BAKIM YÖNETİMİ
ÖRNEK PROBLEMLER

Arıza Oranı

Arıza oranı (λ), bir zaman dilimi içerisinde ortaya çıkan arıza sayısıdır.

$$\text{Arıza Oranı (AO)} = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Test edilen parça sayısı}} \text{ x } 100$$

$$\lambda = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Toplam çalışma süresi}}$$

Örnek Problem: 100 adetten oluşan bir parti elektronik komponent 2000 saat test edildikten sonra elde edilen sonuçlar şöyledir:

Birinci arıza : 1200 saatte
İkinci arıza : 1450 saatte
Üçüncü arıza : 1720 saatte
Dördüncü arıza: 1905 saatte
ortaya çıkmıştır.

$$\text{Arıza Oranı (AO)} = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Test edilen parça sayısı}} \text{ x } 100$$

$$\text{AO} = \frac{4}{100}\ 100 = \%4$$

Ayrıca 4 komponentten;

Birincisi 2000 – 1200 = 800 saat
İkincisi 2000 – 1450 = 550 saat
Üçüncüsü 2000 – 1720 = 28 saat
Dördüncüsü 2000 – 1905 = 95 saat
olmak üzere toplam 1725 saat çalışmadığı görülmektedir.

Hiç arıza olmasaydı 2000 x 100 = 200000 saat çalışma süresi olacaktı.

Fakat yukarıda 4 komponentin çalışılmayan süreleri olan 1725 saat çıkartıldığında toplam çalışma süresi 200000 – 1725 = 198275 saat bulunur.

Buna göre arıza oranı (süre cinsinden);

$$\lambda = \frac{\text{Arıza sayısı}}{\text{Toplam çalışma süresi}}$$

$$\lambda = \frac{4}{198275} = 0.00002$$

olarak bulunur.

Arızalar Arası Ortalama Süre (AAOS)

Arızalar arası ortalama süre arıza oranının tersi olup, çalışma süresinin arıza oranına oranı olarak ifade edilir.

$$\text{AAOS} = \frac{\text{Çalışma süresi}}{\text{Arıza oranı}}$$

Örnek Problem: Geçen örnek için;

$$\text{AAOS} = \frac{1}{0.00002} = 50000 \text{ saat}$$

Arızanın ortaya çıkması ortalama her 50000 saatte bir olarak beklenmektedir.

Elverişlilik (Availability)

Bir sistemin çalışmaya hazır olma derecesidir. Bir makine arıza yapmış veya tamir görüyorsa işe elverişli değil demektir. Arızalar arası ortalama süre AAOS, ortalama bakım süresi OTS olmak üzere elverişlilik aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$\text{Elverişlilik} = \frac{\text{AAOS}}{\text{AAOS} + \text{OTS}}$$

Örnek Problem: Bir bilgisayarın ortalama çalışma süresi 100 saat olup, arıza yaptığında ortalama tamir süresi 5 saat olarak verilmektedir. Bilgisayarın elverişliliğini bulunuz.

$$\text{Elverişlilik (1)} = \frac{100}{100 + 5} = 0.952$$

Bilgisayara koruyucu bakım uygulandığında arızalar arası ortalama süre 120 saate yükseltilebilmektedir. Ayrıca, bilgisayarın tamiri için daha nitelikli bir hizmet firması seçilerek tamir süresi 4 saatte gerçekleştirilmektedir. Buna göre yeni durum için bilgisayarın elverişliliği ne olur?

$$\text{Elverişlilik (2)} = \frac{120}{120 + 4} = 0.968$$

Genel Ekipman Verimliliği

Tüm Makina Etkinliği = Kullanılabilirlik x Performans etkinliği x Kalite oranı

a) **Kullanılabilirlik:** Bir tesis veya makinanın fiili üretim süresinin teorik üretim süresine oranıdır. Teorik üretim süresi planlı bakım süreleri hariç bir makinanın bir peryot içinde en fazla üretimde bulunabileceği süredir. Teorik üretim süresi yükleme süresi olarak da adlandırılmaktadır.

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{\text{Üretim süresi}}{\text{Yükleme süresi}}$$

Burada;

Üretim süresi = Yükleme süresi − Duruşlar süresi

Yükleme süresi = Kullanılabilir süre − Planlı duruş süresi

Planlı duruş süresi = (Planlı bakım + Üretken bakım) duruş süresi

Duruşlar süresi = Arızalar + (Ayar + Hazırlık + Geçiş) süresi

b) **Performans Etkinliği:** Bir tesis veya makine öngörülenden daha düşük hızda çalışır ve normal hızda üretebileceği parça sayısından daha az parça üretir; bu bir kayıptır. Düşük hızda çalışmanın nedeni, işlenen malzemenin uygun olmaması, kalıp hatası, enerji sorunu vb. olabilir.

Performans etkinliği = Net üretim oranı x Üretim hızı oranı

$$\text{Üretim hızı oranı} = \frac{\text{Teorik çevrim süresi}}{\text{Fiili çevrim süresi}}$$

$$\text{Net üretim oranı} = \frac{\text{Fiili üretim süresi}}{\text{Üretim süresi}}$$

$$\text{Proformans Etkinliği} = \frac{\text{Teorik çevrim süresi} * \text{Üretim miktarı}}{\text{Üretim süresi}}$$

c) **Kaliteli ürün oranı:**

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{\text{Standartlara uygun üretim miktarı}}{\text{Toplam üretim miktarı}}$$

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{\text{Üretim miktarı} - \text{Kusurlu ürün sayısı}}{\text{Üretim miktarı}}$$

Örnek Problem: Günlük çalışma süresi 8 saat, planlı duruşlar 30 dakika, günlük duruşlar 20 dakika arıza, 20 dakika ayar ve 30 dakika hazırlık, parça başına teorik çevrim süresi 0.24 dakika ve fiili çevrim süresi 0.32 dakika, günlük üretim miktarı 1000 parça olup, üretilen parçaların %2'sinin hatalı olduğu belirlenmiştir.

Çözüm:

Veriler:

Günlük kullanılabilir süre = 8 x 60 = 480 dak

Planlı duruş süresi = 30 dak

Duruşlar süresi = 20 + 20 + 30 = 70 dak

Teorik çevrim süresi = 0.6 dak/adet

Fiili çevrim süresi = 0.8 dak/adet

Üretim miktarı = 400 adet

Hatalı ürün miktarı = 400 * 0.02 = 8 adet

Kaliteli ürün miktarı = 400 – 8 = 392 adet

$$\text{Yükleme süresi} = \text{Kullanılabilir süre} - \text{Planlı duruş süresi}$$

$$\text{Yükleme süresi} = 8 \text{ x } 60 \text{ dak} - 30 \text{ dak} = 450 \text{ dak}$$

$$\text{Üretim süresi} = \text{Yükleme süresi} - \text{Duruşlar süresi}$$

$$\text{Üretim süresi} = 450 - 70 = 380 \text{ dak}$$

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{\text{Üretim süresi}}{\text{Yükleme süresi}}$$

