14,72	14,7	14,7	14,7	14,6
17	16,80	16,78	16,75	16,73	16,70	15,70	15,7	15,6	15,6	15,6
18	17,79	17,76	17,73	17,71	17,68	17,65	17,6	17,6	17,6	17,5
19	18,77	18,74	18,72	18,69	18,65	18,62	18,6	18,6	18,5	18,4
20	19,76	19,73	19,70	19,60	19,63	19,59	10,60	19,50	19,50	19,40

PP = 0.022 den 0,033

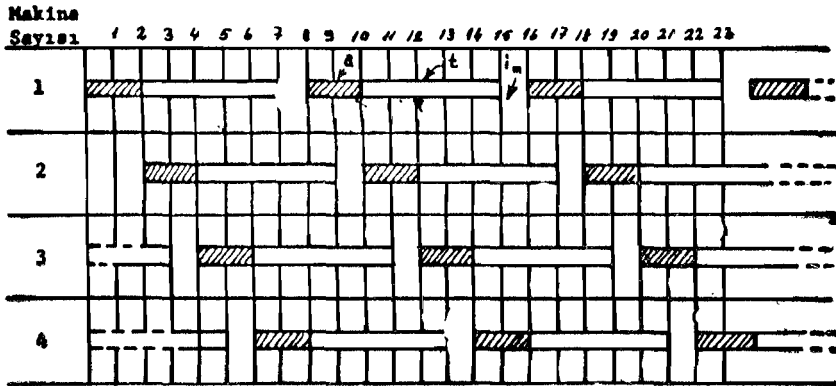
N	P									
	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,033
1	0,979	0,978	0,977	0,976	0,974	0,974	0,973	0,972	0,971	0,968
2	1,960	1,960	1,950	1,950	1,950	1,950	1,940	1,940	1,940	1,930
3	2,930	2,930	2,93	2,92	2,92	2,92	2,91	2,91	2,91	2,90
4	3,91	3,90	3,90	3,90	3,89	3,89	3,88	3,88	3,87	3,86
5	4,88	4,88	4,87	4,87	4,86	4,85	4,85	4,84	4,84	4,82
6	5,86	5,85	5,84	5,84	5,83	5,82	5,81	5,80	5,80	5,78
7	6,83	6,72	6,81	6,80	6,79	6,78	6,78	6,77	6,76	6,73
8	7,80	7,79	7,78	7,77	7,76	7,75	7,74	7,72	7,71	7,68
9	8,77	8,76	8,74	8,73	8,72	8,71	8,69	8,68	8,67	8,62
10	9,74	9,72	9,71	9,69	9,68	9,66	9,65	9,63	9,62	9,57
11	10,7	10,7	10,7	10,7	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,5
12	11,7	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,5	11,5	11,5	11,4
13	12,6	12,6	12,6	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,4	12,4
14	13,6	13,6	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,4	13,4	13,3
15	14,5	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,3	14,2
16	15,5	15,5	15,4	15,4	15,4	15,3	15,3	15,3	15,2	15,1
17	16,5	16,4	16,4	16,3	16,3	16,3	16,2	16,2	16,1	16,0
18	17,4	17,4	17,3	17,3	17,2	17,2	17,1	17,1	17,0	17,8
19	18,4	18,3	18,2	18,2	18,1	18,1	18,0	17,9	17,8	17,8
20	19,3	19,3	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	18,9	18,8	18,6



ŞEKİL—1 : Bir işçi ve dört makina dengede.



ŞEKİL—2 : $N < \frac{a+t}{a}$, $T = a + t$ olduğunda bir işçinin üç makinaı yönetmesi halinde 1 kadar aylak kapasite kalması durumu. Burada $a = 2$, $t = s$ ve $N = 3$ alınmıştır.



ŞEKİL—3 : $N >$ ve $T = Na$ olduğu halde bir işçinin dört makinaı yönetmesi sonucu ortaya çıkan aylak makina kapasitesi (t). Burada $a = 2$, $t = 5$ ve $N = 4$ alınmıştır.