

**DOKUMA KUMAŞ ÜRETİMİNDE
MAKİNE GİRİŞİM MODELİ
UYGULAMASI**

Sezin ÇELİKKIRAN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOKUMA KUMAŞ ÜRETİMİNDE MAKİNE GİRİŞİM MODELİ
UYGULAMASI

Sezin ÇELİKKIRAN

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Can ÜNAL

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Can ÜNAL danışmanlığında, Sezin ÇELİKKIRAN tarafından hazırlanan “Dokuma Kumaş Üretiminde Makine Girişim Modeli Uygulaması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı: Prof. Dr. Pelin GÜRKAN ÜNAL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Can ÜNAL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Gülseren KARABAY

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOKUMA KUMAŞ ÜRETİMİNDE MAKİNE GİRİŞİM MODELİ UYGULAMASI

Sezin ÇELİKKIRAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL

Tam entegre çalışan bir tekstil fabrikasında kumaş üretimi iplik hazırlama, iplik üretimi, dokuma hazırlık, dokuma, terbiye ve kalite kontrol proseslerinden oluşur. Dokuma işlemi, tekstilde ipliğin yüzey haline geldiği bir faz değiştirme aşamasıdır ve çalışan yoğunluğu, makine yoğunluğu ve enerji sarfiyatı sebebiyle en önemli maliyet işlemlerinden birisidir. Bu çalışmada yönlü kumaş üreten entegre bir tekstil fabrikasının dokuma işletmesinde gerçekleşen makine duruşları ve bu duruşları gidermek amacıyla tahsis edilen çalışan sayısının optimum şartları nasıl sağlayacağı ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Çalışma için işletmede en çok üretilen ürünlerden üçü üzerinde durulmuş ve bu ürünlerin çalıştığı tezgâh grubu ile ilgili veriler toplanmıştır. Toplanan veriler incelenerek kuyruk teoremi yaklaşımına göre çalışan kişinin bakması gereken optimum makine sayısı, maliyetler de göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: dokuma, optimizasyon, makine girişim, kuyruk teoremi

2019, 56 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

MACHINE INTERFERENCE MODEL APPLICATION IN WOVEN FABRIC PRODUCTION

Sezin ÇELİKKIRAN

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Can ÜNAL

In a fully integrated textile factory, fabric production consists of yarn preparation, yarn production, weaving preparation, weaving, finishing and quality control processes. The weaving process is a phase in which the yarn becomes the surface of the textile and is one of the most important cost processes due to the worker intensity, machine intensity and energy consumption. In this study, the machine breakdowns at the weaving mill in an integrated textile factory producing woolen fabrics and the number of employees assigned to eliminate these downtimes have been applied in order to provide optimum conditions. For this study, three of the most produced products in the plant were emphasized and data related to the loom group, where these products were produced, were collected. The collected data were examined and the number of optimum machines to be looked at in accordance with the queueing theorem approach was determined by considering the costs.

Key Words: weaving, optimization, machine interference, queueing theorem

2019, 56 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Kaynak Araştırması.....	3
2.2 Dokuma ve Verimlilik.....	5
2.3 Kuyruk Teoremi.....	7
2.3.1 Kuyruk modeli bileşenleri	8
2.3.1.1 Müşteri geliş çeşitleri	9
2.3.1.2 Kanal sayısı.....	10
2.3.1.3 Servis dağılımı	11
2.3.1.4 Kuyruk disiplini	13
2.3.2 Kuyruk sistemlerinde notasyon.....	14
2.3.3 Kuyruk sistemi modelleri	15
2.3.3.1 Little yasası	16
2.3.3.2 Durum olasılıkları	16
2.3.3.3 Doğum-Ölüm süreci	16
2.3.3.4 M/M/1:GD/∞/∞ ve M/M/1:GD/c/∞ kuyruk modelleri	18
2.3.3.5 M/M/S:GD/∞/∞ kuyruk modelleri.....	19
2.3.3.6 M/G/∞:GD/∞/∞ kuyruk modelleri.....	20
2.3.3.7 M/G/1:GD/∞/∞ kuyruk modelleri.....	21
2.4 Makine Onarım Modeli	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1 Tesisin Proses Tarifi.....	27
3.2 Dokuma İşletmesi	28
3.3 Örneklem Seçimi.....	29
3.4 Örneklem İncelemesi ve Metot Belirleme.....	30
3.5 Maliyet Hesaplama.....	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	39
4.1 λ ve μ Bulguları	39
4.2 Çalışan Maliyeti	40
4.3 Makine Durma Maliyeti	40
4.4 Maliyet Optimizasyonu	40

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
5.1 λ Değerinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri	49
5.2 μ Değerinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri.....	50
5.3 Çalışan Maliyetinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri.....	51
5.4 Bekleme Maliyetinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri	52
6. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56

Çizelge 2.1. K=5, R=2 olması durumunda makine onarım modeli olasılıkları.....	24
Çizelge 3.1. İncelenen siparişlerin kumaş özellikleri	29
Çizelge 3.2. Seçilen örneklemelerin dokunduğu tezgah numaraları	29
Çizelge 3.3. Tip-1, 453 no'lu tezgah kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre	31
Çizelge 3.4. Tip-2, 452 nolu tezgâh kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre.....	31
Çizelge 3.5. Tip-3, 452 nolu tezgah kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre.....	32
Çizelge 3.6. Makine detay bilgileri.....	33
Çizelge 3.7. Tip-1 / Makine girişim süresi p değerleri	35
Çizelge 3.8. Tip-2 / Makine girişim süresi p değerleri	36
Çizelge 3.9. Tip-3 / Makine girişim süresi p değerleri	36
Çizelge 3.10. Tip-1 / Makine kopuş süresi p değerleri.....	36
Çizelge 3.11. Tip-2 / Makine kopuş süresi p değerleri	37
Çizelge 3.12. Tip-3 / Makine kopuş süresi p değerleri	37
Çizelge 4.1. Tip-1 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları.....	43
Çizelge 4.2. Tip-2 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları.....	44
Çizelge 4.3. Tip-3 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları.....	45
Çizelge 4.4. Tip-1 ürünü için optimum maliyet	48
Çizelge 5.1. Tip-1 ürünü için 2λ durumunda optimum maliyet	49
Çizelge 5.2. Tip-1 ürünü için 2μ durumunda optimum maliyet.....	50
Çizelge 5.3. Tip-1 ürünü için çalışan maliyetinin 2 katı olması durumunda optimum maliyet	51
Çizelge 5.4. Tip-1 ürünü için bekleme maliyetinin 2 katı olması durumunda optimum maliyet	52

Şekil 2.1. Makine verimlilik göstergesi	6
Şekil 2.2. Kuyruk akışı.....	8
Şekil 2.3. Kuyruk modeli bileşenleri	9
Şekil 2.4. Müşteri geliş çeşitleri	10
Şekil 2.5. Kanal modelleri	11
Şekil 2.6. Üstel dağılım grafiği.....	12
Şekil 2.7. Doğum-Ölüm süreci	17
Şekil 2.8. M/M/S:GD/∞/∞ diyagramı.....	19
Şekil 2.9. “K” adet makine ve “R” adet operatörden oluşan makine girişim modeli.....	22
Şekil 2.10. Maliyet-servis dengesi.....	23
Şekil 2.11. M/M/R:GD/K/K modelinde makinelerin bozuk olma durumu (K=5, R=2)	25
Şekil 3.1. Dokuma işletmesi tezgâh planı	28
Şekil 3.2. Loomdata tezgâh yerleşimi.....	30
Şekil 3.3. Makine detay bilgileri.....	30
Şekil 3.4. Minitab veri girişi ve kullanılan analiz aracı	34
Şekil 3.5. Minitab veri değerlendirme ve sonuç grafiği.....	35
Şekil 4.1. Tip-1 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları.....	41
Şekil 4.2. Tip-2 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları.....	41
Şekil 4.3. Tip-3 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları.....	42
Şekil 4.4. Tip-1 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri.....	46
Şekil 4.5. Tip-2 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri.....	46
Şekil 4.6. Tip-3 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri.....	47

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinden sonuçların analizine dek çalışmam süresince görüş ve önerileriyle beni yönlendirerek desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Can Ünal' a,

Çalışmam sırasında veri toplama konusunda işletmelerinde imkân sağlayan Yünsa Yünlü Sanayi'ne ve çalışma arkadaşlarıma,

Her daim yanımda olan ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme en içten saygılarım ile teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Sezin ÇELIKKIRAN

1. GİRİŞ

Günümüzde, yoğun rekabet koşulları altında işletmelerin uzun dönemli ve sürdürülebilir üstünlükler elde edebilmesi son derece önemli ve aynı derecede zor bir hale gelmiştir. Sürekli değişen koşullar firmaların başarısını etkilerken, yaşanan her başarısızlık, işletmelerin varlığını devam ettirebilmesini tehdit etmektedir. İşletmelerde başarının temel anahtarları ise “kalite” ve “verimlilik” kavramlarıdır. Üretim sürecine sokulan çeşitli faktörlerle (girdiler) bu sürecin sonunda elde edilen ürünler (çıktılar) arasındaki ilişkiyi ifade eden verimlilik, savurganlıktan uzak, kaynakları en iyi biçimde değerlendirerek üretmek demektir. Kalite ise çıktılarının müşterilerin gereksinimlerini tam olarak karşılaması olarak tanımlanabilir (Gönülalan 2010).

Tekstil sektörü, ülkemizin geleneksel sanayi kollarından biri olup, sağladığı istihdam olanakları ve üretim sürecinde yarattığı katma değer açısından geçmişten günümüze Türkiye ekonomisini büyük ölçüde etkileyen bir sektördür. Tekstil sanayiinin en önemli alt sektörlerinden biri de dokuma kumaş sanayisidir (Ala ve İkiz 2015). Bir taraftan sahip olduğu yatırım kapasitesi ve ihracat potansiyeli, diğer taraftan hazır giyim ve konfeksiyon sektörüne hammadde tedarik etmesi nedeniyle dokuma kumaş sanayi ülkemiz açısından da son derece önemlidir (Ala ve İkiz 2015).

Dokuma yapıları, çok eski çağlardan bu yana oluşturulan ve kullanılan yapılar olsa da dokuma kumaş oluşturma yöntemi özellikle sanayi devriminden sonra motorlu makinelerin kullanılmaya başlanmasıyla büyük bir ivme kazanmıştır. Dokuma yönteminde kullanılan makineler her geçen gün daha hızlı, daha az maliyetle, daha hassas ayarlarla üretim yapabilmek için sürekli geliştiriliyor olsa da tekstil yapılarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin birçok değişkene bağlı olması sebebiyle dokuma işleminin istenilen özelliklerdeki dokuma yapılarını üretmek için hassas biçimde kontrolü hala oldukça güçtür (Yıldırım 2011). Dokuma makinesinde kumaş oluşumu sırasında birçok duruş ve hata meydana gelebilmektedir. Bunlardan bazıları kumaş kalitesini olumsuz yönde etkilerken, bazıları ise üretim verimliliğini düşürmektedir.

Dokuma işlemi sırasında meydana gelen iplik kopuşları dokuma makinesinin randımanına bağlı olarak üretim kapasitesini ve aynı zamanda ürün kalitesini etkilemektedir. İplik kopuşlarının sebepleri hammadde, iplik ve bobin üretim basamakları ile dokuma hazırlık ve dokuma işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Kısaoğlu 2010). Sebebi ne olursa olsun meydana gelen kopuşlara bir an önce müdahale edilerek makinenin yeniden çalışabilir duruma gelmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla dokuma işletmelerinde belli sayıda makineye bakan çalışanlar

görevlendirilir. Çalışanlar belirlenmiş bir kural doğrultusunda makineyi en hızlı şekilde aktif duruma getirmekle sorumludur. En uygun müdahale biçimini bulmak için en doğru yöntem, makine girişim modellemelerinden faydalanmaktır. Makine girişim modellemeleri makine ve çalışan maliyetlerini göz önünde bulundurarak optimum makine-adam sayısını belirlemeye yarayan uygulamalardır.

Bu çalışmada makine girişim modeli olarak kuyruk teoreminden faydalanılmıştır. Makine girişim ve kuyruk teoremi uygulamaları ile ilgili literatür araştırmaları yapılmıştır. Farklı kuyruk teoremlerinden söz konusu probleme en uygun olanı belirlenmiş, çalışmalar bu yöntem üzerinden ilerletilmiştir. Yünlü dokuma kumaş üreten bir işletmede en çok üretilen kumaşların çalıştığı tezgâh grubu belirlenmiş ve bu kumaşların çalışması sırasında gerçekleşen atkı ve çözgü kopuşu kaynaklı çalışanın müdahale sayıları, çalışanın hatayı giderene kadar geçen makine duruş zamanları, kattığı yol, müdahale önceliği ve eşzamanlı kopuşlarda makinenin çalışana bekleme süreleri kayıt altına alınmıştır. Makine ve çalışan maliyetleri göz önünde bulundurularak bir çalışanın bakması gereken optimum makine sayısı tespit edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Kaynak Araştırması

Çalışma başlangıcından bu zamana kadar, konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Geçmişten günümüze yapılmış çalışmalar ve temellendirildiği yöntemler kuyruk teoremi ve makine girişimi olmak üzere iki ana başlık altında sunulmuştur.

Kuyruk teoremi üzerine gerçekleştirilen önemli çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Sztrik ve Bunday, 1993 yılında yaptıkları çalışmada tek operatörün “n” adet makineye girişim problemini kuyruk teoremi ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında her makinenin çalışma ve durma sürelerini rastgele değişkenler olarak kabul etmişlerdir. Tamir oranının bozulma oranından yüksek olduğunu varsayarak makinelerin eşzamanlı bozulma olasılığını kapsam dışı bırakmışlardır (Sztrik ve Bunday 1993).

Siddharthan ve arkadaşları, acil servislerde bekleme sürelerinin azaltılması amacı ile önceliklendirme modeli üzerine çalışmışlardır. Acil servislerde, acil olmayan veya ilkyardım bekleyen hastaların sebep olduğu uygunsuz kullanım nedeniyle artan bekleme sürelerini araştırmışlardır. Bu yanlış kullanımı önlemek amacı ile devlet hastanesi veya polikliniklerde uygulanabilecek basit ve ekonomik bir model önermişlerdir. Tüm hasta sınıflarını kapsayacak şekilde acil servislerde uzun gecikmeleri ve ortalama bekleme sürelerini azaltacak öncelikli bir kuyruk modeli önermişlerdir (Siddharthan ve ark 1996).

Aydın 2003 yılında çok kanallı kuyruk sistemlerinde bulanık yaklaşım üzerine akademik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada servis sürelerinin ve gelişler arası sürelerin kesin olarak bilinmediği genel dağılımlı çok kanallı kuyruk sistemleri incelenmiştir. Kesin olarak bilinmeyen bu süreler bulanık yapıda tanımlanmış, farklı üyelik fonksiyonları için hesaplanmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için simülasyon çalışması yapmıştır (Aydın 2003).

Aydın'ın 2009 yılında yaptığı çalışmada tüm kuyruk modelleri ve bu modellere baz oluşturan olasılık teoremleri, Markov süreçleri, Poisson süreçleri ve doğum-ölüm süreçleri detaylı şekilde incelenmiştir. Yedi farklı kuyruk yöntemi kullanarak modellerin performans kıyaslamalarını yapmıştır (Aydın 2009).

Zobu 2012 yılında yaptığı akademik çalışmada, dört farklı fazda kuyruk modeli için Ardışık Olasılık Oran Testi Teorisini çalışmıştır. Bu çalışmada kuyruk kontrolünü dikkat çeken

problemlerden biri olarak tanımlamış ve geliş oranı, servis zamanı, kanal sayısı, kuyruk disiplini gibi kontrol edilebilir parametrelerden etkilendiğini savunmuştur. Çalışma kuramını, kuyruk sistemlerinin en önemli karakteristik elemanlarından birisi olan trafik yoğunluğu üzerine oturtmuştur. Kuyruk sistemlerinde trafik yoğunluğundaki değişimleri ortaya çıkarmak için Ardışık Olasılık Oran Testine dayalı bir metot geliştirilmiştir. Her bir faz için nümerik yöntemler elde ederek bu modellerin her birisi için yazılım programı ile sayısal örnekler üretmek için Ardışık Olasılık Oran Testine dayalı farklı uygulamalar yapmıştır (Zobu 2012).

Durmuş'un 2017 yılında yaptığı çalışma kapsamında, kısmi tabanlı simülasyon ele alınarak kuyruk teorisi üzerine bir üniversitede uygulama çalışması yapılmıştır. Kısmi tabanlı simülasyon kullanılarak uygun model oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar sonunda elde edilen veriler bir ara yüz oluşturularak, raporlama yapılmıştır. Çıkan sonuçlara ilişkin (başta bekleme ve servis süreleri ile işlem yoğunlukları personel performansı vb.) analizler yapılmıştır (Durmuş 2017).

Makine girişimi üzerine gerçekleştirilen önemli çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Mack ve arkadaşları, 1957 yılında bir operatörün sadece tek bir yöne doğru ve sürekli olarak müdahale etmesi durumunda gerçekleşecek makine verimliliği üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada tamir süresini ve yürüme süresini sabit değerler olarak almışlardır. En önemli etken olarak, operatörün herhangi bir işi yapma süresini küçük bir oranla değiştirirse bile, tüm verimliliğin bu değişiklikten büyük ölçüde etkileneceği gösterilmektedir (Mack ve ark. 1957).

Elsayed (1981) yaptığı çalışmada, iki farklı bozulma durumunda makine girişim problemini incelemiştir. Birinci modda, makineler arasında önceliklendirme yapmış, ikinci modda ise tüm makinelere eşit müdahale imkânı vermiştir. Bilgisayar destekli bir program yardımı ile her iki girişim üzerine çalışmalar yapmış, onarım ekibi verimliliği ve makine kullanılabilirliği üzerinde değerlendirmelerde bulunmuştur. Bu çalışmalarda bozuk makinelerin varış oranı, tamir ekibine tahsis edilen makinelerin sayısı, bu makinelerin kaç tanesinin tamir için beklediği ve bu makinelerin arıza oranı dikkate alınmıştır. Toplam onarım maliyeti olarak, onarım tesisinin işletme maliyetini ve makine başına duruş süresi kayıplarını ele almıştır (Elsayed 1981).