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{380 \text{ dak}}{450 \text{ dak}} * 100$$

$$\mathbf{Kullanılabilirlik} = \%\mathbf{84.44}$$

$$\text{Performans etkinliği} = \text{Net üretim oranı x Üretim hızı oranı}$$

$$\text{Üretim hızı oranı} = \frac{\text{Teorik çevrim süresi}}{\text{Fiili çevrim süresi}}$$

$$\text{Üretim hızı oranı} = \frac{0.6 \text{ dak/adet}}{0.8\ dak/adet} * 100$$

$$\text{Üretim hızı oranı} = \%75.00$$

$$\text{Net üretim oranı} = \frac{\text{Fiili üretim süresi}}{\text{Üretim süresi}}$$

$$\text{Fiili üretim süresi} = \text{Fiili çevrim süresi} * \text{Üretim miktarı}$$

$$\text{Fiili üretim süresi} = 0.8\ [\text{dak/adet}] * 400\ [\text{adet}] = 320 \text{ dak}$$

$$\text{Net üretim oranı} = \frac{320 \text{ dak}}{380 \text{ dak}} * 100 = \%84.21$$

$$\text{Performans etkinliği} = 0.8421 * 0.75$$

$$\mathbf{Performans\ etkinliği} = \mathbf{0.6315} = \%\mathbf{63.15}$$

veya

$$\text{Proformans Etkinliği} = \frac{\text{Teorik çevrim süresi} * \text{Üretim miktarı}}{\text{Üretim süresi}}$$

$$\text{Proformans Etkinliği} = \frac{0.6 \text{ dak/adet} * 400 \text{ adet}}{380\ dak} * 100$$

$$\mathbf{Proformans\ Etkinliği} = \%\mathbf{63.15}$$

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{\text{Standartlara uygun üretim miktarı}}{\text{Toplam üretim miktarı}}$$

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{392\ adet}{400\ adet} * 100$$

Kaliteli ürün oranı = %98

veya

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{\text{Üretim miktarı} - \text{Kusurlu ürün sayısı}}{\text{Üretim miktarı}}$$

$$\text{Kaliteli ürün oranı} = \frac{400 - 8}{400} * 100$$

Kaliteli ürün oranı = %98

Tüm Makina Etkinliği = Kullanılabilirlik x Performans etkinliği x Kalite oranı

$$\text{TME} = 0.8444 * 0.6315 * 0.98$$

$$\mathbf{TME = 0.5226 = \%52.26}$$

A	Günlük çalışma süresi (Kullanılabilir süre)	=	8 saat x 60 dak/saat	=	480 dak
B	Planlı duruşlar			=	20 dak
C	Yükleme süresi (A-B)	=	480 dak – 30 dak	=	450 dak
D	Duruşlar süresi	=	20+20+30	=	70 dak
E	Üretim süresi (C-D)	=	450 dak – 70 dak	=	380 dak
G	Üretim miktarı			=	1000 adet
	Hatalı ürün miktarı	=	1000 adet x 0.02	=	20 adet
	Kaliteli ürün miktarı	=	1000 adet – 20 adet	=	980 adet
H	**Kaliteli ürün oranı**	**=**	**980 adet/1000 adet**	**=**	**0.98**
I	Teorik çevrim süresi			=	0.6 dak/adet
J	Fiili çevrim süresi			=	0.8 dak/adet
F	Fiili üretim süresi (JxG)	=	0.32 dak/adet x 1000 adet	=	320 dak
T	**Kullanılabilirlik (E/C)**	**=**	**380 dak/450 dak**	**=**	**0.8444**
M	Üretim hızı oranı (I/J)	=	0.24 dak/adet / 0.32 dak/adet	=	0.75
N	Net üretim oranı (F/E)	=	320 dak / 380 dak	=	0.8421
L	**Performans oranı (MxN)**	**=**	**0.75 x 0.8421**	**=**	**0.6316**
	Toplam Ekipman Verimliliği (TxLxH)	**=**	**0.8444 x 0.6316 x 0.98**	**=**	**0.5227**

Sıfır Faiz Oranında Optimum Yenileme Peryodu

Faiz oranının sıfır olduğu durumda minimum maliyeti veren yenileme peryodu

$$TM = \frac{P - S}{n} + O + (n - 1)\frac{m}{2}$$

$$d\frac{TM}{dn} = -\frac{P - S}{n^2} + \frac{m}{2} = 0$$

$$n = \sqrt{\frac{2(P - S)}{m}}$$

Burada;

S = Hurda değer

P = Aktifin başlangıç maliyeti

O = Yıllık işletme giderleri + bakım giderlerinin sabit kısmı

m = Bakım maliyetlerinin her yıl artan miktarı

n = Makinanın ekonomik ömrü

TM = Toplam maliyet

Örnek Problem: Yatırım tutarı 200000 TL ve hurda değeri 20000 TL olarak tahmin edilen bir makinanın yıllık işletme ve sabit bakım giderleri toplamı 10000 TL, bakım maliyetlerinin her yıl artan değeri 3000 TL'dir. Makinanın ekonomik ömrünü ve yıllık toplam maliyetini bulunuz.

Çözüm

Veriler:

$P = 200000\ \text{TL}, S = 20000\ \text{TL}, O = 10000\ \text{TL/yıl}, m = 3000\ \text{TL/yıl}$

Ekonomik ömür:

$$n = \sqrt{\frac{2(P - S)}{m}}$$

$$n = \sqrt{\frac{2 * (200000 - 20000)}{3000}}$$

$$n = 11\ \ yıl$$

Toplam maliyet:

$$TM = \frac{P - S}{n} + O + (n - 1)\frac{m}{2}$$

$$TM = \frac{200000\ \text{TL} - 20000\ \text{TL}}{11\ \text{yıl}} + 10000\ \text{TL/yıl} + (11 - 1)\frac{3000\ TL/yıl}{2}$$

$$TM = 24932\ TL/yıl$$

Ekonomik ömür süresince toplam maliyet:

$$ETM = n * TM$$

$$ETM = 11\ yıl * 24932\ TL/yıl$$

$$ETM = 273113\ TL$$

Örnek Problem: Bir tesiste kullanılmak üzere iki alternatif makine üzerinde değerlendirme yapılmasına karar verilmiştir.

A makinasının satınalma maliyeti 150000 TL, hurda değeri sıfır TL, bakım maliyetlerinin artan miktarı 5000 TL, yıllık işletme giderleri 8000 TL'dir.

B makinasının satınalma maliyeti 200000 TL, hurda değeri 30000 TL, bakım maliyetlerinin artan miktarı 3000 TL, yıllık işletme giderleri 5000 TL'dir.

