**ÇOK MAKİNALI SİSTEMLERDE BAKIM**

**KUYRUK MODELİ**

Farklı arıza karakteristiği olan çok sayıda makinanın birlikte bakım planlaması çok karmaşıktır ve ileri düzeyde matematik yöntemlerin uygulanmasını gerektirir.

Çok makinalı sistemlerde bakım planlamasında en çok uygulanan matematik yöntem “kuyruk modeli = queuing model” veya diğer adı ile “bekleme hattı modeli = waiting line” modelidir. Kuyruk modelinin dayandığı temel prensip Şekil 27’deki blok diyagramı ile temsil edilmiştir. Sistemin insangücü ve iş görme kapasitesi diyagramda kapalı bir kutu (black box) ile gösterilmiştir. Makinaların arıza dağılım eğrileri farklı olduğundan, her birinin servise geliş zamanlarını (arıza çıkma zamanları) ayrı ayrı tahmin etmek güçtür. Aslında bu tahminler yapılabilse bile tahminlerden sapmalar bir araya geldiğinde o kadar karmaşık bir durum ortaya çıkar ki uygulamaya geçme olanağı bulunamaz. Yapılan araştırmalar bu tür sistemlerde makinaların servis istasyonuna geliş sürelerinin genellikle Poisson dağılımına uyduğunu göstermiştir. Kuyruk modelinin amacı TB sisteminin toplam maliyetini minimum yapan kapasitesinin bulunmasıdır. Sistemin toplam maliyeti; tamir için bekleyen makinaların boş kalma maliyeti ile sistemin işletme maliyetleri toplamından ibarettir.



Şekil 27. Kuyruk modeli elemanları

Kuyrukta bekleyen sorunların çözümü tek ya da çok serviste gerçekleştirilebilir. Tek ve üç servisli iki ayrı kuyruk modeli Şekil 28’de gösterilmiştir. Servis bekleyen insanlara, eşyalara, makinalara veya benzeri faktörlere müşteri adı verilir. Müşterilerin bekledikleri hizmetlerin yerine getirilebilmesi için bazı servis imkanlarına ihtiyaç vardır. Belirli bir zamanda yalnızca bir müşterinin işini görebilen kuyruk sistemlerine tek servisli kuyruk modeli denir. Belirli bir zamanda birden çok müşterinin işini görebilen kuyruk sistemlerine ise çok servisli kuyruk modeli denir. Bu sistemde hizmet bekleyen müşteriler yığılmışsa, kuyruk oluşmuş demektir.



Şekil 28. Tek ve çok servisli kuyruk modeli

Müşterilerin kuyruğa gelişleri belirli bir istatistik dağılım (rasgele, sabit, poisson dağılımı) gösterir. Aynı şekilde, servislerde müşterilere yapılan hizmetin süresi de belirli bir istatistik dağılım gösterir. Bazı müşterilere kısa sürede hizmet verilirken, bazı müşterilere verilen hizmet daha fazla zaman alabilir. Kuyruk sistemlerinde hizmete alınacak müşteri önceliğinin olup olmadığı önemlidir. Müşterilerin hangi önceliğe göre servise alınacağı belirlenmelidir. Bu seçim sürecine kuyruk disiplini adı verilir. Uygulamada en çok görülen kuyruk disiplini, ilk giren ilk çıkar şeklindedir.

İşletme kaynaklarının kuyrukta beklemesi, bunlara bağlanan sermayenin boşa gitmesi, başka bit ifade ile iş kaybı demektir. Bu nedenle, servis imkanlarını artırarak kuyrukta bekleme süresini kısaltmak gerekir. Ancak, servis imkanlarını artırma yoluna gidildikten sonra, kuyruklar azalır veya tamamen ortadan kalkarsa, bu kez de servis imkanlarına bağlanan işletme kaynakları boşuna beklemek durumunda kalabilir. Her iki durum da işletmeye belirli bir maliyet getirdiğine göre, kuyruk modelinin temel amacı, kuyruk nedeniyle oluşan toplam maliyetleri minimum düzeye indirmektir.

Şekil 29’da kuyrukta bekleme maliyetleri ile servis maliyetleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Servis imkanları arttıkça kuyrukta bekleme maliyetleri azalır. Aynı şekilde, kuyrukta bekleme maliyetlerinin azaltılabilmesi servis maliyetlerinin artırılması ile mümkündür. Belirli bir servis düzeyinde (A) toplam kuyruk maliyetleri en düşük düzeye indirgenmiş olur.

Makinaların arıza dağılım eğrileri farklı olduğundan her birinin servise geliş zamanlarının ayrı ayrı tahmin etmek güçtür. Bu tahminler yapılsa da, tahminlerde sapmalar bir araya geldiğinde o kadar karmaşık bir durum ortaya çıkar ki uygulama olanağı güçleşir. Yapılan araştırmalar bu tür sistemlerde makinaların servise geliş sürelerinin genellikle poisson dağılımına uyduğunu göstermiştir. Bakım planlamasında kuyruk modelinin amacı, toplam maliyeti; tamir için bekleyen makinaların boş kalma maliyeti ile sistemin işletme maliyetleri toplamını minimum yapan kapasitenin belirlenmesidir.



Şekil 29. Kuyruk maliyetleri

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.