Stecke ve Aronson'ın 1985 yılında yaptıkları derlemede genel olarak makine girişim problemlerine çözüm amacıyla uygulanabilecek yöntemler üzerinde durulmuştur. En önemli makine girişim problem sebebi olarak makineler tahsislenmiş çalışan sayısı olduğunu belirterek servis disiplinleri, önceliklendirme kuralları, yürüme mesafeleri gibi etkenleri de sebep olarak göstermişlerdir. Çözüm yaklaşımları olarak ise beklenen iş yükü analizleri, olasılık

teorileri, kuyruk teoremleri ve simülasyon tekniklerini önermiştir. Bu yayın bu alanda yapılan tüm çalışmaların temeli olarak sayılmaktadır (Stecke ve Aronson 1985).

Hsieh yaptığı çalışmada, makinelerin eşzamanlı bozulması durumunda önceliklendirme konusu üzerinde durmuştur. Hangi makinenin önce tamir edileceği, en fazla faydayı sağlayacak kararın nasıl verileceği ile ilgili önermelerde bulunmuştur. Bunun yanı sıra operatör başına düşen optimum makine sayısı ile ilgili hesaplamalarla da içeriği zenginleştirmiştir (Hsieh 1996).

Haque ve Armstrong'un 2007 yılında yaptıkları derlemede, "n" adet makine ve "r" adet çalışanın servis sürelerine göre olasılıkları değerlendirmişlerdir. $n > r$ olması durumunda herhangi bir makine bozulduğu anda tüm çalışanların meşgul olabileceği ve $n < r$ olması durumunda ise fazla iş gücünün atıl kalabileceği ihtimalleri üzerinde farklı servis disiplinleri ile çeşitli modeller kurulabileceğini yaptıkları literatür araştırmalarıyla desteklemiştir (Haque ve Armstrong 2007).

Engin'in 2009 yılında yaptığı çalışmada, tekstil endüstrisinde karşılaşılan makine girişim problemlerine simülasyon yöntemi geliştirerek çözüm bulmayı hedeflemiştir. Yaptığı çalışmada makine verimliliği ve bunu etkileyen faktörleri incelemiştir. Makine verimliliğini her operatör için belirlenmiş makine sayısı ile bağlantılı olduğunu düşünerek operatörlerin servis disiplinleri üzerine simülasyon tekniği geliştirmiştir (Engin 2009).

Baan, 2012 yılında yaptığı bir derlemede çalışan makinelerin sayısı ve ürün çeşidi üzerinden işgücü dağılımının modellenmesi üzerine önerilerde bulunmuştur. Bu problemlerin çözümünde kullanılacak farklı yöntemlerle ilgili genel bilgiler vermiştir. Makine girişim problemlerine çözüm olabilecek bazı yaklaşımları şunlardır; kuyruk teoremi, Little's kanunu ve Baki Engin'in 2009 yılında yapmış olduğu simülasyon tekniğidir (Baan 2012).

Bu çalışmada yukarıda incelenen çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında, ülkemizde yünlü dokuma kumaş üretimi üzerine çalışan bir işletmede makine-çalışan optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma ile ülkemizde benzer problemi yaşayan birçok firma için bir uygulama modeli ve verilerin toplanıp değerlendirilmesi sistematığı açısından bir çözüm yaklaşımı ele alınmıştır.

2.2 Dokuma ve Verimlilik

Günümüzde işletmeler verimli ve etken bir yapıya kavuşmak için kaynaklarını en iyi şekilde kullanmak zorundadırlar. Verimlilik oldukça geniş bir kavram olup, işletme düzeyinde incelenmesi; amaç ve görevlerin belirlenmesini, üretim kaynaklarının sağlanmasını, bunların

masraflarını önemli ölçüde etkileyecektir. Bir dokuma makinesinin bir saatlik çalışma zamanı boyunca 1,5 kopuştan daha az bir iplik kopuş sayısı ile çalıştığı durumda en iyi kalitede kumaşların üretilebileceği kabul edilmektedir (Meriç ve Özkal 2002).

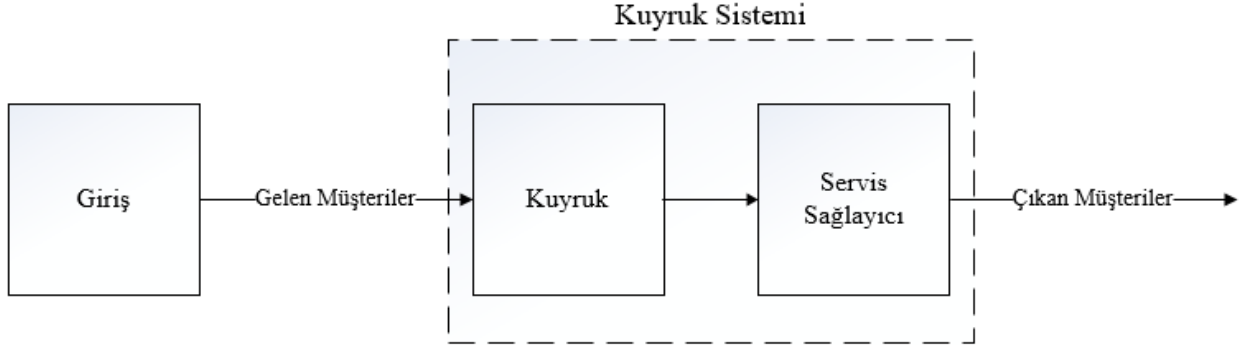
Tezgâha girişim süresi, bir dokumacıya verilen dokuma tezgâhı sayısına ve çözgü/atki kopuş sıklığına bağlı olarak değişir. Tezgâh üzerindeki kopuşlar rastsal ve üstel olarak değerlendirilir. Kopuş sıklığı yüksek olan bir üretimde, dokumacının sorumlu olduğu tezgâh sayısı olması gerekenden fazla ise dokumacının duran makinelere müdahale süresi gecikeceğinden üretim kaybı meydana gelir. Öte yandan, dokumacının sorumlu olduğu tezgâh sayısı olması gerekenden az ise çalışan verimliliği düşer. Bu nedenle çalışanın sorumlu olduğu tezgâh sayısını doğru belirlemek son derece önemlidir. Söz konusu problem literatürde makine girişimi problemi olarak bilinmekte ve kuyruk teorisi ile ele alınmaktadır.

2.3 Kuyruk Teoremi

Bir hizmet birimine gelen kullanıcıların ya da materyallerin geliş karakterlerine, hizmet birimi tarafından seçilme düzenine ve hizmet olanaklarına göre şekillenen, sınırlı hizmet nedeni ile geciken bekleme hattına kuyruk denir (Erdoğan 2010).

Sıra beklemenin söz konusu olduğu bir hizmet işletmesinde, hizmet talebinin belirsizliği, birbirine zıt iki durumu ortaya çıkartmaktadır. Birincisi, müşterilerin beklemesi ya da bekleme nedeniyle müşteri kaybı, ikincisi ise hizmet biriminin boş beklemesidir. Birbirine zıt bu iki bekleme durumu arasında optimal bir bekleme zamanı bulmak için kullanılan sisteme, literatürde sıra bekleme sistemleri ya da kuyruk modelleri denmektedir. Bu sistemlerin analizinde amaç; sıra bekleme sisteminin işleyişiyle ilgili toplam maliyeti, ilgili maliyet türleri ve hizmet talebinin miktarı doğrultusunda en az düzeye indirebilecek bir hizmet kapasitesi belirlemektir (Özkan 2010).

Kuyruk sistemleri için müşteri ve servis iki önemli kavramdır. Kuyruk sistemleri terminolojisine göre müşteri, bir hizmet biriminde hizmet için bekleyen insan ve insan dışındaki ünitelerdir (depolanacak bir mamul mal, montajı yapılacak bir parça veya tamir ve bakımdan geçecek bir makine vb.). Hizmet biriminin sağladığı hizmete de servis denilmektedir (Arslan 2011). En basit gösterimi ile kuyruk akışı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Kuyruk akışı (Hillier ve Lieberman 2015)

Beklemeyle ilgili iki kavram, bekleme maliyeti ve servis maliyeti, beklemenin sorun haline gelmesindeki temel faktörlerdir. Kuyrukta geçirilen zaman insanlar, makine, teçhizat vb. için bekleme maliyeti olarak kabul edilir ve bekleme süresi uzadıkça bu maliyet de artmaktadır. Bekleme süresi ve buna bağlı olarak bekleme maliyeti, hizmet kapasitesi artırılarak çözülebilir. Bu durumda ise işletmelerin katlanmak zorunda oldukları servis maliyeti ortaya çıkmaktadır. Birbiriyle ters orantılı bu iki durum için doğru kararı vermek, iki maliyetinde optimum düzeye indirgenmesiyle sağlanabilir (Uyrun 2012).

Bekleme hatları arz ve talebin denge durumunda olmadığı zamanlarda oluşur. Beklemeler, operasyon maliyetlerini artırır ve müşteri servisini olumsuz etkiler. Bu yüzden müşteriyi bekletme maliyeti ile servis kapasitesini sağlama maliyetini dengede tutmak önemlidir. Müşteri bekleme, gelen talebe karşılık yetersiz kapasite sağlanması ile oluşur, bunun yanında ihtiyaç duyulandan fazla kapasite tutmak ise verimsizlik meydana getirir (Stevenson 2018).

2.3.1 Kuyruk modeli bileşenleri

Kuyruk teorisindeki temel aktörler müşteri ve hizmet verendir. Müşteriler bir kaynaktan gelir. Müşteri hizmet yerine vardığında hemen hizmet alır ya da kanal (server) meşgulse kuyrukta bekler. Bir kanal hizmetini tamamladığında sırada bekleyen müşteri varsa bu müşteriyi hizmete alır. Kuyruk boş ise hizmet yeri yeni müşteri gelinceye kadar boş kalır (Zobu 2012). Şekil 2.3’de sürecin genel yapısı gösterilmektedir.

Kuyruk sisteminin yapısı aşağıdaki dört kısımdan oluşur.

- 1) Müşteri geliş çeşitleri
- 2) Kanal sayısı

- 3) Servis dağılımı
- 4) Kuyruk disiplini



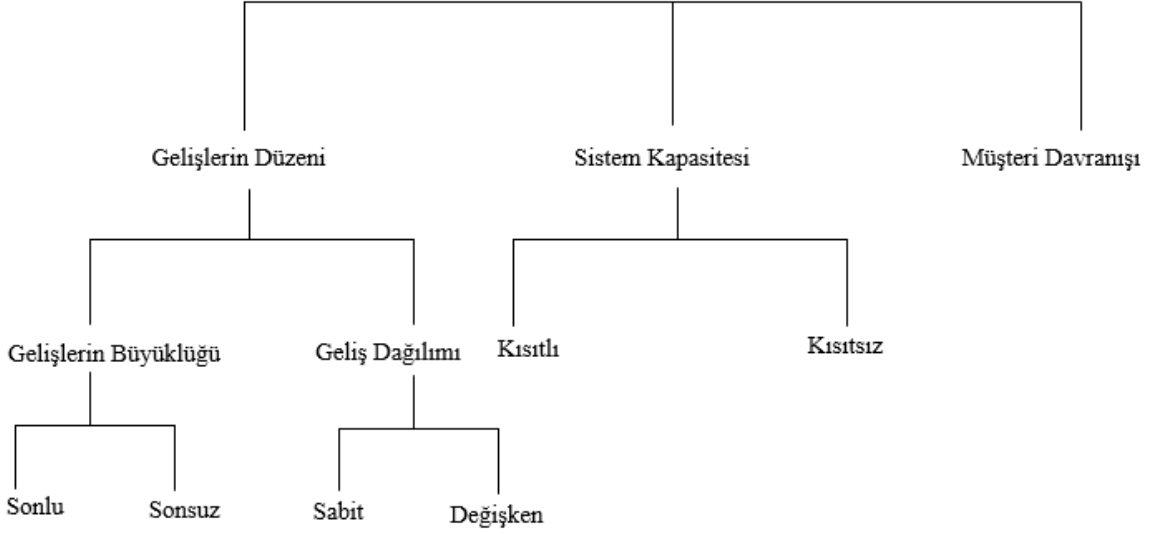
Şekil 2.3. Kuyruk modeli bileşenleri (Kostak 2016)

2.3.1.1 Müşteri geliş çeşitleri

Kuyruk teorisinde gelişlerin ölçülebilir olmasını sağlayan, diğer etkenleri de etkileyen ve üzerinden durulması gereken ilk ve en önemli etken zamandır. Müşteri gelişlerinin ve servis olanaklarının sabit koşulları altında kuyruğun uzunluğu, zamanın bir fonksiyonudur. Gelişlerdeki aktör ise müşteridir. İşlerinin görülmesi için hizmet birimine gelen kullanıcı ve materyal olarak tanımlanabilir (Erdoğan 2010).

Müşterilerin hizmet alacakları sisteme gelmeleri “geliş” olarak adlandırılır. Müşteri gelişleri önceden bilinmeyeceği için rastsal olarak gerçekleşmektedir. Müşteriler hizmet alacakları sisteme tek tek veya grup halinde gelebilirler. Geliş sürecinin özellikleri Şekil 2.4’te gösterilmektedir.

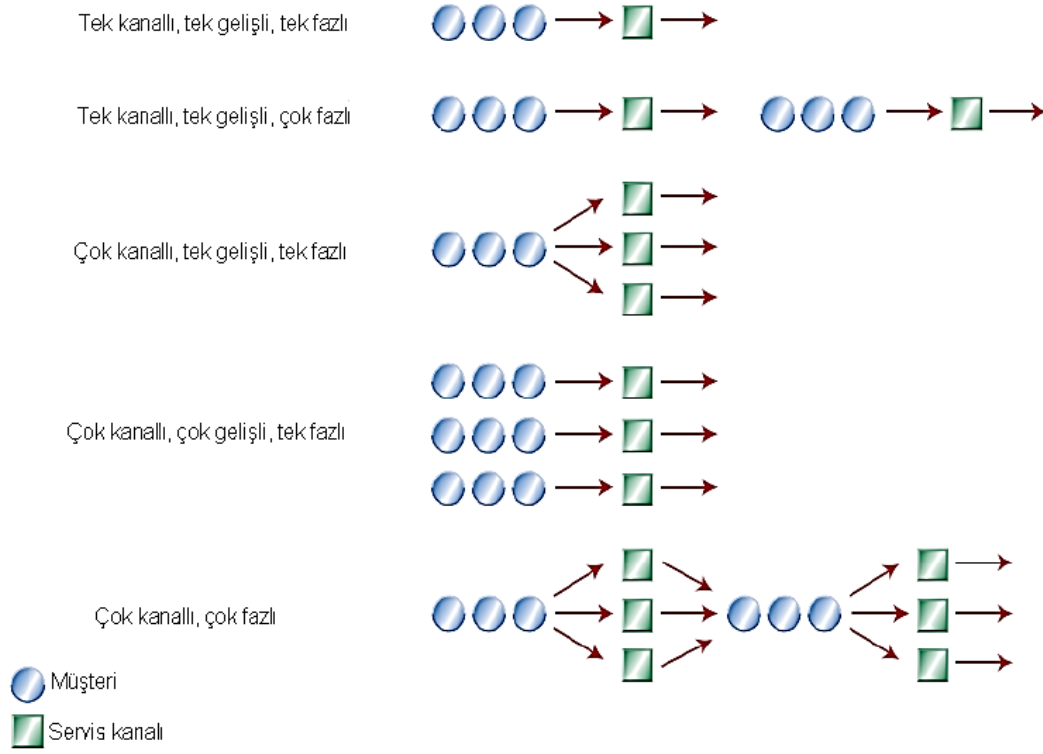
Geliş büyüklüğü; servis sistemine geliş sonlu veya sonsuz olabilmektedir. Genellikle geliş kaynağı 30-50 arasında ise sonlu, daha fazla ise sonsuz olarak adlandırılmaktadır. Örneğin; çağrı merkezine hizmet almak için gelen müşteriler sonsuz, fabrikada bakım birimine gelen tezgâh sayısı sonlu bir geliş kaynağına sahiptir (Kostak 2016).



Şekil 2.4. Müşteri geliş çeşitleri (Murthy 2007)

2.3.1.2 Kanal sayısı

Müşterilere hizmet verilen noktalara “servis kanalı” denir. Tek bir hizmet noktası olan sistemler “tek kanallı” birden fazla hizmet noktası olan sistemler ise “çok kanallı” olarak adlandırılmaktadır (Kostak 2016). Kuyruk sistemlerinde başka bir ayırım ise kanalların “tek fazlı” ve “çok fazlı” olması durumudur. Müşteriler sistem içerisinde girdikleri kanaldan çıkıyorsa bu tip kanallar, tek fazlı kanallardır. Ancak bir kanaldan başka bir kanala geçiyorlarsa bu tip kanallar, çok fazlı kanallardır. Şekil 2.5’te kanal tiplerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.5. Kanal modelleri (Erdoğan 2010)

2.3.1.3 Servis dağılımı

Bekleme hatları, geliş ve servis değişkenliğinin doğrudan bir sonucudur. Rastgele, yüksek değişkenliğe sahip geliş ve servis modelleri, sistemlerin geçici olarak aşırı yüklenmesine neden olduğu için ortaya çıkarlar (Stevenson 2018). Bekleme hattı modeli kapsamında incelenen sistemlerde, gelişler Poisson dağılıma uygunsa servis süreleri de üstel dağılıma uygunluk gösterir. Başka bir ifadeyle servis süresi üstel dağılıma uygunluk gösteriyorsa sisteme gelişler Poisson dağılıma uygunluk gösterir. Servis sürelerini ve servis oranlarını belirlemede daha çok; üstel, Poisson, Erlang ve sabit dağılımlar kullanılır. Çoğu uygulamada geliş sürecine Poisson dağılım uygun olmasına karşın, servis sürecinin üstel dağılım göstermediği durumlara rastlanabilir. Bu tarz durumlarda Erlang, gamma dağılımını önermiştir. Gamma dağılımı k simgesi temsil edilen bir parametreye göre şekillenen dağılım kümesidir. Aynı zamanda üstel veya sabit servis zamanlı dağılımlar gamma dağılımının özel bir biçimidir (Uyrun 2012).