Çözüm

Ekonomik ömür:

$$n = \sqrt{\frac{2(P - S)}{m}}$$

A makinası:

$$n_A = \sqrt{\frac{2(150000 - 0)}{5000}} = \sqrt{\frac{300000}{5000}} = \sqrt{60} = 7.75 \text{ yıl}$$

B makinası:

$$n_B = \sqrt{\frac{2(150000 - 30000)}{3000}} = \sqrt{\frac{240000}{3000}} = \sqrt{80} = 8.94 \text{ yıl}$$

Toplam maliyet:

$$TM = \frac{P - S}{n} + O + (n - 1)\frac{m}{2}$$

A makinası:

$$TM_A = \frac{150000 - 0}{7.75} + 8000 + (7.75 - 1)\frac{5000}{2}$$

$$TM_A = 19355 + 8000 + 16875$$

$$\mathbf{TM_A = 44230\ TL}$$

B makinası:

$$TM_B = \frac{200000 - 30000}{8.94} + 5000 + (8.94 - 1)\frac{3000}{2}$$

$$TM_B = 19016 + 5000 + 11910$$

$$\mathbf{TM_B = 35926\ TL}$$

B makinasının toplam maliyeti düşük, ekonomik ömrü yüksek olup; seçilir.

Maliyet Analizi

Faiz Hesaplama Yöntemleri

Zamanın fonksiyonu olarak faiz; yıllık, aylık ve günlük olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

A: Anapara (Kapital)

F: Faiz tutarı

n: Zaman

t: Faiz oranı

Yıllık faiz:

$$F = \frac{A\,n\,t}{100}$$

Aylık faiz:

$$F = \frac{A\,n\,t}{1200}$$

Günlük faiz:

$$F = \frac{A\,n\,t}{36000}$$

Faiz iki şekilde hesaplanır: Basit faiz ve bileşik faiz.

a) Basit Faiz

Basit faiz halinde faiz, faiz dönemi içerisinde sadece anaparanın üzerinden hesaplanır ve faize faiz hesaplanmaz.

Anapara ve faiz tutarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$F = P\,(1 + i\,n)$$

Sadece faiz tutarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$F_A = P\,(i\,n)$$

b) Bileşik Faiz

Bileşik faiz halinde faiz, her dönem, bir önceki dönemdeki anapara ve faizi toplamı üzerinden hesaplanır.

$$F = P\,(1 + i)^n$$

Burada F değeri, bugünkü P değerinin gelecekteki değeridir.

Gelecekteki değer F ise, bunun bugünkü P değeri

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Döneme ait faiz tutarı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_A = F - P$$

P kadar anapara % i faiz oranı üzerinden n yıl sonra F gibi bir tutara ulaşıyorsa bu ilişki ekonomik eşitlik denen aşağıdaki fonksiyonla ifade edilebilir.

$$F = f\,(P, \%\,i, n)$$

Örnek Problem: Bir işletme üretim sistemi için alternatif iki makinayı ekonomik olarak karşılaştırama suretiyle bir seçim yapacaktır. A makinasının satınalma maliyeti 250000 TL, işletme ve bakım giderleri 10000 TL/yıl, ömrü sonundaki hurda değeri 30000 TL'dir. B makinasının satınalma maliyeti 200000 TL, işletme ve bakım giderleri 20000 TL/yıl ve ömrü sonundaki hurda değeri o TL'dir. Makine ömrü 20 yıl ve faiz oranı %10'dur.

Çözüm

Veriler:

	A	B
Satınalma maliyeti (TL)	250000	200000
İşletme ve bakım giderleri (TL/yıl)	10000	20000
Hurda değer (TL)	30000	0
Faiz oranı (%)	10	

A makinası toplam maliyeti:

Makinanın gelecek değeri:

$$P_A = F(1+i)^n$$

$$P_A = 250000\ (1+0.10)^{20}$$

$$P_A = 1681875\ \text{TL}$$

İşletme ve bakım giderlerinin gelecek değeri

$$F_A = A\ \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$F_A = 10000\ \frac{(1+0.10)^{20} - 1}{0.10}$$

$$F_A = 572750\ \text{TL}$$

$$TM_A = P_A + F_A - H_A$$

$$TM_A = 1681875 + 572650 - 3000$$

$$TM_A = 1651875\ \text{TL}$$

B makinası toplam maliyeti:

Makinanın gelecek değeri:

$$P_B = F\ (1+i)^n$$

$$P_B = 200000\ (1+0.10)^{20}$$

$$P_B = 1345500\ \text{TL}$$

İşletme ve bakım giderlerinin gelecek değeri

$$F_B = A\ \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$F_B = 20000\ \frac{(1+0.10)^{20} - 1}{0.10}$$

$$F_B = 1145500\ \text{TL}$$

$$TM_B = P_A + F_A - H_A$$

$$TM_B = 1345500 + 1145500 - 0$$

$$TM_B = 2491000\ \text{TL}$$

$$TM_A = 1651875\ \text{TL} < TM_B = 2491000\ \text{TL}$$

Teçhizat Yenileme Sorunu

Örnek Problem: Bir otomobil tamir atölyesi, bir motor analiz makinasını her zaman hazır bulundurmalıdır. Yeni bir motor analiz makinası $1000'a mal olmaktadır. i. yılındaki bir motor analiz makinasını onarma maliyeti şu şekildedir (Ö. Kabak, http://web.itu.edu.tr/kabak/dersler/EM302/pdf/dinamik_slayt.pdf):

m1 = $60, m2 = $80, m3 = $120.

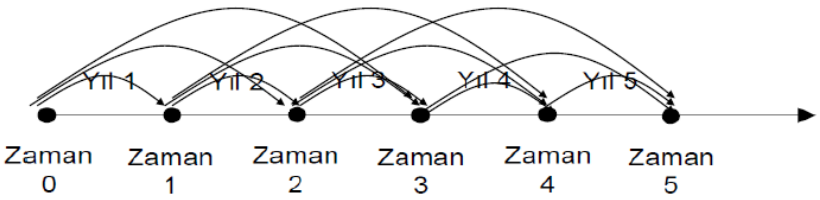
Bir analiz makinası 1, 2 veya 3 yıl kullanılabilir. i yıldır kullanılan makina yenisiyle değiştirildiğinde, s_i hurda değeri elde edilir. Yıllara göre hurda değerler

s_1=$800, s_2=$600, s_3=$500.

şeklindedir. Şirketin şu an (zaman 0; şekile bakınız) yeni bir alet alması gerektiği gerçeğini göz önüne alarak gelecek beş yıl için şirketin net maliyetlerini

[(onarım maliyetleri) + (değiştirme maliyetleri) –(hurda değeri)]

enazlayacak bir satın alma politikası belirleyiniz.



Ağ gösterimi

Çözüm

Öncelikle atölye yeni bir makina aldığında, bu makinayı yenisiyle ne zaman değiştireceğine karar vermelidir. Bu doğrultuda, g(t): t zamanında yeni bir makina alındığında t. zamandan 5. zamana kadar karşılaşılan en küçük net maliyet olarak tanımlanmıştır (Bu değerde yeni alınan makinanın ücreti ile, hurda değeri de göz önünde bulundurulmuştur). Ayrıca c_{tx} bir makinayı t zamanında alıp x zamanına kadar kullanmanın net maliyetidir (satın alma ve hurda maliyetleri de buna eklenmiştir).