* Birim zamanda sisteme gelen ortalama makina sayısı,

μ Birim zamanda sistemde tamir edilen ortalama makina sayısı.

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

$L= \frac{λ}{μ-λ}$ (1)

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

$W= \frac{1}{μ-λ}$ (2)

1. Kuyrukta bekleyen ortalama makina sayısı

$L\_{q}= \frac{λ^{2}}{μ\left(μ-λ\right)}$ (3)

1. Bir makinanın kuyrukta ortalama bekleme süresi

$W\_{q}= \frac{λ}{μ\left(μ-λ\right)}$ (4)

1. TB servisinin verimi (çalışır durumda olma olasılığı)

$η= \frac{λ}{μ}$ (5)

1. TB servisinin boş kalma olasılığı

$P\_{o}=1- \frac{μ}{λ}$ (6)

$P\_{o}=1- η$

**Örnek Problem 1.** 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 1.**

 $λ=2 makina/saat$

$$μ=3 makina/saat$$

* + 1. Bakım sisteminde mevcut (kuyrukta bekleyenler ve tamir gören toplamı) ortalama makina sayısı

$L= \frac{λ}{μ-λ}$

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

* + 1. Bir makinanın sistemde harcadığı (kuyrukta bekleme ve tamir süreleri toplamı) ortalama zaman

$W= \frac{1}{μ-λ}$

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

* + 1. Kuyrukta bekleyen ortalama makina sayısı

$L\_{q}= \frac{λ^{2}}{μ\left(μ-λ\right)}$

$$L\_{q}= \frac{2^{2}}{3\left(3-2\right)}=1.33 adet makina$$

* + 1. Bir makinanın kuyrukta ortalama bekleme süresi

$W\_{q}= \frac{λ}{μ\left(μ-λ\right)}$

$W\_{q}= \frac{2}{2\left(3-2\right)}=0.67 saat$

* + 1. TB servisinin verimi (çalışır durumda olma olasılığı)

$η= \frac{λ}{μ}$

$$η= \frac{2}{3}=0.67=\%67$$

* + 1. TB servisinin boş kalma olasılığı

$P\_{o}=1- \frac{μ}{λ}$

$P\_{o}=1- η$

$$P\_{o}=1- \frac{3}{2}=0.33=\%33$$

$$P\_{o}=1-0.67=0.33=\%33 $$

Günlük kuyrukta bekleme maliyeti; 8 saatlik bir işgününde 2 x 8 = 16 makine geldiği ve Wq = 0.67 saat olduğu dikkate alınarak; bekleme maliyeti 10 TL/saat x 16 adet/gün x 0.67 saat/makine = 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 $\left(μ=4\right)$ 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.

**Örnek Problem 2.** Bir tesisin tamir servisine saatte ortalama 4 makinanın geldiği ve ortalama tamir süresinin 10 dakika olduğu belirlenmiştir. Serviste saat ücreti 5.000.000 TL olan bir işçi çalışmaktadır. Bir makinanın kuyrukta bekleme maliyetinin 10.000.000 TL/saat olduğu kabul edilmektedir. Bir işgününde 8 saat çalışılmaktadır. Kuyruk modeli parametrelerini hesaplayınız.

**Çözüm 2.**











1. Sistemdeki ortalama makina sayısı



1. Bir makinanın sistemde harcadığı ortalama zaman



 Kuyrukta bekleyen ortalama makina sayısı



4) Bir makinanın kuyrukta ortalama bekleme süresi



1. Sistemin verimi, çalışır durumda olma ihtimali



1. Sistemin boş kalma ihtimali



**Örnek Problem 3.** Bir işletmenin elinde tamir – bakım servisi ile ilgili iki alternatif bakım planı vardır. Bunlar;

1. Saatte arızalanan makina sayısı 6 adet, her bir makinanın boşta kalma maliyeti 40.000.000 TL/saat, bakım işçisi saat ücreti 6.000.000 TL/saat, saatte tamir edilen makina sayısı 8 adet, günde 8 saatlik iki vardiya çalışma yapılmakta, bakım ekibi iki kişiden oluşmaktadır.
2. İkinci alternatifte diğer faktörler aynı kalmak üzere ücreti 9.000.000TL/saat olan 1 işçi ile saatte bakılan makina sayısı 11 adete yükseltilmiştir.

Alternatiflerden hangisi seçilmelidir?

**Çözüm 3.**

1. Alternatif:
* İşçilik maliyeti:



Kuyrukta bekleyen makina sayısı

 

* Makina bekleme maliyeti:



* Toplam maliyet:



1. Alternatif:



Kuyrukta bekleyen makina sayısı

 

* Makina bekleme maliyeti:



* Toplam maliyet:



Birinci alternatifin toplam maliyeti 2.112.000.000 TL, ikinci alternatif maliyeti olan 912.000.000 TL’den (2.112.000.000 TL – 912.000.000 TL=) 1.200.000.000 TL daha çok olduğundan, düşük maliyetli ikinci alternatif seçilip uygulanmalıdır.

Arıza Bakım

Koruyucu Bakım

Verimli Bakım

Düzeltici Bakım

Önleyici Bakım

Toplam Üretken Bakım

Toplam Verimli Bakım

Kestirimci Bakım

(Ekipman Teşhis Teknikleri ve Mali uygulamalar)……….