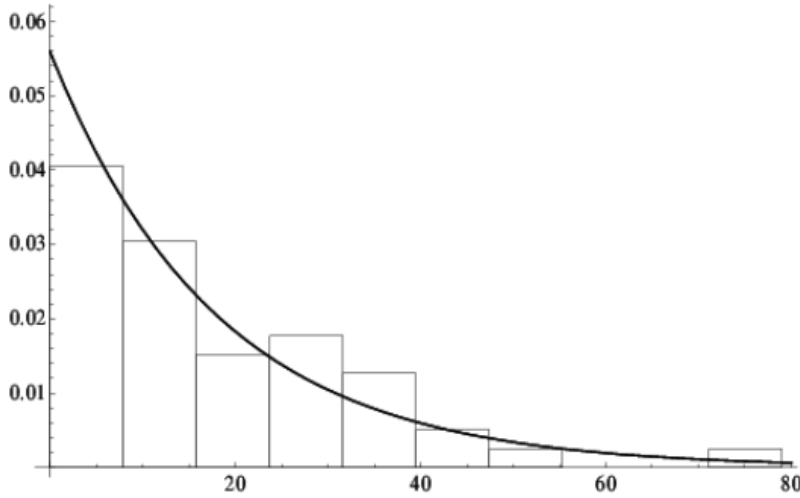
Poisson Dağılımı: Kesikli olasılık dağılımıdır. Belli bir zaman aralığında olayların meydana gelme olasılığını ifade eder. Bir zaman aralığında meydana gelen olayın bir önceki

zaman aralığında meydana gelen olaydan tamamen bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Dağılımın ortalaması ve varyansı birbirine eşittir (Kostak 2016).

Üstel Dağılım: Üstel dağılım sürekli bir dağılım olup birtakım değerlerle meydana gelen olayları açıklamak için kullanılır. Üstel dağılım ölüm, doğum, hizmet almak için gelen müşteri sayısı, herhangi bir olaya dair artış veya azalışların sürekli dağılım gösterdiği durumlarda kullanılabilir (Uyrun 2012).

Poisson ve negatif üstel dağılımlar, aynı temel bilgileri sunmanın alternatif yollarıdır. Yani, hizmet süresi üstelse, o zaman hizmet oranı Poisson dağılımdır. Benzer şekilde, müşteri varış oranı Poisson ise, o zaman gelişler arasındaki süre üstel olur. Örneğin, bir hizmet kuruluşu saatte 12 müşteriyi işleyebiliyorsa (hız), ortalama hizmet süresi beş dakikadır. Varış hızı saat başına 10 ise, o zaman gelenler arasındaki ortalama süre altı dakikadır (Stevenson 2018).

Üstel dağılımın grafiksel gösteriminde eğilim çizgisi sağa doğru eğiktir, çünkü yoğunluk soldan sağa azalmaktadır. En yüksek değere “0” noktasında ulaşır. Üstel dağılımda birçok gözlem toplandığında ve bu değerlerin bir histogramı çizildiğinde Şekil 2.6’daki gibi pürüzsüz bir eğriye sahip grafiğe ulaşılır.



Şekil 2.6. Üstel dağılım grafiği (Collins ve Warr, 2018)

Üstel dağılımı, kuyruk modellerinde (ve diğer birçok yönetim bilimi modelinde) bu kadar faydalı kılan özelliği hafızasız özelliğidir. Herhangi bir zamanda bir süreç gözlemlenirse, tüm üstel zamanlar (örneğin, geliş süreleri ve servis zamanları) esasen olasılıkla “baştan başlar”, son varış veya hizmetin başlangıcı gibi çeşitli olayların üzerinden ne kadar zaman geçtiğinden etkilenmezler. Bu durum meydana gelen olayların birbirinden bağımsız olması anlamına gelir. Üstel dağılım, bu özelliğe sahip tek sürekli olasılık dağılımıdır.

Örneğin, X 'i bir ampulün arızalanmasına kadar geçen zamanın saat cinsinden değeri olduğunu varsayalım. Arızalanma ihtimaline karşı aynı üstel zaman dağılımına sahip iki ampulü düşünelim. İki ampul arasındaki tek fark, ilk ampulün 20 saattir çalışıyor olmasına karşın, ikinci ampulün yeni olmasıdır. Her iki ampulün de en az 5 saat daha arızalanmadan çalışma ihtimallerini düşünelim. Hafızasızlık özelliği, bu olasılıkların iki ampul için aynı olduğunu söyler. Başka bir deyişle, 20 saat boyunca kullanılmakta olan ampul, yeni ampul gibi en az 5 saat daha ayakta kalma şansına sahiptir (Winston ve Albright 2011).

Erlang (Gamma) Dağılımı: İki parametrelili bir sürekli olasılık dağılımıdır. Bu parametrelerden biri ölçek parametresi (R), diğeri ise şekil parametresi (k)'dır. Eğer şekil parametresi tamsayı ise, gamma dağılımı parametre değeri kadar üstel dağılım gösteren rastsal değişkenlerin toplamını temsil eder. Gamma dağılımları üstel ve sabit dağılımların genel halidir. Gamma dağılımı şekil parametresine göre şekil almaktadır. Şekil parametresi '1' olduğunda üstel dağılıma; şekil parametresi ' ∞ ' olduğunda sabit dağılıma uymaktadır (Kostak 2016).

2.3.1.4 Kuyruk disiplini

Müşterilerin hizmet için seçilme düzenine kuyruk disiplini denir. Servis için gelen müşteriler kuyruğa girdiğinde belirli bir zamanda servise girmeleri servis disiplinince belirlenir (Ulaş 2007). Kuyruk sistemlerinde çok çeşitli servis disiplinleriyle karşılaşmaktadır. En çok karşılaşılan disiplinler şunlardır:

FCFS (First Come First Served); ilk gelen ilk servis alır. Bu disipline göre müşteriler geliş amaçları ya da tercihleri göz önüne alınmaksızın sisteme geliş sıralarına göre servis görürler.

LCFS (Last Come First Served); son gelen ilk servis alır. Bu disipline göre yeni gelen müşteriler derhal servise alınır. Eğer servis alan bir müşteri varsa yeni gelen müşterinin servisi tamamlanana kadar bekletilir.

SIRO (Service In Random Order); rastsal sırada servis disiplinine göre rastgele müşterilere yani hangi müşteri rast gelirse ona hizmet edilir.

PRI (Priority Queue Discipline); öncelikli servis disiplini iki biçimde uygulanır. Birincide, öncelikli bir müşteri gelir ve kanalda hizmet sunulan bir müşteri varsa kanaldaki müşteri çıkarılır yerine gelen müşteri alınır. Buna "tam öncelikli servis" (preemptive service priority-PSPO) disiplini adı verilir. Eğer kanaldaki müşterinin hizmeti bitirilir ve öncelikli

müşteri sırada bekleyenlerden önce alınırsa buna “tam öncelikli olmayan servis” (non-preemptive priority service-NPPS) disiplini denilir (Erdoğan 2010).

RR (Round Robin); RR disiplininde bir işin servisi, belirlenen bir zaman diliminde tamamlanamaz ise sıra FCFS disiplinine göre kuyrukta bekleyen bir diğer müşteriye geçmektedir.

PS (Processor Sharing); işler çok küçük dilimlere ayrılmaktadır. Tüm müşterilere eş zamanlı servis yapılmaktadır. Bu nedenle her işin servis süresi de artmaktadır.

IS (Infinite Server); sunucu sayısı talep miktarının çok üzerindedir. Hiçbir zaman bir kuyruk oluşmaz (Arslan 2011).

2.3.2 Kuyruk sistemlerinde notasyon

D. Kendall 1953’de çok kanallı kuyruklarda geliş dağılımı, servis süresi dağılımı ve sistemde bulunan paralel servis sayısını tanımlamak üzere faydalı bir notasyon önermiştir. Daha sonra A. Lee 1966’da notasyona 4’üncü ve 5’inci karakteristikler olan servis disiplini ve sistemde bulunan maksimum birey sayılarını eklemiştir. H. A. Taha 1968’de altıncı bir karakteristik olan geliş kaynağını sisteme katarak, sistemi daha kapsamlı hale getirmiştir. Bu gösterim kuyruk modellerinde bir standart haline gelmiştir (Erdoğan 2010). Genel gösterim aşağıdaki gibidir:

$$(a / b / c) : (d / e / f)$$

Bu dizilişteki harflerin ifade ettikleri anlamlar aşağıdaki gibidir:

a: Sisteme gelişlerin dağılımı.

b: Servis zamanlarının dağılışı.

c: Sistemde bulunan paralel servis kanallarının sayısı.

d: Servis disiplini.

e: Kuyruk ve servis dahil olmak üzere sistemde müsaade edilen en çok birey sayısı.

f : Sisteme geliş kaynağının büyüklüğü (Aydın 2009).

Standart notasyondaki bu simgelerin yerlerine, sistemin özelliğine göre aşağıdaki tanımlamalar kullanılmaktadır.

M: Poisson geliş ya da gidişler.

D: Sabit ya da deterministik gelişler arası servis süresi.

Ek: Gelişler veya servis süresinin Erlang veya Gamma dağılımı.

GI: Gelişlerin bağımsız dağılımı.

G: Gidişlerin genel dağılımı.

FIFO: İlk giren ilk çıkar disiplini.
LCFS: Son giren ilk çıkar disiplini.
SIRO: Rastgele servis.
GD: Genel servis disiplini (Erdoğan 2010).

2.3.3 Kuyruk sistemi modelleri

Kendall Lee'nin tanımlamış olduğu 6 notasyonlu sisteme göre kuyruk modelleri iki ana başlık altında incelenmiştir. Kuyruk modellerinde kullanılan semboller ve ifade ettikleri parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

n = Sistemdeki müşteri sayısı

λ = Birim zamanda servis görmek için gelen müşterilerin sayısı

μ = Birim zamanda servis sayısı

$1/\mu$ = Servis süresi

ρ = Sistemin ortalama etkinliği (yoğunluğu)

L_s = Sistemde bekleyen ortalama müşteri sayısı

L_q = Kuyrukta bekleyen ortalama müşteri sayısı

L = Sistemdeki ortalama müşteri sayısı

W_s = Sistemde bekleme süresi

W_q = Kuyrukta bekleme süresi

W = Müşterinin sistemde geçirdiği süre

P_n = Sistemde n sayıda müşteri bulunma olasılığı

P_q = Sistemin boş olma olasılığı

P_s = Sisteme gelen müşterinin bekleme olasılığı

S = Kanal sayısı (Stevenson 2018)

Ayrıca müşterinin hareketsiz, kaynağın hareketli olduğu kuyruk modellerinde tur kavramı kullanılır. Bu tip kuyruk sistemlerinde bir tur, kaynağın, A müşterisinin yanından ayrıldıktan sonra tüm müşterilere uğrayıp yeniden A müşterisine müdahale ederek işlemi tamamlama süresine denir (Mack ve ark. 1957).

2.3.3.1 Little yasası

Little Formülü, kuyruk sistemindeki ortalama müşteri sayısının, sisteme ortalama geliş oranı ile sistemde ortalama bekleme süresinin çarpımına eşit olduğunu ifade eder. Bu formül notasyon olarak çoğunlukla, $L = \lambda W$ olarak ifade edilir (Yücesoy 2017). Little formülünden kuyruk modellerine baz oluşturacak aşağıdaki eşitliklere ulaşılır.

$$Lq = \lambda Wq \quad (2.1)$$

$$Ls = \lambda Ws \quad (2.2)$$

$$L = Lq + Ls \quad (2.3)$$

$L = \lambda W$ eşitliği, sunucu sayısından, geliş zamanı dağılımından, kuyruk disiplininden ve servis süresi dağılımından tamamıyla bağımsızdır (Winston 2004).

2.3.3.2 Durum olasılıkları

Kuyruk modelleri, olasılıklar üzerine kurulmuştur. Sisteme gelişlerin rastsal olduğu kabul edilir ve bu gelişlerin aynı anda gerçekleşme olasılığı P ile temsil edilir.

Sistemde n adet müşterinin olma olasılığı P_n iken;

$$P_1 = \frac{\lambda P_0}{\mu} \quad (2.4)$$

$$P_2 = \frac{\lambda^2 P_0}{\mu^2} \quad (2.5)$$

$$P_n = \frac{\lambda^n P_0}{\mu^n} \quad (2.6)$$

“ ρ ” sistemin ortalama yoğunluğu olarak adlandırılır ve $\frac{\lambda}{\mu}$ eşitliğinden elde edilir.

Olasılıkların toplamı her zaman 1’e eşit olduğundan;

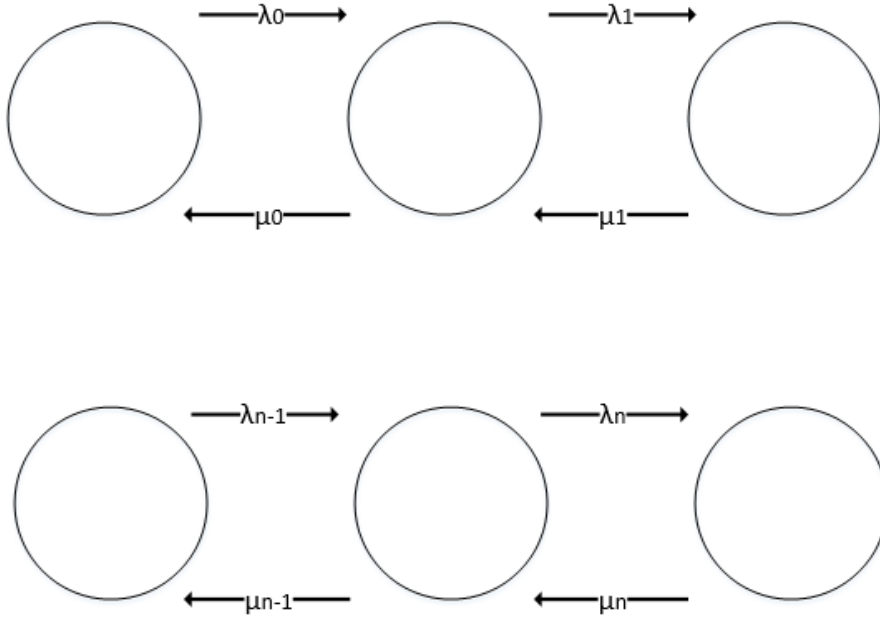
$$P_0(1 + \rho + \rho^2 + \dots) = 1 \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Çalışan sistemlerde $\rho < 1$ olması şarttır. $\rho \geq 1$ olması durumu, $\lambda > \mu$ anlamına gelir ki, bu da sisteme girenlerin sistemden çıkanlardan daha fazla olduğunu gösterir. Böyle bir durumda, kuyruk birim zamanda $\lambda - \mu$ kadar artar ve sistem çalışmaz hale gelir (Winston ve Albright 2011).

2.3.3.3 Doğum-Ölüm süreci

Doğum ve ölüm süreci basit ve yararlı bir stokastik süreçtir. Genellikle kuyruk modeli, makine ve bakım onarım tesislerinde kullanılır. Bir işletmeye gelen müşteri, işletmenin ‘t’

anındaki durumunda artışa neden olduğu için, doğum olarak kabul edilir. İşletmeden hizmet alıp ayrılan müşteri ise ölüm olarak adlandırılabilir (Uyrun 2012). Doğum-ölüm sürecindeki durum değişimi Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Resimde görüldüğü gibi, $t=0$ anında λ değeri λ_0 , μ değeri ise μ_0 değerine eşit olur. ‘ t ’ anı değiştiğinde buna bağlı olarak λ ve μ değerleri de değişir. Bu değişime denge durumu denir.



Şekil 2.7. Doğum-Ölüm süreci (Uyrun 2012)

Doğum-ölüm sürecinin temellerini 3 kurala dayandırmak mümkündür.

Kural 1: $\lambda_n \Delta t + o(\Delta t)$ olasılığıyla, t ve $t + \Delta t$ süreleri arasında bir doğum meydana gelir. Sistem durumu l 'den $n+1$ durumuna geçerken doğum artar. λ_n değerindeki değişiklik, n anındaki doğum oranı olarak adlandırılır. Birçok kuyruk modelinde doğum, sisteme geliş olarak kabul edilir.

Kural 2: $\mu_n \Delta t + o(\Delta t)$ olasılığıyla, t ve $t + \Delta t$ süreleri arasında bir ölüm meydana gelir. Sistem durumu l 'den $n-1$ durumuna geçerken ölüm azalır. μ_n değerindeki değişiklik, n anındaki ölüm oranı olarak adlandırılır. Birçok kuyruk modelinde ölüm, servisin tamamlanması olarak kabul edilir. $\mu_0=0$ anı göz ardı edilmelidir, aksi halde negatif sonuç ile karşılaşılır.

Kural 3: Doğum ve ölüm olayları tamamen birbirinden bağımsızdır (Winston 2004).

2.3.3.4 M/M/1:GD/∞/∞ ve M/M/1:GD/c/∞ kuyruk modelleri

M/M/1:GD/∞/∞ ve M/M/1:GD/c/∞ kuyruk sistemleri, geliş sürelerinin üstel olduğunu (birim zamandaki geliş hızı λ) ve tek bir sunucunun servis süresinin de üstel olduğunu (her müşterinin servis süresi μ) kabul eder. M/M/1:GD/c/∞ kuyruk modelinin, M/M/1:GD/∞/∞ kuyruk modelinden tek farkı, müşteri kapasitesinin sonsuz değil “c” adet olmasıdır. “c” adet üzerindeki müşteri sisteme girmeden geri döner. Bu kuyruk modellerine, tekil bankamatikler, tekil x-ray cihazları, arabaya servis veren fast-food restoranları örnek olarak verilebilir.

M/M/1:GD/∞/∞ kuyruk modelinde başlıca hesaplamalar şu şekilde yapılmaktadır:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad 0 \leq \rho < 1 \quad (2.7)$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (2.8)$$

$$Lq = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.9)$$

$$Ls = \rho \quad (2.10)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.11)$$

$$Ws = \frac{\rho}{\lambda} \quad (2.12)$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.13)$$

Bu denklemlerin sonucunda; ρ değeri 1'e yaklaştıkça W ve Wq değerleri büyür. ρ değeri 0'a yaklaştıkça Wq değeri de 0'a ve W değeri $1/\mu$ (servis süresi) değerine yaklaşır (Winston 2004).

M/M/1:GD/c/∞ kuyruk modelinde sistemin ulaşabileceği maksimum müşteri sayısı c 'dir. Bu sebeple bu kuyruk modelinde $\lambda = \mu$ durumu beklenmez.