Bu durum için uygun yineleme bağıntısı aşağıdadır:

$$g(t) = \min\{c_{tx} + g(x)\} \quad (t = 0, 1, 2, 3, 4)$$

Makinayı x zamanında değiştirme kararı alındığında t. zamandan 5. zamana kadar oluşan maliyet, makinanın alımından x zamanındaki satışına kadar oluşan maliyet (c_{tx}) ile x zamanından 5. zamana kadar (x zamanında yeni bir makina alınacağı göz önünde bulundurularak) oluşan maliyetin (g(x)) toplamıdır. Söz konusu bağıntı t+1 ≤ x ≤ t+3 ve x≤5 koşullarını sağlamalıdır. Bu sorun beş yıllık bir zaman dilimini kapsadığından, 5. zaman için oluşan maliyet 0'dır: g(5)=0 yazılabilir

Bakım maliyeti, hurda değer ve satın alma maliyeti sabit kabul edildiğinden her bir c_{tx} sadece makinanın ne kadar elde tutulacağı ile ilgilidir. Diğer bir deyişle c_{tx} sadece x – t ile ilgilidir.

$$c_{tx} = s_0 + m_1 + \cdots . + m_x - s_{x-t}$$

s_0: Yeni makina maliyeti

m_i: Makina bakım maliyeti

s_{x-t}: Makina hurda değeri

Buradan şu sonuçlara ulaşılır:

$c_{01} = c_{12} = c_{23} = c_{34} = c_{45} = s_0 + m_1 - s_{0-1}$

$c_{01} = 1000 + 60 - 800 = 260$

$c_{02} = c_{13} = c_{24} = c_{35} = s_0 + m_1 + m_2 - s_{0-2}$

$c_{02} = 1000 + 60 + 80 - 600 = 540$

$c_{03} = c_{14} = c_{25} = s_0 + m_1 + m_2 + m_3 - s_{0-3}$

$c_{03} = 1000 + 60 + 80 + 120 - 500 = 760$

Önce g(4) hesaplanır ve g(0)'a ulaşana kadar geriye doğru yineleme yapılır. x'lerin g(0), g(1), g(2), g(3) ve g(4)'teki değerleri optimal değiştirme stratejisinin belirlenmesinde kullanılır.

4 zamanında bir makina alındığında yalnız bir anlamlı karar vardır: 5 zamanına kadar makinayı elde tutmak ve hurda değerine satmak:

$g(4) = c_{45} + g(5) = 260 + 0 = 260 *$

3 zamanında yeni bir makina alınırsa 4 zamanına kadar ya da 5 zamanına kadar elde tutulabilir:

$$g(3) = \min \begin{cases} c_{34} + g(4) = 260 + 260 = 520 * \\ c_{35} + g(5) = 540 + 0 = 540 \end{cases}$$

Bir makinanın 3 zamanında alınması durumunda, daha ekonomik olduğu 4 zamanında değiştirilmesi gerektiği anlaşılır.

2 zamanında bir makina alınırsa 3., 4., veya 5. zamanda değiştirilebilir.

$$g(2) = \begin{cases} c_{23} + g(3) = 260 + 520 = 780 \\ c_{34} + g(4) = 540 + 260 = 800 \\ c_{25} + g(5) = 760 + 0 = 760 * \end{cases}$$

Bir makinanın 2 zamanında alınması durumunda, daha ekonomik olduğu 5 zamanında değiştirilmesi gerektiği anlaşılır.

1 zamanında alınan bir makina ise 2, 3, veya 4 zamanında değiştirilebilir.

$$g(1) = \begin{cases} c_{12} + g(2) = 260 + 760 = 1020 * \\ c_{13} + g(3) = 540 + 520 = 1060 \\ c_{14} + g(4) = 760 + 260 = 1020 * \end{cases}$$

1 zamanında bir makina alınırsa 2 veya 4 zamanında değiştirilmelidir.

0 zamanında bir makina alınırsa 1, 2, veya 3 zamanlarında değiştirilebilir.

$$g(1) = \begin{cases} c_{01} + g(1) = 260 + 1020 = 1280 * \\ c_{02} + g(2) = 540 + 760 = 1300 \\ c_{03} + g(3) = 760 + 520 = 1280 * \end{cases}$$

0 zamanında bir makina alınırsa 1 veya 3 zamanında değiştirilmelidir.

Seri Sistem

Sistemin başarı olasılığı/güvenilirliği

$R_{sistem} = R_A R_B$

Örnek Problem: Bir sistem her birinin güvenilirliği 0.90 olan 5 adet bağımsız ve seri bağlı elemandan oluşmuştur. Sistemin güvenilirliğini belirleyiniz. Aynı elemanların 10 tanesinden oluşturulacak sistemin güvenilirliğini belirleyerek değerlendiriniz.

$R_s = (R_i)^n$

$R_s = (0.90)^5 = 0.590$

İkinci hal:

$R_s = (0.90)^{10} = 0.349$

Sistem güvenilirliği azalmıştır.

Paralel Sistem

Sistemin güvenilirliği,

$R(t) = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)$

Örnek Problem: Üç elemandan oluşan paralel sistemde elemanların güvenilirliği 0.90 ise sistem güvenilirliğini belirleyiniz. Benzer şekilde sözkonusu sitem 10 elemandan oluşması halinde sistem güvenilirliği ne olur? Sonuçları değerlendiriniz.

$R_p = 1 - (1 - R_i)^n$

$R_p = 1 - (1 - 0.90)^3 = 0.999$

10 eleman için

$R_p = 1 - (1 - 0.90)^{10} = 1.000$

Paralel sistemlerde eleman sayısı arttıkça aynı koşullarda sistem güvenilirliği artmaktadır.

Karma sistem

Örnek Problem: Güvenilirliği 0.70 olan elemanlardan oluşturulmak üzere, A sistemi 2 elemanlı paralel, B sistemi 4 elemanlı paralel sistem olup seri bağlanmışlardır. Bütün sistemin güvenilirliğini bulunuz.

Önce her iki paralel sistemin ayrı ayrı güvenilirliği bulunur.

$R_p = 1 - (1 - R_i)^n$

$R_{pA} = 1 - (1 - 0.70)^2 = 0.910$

$R_{pB} = 1 - (1 - 0.70)^4 = 0.992$

Seri sistem

$R_s = R_{pA} \text{ x } R_{pB}$

$R_s = 0.910 \text{ x } 0.992 = 0.903$

Exponansiyel Model

- **Seri Sistem**

Bir sistem n bileşenden oluşuyor ve her bir elemanın arıza oranları $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ise seri sistemin güvenilirliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$R_s = \prod_{i=1}^{n} e^{-\lambda_i t} = e^{-(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i)t}$$

$$\lambda = \frac{1}{\theta}$$

Burada; θ sistemin ortalama ömrü veya arızalar arası ortalama süre (AAOS), λ arıza oranıdır.