$\lambda \neq \mu$ durumunda;

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{c+1}} \quad (2.14)$$

$$P_n = \rho^n P_0, \quad (n=1,2,\dots,c) \quad (2.15)$$

$$P_n = 0, \quad (n=c+1, c+2, \dots) \quad (2.16)$$

Bu kuyruk modelinde, birim zamanda sisteme gelişlerin tamamı (λ), kapasite kısıdından dolayı hizmet alamayabilir ve λP_c adet müşteri sistemi terk edebilir. Bu sebeple M/M/1/GD/ ∞/∞ kuyruk modelinden farklı olarak W hesaplamaları şu şekilde değişmektedir;

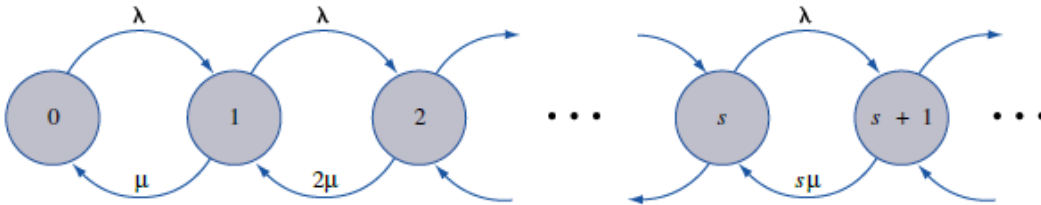
$$W = \frac{L}{\lambda(1-P_c)} \quad (2.17)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda(1-P_c)} \quad (2.18)$$

2.3.3.5 M/M/S:GD/ ∞/∞ kuyruk modelleri

Bu kuyruk sisteminde geliş süreleri (λ) ve servis süreleri (μ) üstel kabul edilir ve bu sistemde paralel kanallardan birinden servis almak için bekleyen tek bir müşteri hattı bulunmaktadır. “n”, t anında sisteme giren müşteri sayısı ve “s”, aynı t anında hizmet vermeyi bekleyen kanal sayısı ise; $n \leq s$ durumunda, tüm müşteriler servis alma konumundadır. $n > s$ ise, tüm kanallar doludur ve $n-s$ adet müşteri kuyrukta beklemektedir. Sistemde boş kanal bulan herhangi bir geliş hemen servis almaya başlar, ancak tüm kanalların dolu olması durumunda servis için bekleyen kuyruğa katılır. Bu kuyruk modeline en uygun örnek bankada hizmet almayı bekleyen müşteriler olarak verilebilir.

Bu modelde, sistemde n adet müşteri bulunması durumunda, min (n, s) adet kanal meşguldür. Eğer sisteme geliş oranı, maksimum servis oranından fazla ise sistem şişer (Winston 2004). Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, sistemin dolu olması durumunda bir müşterinin bekleme süresi, kuyruktaki müşterilerin sayısına bağlı olarak artar.



Şekil 2.8. M/M/S:GD/ ∞/∞ diyagramı (Winston)

M/M/S:GD/ ∞/∞ kuyruk modelinde başlıca hesaplamalar şu şekilde yapılmaktadır:

$$Lq = \frac{P(n \geq s)\rho}{1-\rho} \quad (2.19)$$

$$Ls = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.20)$$

$$L = Lq + Ls = Lq + \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.21)$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} = \frac{P(n \geq s)}{s\mu - \lambda} \quad (2.22)$$

$$Ws = \frac{1}{\mu} \quad (2.23)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{P(n \geq s)}{s\mu - \lambda} + \frac{1}{\mu} \quad (2.24)$$

2.3.3.6 M/G/∞:GD/∞/∞ kuyruk modelleri

Bir müşterinin, hizmetin başlamasını beklemek zorunda kalmayacağı birçok sistem örneği vardır. Böyle bir sistemde, müşterinin sistemdeki tüm konaklama süresi, hizmet süresi olarak düşünülebilir. Bir müşterinin hiçbir zaman servis beklemesi gerekmediğinden, her varışta bir kaynak vardır ve böyle sistemler sonsuz kaynaklı (veya self servis) sistemler olarak düşünülmektedir.

Bu sistemde gelişler belirli bir kurala bağlı olmaksızın gerçekleştiği için Kendall-Lee notasyonuna göre GI/G/∞:GD/∞/∞ olarak da tanımlanabilirler (Winston 2004).

Gelişlerin oranı A dağılımı ile kabul edildiğinde;

$$E(A) = \frac{1}{\lambda} \quad (2.25)$$

Her bir müşterinin servis süresi S dağılımı ile kabul edildiğinde;

$$E(S) = \frac{1}{\mu} \quad \text{eşitlikleriyle sağlanır.} \quad (2.26)$$

2.3.3.7 M/G/1:GD/∞/∞ kuyruk modelleri

Tek bir kanalın bulunduğu bu kuyruk sisteminde geliş süreleri üstel dağılım gösterir ancak servis sürelerinin üstel dağılım göstermesi beklenmez.

Bu sistem bir doğum-ölüm süreci değildir, çünkü t ve Δt arasında bir hizmetin tamamlanma olasılığı, t zamanında n 'nin durumu, son hizmetin tamamlanmasından bu yana geçen sürenin uzunluğuna bağlıdır. Bu nedenle, t ve Δt arasında bir hizmetin tamamlanma olasılığını $\mu\Delta t$ formunda yazamayız (Winston 2004).

Her bir müşterinin servis süresi S dağılımı ile kabul edildiğinde başlıca hesaplamalar aşağıdaki şekilde yapılmaktadır;

$$E(S) = \frac{1}{\mu}, \quad \sigma^2 = \text{var } S \quad (2.27)$$

$$Lq = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)} \quad (2.28)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.29)$$

$$Ls = \frac{\lambda}{\mu} = \rho \quad (2.30)$$

$$L = Lq + Ls = Lq + \rho \quad (2.31)$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} \quad (2.32)$$

$$Ws = \frac{1}{\mu} \quad (2.33)$$

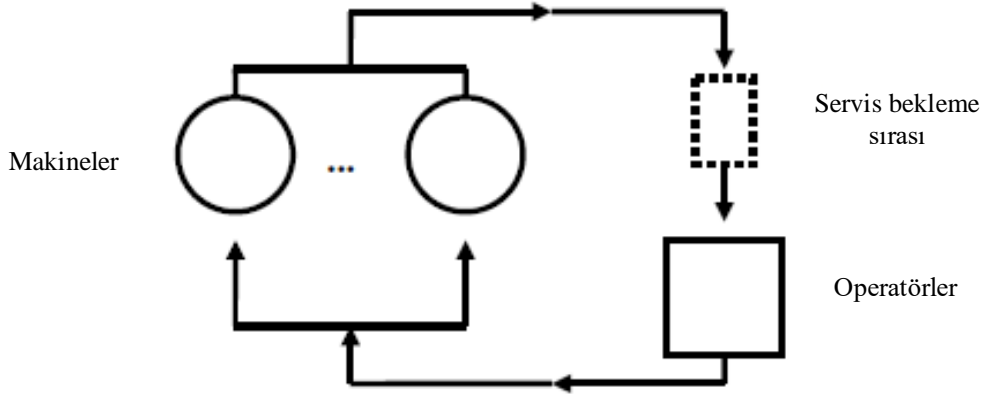
$$W = Wq + \frac{1}{\mu} \quad (2.34)$$

2.4 Makine Onarım Modeli

Bir işletme, rakiplerine göre daha düşük maliyetli mal üretmek için, daha fazla kâr ve daha düşük fiyatlar getirecek makine verimliliğini artırma çalışmaları yapabilmelidir. Analitik veya diğer metotları kullanarak çoklu makine atamalarında makine verimliliklerini analiz edebilirler. Makine müdahalesi şu şekilde tanımlanabilir: “K” adet makine ve “R” adet çalışandan oluşan basit bir sistemde, her makine, bozulana veya düzenleme yapılmasına kadar

bir süre boyunca çalışır, durduğu noktada servis tesisine gönderilir. Operatör makine başında tamir süresi geçirdikten sonra makineyi yeniden çalışır duruma getirir. Şekil 2.9’da gösterilen bu sistem, bir makine girişim problemi olarak veya makine tamircisi problemi olarak adlandırılan basit bir örnektir (Engin 2009).

Makine girişim problemleri çok farklı alanlarda karşımıza çıkmaktadır. En basit haliyle sabit sayıda makine ve operatör bulunan bir sistemde makinelerin çalışma ve onarım süreleri üstel olarak tanımlanır. Bu problem sıklıkla doğum-ölüm modeli veya sınırlı kaynak üstel kuyruk sistemi örneği olarak kullanılır (Sztrik ve Bunday 1992).

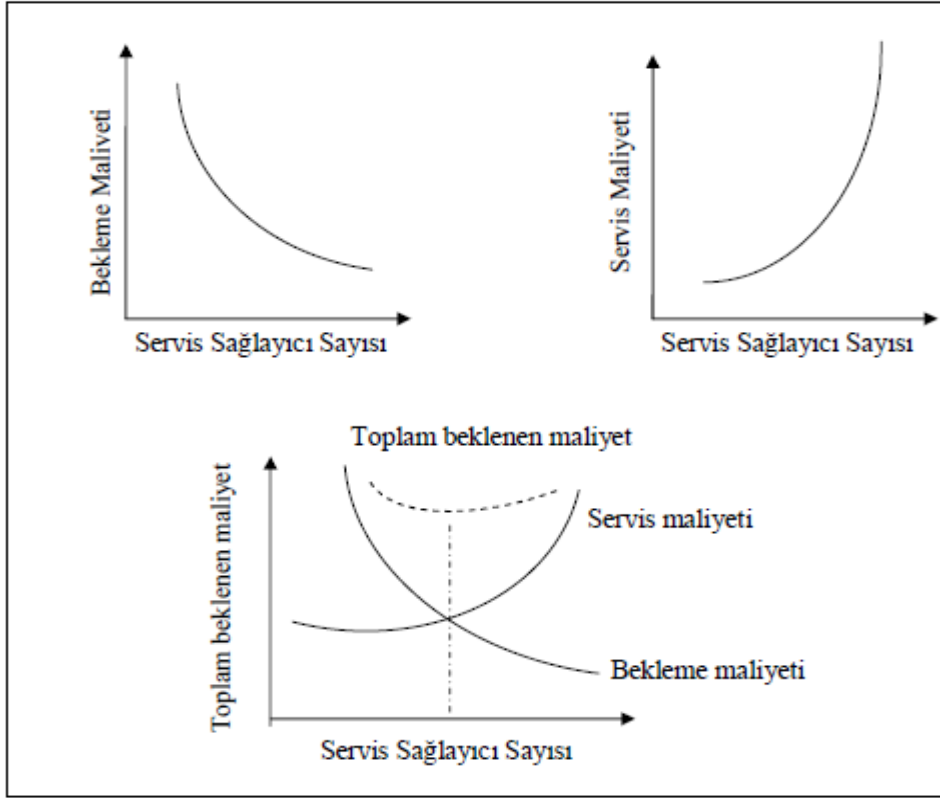


Şekil 2.9. “K” adet makine ve “R” adet operatörden oluşan makine girişim modeli (Haque ve Armstrong 2007)

Makine girişim problemlerinin en çok karşıladığı alanlardan biri tekstil endüstrisidir. Emek yoğun olan bu sektörde, operatörler birçok makineden sorumlu olarak çalışırlar. Dokuma işletmeleri bu modelin en güzel örneklerinden biridir. Makinelere müdahale eden operatörler de operatörleri bekleyen makineler de işletme için maliyet kaynağıdır. Birçok dokumacıya sahip olmak, dokumacıların savurgan kullanımına bağlı olarak yüksek maliyet anlamına gelmektedir. Az sayıda dokumacıya sahip olmak ise aşırı tezgâh bekleme süresine bağlı olarak yüksek maliyet anlamına gelir ki bu maliyet kayıp üretim maliyeti demektir. Bu nedenle, bir dokuma işletmesinde görevlendirilecek dokumacıların sayısını belirlemek için rasyonel bir metot belirlenmelidir. Söz konusu metot, işgücü ve üretim maliyetlerini dikkate almalıdır.

Üretimi istenen seviyede tutmak için gerekli olan dokumacı sayısı, tezgâhın ne sıklıkta durduğuna bağlıdır. Çok fazla dokumacı kullanılıyorsa, bir kısım dokumacının boşa kalma süresi olacaktır. Ancak, yeterli dokumacı kullanılmadığı takdirde, ekstra tezgâh beklemesi meydana gelecektir (Alwerfalli 1978). Şekil 2.10’daki görüldüğü gibi servis maliyeti ile

bekleme maliyetinin kesişim noktası gibi bu iki seviye arasındaki bir denge, maliyetlerin minimum olduğu en uygun noktadır.



Şekil 2.10. Maliyet-servis dengesi (Uyrun 2012)

Gelişlerin küçük bir popülasyondan alındığı modellere “Sonlu Kaynaklı Modeller” denir. Bu model aynı zamanda “Makine Onarım Modeli” olarak bilinmektedir (Winston 2004).

Sonlu kaynak modelinde, nüfusun tamamında yalnızca sınırlı bir müşteri sayısı olduğunu varsayılır. Genel bağlam, “müşterilerin” makineler olmasıdır. Geliş, bir makinenin arızalandığı ve bir tamir merkezine ulaştığı anlamına gelir. Servis, makine tamiri anlamına gelir. Bu tür bir sistemin benzersiz yönü, tamir merkezine geliş oranının oradaki makine sayısına bağlı olmasıdır. Makinelerin çoğu tamir edildiğinde, tamir merkezine geliş oranı mutlaka düşer (arızalanacak çok fazla makine yoktur çünkü çoğu zaten arızalıdır). Tersine, tamirhanedeki sayı düşük olduğunda, tamirhaneye geliş oranı yüksektir çünkü çoğu makine arızaya adaydır.

Her iki sistemin de ilginç bir yönü, istikrarın bir sorun olmamasıdır. Yani, istikrarı sağlamak için trafik yoğunluğunun 1’den az olması gerekmemektedir. Bunun nedeni, sisteme yalnızca sınırlı sayıda müşterinin (veya makinenin) girmesine izin verilmesidir. Bu nedenle, sistemdeki tıkanıklığın sınırsız büyümesi mümkün değildir. Sonuç olarak, geliş oranı ile servis oranı arasındaki ilişkiye bakılmaksızın, bu durum daima ortaya çıkar. Bu, bu sistemlerin

mutlaka düşük derecede tıkanıklığa sahip olduğu anlamına gelmez, sadece sıra uzunluklarının sınırsız büyümeyeceği anlamına gelir (Winston ve Albright 2011).

Makine onarım probleminde, sistem; K adet makine ve R adet onarım insanlarından oluşur. Herhangi bir anda, belirli bir makine iyi ya da kötü durumdadır. Bir makinenin iyi durumda kaldığı sürenin uzunluğu, λ oranıyla bir üstel dağılımı izler. Bir makine bozulduğunda, makine R adet onarım yapan kişilerden oluşan bir onarım merkezine gönderilir. Onarım merkezi, kırık makinelere bir M/M/R/GD/ ∞/∞ sistemine ulaşıyormuş gibi hizmet vermektedir.

Bu nedenle, eğer $n \leq R$ adet makine kötü durumda ise, bozuk olan bir makine tamir için hemen atanacaktır; $n > R$ adet makine bozulursa, $n - R$ adet makine bir tamircinin boşa düşmesi için hatta bekler. Bozulmuş bir makinede onarımları tamamlamak için gereken süre, μ oranıyla (veya ortalama tamir süresi $1 / \mu$) üstel olarak varsayılır. Bir makine tamir edildikten sonra, iyi duruma geri döner ve arızaya tekrar duyarlı hale gelir. Makine onarım modeli, herhangi bir zamanda, n adet kötü durumda olan makinelerin olduğu bir doğum-ölüm süreci olarak modellenebilir. Kendall-Lee notasyonunu kullanarak, az önce açıklanan model bir M/M/R/GD/K/K modeli olarak ifade edilebilir. İlk K, herhangi bir zamanda, K müşterisinden (veya makinelerden) daha fazla olmayacağını ve ikinci K, gelenlerin, K büyüklüğündeki sonlu bir kaynaktan çekildiğini belirtir.

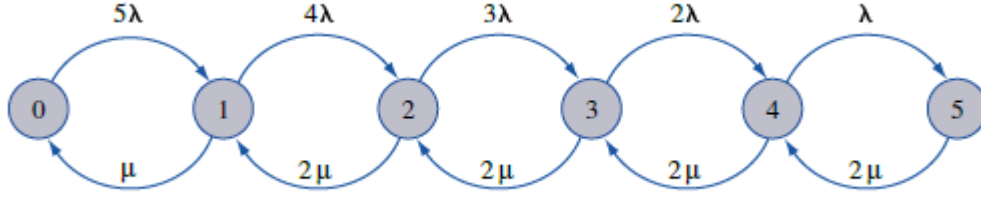
Çizelge 2.1’de, K=5 ve R=2 olması durumunda G (iyi durumdaki makineler) ve B (kötü durumdaki makineler) durumlarının olasılıkları gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. K=5, R=2 olması durumunda makine onarım modeli olasılıkları

Durum	İyi Durumdaki Makinelerin Sayısı	Tamir Kuyruğu	Meşgul Olan Tamirci Sayısı
0	G G G G G		0
1	G G G G		1
2	G G G		2
3	G G	B	2
4	G	B B	2
5		B B B	2

Bu model bir doğum ölümü süreci olarak tanımlandığında; doğum makinelerin bozulmasını, ölüm ise makinelerin tamir olmasını ifade eder. “n” anındaki doğum oranını belirlemek için, “n” anındaki bozuk makine sayısını tayin etmemiz gerekmektedir. Bu durumda sistemde “K-n” adet makine iyi durumdadır. Şekil 2.11’de gösterildiği gibi her makine “ λ ”

oranıyla bozulduğunda, “n” durumunda makinelerin toplam bozulma oranı; $\lambda_n = (K - n)\lambda$ olarak ifade edilir.