Sistemin ortalama ömrü (AAOS)

$$\theta_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\theta_i}} = \frac{1}{\frac{1}{\theta_1} + \frac{1}{\theta_2} + \cdots + \frac{1}{\theta_n}}$$

Arıza oranları eşit olan n elemandan oluşan sistemlerde $n\lambda$ olarak ifade edilebileceğinden, sistemin arızalar arası ortalama süresi (AAOS) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\theta_s = \frac{1}{n\lambda} = \frac{\theta}{n}$$

Örnek Problem: A, B ve C elemanlarından oluşan bir sistemde her bileşenin arızalar arası ortalama süresi sırasıyla 100 saat, 125 saat ve 500 saattir. Tüm sistemin arıza yapmadan 5 saat çalışma olasılığını bulunuz. Sistemin ortalama ömrü ne kadardır?

Her bir bileşenin λ değerleri hesaplanır.

$$\lambda_A = \frac{1}{\theta_A} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\lambda_B = \frac{1}{\theta_B} = \frac{1}{125} = 0.008$$

$$\lambda_A = \frac{1}{\theta_C} = \frac{1}{500} = 0.002$$

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C = 0.010 + 0.008 + 0.002 = 0.02$$

$$R_s = e^{-(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i)t}$$

$$R_s = e^{-(0.02)5} = 0.90$$

Sistemin ortalama ömrü (AAOS)

$$\theta_s == \frac{1}{\frac{1}{\theta_A} + \frac{1}{\theta_B} + \frac{1}{\theta_C}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{125} + \frac{1}{500}} = \frac{1}{0.010 + 0.008 + 0.002} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ saat}$$

- **Paralel Sistem**

Bir paralel sistem n elemandan oluşuyor ve arıza oranları farklı ise sistemin güvenilirliğini hesaplamak için karmaşık eşitlikler gerekir. Burada elemanların arıza oranları eşit alınmıştır.

Paralel sistemin güvenilirliği

$$R_p(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^n$$

AAOS

$$\theta_p = \frac{1}{\lambda}\left(1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n}\right)$$

Örnek Problem: Arıza oranları aynı ve 0.10 olan paralel bağlı 3 elemandan oluşan sistemin 10 saat arıza yapmadan çalışması için güvenilirliğini ve ortalama ömrünü bulunuz.

$$R_p = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^n$$

$$R_p = 1 - (1 - e^{-0.10x10})^3 = 0.747$$

AAOS

$$\theta = \frac{1}{\lambda}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{0.10}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) = 18.33 \text{ saat}$$

Normal Dağılım

$\bar{X}$ ortalama arıza süresi ve σ_x dağılımın standart sapması ise normal dağılım tablosundan z değeri bulunarak bir elemanın ömrü (t) aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$z = \frac{t - \bar{X}}{\sigma_x}$$

Örnek Problem: Bir milin ortalama ömür ortalaması 6 yıl olan bir normal dağılım göstermektedir. Dağılımın standart sapması 1 yıldır.

a) Yedi yıldan önce (en fazla 7 yıl) milin arıza yapma olasılığı nedir?
b) Yedi yıl geçtikten sonra (en az 7 yıl) milin arızalanma olasılığı nedir?
c) Servis süresi: arıza olasılığının %10 olması için kaç yıl geçmesi gerekmektedir?

a) En fazla 7 yıl

$$z = \frac{t - \bar{X}}{\sigma_x}$$

$$z = \frac{7 - 6}{1} = 1$$

$P(z \leq 1.0) = 0.8413$ (Normal dağılım tablosu)

b) En az 7 yıl

$$P = \frac{7 - 6}{1} = 1$$

$$P(z \geq 1.0) = 1 - P(z \leq 1.0) = 1 - 0.8413 = 0.1582$$

c) %10 arıza

Arıza olasılığı 0.10 için normal dağılım tablosundan yaklaşık z = - 1.28 okunur. Buna göre %10 arıza olasılığı için

$$-1.28 = \frac{t - 6}{1}$$

$$-1.28 = t - 6$$

$$t = 6 - 1.28$$

$t = 4.72$ yıl geçmesi gerekmektedir.

Kuyruk Sistemi

Gelişlerin Dağılımı

Poisson olasılık dağılımı; belirli bir zaman peryodunda x gelişlerinin olasılığını verir. Buna göre, Poisson olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \; ; x = 0,1,2, \ldots$$

Burada; x zaman dilimindeki gelişlerin sayısı, λ bir zaman dilimindeki ortalama geliş sayısı (geliş hızı), e=2.71828'dir

Örnek Problem: Z atölyesinde geliş hızı saatte 2 müşteri $(\lambda = 2)$ ise;

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} = \frac{2^x e^{-2}}{x!}$$

$$P(0) = \frac{2^0\, e^{-2}}{0!} = e^{-2} = 0.1353$$

$$P(1) = \frac{2^1\, e^{-2}}{1!} = 2e^{-2} = 0.2706$$

$$P(2) = \frac{2^2\, e^{-2}}{2!} = \frac{4 * e^{-2}}{2} = 2\, e^{-2} = 0.2706$$

Bir saatlik süre içerisinde sıfır müşteri gelme olasılığı 0.1353, bir müşteri gelme olasılığı 0.2706, iki müşteri gelme olasılığı 0.2706 olarak bulunmuştur.

Servis Sürelerinin Dağılımı

Bir müşterinin servis istasyonunda servis başladıktan bitene kadar geçirdiği servis süresidir. Servis süreleri, en iyi eksponansiyel olasılık dağılımı ile temsil edilebilir. Sürekli bir dağılım olan eksponansiyel olasılık dağılımı eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P(\text{servis süresi } \leq t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Burada; μ bir zaman peryodunda ortalama servis gören ünite sayısı veya servis hızı, t servis süresidir.

Örnek Problem: Z atölyesinde mekanik ustası saatte ortalama üç müşteriye $(\mu = 3)$ hizmet verdiğine göre; t = 0.5 saat ve t = 1 saattten daha az sürede servis görme ihtimalini bulunuz.

$$P(\text{servis süresi } \leq 0.5 \text{ saat}) = 1 - e^{-3*0.5} = 1 - 0.223 = 0.777$$

$$P(\text{servis süresi } \leq 1.0 \text{ saat}) = 1 - e^{-3*1.0} = 1 - 0.050 = 0.950$$

Tek Kanallı Kuyruk Modeli

Belirli varsayımlar altında, tek kanallı-servisli ve tek aşamalı bir TB sistemine ait kuyruk modelinin oluşturulmasında ve problemin çözümünde kullanılan semboller ve formüller aşağıda verilmiştir.

İşleyiş karakteristikleri:

λ Birim zamanda sisteme gelen ortalama makina sayısı (geliş hızı)

μ Birim zamanda sistemde tamir edilen ortalama makina sayısı (servis hızı)

1) Sistemde hiç makine/ünite olmaması olasılığı

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

2) Kuyrukta bekleyen ortalama makina sayısı

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$$

3) Bakım sisteminde mevcut (kuyrukta bekleyenler ve tamir gören toplamı) ortalama makina sayısı

$$L = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

4) Bir makinanın kuyrukta ortalama bekleme süresi

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$$

5) Bir makinanın sistemde harcadığı (kuyrukta bekleme ve tamir süreleri toplamı) ortalama zaman

$$W = W_q + \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

6) Gelen bir ünitenin beklemek zorunda kalma olasolığı

$$P_W = \frac{\lambda}{\mu}$$

7) Sistemde n ünite bulunma olasılığı

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$$

Örnek Problem: Bir fabrikanın tamir servisine saatte ortalama 2 arızalı makinanın geldiği ve ortalama tamir süresinin 20 dakika olduğu belirlenmiştir. Serviste saat ücreti 7 TL olan bir işçi çalışmaktadır. Bir makinanın kuyrukta bekleme maliyetinin 10 TL/saat olduğu bilinmektedir. Bu verilere göre ilgili parametreleri hesaplayınız.