Şekil 2.11. M/M/R:GD/K/K modelinde makinelerin bozuk olma durumu (K=5, R=2) (Winston 2004)

n durumunda min (n, R) adet tamirci meşguldür ve bir tamircinin onarım süresi oranını μ olarak tanımladığımızda, ölüm oranı;

$$\mu_n = n\mu, \quad (n = 0, 1, \dots, R) \quad (2.35)$$

$$\mu_n = R\mu, \quad (n = R+1, R+2, \dots, K) \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.36)$$

Bu kuyruk modelinde başlıca hesaplamalar şu şekilde yapılmaktadır:

Durum olasılık dağılımı

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \text{ ise;} \quad (2.37)$$

$$P_n = \binom{K}{n} \rho^n P_0 \quad (n = 0, 1, \dots, R) \quad (2.38)$$

$$P_n = \frac{\binom{K}{n} \rho^n n! P_0}{R! R^{n-R}} \quad (n = R+1, R+2, \dots, K) \quad (2.39)$$

L=Bozulması beklenen olası makine sayısı

$$L = \sum_{n=0}^{n=K} n P_n \quad (2.40)$$

L_q = Tamir için bekleyen olası makine sayısı

$$L_q = \sum_{n=R}^{n=K} (n - R) P_n \quad (2.41)$$

$\bar{\lambda}$ = Birim zamanda ortalama geliş sayısı

$$\bar{\lambda} = \sum_{n=0}^{n=K} P_n \lambda_n = \lambda(K - L) \quad (2.42)$$

W= Bir makinenin ortalama bozulma süresi

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (2.43)$$

W_q = Bir makinenin tamir için ortalama bekleme süresi

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (2.44)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, tam entegre üretim yapan yünlü dokuma işletmesinden alınan veriler ile hazırlanmıştır. 1973 yılında kurulan tesis, erkezk y OSB bölgesinde bulunmaktadır ve yılda 14500 km üretim kapasitesine sahiptir. Fabrikada iplik, çözgü ve dokuma, boyama, apreleme üretim süreçleri yer almaktadır.

3.1 Tesisin Proses Tarifi

Tesiste kullanılan hammadde y nd r ve hazır tops olarak ithal edilir. Hazır tops, elyaf boya veya vig re boya ile boyanabilir veya boyama işlemine tabi tutulmayabilir. Elyaf veya vig re olarak boyanan elyaf, vig re olarak boyanmış ise fikse işlemi uygulanarak, elyaf olarak boyanmış ise fikse işlemi uygulanmadan yıkama kurutma ünitesine, daha sonra keçe açma ünitesine gelir. Keçe açmadan sonra hazırlama biriminde elyafın düzgünleştirilmesi ve fitil haline gelmesi gerçekleştirilir. Üretilen ya da dışarıdan alınan iplik boyama işlemine tabi olabilir. Bu durumda ise, bobinler boyanır, kurutulur. Kalite kontrolü yapıldıktan sonra katlama bölümüne ya da çözgü bölümüne gereğine göre gönderilir.

Boyama işlemine tabi tutulmayan elyaflar keçe açma işleminden sonrası hazırlama biriminde elyafın düzgünleştirilmesi ve fitil haline getirilmesi işlemlerinden geçer. Fitil haline gelen elyafın ring bölümünde iplik aşaması gerçekleştirilir.  plik daha sonra fikse işlemine tabi tutulur. Fikse işlemi sonrası iplik, bobin haline getirilir. Bobin haline gelen iplik; bobin boya prosesine tabi olabilir. Bu durumda bobinler boyanır, kurutulur, kalite kontrolü yapıldıktan sonra katlama bölümüne ya da çözgü bölümüne gereğine göre gönderilir. Bobin boya prosesi uygulanmayan ipliklere katlama ve büküm işlemi uygulanarak fikse işlemi gerçekleştirilir. Kalite kontrolü yapıldıktan sonra çözgü dairesine gönderilir.

Çözgü dairesine gönderilen iplikler  z ld kten sonra bazıları haşıllanır. Haşıllanan veya haşıllanmamış olan iplikler daha sonra tahar işleminden geçerler.

Dokuma dairesinde çözülmüş ipliklerin kumaş dokuma tezg hlarında dokunmasıyla üretilen kumaşlar ham kontrol ünitesine gelir. Ham kontrolde görülen hatalar ‘‘ham cımbız’’ bölümünde giderilir. Ham cımbızdan geçen kumaşlar gaze makinesinde yakma işlemine tabi tutulur. Burada kumaşın yüzeyindeki havlar yakılır. Bundan sonraki işlem apre işlemidir.

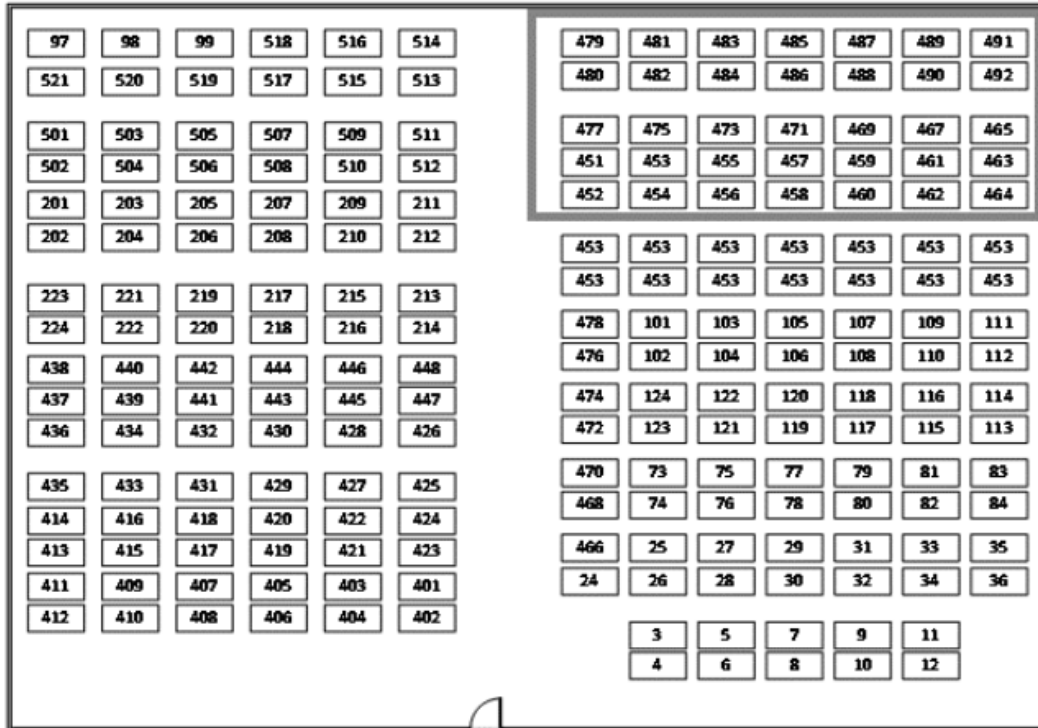
Aprenin işlemi, yaş aprenin ve kuru aprenin olmak üzere iki aşamalıdır. Yaş aprenin gazelenen kumaşlar yıkanır. Daha sonra ramöz makinelerinde kurutulurken, kuru aprenin kumaşın özelliğine göre gereken makinelerden geçirilerek mamul hale getirilir.

Ayrıca yaş aprenin çıkan kumaş, bitmiş ürünün özelliğine göre kumaş boya bölümüne gönderilebilir. Burada boyanan kumaş, yine kumaşın özelliğine göre kuru aprenin bölümünde gerekli makinelerden geçerek terbiye işlemine tabi tutulur. Kumaş kuru aprenin işleminden sonra mamul hale gelmiştir. Bundan sonraki aşama kalite kontroldür. Kalite kontrolü yapılan kumaş top olarak sarılır ve ambalajlanarak sevkiyatı yapılır.

Gerçekleştirilen çalışmanın temel materyalini, dokuma işletmesinde en çok üretilen 3 tipin çözgü ve atkı kopuşları oluşturacaktır. Bu tiplerde kopuşlar dikkate alınarak, makine bozulma süreleri ve operatörlerin müdahale süreleri incelenecektir.

3.2 Dokuma İşletmesi

Çalışma yapılan işletmede vardiyada 40 operatörün sorumlu olduğu 197 adet tezgâh bulunmaktadır. 40 operatörden 21 kişi, sürekli olarak işletme içerisinde tur atmaktadır. 197 tezgâhın 90 adedi Picanol, 107 adedi ise Dornier modelidir. Şekil 3.1’de numune tezgâhlarının da dahil olduğu tezgâh yerleşim planı krokisi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dokuma işletmesi tezgâh planı

İşletme haftada 7 gün, 3 vardiya olarak tam zamanlı çalışmaktadır. Çalışmada kullanılan makine duruş süreleri atkı veya çözgü ipliği kopması sebebiyle oluşan arızalara müdahale sürelerini kapsamaktadır. Mevcut durumda her çalışan 9 veya 10 makineden sorumludur. Çalışmada işletmenin en çok ürettiği 3 kumaş tipi esas alınmıştır. Bu seçimdeki diğer etkenler, seçilen tiplerin bezayağı örgü olması sebebi ile yüksek çerçeve sürtünmesine maruz kalması ve bezayağı örgünün sıkı yapısı sebebi ile kumaş tansiyonlarının yüksek olmasıdır.

3.3 Örneklem Seçimi

Tesis, sipariş bazlı çalışmaktadır. Seçilen 3 tipin, 2 ay boyunca farklı zamanlarda gelen tüm siparişleri ele alınmıştır. Belirlenen kumaş tipleri hakkındaki bilgiler Çizelge 3.1’de, ilgili makine parkurunda, çalışmanın gerçekleştirildiği süre boyunca bu siparişlerin dokunduğu tezgâh numaraları Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. İncelenen siparişlerin kumaş özellikleri

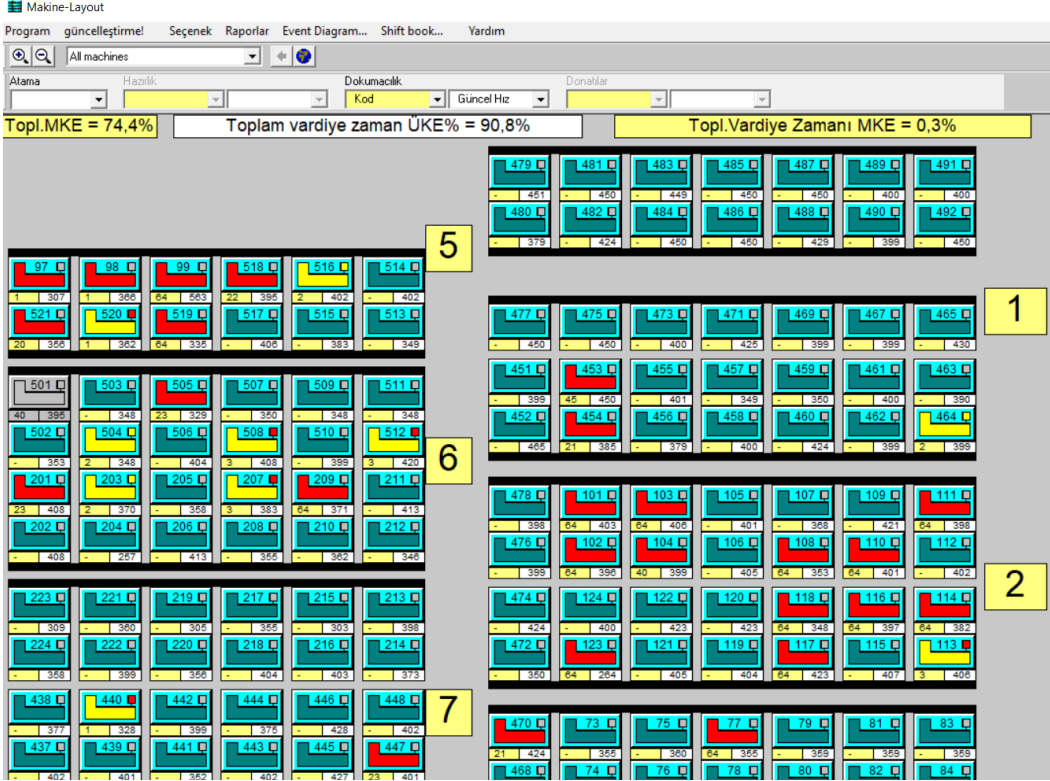
Gelen sipariş sayısı	Sipariş ismi	Örgü tipi	Atkı İpliği	Çözgü İpliği
33	Tip-1	Bezayağı	96/4 Yün/Ea	86/10/4 Yün/Pa6.6/Pa6
39	Tip-2	Bezayağı	43/53/4 Yün/Pes/Ea	42/51/7 Yün/Pes/Ea
13	Tip-3	Bezayağı	44/54/2 Yün/Pes/Ea	43/54/4 Yün/Pes/Ea

Çizelge 3.2. Seçilen örneklemelerin dokunduğu tezgah numaraları

Tip-1		Tip-2		Tip-3
453	479	452	482	452
454	480	454	483	453
455	481	455	484	456
458	483	456	485	459
462	488	457	486	463
467	489	460	487	464
469	490	465	488	469
471	491	473	489	471
473	492	477	490	
477		480	491	
		481	492	

3.4 Örneklem İncelemesi ve Metot Belirleme

Seçilen örneklemelerin, inceleme süresi boyunca belirtilen tezgahlarda manuel ve sistemsel etütleri alınarak, kopuşlar arası süreleri ve makine girişim süreleri hesaplanmıştır. Sistem verileri için Şekil 3.2’de gösterilen ve tesis tarafından kullanılan Loomdata Programı ve Şekil 3.3’de gösterilen Makine Duruş Çizelgeleri kullanılmıştır. Loomdata programında incelenmek istenen tezgâh numarası seçilerek makine duruş verilerine ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.2. Loomdata tezgâh yerleşimi

Başlangıç	Code	Tyr	Son	Topl.Dak	Kod-Tipi	Kod	Kısa Kod	Kod Tanımla	Sayıdı	Talimat	Ayrı Tipi	Ayrı Kodu	Ayrıntılı Tanımla	Personel	Kişi Adı	Renk
24.04.2019 13:26:11	1	24.04.2019 13:26:41	0,5	Sh-Kodu	1	DD	DİGER DURUS	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 11:21:06	1	24.04.2019 11:21:42	0,6	Sh-Kodu	3	CD	COZGU DURUSU	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 11:15:19	1	24.04.2019 11:16:26	1,1	Sh-Kodu	3	CD	COZGU DURUSU	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 11:06:26	1	24.04.2019 11:07:08	0,7	Sh-Kodu	3	CD	COZGU DURUSU	<input type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 11:03:52	1	24.04.2019 11:06:18	2,4	Sh-Kodu	3	CD	COZGU DURUSU	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 08:23:39	1	24.04.2019 08:30:07	0,5	Sh-Kodu	2	AD	ATKI DURUSU	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
24.04.2019 08:05:05	1	24.04.2019 08:09:36	4,5	Sh-Kodu	1	DD	DİGER DURUS	<input checked="" type="checkbox"/>			St-Tanım					
23.04.2019 23:55:00	2	24.04.2019 07:53:27	478,4	ÜD-Kodu	1	BM	BİLİNMEYEN	<input type="checkbox"/>								
23.04.2019 16:16:37	2	23.04.2019 23:55:00	480,0	ÜD-Kodu	1	BM	BİLİNMEYEN	<input type="checkbox"/>	<							

Şekil 3.3. Makine detay bilgileri

Çizelge 3.3’de Tip-1 için, Çizelge 3.4’te Tip-2 için ve Çizelge 3.5’te Tip-3 için alınan sistem süreleri bir tezgâh için örneklenmiştir. Çizelgelerde “toplam duruş” makinenin durma süreleri arasında farktır ve makinenin kopuş kaynaklı durma süresini ifade eder. “Duruşlar arası süre” ise makine yeniden çalışmaya başladığı an ile bir sonraki duruş anı arasındaki farktır ve kopuş sıklığını ifade eder.

Örneğin; Tip-1 için 453 no’lu makinede 16.10.2018 tarihinde ilk duruş 08:47 ile 08:48 saatleri arasında olmuştur ve 1,1 dk sürmüştür. Makine 08:48’de sorunu giderilerek yeniden çalıştırılmıştır. Bir sonraki duruş ise 08:50 saatinde olmuştur ve kopuşlar arasındaki süre 1,36 dk olarak hesaplanmıştır. Gün değişimlerinde sonraki kopuş zamanı bilinemediğinden bu değer göz ardı edilmiştir.

Çizelge 3.3. Tip-1, 453 no’lu tezgah kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre

Makine	Başlangıç	Son	Kopuk Alma Süresi	Duruş Tipi	Kumaş Tipi	Kopuşlar Arası Süre
453	16.10.2018 08:47	16.10.2018 08:48	1,1	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:01:36
453	16.10.2018 08:50	16.10.2018 08:51	1,3	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:23:52
453	16.10.2018 09:15	16.10.2018 09:16	1,2	Çözümlü Duruşu	Tip-1	01:11:45
453	16.10.2018 10:28	16.10.2018 10:29	0,8	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:16:38
453	16.10.2018 10:46	16.10.2018 10:47	1	Atkı Duruşu	Tip-1	00:03:03
453	16.10.2018 10:50	16.10.2018 10:52	2,6	Atkı Duruşu	Tip-1	00:55:16
453	16.10.2018 11:48	16.10.2018 11:48	0,8	Çözümlü Duruşu	Tip-1	
453	23.10.2018 08:59	23.10.2018 08:59	0,2	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:19:37
453	23.10.2018 09:19	23.10.2018 09:20	1,5	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:21:18
453	23.10.2018 09:41	23.10.2018 09:42	1,1	Atkı Duruşu	Tip-1	00:17:06
453	23.10.2018 10:00	23.10.2018 10:00	0,9	Atkı Duruşu	Tip-1	00:31:42
453	23.10.2018 10:32	23.10.2018 10:34	1,5	Çözümlü Duruşu	Tip-1	00:16:06
453	23.10.2018 10:50	23.10.2018 10:51	1,3	Çözümlü Duruşu	Tip-1	01:10:16
453	23.10.2018 12:01	23.10.2018 12:03	1,3	Çözümlü Duruşu	Tip-1	02:13:50
453	23.10.2018 14:17	23.10.2018 14:17	0,8	Atkı Duruşu	Tip-1	00:06:11
453	23.10.2018 14:23	23.10.2018 14:24	0,5	Atkı Duruşu	Tip-1	00:01:07
453	23.10.2018 14:25	23.10.2018 14:26	0,9	Atkı Duruşu	Tip-1	00:11:31
453	23.10.2018 14:37	23.10.2018 14:40	2,3	Çözümlü Duruşu	Tip-1	

Çizelge 3.4. Tip-2, 452 no’lu tezgâh kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre

Makine	Başlangıç	Son	Kopuk Alma Süresi	Duruş Tipi	Kumaş Tipi	Kopuşlar Arası Süre
452	16.10.2018 11:38	16.10.2018 11:39	1,1	Atkı Duruşu	Tip-2	00:28:31
452	16.10.2018 12:08	16.10.2018 12:09	0,7	Atkı Duruşu	Tip-2	00:07:22
452	16.10.2018 12:16	16.10.2018 12:16	0,4	Atkı Duruşu	Tip-2	01:36:25
452	16.10.2018 13:53	16.10.2018 13:55	1,7	Atkı Duruşu	Tip-2	00:14:58
452	16.10.2018 14:09	16.10.2018 14:10	0,9	Atkı Duruşu	Tip-2	00:00:42
452	16.10.2018 14:11	16.10.2018 14:12	0,4	Çözümlü Duruşu	Tip-2	00:37:17
452	16.10.2018 14:49	16.10.2018 14:50	1,3	Çözümlü Duruşu	Tip-2	00:08:13
452	16.10.2018 14:58	16.10.2018 14:59	0,8	Atkı Duruşu	Tip-2	00:04:22
452	16.10.2018 15:04	16.10.2018 15:04	0,5	Çözümlü Duruşu	Tip-2	00:09:10

452	16.10.2018 15:13	16.10.2018 15:14	0,6	Atkı Duruşu	Tip-2	00:01:18
452	16.10.2018 15:15	16.10.2018 15:16	0,9	Atkı Duruşu	Tip-2	00:04:07
452	16.10.2018 15:20	16.10.2018 15:22	1,4	Atkı Duruşu	Tip-2	00:06:35
452	16.10.2018 15:28	16.10.2018 15:29	0,4	Atkı Duruşu	Tip-2	00:02:38
452	16.10.2018 15:31	16.10.2018 15:32	0,6	Atkı Duruşu	Tip-2	
452	24.10.2018 12:28	24.10.2018 12:30	1,7	Atkı Duruşu	Tip-2	00:19:22
452	24.10.2018 12:49	24.10.2018 12:54	4,7	Çözü Duruşu	Tip-2	01:32:26
452	24.10.2018 14:26	24.10.2018 14:27	0,3	Atkı Duruşu	Tip-2	00:11:34
452	24.10.2018 14:38	24.10.2018 14:40	1,4	Atkı Duruşu	Tip-2	

Çizelge 3.5. Tip-3, 452 no’lu tezgah kopuk alma süresi ve kopuşlar arası süre

Makine	Başlangıç	Son	Kopuk Alma Süresi	Duruş Tipi	Kumaş Tipi	Kopuşlar Arası Süre
452	28.11.2018 08:14	28.11.2018 08:14	0,4	Çözü Duruşu	Tip-3	02:00:19
452	28.11.2018 10:15	28.11.2018 10:16	1	Çözü Duruşu	Tip-3	00:17:14
452	28.11.2018 10:33	28.11.2018 10:33	0,5	Atkı Duruşu	Tip-3	00:28:20
452	28.11.2018 11:02	28.11.2018 11:03	1,3	Çözü Duruşu	Tip-3	00:30:57
452	28.11.2018 11:34	28.11.2018 11:34	0,3	Çözü Duruşu	Tip-3	00:14:17
452	28.11.2018 11:48	28.11.2018 11:51	2,5	Atkı Duruşu	Tip-3	01:18:01
452	28.11.2018 13:09	28.11.2018 13:10	0,6	Atkı Duruşu	Tip-3	00:14:24
452	28.11.2018 13:24	28.11.2018 13:25	0,7	Çözü Duruşu	Tip-3	00:32:04
452	28.11.2018 13:57	28.11.2018 13:57	0,6	Çözü Duruşu	Tip-3	00:55:14
452	28.11.2018 14:53	28.11.2018 14:53	0,8	Çözü Duruşu	Tip-3	00:17:18
452	28.11.2018 15:11	28.11.2018 15:12	1,6	Çözü Duruşu	Tip-3	00:10:20
452	28.11.2018 15:23	28.11.2018 15:24	1,1	Atkı Duruşu	Tip-3	00:00:02
452	28.11.2018 15:24	28.11.2018 15:25	1,3	Atkı Duruşu	Tip-3	00:00:02
452	28.11.2018 15:25	28.11.2018 15:25	0,3	Atkı Duruşu	Tip-3	
452	4.12.2018 08:11	4.12.2018 08:16	4,8	Çözü Duruşu	Tip-3	00:35:32
452	4.12.2018 08:51	4.12.2018 08:54	2,3	Çözü Duruşu	Tip-3	00:49:36
452	4.12.2018 09:43	4.12.2018 09:45	1,6	Atkı Duruşu	Tip-3	00:00:10
452	4.12.2018 09:45	4.12.2018 09:45	0,6	Atkı Duruşu	Tip-3	00:56:35
452	4.12.2018 10:42	4.12.2018 10:43	0,9	Atkı Duruşu	Tip-3	03:19:35
452	4.12.2018 14:03	4.12.2018 14:05	2,6	Atkı Duruşu	Tip-3	00:30:50
452	4.12.2018 14:36	4.12.2018 14:38	1,6	Atkı Duruşu	Tip-3	00:10:29
452	4.12.2018 14:48	4.12.2018 14:49	1,4	Atkı Duruşu	Tip-3	00:01:56
452	4.12.2018 14:51	4.12.2018 14:57	5,7	Çözü Duruşu	Tip-3	

Örneğin; Tip-1 için 454 no’lu tezgâhta 24.10.2018 tarihinde gerçekleşen kopuş süreleri ve sıklıkları Çizelge 3.6’da gösterilmektedir. Bu tabloda bulunan veriler ile ilgili değerlendirme Minitab®17.1.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Programda kopuş süreleri ve sıklıklarının üstel dağılım gösterip göstermediği günlük bazda hesaplanmış, p değerleri saptanarak ve hangi kuyruk modelinin kullanılacağına karar verilmiştir. Oluşturulan hipotez şu şekildedir:

$H_0 = \text{Örneklem Üstel (Exponential) Dağılım gösterir}$

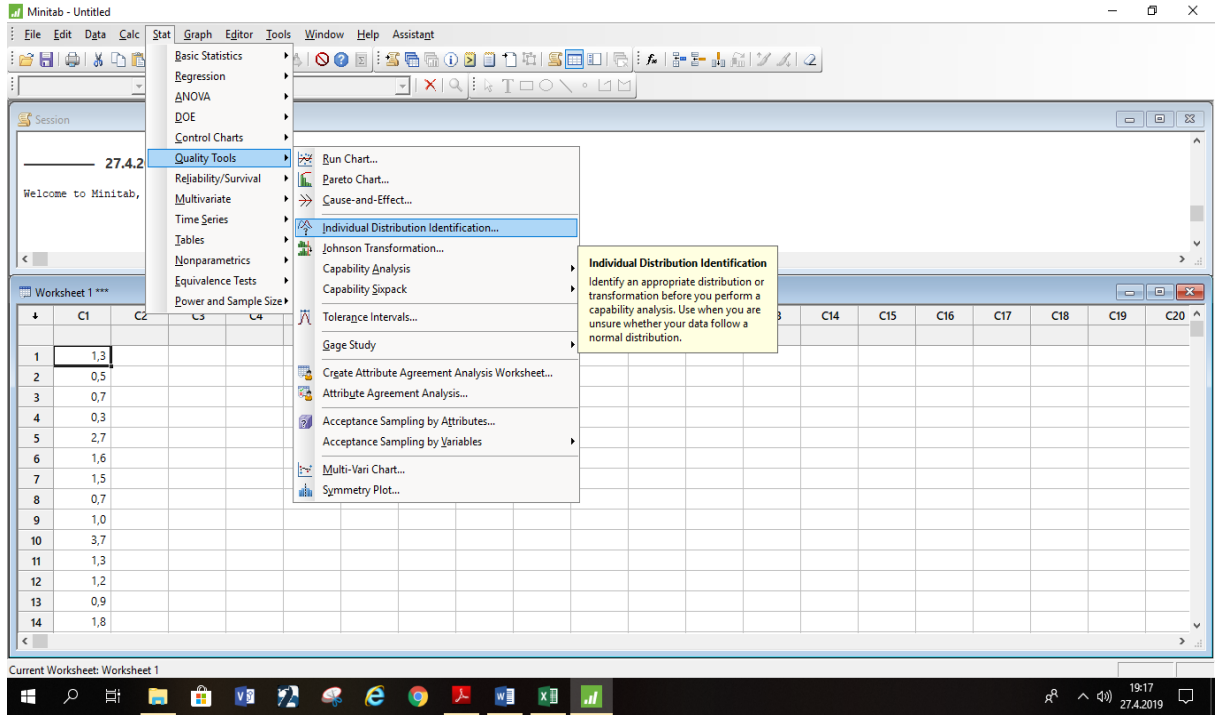
$H_a = \text{Örneklem Üstel (Exponential) Dağılım göstermez}$

p değerinin 0,05’ten büyük olması durumunda H_0 reddedilmez.

Çizelge 3.6. Makine detay bilgileri

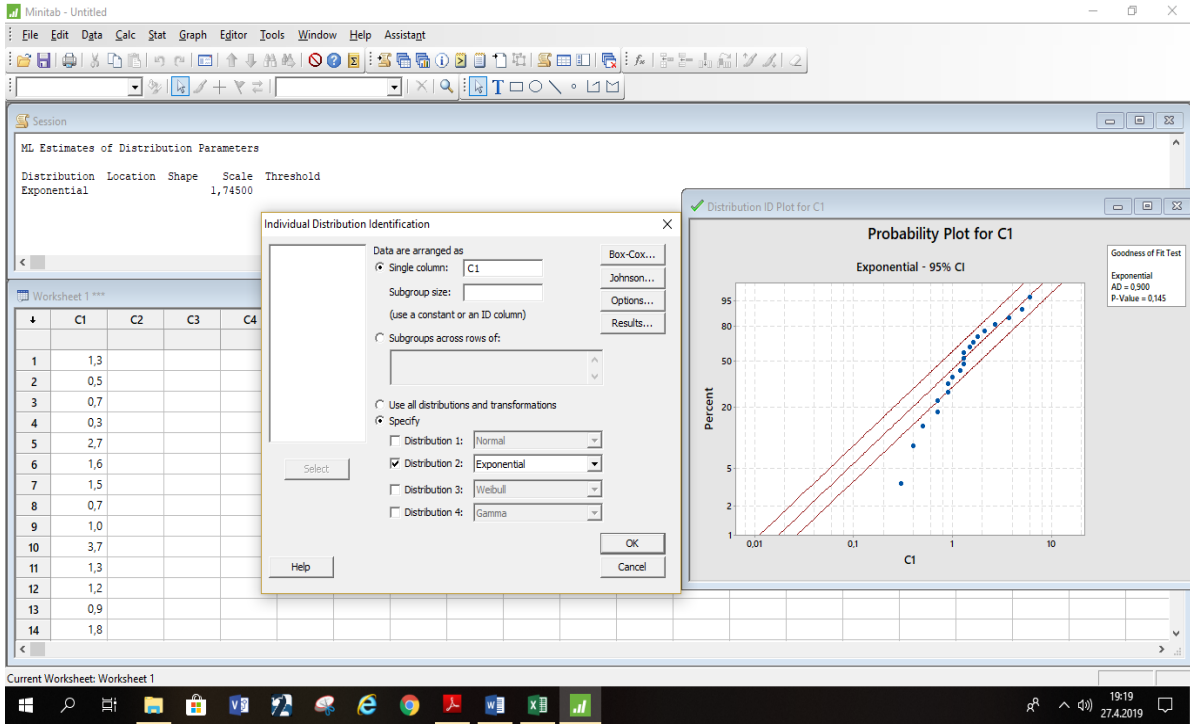
Makine	Başlangıç	Son	Kopuk Alma Süresi	Kısa Kod	Kod Tanımla	Kalite	Kopuşlar Arası Süre
454	24.10.2018 08:28	24.10.2018 08:29	1,3	CD	COZGU DURUSU	Tip-1	00:05:24
454	24.10.2018 08:34	24.10.2018 08:35	0,5	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:05:38
454	24.10.2018 08:40	24.10.2018 08:41	0,7	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:41:23
454	24.10.2018 09:23	24.10.2018 09:23	0,3	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:01:26
454	24.10.2018 09:24	24.10.2018 09:27	2,7	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:27:37
454	24.10.2018 09:55	24.10.2018 09:56	1,6	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:00:30
454	24.10.2018 09:57	24.10.2018 09:58	1,5	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:12:14
454	24.10.2018 10:10	24.10.2018 10:11	0,7	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:25:40
454	24.10.2018 10:37	24.10.2018 10:38	1	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:21:38
454	24.10.2018 10:59	24.10.2018 11:03	3,7	CD	COZGU DURUSU	Tip-1	00:25:54
454	24.10.2018 11:29	24.10.2018 11:30	1,3	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:58:19
454	24.10.2018 12:29	24.10.2018 12:30	1,2	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:16:38
454	24.10.2018 12:46	24.10.2018 12:47	0,9	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:12:09
454	24.10.2018 13:00	24.10.2018 13:01	1,8	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:25:56
454	24.10.2018 13:27	24.10.2018 13:29	1,3	CD	COZGU DURUSU	Tip-1	00:12:21
454	24.10.2018 13:41	24.10.2018 13:47	6	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:13:43
454	24.10.2018 14:01	24.10.2018 14:03	2,1	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:17:52
454	24.10.2018 14:21	24.10.2018 14:21	0,4	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	00:01:36
454	24.10.2018 14:23	24.10.2018 14:23	0,9	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	01:16:14
454	24.10.2018 15:40	24.10.2018 15:45	5	AD	ATKI DURUSU	Tip-1	

Her tipin verileri, Şekil 3.4’de gösterildiği gibi her bir gün ve tezgâh için Minitab>Stat>Quality Tools>Individual Distribution Identification modülünde değerlendirilmiştir.



Şekil 3.4. Minitab veri girişi ve kullanılan analiz aracı

Girilen verilerin üstel dağılım gösterip göstermediğini saptamak amacı ile p değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.5'te hem grafiksel hem de değersel olarak verilerin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Minitab veri değerlendirme ve sonuç grafiği

Tip ve makine bazında tüm veriler bu esasta ele alınarak p değerlerine tablolardaki gibi ulaşılmıştır:

Çizelge 3.7. Tip-1 / Makine girişim süresi p değerleri

TIP-1 / GİRİŞİM P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
473	15.10	0,25	489	17.10	0,00	480	23.10	0,02
477	15.10	0,05	490	17.10	0,49	454	24.10	0,15
480	15.10	0,57	491	17.10	0,05	473	24.10	0,24
481	15.10	0,19	492	17.10	0,21	479	24.10	0,63
483	15.10	0,02	479	22.10	0,02	480	24.10	0,12
453	16.10	0,03	480	22.10	0,05	454	31.10	0,18
454	16.10	0,65	481	22.10	0,00	481	27.11	0,01
458	16.10	0,12	453	23.10	0,04	455	28.11	0,28
469	17.10	0	454	23.10	0,01	467	5.12	0,07
471	17.10	0	473	23.10	0,19	462	10.12	0,292
488	17.10	0,01	479	23.10	0,01	467	10.12	0,070

Çizelge 3.8. Tip-2 / Makine girişim süresi p değerleri

TIP-2 / GİRİŞİM P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
482	15.10	0,06	456	6.11	0,08	457	28.11	0,48
452	16.10	0,01	473	6.11	0,09	483	3.12	0,07
487	17.10	0,93	480	6.11	0,14	485	3.12	0,68
452	24.10	0,86	465	7.11	0,01	486	3.12	0,53
481	30.10	0,09	485	26.11	0,54	487	3.12	0,06
487	30.10	0,25	486	26.11	0,49	488	3.12	0,23
455	31.10	0,21	487	26.11	0,04	489	3.12	0,16
485	5.11	0,41	488	26.11	0,02	491	3.12	0,58
487	5.11	0,54	489	26.11	0,56	492	3.12	0,24
489	5.11	0,15	490	26.11	0,76	477	4.12	0,04
492	5.11	0,74	492	26.11	0,02	480	4.12	0,27
454	6.11	0,04	482	27.11	0,09	457	5.12	0,23
455	6.11	0,63	484	27.11	0,18	460	5.12	0,15

Çizelge 3.9. Tip-3 / Makine girişim süresi p değerleri

TIP-3 / GİRİŞİM P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
453	6.11	0,88	456	28.11	0,85	469	5.12	0,57
459	7.11	0,39	452	4.12	0,32	459	10.12	0,179
464	7.11	0,03	459	5.12	0,02	463	10.12	0,140
471	26.11	0,16	463	5.12	0,36	469	10.12	0,186
452	28.11	0,07						

Çizelge 3.10. Tip-1 / Makine kopuş süresi p değerleri

TIP-1 / KOPUŞ P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
473	15.10	0,84	489	17.10	0,00	480	23.10	0,03
477	15.10	0,31	490	17.10	0,00	454	24.10	0,76
480	15.10	0,51	491	17.10	0,00	473	24.10	0,01
481	15.10	0,86	492	17.10	0,00	479	24.10	0,42
483	15.10	0,70	479	22.10	0,00	480	24.10	0,02
453	16.10	0,60	480	22.10	0,06	454	31.10	0,23
454	16.10	0,02	481	22.10	0,07	481	27.11	0,00
458	16.10	0,57	453	23.10	0,59	455	28.11	0,30
469	17.10	0,93	454	23.10	0,14	467	5.12	0,68
471	17.10	0,00	473	23.10	0,03	462	10.12	0,62
488	17.10	0,00	479	23.10	0,79	467	10.12	0,56

Çizelge 3.11. Tip-2 / Makine kopuş süresi p değerleri

TİP-2 / KOPUŞ P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
482	15.10	0,00	456	6.11	0,00	457	28.11	0,05
452	16.10	0,13	473	6.11	0,51	483	3.12	0,14
487	17.10	0,01	480	6.11	0,20	485	3.12	0,20
452	24.10	0,67	465	7.11	0,39	486	3.12	0,41
481	30.10	0,83	485	26.11	0,13	487	3.12	0,61
487	30.10	0,04	486	26.11	0,17	488	3.12	0,25
455	31.10	0,53	487	26.11	0,46	489	3.12	0,17
485	5.11	0,77	488	26.11	0,00	491	3.12	0,01
487	5.11	0,03	489	26.11	0,80	492	3.12	0,79
489	5.11	0,00	490	26.11	0,72	477	4.12	0,00
492	5.11	0,05	492	26.11	0,77	480	4.12	0,13
454	6.11	0,07	482	27.11	0,17	457	5.12	0,02
455	6.11	0,43	484	27.11	0,43	460	5.12	0,08

Çizelge 3.12. Tip-3 / Makine kopuş süresi p değerleri

TİP-3 / KOPUŞ P DEĞERLERİ								
Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri	Makine	Tarih	p değeri
453	6.11	0,00	456	28.11	0,00	469	5.12	0,00
459	7.11	0,82	452	4.12	0,13	459	10.12	0,47
464	7.11	0,00	459	5.12	0,25	463	10.12	0,00
471	26.11	0,93	463	5.12	0,00	469	10.12	0,01
452	28.11	0,05						

Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da makine girişim süreleri ortalama p değerleri ve Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de makine kopuş süreleri ortalama p değerleri gösterilmektedir. Bu tablolarda çoğunlukla p değerlerinin 0,05 değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda her iki değer için H_a reddedilerek, H_0 red edilmeyecektir. Bu sebeple incelemek istediğimiz makine girişim problemi için üstel dağılıma uygun olan Sonlu Kaynak Modeli kullanılacaktır. Bu model aynı zamanda Kendall-Lee notasyonuna göre belirlenmiş M/M/R:GD/ K/K modeli olarak da adlandırılabilir.