Çözüm

$\lambda = 2 \text{ makina/saat}$

$\mu = 3 \text{ makina/saat}$

Bakım sisteminde mevcut (kuyrukta bekleyenler ve tamir gören toplamı) ortalama makina sayısı

$$L = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

$$L = \frac{2}{3-2} = 2 \text{ adet makina}$$

Bir makinanın sistemde harcadığı (kuyrukta bekleme ve tamir süreleri toplamı) ortalama zaman

$$W = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

$$W = \frac{1}{3-2} = 1 \text{ saat}$$

Kuyrukta bekleyen ortalama makina sayısı

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$$

$$L_q = \frac{2^2}{3(3-2)} = 1.33 \text{ adet makina}$$

Bir makinanın kuyrukta ortalama bekleme süresi

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$$

$$W_q = \frac{2}{2(3-2)} = 0.67 \text{ saat}$$

TB servisinin verimi (çalışır durumda olma olasılığı)

$$\eta = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\eta = \frac{2}{3} = 0.67 = \%67$$

TB servisinin boş kalma olasılığı

$$P_o = 1 - \frac{\mu}{\lambda}$$

$$P_o = 1 - \eta$$

$$P_o = 1 - \frac{3}{2} = 0.33 = \%33$$

$$P_o = 1 - 0.67 = 0.33 = \%33$$

Günlük kuyrukta bekleme maliyeti; 8 saatlik bir işgününde 2 x 8 = 16 makina geldiği ve W_q = 0.67 saat olduğu dikkate alınarak; bekleme maliyeti 10 TL/saat x 16 adet/gün x 0.67 saat/makina = 107 TL/gün ve günlük işçilik maliyeti ise 7 TL/saat x 8 saat/gün = 56 TL/gün olduğundan, toplam maliyet;

TM = 107 + 56 = 163 TL/gün

olarak bulunur.

Aynı servis istasyonunda saat ücreti 9TL olan, buna karşılık 4 makinayı $(\mu = 4)$ tamir edebilen başka bire işçi çalışması halinde toplam maliyet aynı yol izlenerek,

40 + 72 = 112 TL/gün

olarak hesaplanabilir. Bir başka alternatif olarak sistemde bir yerine düşük ücretli iki işçinin çalıştırılması düşünülebilir. Ancak bu durumda çok kanallı kuyruk modeline ait karmaşık formüllerin kullanılması gerekir.

Çok Kanallı Kuyruk Modeli

Çok kanallı bekleme hatları için kararlı durum işleyiş karakteristiklerinin hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılır. Burada;

$\lambda =$ Sisteme geliş hızı

$\mu =$ Her bir kanal için servis hızı

$k =$ Kanal sayısı

Sistemde hiç ünite olmaması olasılığı

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \left(\frac{\lambda/\mu}{k!}\right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda}\right)}$$

Bekleme hattında ortalama ünite sayısı

$$L_q = \frac{(\lambda/\mu)^k \lambda\mu}{(k-1)!\ (k\mu - \lambda)^2} P_0$$

Sistemde ortalama ünite sayısı

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Kuyruk hattında bir ünitenin ortalama bekleme süresi

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

Sistemde bir ünitenin geçirdiği ortalama süre

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Gelen bir ünitenin beklemek zorunda kalma olasılığı

$$P_q = \frac{1}{k!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \left(\frac{k\mu}{k\mu - \lambda}\right) P_0$$

Sistemde n ünite bulunma olasılığı

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_0 \ ; n \leq k$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{k!\ k^{n-k}} P_0 \ ; n > k$$

P_0 değerinin kanal sayısı arttıkça hesaplanması zaman aldığından bu değer için hazır tablolar kullanılmaktadır.

Örnek Problem: Z atölyesinde aynı hızda çalışan iki usta bulunmakta ve saatte 3 araç/saat hızla çalışmaktadırlar. Bu durumda (M/M/2) modelinin işleyiş karakteristikleri $\lambda = 2$ için hesaplanmıştır.

$P_0 =$ Sistemde sıfır araç bulunması olasılığı

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{1} \frac{1}{n!}\left(\frac{2}{3}\right)^n\right] + \frac{1}{2!}\left(\frac{2}{3}\right)^2 \left(\frac{3(3)}{2(3) - 2}\right)}$$

$$P_0 = \frac{1}{1+\frac{2}{3}+\frac{1}{2}\left(\frac{4}{9}\right)\left(\frac{6}{6-2}\right)} = \frac{1}{1+\frac{2}{3}+\frac{1}{3}} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$L =$ Sistemde ortalama araç sayısı

$$L = \left(\frac{(2)(3)(2/3)^2}{1i[2(3)-2]^2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)+\frac{2}{3} = \frac{8/3}{16}\left(\frac{1}{2}\right)+\frac{2}{3} = \frac{3}{4} = 0.75 \text{ araç}$$

$W =$ Sistemde bir arabanın geçirdiği ortalama süre

$$L_q = L - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} - \frac{2}{3} = \frac{1}{12} = 0.083$$

$W_q =$ Kuyruk hattında bir aracın ortalama bekleme süresi

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0.083}{2} = 0.0415\ saat = 2.5\ dak$$

	Bir mekanik ustası $\mu = 3$ I	Bir hızlı mekanik ustası $\mu = 4$ II	İki normal hızlı mekanik ustası $\mu = 3$ III
Sistemin boş olma olasılığı (P_0)	0.33	0.50	0.50
Sistemde ortalama araç sayısı (L)	2 araç	1 araç	0.75 araç
Sistemde geçen ortalama süre (W)	60 dakika	30 dakka	22.5 dakika
Kuyrukta ortalama araç sayısı (L_q)	1.33 araç	0.50 araç	0.083 araç
Kuyrukta geçen ortalama süre (W_q)	40 dakika	15 dakika	2.5 dakika

İki mekanik usta kullanan sistem işleyiş karakteristiklerini önemli ölçüde geliştirmiştir. Ancak, yönetim bu tür kararları alırken, maliyet faktörlerini de dikkate almalıdır.

Bekleme Hattının Ekonomik Analizi

Problemin maliyet analizi için aşağıdaki verilerin bilinir olması gerekir.

C_W = Her bir ünite için birim zaman peryodu başına bekleme maliyeti

W = Sistemde geçen ortalama süre

λ = Sisteme geliş hızı

C_s = Her bir kanal için birim zaman peryodu başına servis maliyeti

k = Kanal sayısı

TM = Birim peryot başına toplam maliyet

$\text{Toplam Servis Maliyeti} = (\text{Kanal Sayısı})\ (\text{Kanal Başına Servis Maliyeti})$

$TSM = kC_s$

$\text{Toplam Bekleme Maliyeti} = (\text{Gelişlerin Sayısı})(\text{Geliş Başına Ortalama Bekleme Maliyeti})$

$TBM = (\lambda W)(C_W)$

Bekleme zamanı maliyeti kuyruktaki süreye bağlı ise;

$TBM = (\lambda W_q)\ (C_W)$

$\text{Toplam Maliyet} = \text{Toplam Servis Maliyeti} + \text{Toplam Bekleme Süresi}$

$TM = kC_s + \lambda W C_W$

Kuyrukta geçen süre halinde;

$TM = kC_s + \lambda W_q C_W$

Örnek Problem: Daha iyi servis sağlanması artan maliyeti ile azalan bekleme maliyeti arasında bir denge noktası (optimum çözüm) bulunmasına çalışılır.

Z atölyesine ilişkin üç ayrı seçenek değerlendirilmiştir.

Seçenek 1'de kuyrukta bekleme maliyeti 10 TL, serviste tek usta olup, usta saat ücreti 7 TL'dir.

Seçenek 2'de kuyrukta bekleme maliyeti 10 TL, serviste tek usta olup, saat ücreti 9 TL'dir.

Seçenek 3'de kuyrukta bekleme maliyeti 10 TL, serviste iki usta olup, herbirinin saat ücreti 7 TL'dir.

Seçenek 1.

Kuyrukta bekleme maliyeti 10 TL, yavaş çalışan usta saat ücreti 7 TL ise;

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = T * \lambda W_q C_W$

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = 8[\text{saat/gün}]\ (2)(2/3)10[\text{TL/saat}]$

$= 106.67\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = T\ kC_s$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = 8[\text{saat/gün}](1)\ 7[\text{TL/saat}] = 56\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük kuyruk sistemi maliyeti} = 106.6 + 56 = 162.67\ [\text{TL/gün}]$

Seçenek 2.

Hızlı usta ücreti 9 TL/saat

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = T * \lambda W_q C_W$

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = 8[\text{saat/gün}]\ (2)(1/4)10[\text{TL/saat}] = 40.00\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = T\ kC_s$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = 8[\text{saat/gün}](1)\ 9[\text{TL/saat}] = 72\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük kuyruk sistemi maliyeti} = 40.00 + 72 = 112.00\ [\text{TL/gün}]$

Seçenek 3.

Seçenek 1'deki servis hızı ($\mu = 3$) ile çalışan iki mekanik ustası

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = T * \lambda W_q C_W$

$\text{Toplam günlük bekleme maliyeti} = 8[\text{saat/gün}]\ (2)(0.0415)10[\text{TL/saat}]$

$= 6.64\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = T\ kC_s$

$\text{Toplam günlük servis maliyeti} = 8[\text{saat/gün}](1)\ 7[\text{TL/saat}] = 112\ [\text{TL/gün}]$

$\text{Toplam günlük kuyruk sistemi maliyeti} = 6.64 + 112 = 118.64\ [\text{TL/gün}]$

Sonuç:

Seçeneklerden en düşük maliyet 112 TL/gün ile II.S, yani hızlı çalışan ustanın servisinde gerçekleşmiştir.

Her ne kadar iki ustanın çalışması kuyrukta bekleme süresini azaltsa da (15 dakikadan 2.5 dakikaya) ikinci bir kanalın açılmış olması günlük maliyeti hızlı ustaya göre 118.64-112 = 6.64 TL/gün artırmıştır.

Atölye bu farkı önemsemeyip, servis kalitesini ve düzeyini artırmanın daha önemli olduğuna karar verirse III.S seçeneğini uygulayabilir.

Simülasyon

Örnek Problem: Bir tesisin bakım – onarım atölyesine gelen bozuk makinalar ortalama 1 adam – saatte onarılmaktadır (Buna göre, örneğin, 1 usta 1 makinayı 60 dakikada onarırsa, 15 usta 1 makinayı 4 dakikada onarır). Makinaların bozulması ile 1 dakika üretim dışı kalmasının maliyeti 10.000 PB'dir. Bakım – onarım atölyesinde çalışan ustaların ücreti 1.000 PB/saattir. Tesisteki bakım – onarım maliyetini en küçük düzeye indirmek için bakım – onarım atölyesinde kaç usta çalıştırılmalıdır.

Bu problemin çözümü için tesisin bakım – onarım atölyesinde uzunca bir gözlem yapılarak makinaların kaçar dakika aralıklarla bozulduğu konusunda bilgi edinmek gerekir. Bakım – onarım atölyesinde 30 makina gözlenerek aşağıdaki bilgiler toplanmıştır.

Gözlem sonucu elde edilen bu verilerden yararlanılarak gözlenen bu değerlerin kaç kere tekrarlandığı (frekans) ve bunların gelecekte tekrarlanma olasılıkları bulunur.

Rasgele sayı sınırları toplamalı olasılık sütunundaki sayılara göre belirlenmiştir. Örneğin, 00 – 02 arasında 0, 1 ve 2 olmak üzere 3 sayı vardır. Benzer şekilde 03 – 15 arasında 13, 16 – 35 arasında 20, 36 – 65 arasında 30, 66 – 82 arasında 17, 83 – 92 arasında 10 ve 93 – 99 arasında 7 sayı vardır. Buna göre, örneğin, 36 – 65 arasında bir sayı çekme olasılığı % 30, 83 – 92 arasında bir sayı çekme olasılığı da % 10 olacaktır.

Tablo B1. Örnek için simülasyon verileri

Bozularak Bakıma Gelen Makinalar	Gelişler Arasındaki Süre (dakika)	Bozularak Bakıma Gelen Makinalar	Gelişler Arasındaki Süre (dakika)	Bozularak Bakıma Gelen Makinalar	Gelişler Arasındaki Süre (dakika)
1	8	11	6	21	4
2	5	12	5	22	5
3	3	13	5	23	6
4	7	14	8	24	6
5	4	15	5	25	3
6	4	16	4	26	5
7	5	17	5	27	7
8	2	18	3	28	4
9	7	19	5	29	6
10	4	20	6	30	3

Tablo B2. Örnek için frekans, olasılık ve rasgele sayı sınırları

Süre (dakika)	Frekans	Olasılık (%)	Toplamalı Olasılık (%)	Rasgele Sayı Sınırları
2	1	3	3	00 – 02
3	4	13	16	03 – 15
4	6	20	36	16 – 35
5	9	30	66	36 – 65
6	5	17	83	66 – 82
7	3	10	93	83 – 92
8	2	7	100	93 – 100
Toplam	30	100		

Simülasyon uygulamaları için rasgele sayı listeleri kullanılır. Günümüzde rasgele sayı listeleri bilgisayar aracılığıyla belirlenmektedir. Rasgele sayı listesinden yararlanılırken listenin

herhangi bir yerinden rasgele bir sayı belirlenir, bu sayıdan başlanarak sıra bozulmadan istenen miktarda sayı alınır. Seçilen rasgele sayı listesi aşağıdaki gibi olduğu varsayılsın.