3.5 Maliyet Hesaplama

Bir işletmede makineden sorumlu çalışan belirlemede en önemli faktör maliyet faktörüdür. Yönetici, makinenin âtil durumda kalması ile oluşacak maliyet ile, makinelerin

sürekli çalışması için gereken çalışan sayısının oluşturduğu işçilik maliyeti arasında optimum noktayı bulmak durumundadır. Verimli bir işletme için ne çalışan ne de makine âtil kalmıyor olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılacak maliyet çalışmaları bu iki faktör baz alınarak hesaplanacaktır.

$$\frac{\text{Beklenen Maliyet}}{\text{Saat}} = \frac{\text{Servis Maliyeti}}{\text{Saat}} + \frac{\text{Bekleme Maliyeti}}{\text{Saat}} \quad (3.1)$$

$$\text{Beklenen Maliyet} = \text{Saatlik İşçilik Maliyeti} + (\text{Saatlik Üretim Kaybı Maliyeti} * W * \lambda) \quad (3.2)$$

W= Birim zamanda bekleme süresi

λ = Birim zamanda bozulma oranı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde 3 farklı ürün için elde edilen veriler ve problemin matematiksel çözümlemesi sunulacaktır.

4.1 λ ve μ Bulguları

İncelediğimiz her 3 ürün için baz alınacak veriler şu şekildedir:

Süreler dakika cinsinden olduğu için, kullanacağımız hesaplamalarda aynı zaman birimini kullanmak amacı ile 1 saat=60 dk olarak formüllerde yerini alacaktır. Loomdata üzerinden tip bazında elde ettiğimiz kopuşlar arası süreleri ve girişim süreleri, aritmetik ortalamaları alınarak formüllerde kullanılmıştır.

$$\lambda = \frac{60 \text{ dk}}{\text{Kopuşlar arası süre}} \quad (4.1)$$

$$\mu = \frac{60 \text{ dk}}{\text{Girişim süresi}} \quad (4.2)$$

Tip-1 kalitesi için;

Kopuşlar arası ortalama süre: 24,45 dk

Girişim süresi: 1,58 dk

$$\lambda = \frac{60}{24,45} = 2,453 \quad \mu = \frac{60}{1,58} = 37,974$$

Tip-2 kalitesi için;

Kopuşlar arası ortalama süre: 44,26 dk

Girişim süresi: 1,47 dk

$$\lambda = \frac{60}{44,26} = 1,355 \quad \mu = \frac{60}{1,47} = 40,816$$

Tip-3 kalitesi için;

Kopuşlar arası ortalama süre: 32,41 dk

Girişim süresi: 1,41 dk

$$\lambda = \frac{60}{32,41} = 1,851 \quad \mu = \frac{60}{1,41} = 42,553$$

4.2 Çalışan Maliyeti

Çalışan maliyeti için firmadan mavi yakalı çalışanların ortalama yıllık maliyetleri talep edilmiştir. Bu maliyette aylık ücretin yanı sıra firma tarafından çalışana sağlanan her türlü sosyal hak gideri dahil edilmiştir.

Bir çalışanın firmaya yıllık toplam maliyeti 10000 \$ olarak bildirilmiştir. Saatlik ücret olarak bu tutar 4 \$'a denk gelmektedir.

4.3 Makine Durma Maliyeti

Makine durma maliyeti, dokuma tezgahlarının saatlik üretebilecekleri kumaşları durma kaynaklı üretemediği için yarattığı maliyet olarak kabul edilmiştir.

Her kumaş maliyeti için, kullanılan iplik maliyeti, çözgü/dokuma maliyeti ve kalite kontrol/cımbız maliyeti toplanarak toplam kumaş maliyeti elde edilmiştir.

Tip-1: 7,17 \$/mt

Tip-2: 4,10 \$/mt

Tip-3: 5,39 \$/mt olarak hesaplanmıştır.

Her ürünün 1 saatteki üretimi ortalama olarak 10 mt alınarak, beklenen maliyet hesaplamalarında (birim maliyet*saatlik üretim mt) kullanılmıştır.

4.4 Maliyet Optimizasyonu

Beklenen maliyet hesabı kullanarak 1 çalışanın kaç adet makineye bakması gerektiği ile ilgili hesaplama eğimin verdiği sonuç üzerinden saptanacaktır. Bu çözümleme için Microsoft Office Excel-2013 programından faydalanılmıştır. Winston ve Albright'ın Practical Management Science kitabı için hazırlanmış olan makine girişim modeli Excel makrosu kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu makro yazılımının birinci tablolarında Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterildiği gibi etüt sonuçlarından elde ettiğimiz λ ve μ değerleri baz alınarak, sırasıyla,

L= bozulması beklenen makine sayısı

Lq= tamir için bekleyen makine sayısı

$$\text{Ortalama bozulma oranı} = \frac{\text{Makine Sayısı} - L}{\lambda} \quad (4.3)$$

W = beklenen tamir süresi

W_q = tamir için bekleme süresi

P_0 = tüm makinelerin çalışma olasılıkları hesaplanmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Limited Source Model (Machine Repair Model)														
2	Tip-1														
3	Inputs														
4	Unit of time	hour													
5	Breakdown rate per machine	2,45399	times/hour												
6	Repair rate per repairman	37,9747	repairs/hour												
7	Number of repairmen	1													
8	Number of machines	10													
9															
10	Outputs														
11	Summary measures														
12	Expected number broken	1,102	machines		n	p_n									
13	Expected number waiting for repair	0,527	machines		0	0,4250									
14	Average breakdown rate	21,835	machines/hour		1	0,2747									
15	Expected time in repair shop	0,050	hours		2	0,1597									
16	Expected time waiting for repairman	0,024	hours		3	0,0826									
17	Percentage of time all machines working	42,5%			4	0,0374									
18					5	0,0145									
19					6	0,0047									
20					7	0,0012									
21					8	0,0002									
22					9	0,0000									
23					10	0,0000									
24	Calculate steady-state quantities		Buradaki w değerini diğer sayfaya yapıştırma												
25															
26															
27															
28															

Directions:
1. Enter the inputs in cells B4 through B8.
2. Click the button to the left.

The assumption is that each working machine takes an exponential time, with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B5, to break down. Each repair takes an exponential time with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B6.

The "n" in cell E11 refers to the number of machines currently broken down. Each is either in repair or waiting for repair.

Like the Limited Queue model, this is a "self-regulating" system that always achieves steady state. When the breakdown rate per machine is large, the irony is that a lot of machines will tend to be in the repair shop, which means that the system breakdown rate is then small. This is because there aren't many machines left to break down if most of them are in the repair shop! Of course, in a real system like this (e.g., in the military), the hope is that most machines will be in working order. Then the breakdown rate for the system is at its maximum -- but it is still small if the breakdown rate per machine is small.

Şekil 4.1. Tip-1 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Limited Source Model (Machine Repair Model)														
2	Tip-2														
3	Inputs														
4	Unit of time	hour													
5	Breakdown rate per machine	1,35563	times/hour												
6	Repair rate per repairman	40,8163	repairs/hour												
7	Number of repairmen	1													
8	Number of machines	10													
9															
10	Outputs														
11	Summary measures														
12	Expected number broken	0,438	machines		n	p_n									
13	Expected number waiting for repair	0,120	machines		0	0,6824									
14	Average breakdown rate	12,962	machines/hour		1	0,2267									
15	Expected time in repair shop	0,034	hours		2	0,0677									
16	Expected time waiting for repairman	0,009	hours		3	0,0180									
17	Percentage of time all machines working	68,2%			4	0,0042									
18					5	0,0008									
19					6	0,0001									
20					7	0,0000									
21					8	0,0000									
22					9	0,0000									
23					10	0,0000									
24	Calculate steady-state quantities		Buradaki w değerini diğer sayfaya yapıştırma												
25															
26															
27															
28															

Directions:
1. Enter the inputs in cells B4 through B8.
2. Click the button to the left.

The assumption is that each working machine takes an exponential time, with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B5, to break down. Each repair takes an exponential time with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B6.

The "n" in cell E11 refers to the number of machines currently broken down. Each is either in repair or waiting for repair.

Like the Limited Queue model, this is a "self-regulating" system that always achieves steady state. When the breakdown rate per machine is large, the irony is that a lot of machines will tend to be in the repair shop, which means that the system breakdown rate is then small. This is because there aren't many machines left to break down if most of them are in the repair shop! Of course, in a real system like this (e.g., in the military), the hope is that most machines will be in working order. Then the breakdown rate for the system is at its maximum -- but it is still small if the breakdown rate per machine is small.

Şekil 4.2. Tip-2 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Limited Source Model (Machine Repair Model)														
2	Tip-3														
3	Inputs														
4	Unit of time	hour													
5	Breakdown rate per machine	1,85128	times/hour												
6	Repair rate per repairman	42,5532	repairs/hour												
7	Number of repairmen	1													
8	Number of machines	10													
9															
10	Outputs														
11	Summary measures														
12	Expected number broken	0,626	machines												
13	Expected number waiting for repair	0,218	machines												
14	Average breakdown rate	17,354	machines/hour												
15	Expected time in repair shop	0,036	hours												
16	Expected time waiting for repairman	0,013	hours												
17	Percentage of time all machines working	59,2%													
18															
19															
20															
21															
22															
23	Calculate steady-state quantities														
24															
25															
26															
27															

Directions:
1. Enter the inputs in cells B4 through B8.
2. Click the button to the left.

The assumption is that each working machine takes an exponential time, with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B5, to break down. Each repair takes an exponential time with mean equal to the reciprocal of the rate in cell B6.

The "n" in cell E11 refers to the number of machines currently broken down. Each is either in repair or waiting for repair.

Like the Limited Queue model, this is a "self-regulating" system that always achieves steady state. When the breakdown rate per machine is large, the irony is that a lot of machines will tend to be in the repair shop, which means that the system breakdown rate is then small. This is because there aren't many machines left to break down if most of them are in the repair shop! Of course, in a real system like this (e.g., in the military), the hope is that most machines will be in working order. Then the breakdown rate for the system is at its maximum – but it is still small if the breakdown rate per machine is small.

Şekil 4.3. Tip-3 ürünü için kuyruk teoremi hesaplamaları

Ayrıca, işlemleri daha seri ve hatasız yapmak amacı ile ikinci bir makro daha yazılmıştır. Hazırlanan makro ile her tamirci sayısı (Number of repairman) için baktığı makine sayısına (Number of machines) bağlı olarak hesaplanan maliyet ikinci bir tabloya kopyalanmakta ve makine sayısı otomatik olarak "1" arttırılmaktadır. Makro içeriğinde yapılan bu işlem "Buradaki W değerini diğer sayfaya yapıştırma" düğmesine atanmıştır.

İkinci tablolarda, işçilik maliyeti ve üretim kaybı maliyetleri hesaba katılarak, 1 işçi, 2 işçi, 3 işçi, 4 işçi ve 5 işçi için ayrı ayrı toplam maliyetler hesaplanmıştır. Çözümleme için bakılması gereken maksimum makine sayısı 50 olarak alınmıştır.

$$\text{Beklenen Maliyet} = \text{Saatlik İşçilik Maliyeti} + (\text{Saatlik Üretim Kaybı Maliyeti} * W * \lambda)$$

Her 3 ürün için beklenen maliyetler, Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Tip-1 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları

Tip-1																
\$4,00		Wage rate per hour														
\$71,70		Cost per machine waiting														
Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	
1	1	0,026	\$8,63	2	0,026	\$12,63	3	0,026	\$16,63	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
2	1	0,028	\$8,91	2	0,026	\$12,63	3	0,026	\$16,63	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
3	1	0,030	\$9,23	2	0,026	\$12,64	3	0,026	\$16,63	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
4	1	0,032	\$9,58	2	0,026	\$12,66	3	0,026	\$16,63	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
5	1	0,034	\$9,97	2	0,027	\$12,68	3	0,026	\$16,63	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
6	1	0,036	\$10,41	2	0,027	\$12,72	3	0,026	\$16,64	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
7	1	0,039	\$10,92	2	0,027	\$12,76	3	0,026	\$16,64	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
8	1	0,043	\$11,49	2	0,027	\$12,82	3	0,026	\$16,64	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
9	1	0,046	\$12,14	2	0,028	\$12,88	3	0,026	\$16,65	4	0,026	\$ 20,63	5	0,026	\$24,63	
10	1	0,050	\$12,88	2	0,028	\$12,95	3	0,026	\$16,66	4	0,026	\$ 20,64	5	0,026	\$24,63	
11	1	0,055	\$13,74	2	0,029	\$13,03	3	0,027	\$16,67	4	0,026	\$ 20,64	5	0,026	\$24,63	
12	1	0,061	\$14,73	2	0,029	\$13,13	3	0,027	\$16,68	4	0,026	\$ 20,64	5	0,026	\$24,63	
13	1	0,067	\$15,87	2	0,030	\$13,24	3	0,027	\$16,70	4	0,026	\$ 20,64	5	0,026	\$24,63	
14	1	0,075	\$17,19	2	0,030	\$13,36	3	0,027	\$16,72	4	0,026	\$ 20,64	5	0,026	\$24,63	
15	1	0,084	\$18,71	2	0,031	\$13,50	3	0,027	\$16,74	4	0,026	\$ 20,65	5	0,026	\$24,63	
16	1	0,094	\$20,47	2	0,032	\$13,65	3	0,027	\$16,76	4	0,026	\$ 20,65	5	0,026	\$24,63	
17	1	0,105	\$22,48	2	0,033	\$13,82	3	0,027	\$16,79	4	0,026	\$ 20,65	5	0,026	\$24,64	
18	1	0,118	\$24,77	2	0,034	\$14,01	3	0,027	\$16,82	4	0,026	\$ 20,66	5	0,026	\$24,64	
19	1	0,133	\$27,37	2	0,035	\$14,22	3	0,028	\$16,86	4	0,027	\$ 20,67	5	0,026	\$24,64	
20	1	0,149	\$30,27	2	0,037	\$14,45	3	0,028	\$16,90	4	0,027	\$ 20,67	5	0,026	\$24,64	
21	1	0,168	\$33,48	2	0,038	\$14,72	3	0,028	\$16,95	4	0,027	\$ 20,68	5	0,026	\$24,64	
22	1	0,187	\$36,99	2	0,040	\$15,01	3	0,028	\$17,00	4	0,027	\$ 20,69	5	0,026	\$24,64	
23	1	0,209	\$40,75	2	0,042	\$15,33	3	0,029	\$17,06	4	0,027	\$ 20,71	5	0,026	\$24,64	
24	1	0,232	\$44,75	2	0,044	\$15,69	3	0,029	\$17,12	4	0,027	\$ 20,72	5	0,026	\$24,65	
25	1	0,255	\$48,93	2	0,046	\$16,10	3	0,029	\$17,19	4	0,027	\$ 20,73	5	0,026	\$24,65	
26	1	0,280	\$53,26	2	0,049	\$16,54	3	0,030	\$17,26	4	0,027	\$ 20,75	5	0,026	\$24,65	
27	1	0,305	\$57,69	2	0,051	\$17,04	3	0,030	\$17,35	4	0,027	\$ 20,77	5	0,026	\$24,66	
28	1	0,331	\$62,20	2	0,055	\$17,60	3	0,031	\$17,44	4	0,027	\$ 20,79	5	0,027	\$24,66	
29	1	0,357	\$66,76	2	0,058	\$18,22	3	0,031	\$17,54	4	0,027	\$ 20,81	5	0,027	\$24,67	
30	1	0,383	\$71,35	2	0,062	\$18,92	3	0,032	\$17,65	4	0,028	\$ 20,84	5	0,027	\$24,67	
31	1	0,409	\$75,96	2	0,066	\$19,69	3	0,033	\$17,77	4	0,028	\$ 20,87	5	0,027	\$24,68	
32	1	0,435	\$80,58	2	0,071	\$20,54	3	0,034	\$17,90	4	0,028	\$ 20,90	5	0,027	\$24,69	
33	1	0,462	\$85,21	2	0,077	\$21,49	3	0,034	\$18,05	4	0,028	\$ 20,93	5	0,027	\$24,70	
34	1	0,488	\$89,84	2	0,083	\$22,54	3	0,035	\$18,21	4	0,028	\$ 20,97	5	0,027	\$24,71	
35	1	0,514	\$94,47	2	0,089	\$23,69	3	0,036	\$18,38	4	0,028	\$ 21,01	5	0,027	\$24,72	
36	1	0,541	\$99,10	2	0,096	\$24,95	3	0,037	\$18,57	4	0,029	\$ 21,05	5	0,027	\$24,73	
37	1	0,567	\$103,74	2	0,104	\$26,33	3	0,039	\$18,77	4	0,029	\$ 21,10	5	0,027	\$24,74	
38	1	0,593	\$108,37	2	0,113	\$27,82	3	0,040	\$19,00	4	0,029	\$ 21,15	5	0,027	\$24,76	
39	1	0,620	\$113,00	2	0,122	\$29,42	3	0,041	\$19,25	4	0,030	\$ 21,21	5	0,027	\$24,77	
40	1	0,646	\$117,63	2	0,131	\$31,13	3	0,043	\$19,52	4	0,030	\$ 21,27	5	0,027	\$24,79	
41	1	0,672	\$122,27	2	0,142	\$32,94	3	0,044	\$19,82	4	0,030	\$ 21,34	5	0,027	\$24,81	
42	1	0,698	\$126,90	2	0,153	\$34,85	3	0,046	\$20,15	4	0,031	\$ 21,41	5	0,027	\$24,83	
43	1	0,725	\$131,54	2	0,164	\$36,84	3	0,048	\$20,50	4	0,031	\$ 21,49	5	0,028	\$24,85	
44	1	0,751	\$136,17	2	0,176	\$38,90	3	0,051	\$20,89	4	0,032	\$ 21,57	5	0,028	\$24,87	
45	1	0,778	\$140,80	2	0,188	\$41,02	3	0,053	\$21,32	4	0,032	\$ 21,66	5	0,028	\$24,90	
46	1	0,804	\$145,44	2	0,200	\$43,19	3	0,056	\$21,79	4	0,033	\$ 21,76	5	0,028	\$24,93	
47	1	0,830	\$150,07	2	0,213	\$45,41	3	0,059	\$22,30	4	0,033	\$ 21,87	5	0,028	\$24,96	
48	1	0,857	\$154,70	2	0,225	\$47,65	3	0,062	\$22,86	4	0,034	\$ 21,99	5	0,028	\$24,99	
49	1	0,883	\$159,34	2	0,238	\$49,91	3	0,065	\$23,47	4	0,035	\$ 22,11	5	0,029	\$25,03	
50	1	0,909	\$163,97	2	0,251	\$52,20	3	0,069	\$24,13	4	0,036	\$ 22,25	5	0,029	\$25,06	