Tablo B3. Örnek için seçilmiş rasgele sayı listesi

99	08	13	40	51	74	15	50	40	85	21	68	58
37	93	75	80	24	59	63	03	32	50	34	02	53

Problemin çözümünde amaç, bakım – onarım atölyesinde çalışacak en uygun usta sayısını bulmaktır. Bunun için, yapay bir bakım – onarım sistemi kurulup, bu sistem kağıt üzerinde yapay olarak işletilir, diğer bir ifade ile, sistem simüle (taklit) edilir. Bu amaçla, çeşitli sayıda usta çalıştırıldığı varsayılarak her alternatifin oluşturduğu maliyetler hesaplanır, daha sonra da bu maliyetler karşılaştırılır. Hangi alternatifin maliyeti düşük ise, o alternatifteki usta sayısı arana çözüm olacaktır. Problemin çözümünde 15, 12 ve 20 usta çalıştırma alternatifi simüle edilmiştir.

15 ustanın çalıştırıldığı alternatif için hazırlanan Tablo 4.10 şu şekilde oluşturulur: Birinci satırda, ilk makina karşılığı 99 rasgele sayısına karşılık gelen geliş süresi frekans tablosundan 8 olarak alınır. İlk işlem olduğundan, atölyeye gelen ilk makine bakım işlemine girer ve 4 dakikalık işlem süresinden sonra 12. dakikada çıkar. Bakıma alınmada bekleme sözkonusu olmadığı için ilk makinanın bekleme maliyeti yoktur. İkinci satır için ikinci sıradaki 08 rasgele sayısına karşılık gelen geliş zamanı frekans tablosundan 3 olarak bulunur. Bozuk makine, 8 + 3 = 11. dakikada atölyeye gelmiştir. Ancak, atölyede henüz birinci makine son dakika işlemine tabi tutulmakta olduğu için, ikinci makine 1 dakika bekleyecek ve 10.000 PB'lik bir bekleme maliyeti oluşacaktır. Diğer satırlar da benzer şekilde doldurulur.

Tablo B4. Örnek için 15 usta çalıştırma alternatifinin 1 saatlik simülasyonu

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Bakım İçin Gelen Makinalar	Listeden Seçilen Rasgele Sayı	Makine Gelişleri Asasındaki Süre (dk)	Makinanın Atelyeye Geldiği Dakika	Atelyede Bakımın Başlayacağı Dakika	Bakım – Onarım Süresi (dk)	Onarılan Makinanın Ayrılacağı Dakika	Makinanın Bekleme Süresi (dk)	Makinanın Bekleme Maliyeti (PB)
1	99	8	8	8	4	12	0	0
2	08	3	11	12	4	16	1	10.000
3	13	3	14	16	4	20	2	20.000
4	40	5	19	20	4	24	1	10.000
5	51	5	24	24	4	28	0	0
6	74	6	30	28	4	32	0	0
7	15	3	33	32	4	36	0	0
8	50	5	38	36	4	40	0	0
9	40	5	43	40	4	44	0	0
10	85	7	50	44	4	48	0	0
11	21	4	54	48	4	52	0	0
12	68	6	60	52	4	60	0	0
Toplam							4	40.000

Bekleme maliyeti = 40.000 PB, Usta maliyeti (15 x 1.000) = 15.000 PB, Toplam maliyet = 55.000 PB

Tablo B4'de 6. sütunda bakım – onarım süresi 15 usta için 60 dakika – usta /15 usta = 4 dakika olarak hesaplanır. Benzer şekilde, bakım – onarım süresi 12 usta için 5 dakika, 20 usta için 3 dakikadır.

Yapılan iki alternatif simülasyon sonucunda, 12 usta çalıştırma alternatifi 60 dakikada 402.000 PB'lik maliyet oluştururken, 15 usta çalıştırma alternatifi 55.000 PB'lik bir maliyet getirmektedir. Buna göre, bakım – onarım atölyesinde 15 usta çalıştırmanın daha ekonomik olacağı görülmektedir. Bununla birlikte, daha farklı usta sayısı, örneğin, 13, 14, 16, 17, vb. gibi alternatiflerinin de simüle edilmesi gerekir.

Tablo B5. Örnek için 12 usta çalıştırma alternatifinin 1 saatlik simülasyonu

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bakım İçin Gelen Makinalar	Listeden Seçilen Rasgele Sayı	Makine Gelişleri Asasındaki Süre (dk)	Makinanın Atelyeye Geldiği Dakika	Atelyede Bakımın Başlayacağı Dakika	Bakım – Onarım Süresi (dk)	Onarılan Makinanın Ayrılacağı Dakika	Makinanın Bekleme Süresi (dk)	Makinanın Bekleme Maliyeti (PB)
1	99	8	8	8	5	13	0	0
2	08	3	11	13	5	18	2	20.000
3	13	3	14	18	5	23	4	40.000
4	40	5	19	23	5	28	4	40.000
5	51	5	24	28	5	33	4	40.000
6	74	6	30	33	5	38	3	30.000
7	15	3	33	38	5	43	5	50.000
8	50	5	38	43	5	48	5	50.000
9	40	5	43	48	5	53	5	50.000
10	85	7	50	53	5	58	3	30.000
11	21	4	54	58	5	63	4	40.000
Toplam							39	390.000

Bekleme maliyeti = 390.000 PB, Usta maliyeti (12 x 1.000) = 12.000 PB,

Toplam maliyet = 402.000 PB

Şimdi de aynı koşullar için 20 usta çalıştırma alternatifinin simülasyonunu yapalım.

Tablo B6. Örnek için 20 usta çalıştırma alternatifinin 1 saatlik simülasyonu

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bakım İçin Gelen Makinalar	Listeden Seçilen Rasgele Sayı	Makine Gelişleri Asasındaki Süre (dk)	Makinanın Atelyeye Geldiği Dakika	Atelyede Bakımın Başlayacağı Dakika	Bakım – Onarım Süresi (dk)	Onarılan Makinanın Ayrılacağı Dakika	Makinanın Bekleme Süresi (dk)	Makinanın Bekleme Maliyeti (PB)
1	99	8	8	8	3	11	0	0
2	08	3	11	11	3	14	0	0
3	13	3	14	14	3	17	0	0
4	40	5	19	19	3	23	0	0
5	51	5	24	24	3	27	0	0
6	74	6	30	30	3	33	0	0
7	15	3	33	33	3	36	0	0
8	50	5	38	38	3	41	0	0
9	40	5	43	43	3	46	0	0
10	85	7	50	50	3	53	0	0
11	21	4	54	54	3	57	0	0
Toplam							39	0

Bekleme maliyeti = 0 PB, Usta maliyeti (20 x 1.000) = 20.000 PB, Toplam maliyet = 20.000 PB

Bu durumda ise, 20 usta çalıştırmanın toplam maliyeti 20.000 PB olup, daha düşük maliyetli bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır.

http://ismaildemirkan.com/?page_id=390