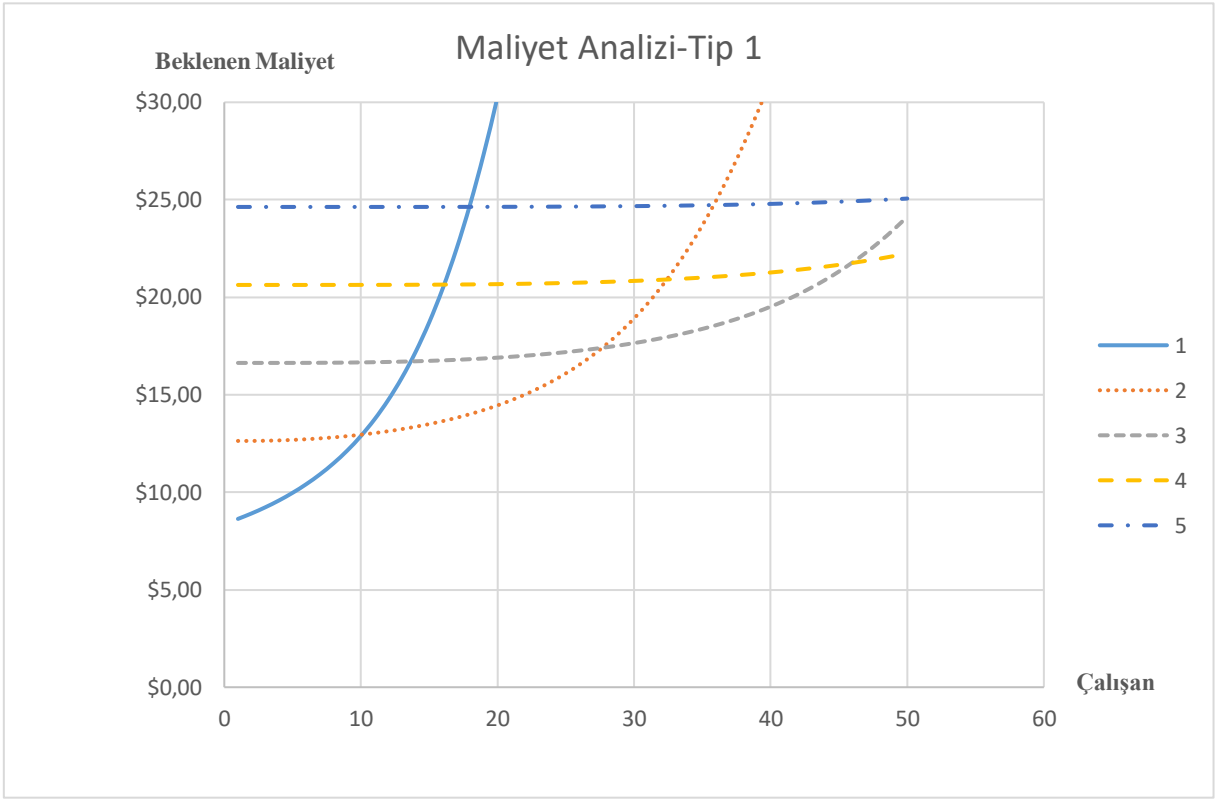
Çizelge 4.2. Tip-2 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları

Tip-2															
\$4,00	Wage rate per hour														
\$41,00	Cost per machine waiting														
Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC
1	1	0,025	\$5,36	2	0,025	\$9,36	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
2	1	0,025	\$5,41	2	0,025	\$9,36	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
3	1	0,026	\$5,45	2	0,025	\$9,36	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
4	1	0,027	\$5,50	2	0,025	\$9,36	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
5	1	0,028	\$5,55	2	0,025	\$9,37	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
6	1	0,029	\$5,61	2	0,025	\$9,37	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,024	\$21,36
7	1	0,030	\$5,67	2	0,025	\$9,37	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
8	1	0,031	\$5,73	2	0,025	\$9,38	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
9	1	0,032	\$5,80	2	0,025	\$9,38	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
10	1	0,034	\$5,88	2	0,025	\$9,39	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
11	1	0,035	\$5,96	2	0,025	\$9,39	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
12	1	0,037	\$6,04	2	0,025	\$9,40	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
13	1	0,038	\$6,14	2	0,025	\$9,41	3	0,025	\$13,36	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
14	1	0,040	\$6,24	2	0,026	\$9,42	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
15	1	0,042	\$6,35	2	0,026	\$9,43	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
16	1	0,044	\$6,47	2	0,026	\$9,44	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
17	1	0,047	\$6,60	2	0,026	\$9,45	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
18	1	0,049	\$6,74	2	0,026	\$9,46	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
19	1	0,052	\$6,90	2	0,027	\$9,48	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
20	1	0,055	\$7,07	2	0,027	\$9,49	3	0,025	\$13,37	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
21	1	0,059	\$7,26	2	0,027	\$9,51	3	0,025	\$13,38	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
22	1	0,062	\$7,47	2	0,027	\$9,52	3	0,025	\$13,38	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
23	1	0,067	\$7,70	2	0,028	\$9,54	3	0,025	\$13,38	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
24	1	0,071	\$7,95	2	0,028	\$9,56	3	0,025	\$13,38	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
25	1	0,076	\$8,24	2	0,028	\$9,58	3	0,025	\$13,39	4	0,025	\$ 17,36	5	0,025	\$21,36
26	1	0,082	\$8,55	2	0,029	\$9,60	3	0,025	\$13,39	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
27	1	0,088	\$8,90	2	0,029	\$9,62	3	0,025	\$13,39	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
28	1	0,095	\$9,29	2	0,030	\$9,65	3	0,025	\$13,40	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
29	1	0,103	\$9,72	2	0,030	\$9,67	3	0,025	\$13,40	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
30	1	0,111	\$10,19	2	0,031	\$9,70	3	0,025	\$13,41	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
31	1	0,121	\$10,72	2	0,031	\$9,73	3	0,025	\$13,41	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
32	1	0,131	\$11,31	2	0,032	\$9,76	3	0,025	\$13,42	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
33	1	0,143	\$11,95	2	0,032	\$9,80	3	0,026	\$13,42	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
34	1	0,156	\$12,66	2	0,033	\$9,83	3	0,026	\$13,43	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
35	1	0,170	\$13,44	2	0,034	\$9,87	3	0,026	\$13,43	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
36	1	0,185	\$14,28	2	0,034	\$9,91	3	0,026	\$13,44	4	0,025	\$ 17,37	5	0,025	\$21,36
37	1	0,201	\$15,19	2	0,035	\$9,96	3	0,026	\$13,45	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,36
38	1	0,219	\$16,16	2	0,036	\$10,00	3	0,026	\$13,46	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,36
39	1	0,238	\$17,20	2	0,037	\$10,05	3	0,026	\$13,46	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,36
40	1	0,257	\$18,30	2	0,038	\$10,10	3	0,026	\$13,47	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,36
41	1	0,278	\$19,44	2	0,039	\$10,16	3	0,027	\$13,48	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,37
42	1	0,299	\$20,64	2	0,040	\$10,22	3	0,027	\$13,49	4	0,025	\$ 17,38	5	0,025	\$21,37
43	1	0,322	\$21,87	2	0,041	\$10,29	3	0,027	\$13,50	4	0,025	\$ 17,39	5	0,025	\$21,37
44	1	0,344	\$23,14	2	0,042	\$10,36	3	0,027	\$13,51	4	0,025	\$ 17,39	5	0,025	\$21,37
45	1	0,368	\$24,43	2	0,044	\$10,43	3	0,027	\$13,52	4	0,025	\$ 17,39	5	0,025	\$21,37
46	1	0,391	\$25,74	2	0,045	\$10,51	3	0,028	\$13,53	4	0,025	\$ 17,39	5	0,025	\$21,37
47	1	0,415	\$27,07	2	0,047	\$10,60	3	0,028	\$13,55	4	0,025	\$ 17,40	5	0,025	\$21,37
48	1	0,439	\$28,40	2	0,048	\$10,69	3	0,028	\$13,56	4	0,025	\$ 17,40	5	0,025	\$21,37
49	1	0,463	\$29,75	2	0,050	\$10,79	3	0,028	\$13,57	4	0,025	\$ 17,40	5	0,025	\$21,37
50	1	0,488	\$31,10	2	0,052	\$10,89	3	0,029	\$13,59	4	0,025	\$ 17,41	5	0,025	\$21,37

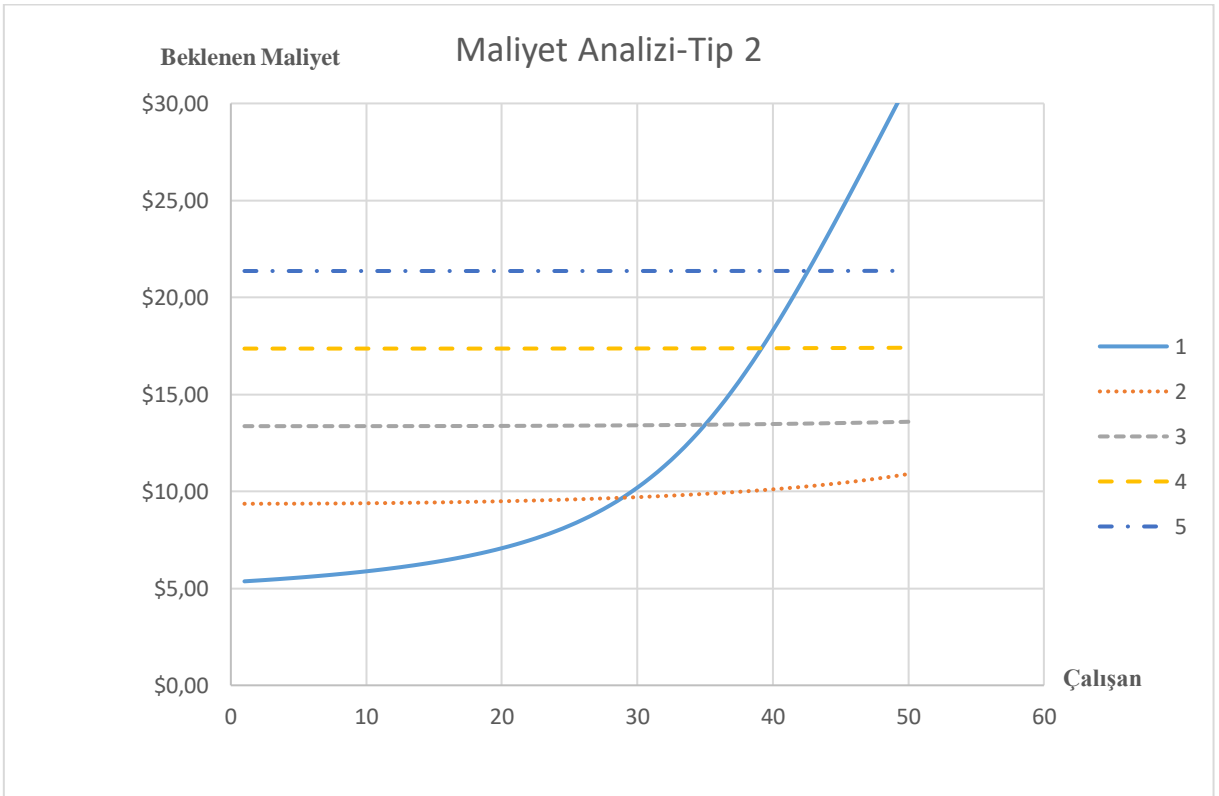
Çizelge 4.3. Tip-3 ürünü için alternatifli maliyet hesaplamaları

Tip-3																
\$4,00		Wage rate per hour														
\$53,90		Cost per machine waiting														
Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	
1	1	0,024	\$6,34	2	0,024	\$10,34	3	0,024	\$14,34	4	0,024	\$ 18,34	5	0,024	\$22,34	
2	1	0,024	\$6,44	2	0,024	\$10,34	3	0,024	\$14,34	4	0,024	\$ 18,34	5	0,024	\$22,34	
3	1	0,026	\$6,55	2	0,024	\$10,35	3	0,024	\$14,34	4	0,024	\$ 18,34	5	0,024	\$22,34	
4	1	0,027	\$6,66	2	0,024	\$10,35	3	0,024	\$14,34	4	0,023	\$ 18,34	5	0,023	\$22,34	
5	1	0,028	\$6,79	2	0,024	\$10,36	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,34	5	0,023	\$22,34	
6	1	0,029	\$6,92	2	0,024	\$10,37	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,34	5	0,023	\$22,34	
7	1	0,031	\$7,07	2	0,024	\$10,38	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,34	5	0,024	\$22,34	
8	1	0,032	\$7,23	2	0,024	\$10,39	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,34	5	0,024	\$22,34	
9	1	0,034	\$7,41	2	0,024	\$10,40	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
10	1	0,036	\$7,60	2	0,024	\$10,42	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
11	1	0,038	\$7,81	2	0,024	\$10,44	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
12	1	0,041	\$8,05	2	0,025	\$10,46	3	0,024	\$14,35	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
13	1	0,043	\$8,31	2	0,025	\$10,48	3	0,024	\$14,36	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
14	1	0,046	\$8,60	2	0,025	\$10,51	3	0,024	\$14,36	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,34	
15	1	0,049	\$8,93	2	0,025	\$10,54	3	0,024	\$14,36	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
16	1	0,053	\$9,29	2	0,026	\$10,57	3	0,024	\$14,37	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
17	1	0,057	\$9,70	2	0,026	\$10,61	3	0,024	\$14,37	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
18	1	0,062	\$10,16	2	0,027	\$10,65	3	0,024	\$14,38	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
19	1	0,067	\$10,67	2	0,027	\$10,69	3	0,024	\$14,38	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
20	1	0,073	\$11,25	2	0,027	\$10,73	3	0,024	\$14,39	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
21	1	0,079	\$11,91	2	0,028	\$10,78	3	0,024	\$14,40	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
22	1	0,087	\$12,64	2	0,028	\$10,84	3	0,024	\$14,41	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
23	1	0,095	\$13,48	2	0,029	\$10,89	3	0,024	\$14,42	4	0,024	\$ 18,35	5	0,024	\$22,35	
24	1	0,104	\$14,41	2	0,030	\$10,96	3	0,024	\$14,43	4	0,024	\$ 18,36	5	0,024	\$22,35	
25	1	0,115	\$15,45	2	0,030	\$11,03	3	0,024	\$14,44	4	0,024	\$ 18,36	5	0,024	\$22,35	
26	1	0,126	\$16,62	2	0,031	\$11,10	3	0,025	\$14,45	4	0,024	\$ 18,36	5	0,024	\$22,35	
27	1	0,139	\$17,91	2	0,032	\$11,18	3	0,025	\$14,46	4	0,024	\$ 18,36	5	0,024	\$22,35	
28	1	0,154	\$19,33	2	0,033	\$11,26	3	0,025	\$14,48	4	0,024	\$ 18,37	5	0,024	\$22,35	
29	1	0,169	\$20,89	2	0,034	\$11,36	3	0,025	\$14,49	4	0,024	\$ 18,37	5	0,024	\$22,35	
30	1	0,186	\$22,57	2	0,035	\$11,46	3	0,025	\$14,51	4	0,024	\$ 18,37	5	0,024	\$22,35	
31	1	0,204	\$24,37	2	0,036	\$11,57	3	0,025	\$14,53	4	0,024	\$ 18,38	5	0,024	\$22,35	
32	1	0,223	\$26,28	2	0,037	\$11,69	3	0,026	\$14,55	4	0,024	\$ 18,38	5	0,024	\$22,35	
33	1	0,243	\$28,29	2	0,038	\$11,81	3	0,026	\$14,57	4	0,024	\$ 18,38	5	0,024	\$22,35	
34	1	0,264	\$30,39	2	0,040	\$11,95	3	0,026	\$14,59	4	0,024	\$ 18,39	5	0,024	\$22,35	
35	1	0,286	\$32,55	2	0,041	\$12,11	3	0,026	\$14,62	4	0,024	\$ 18,39	5	0,024	\$22,35	
36	1	0,308	\$34,76	2	0,043	\$12,27	3	0,026	\$14,64	4	0,024	\$ 18,40	5	0,024	\$22,35	
37	1	0,331	\$37,02	2	0,045	\$12,45	3	0,027	\$14,67	4	0,024	\$ 18,41	5	0,024	\$22,36	
38	1	0,354	\$39,30	2	0,047	\$12,65	3	0,027	\$14,70	4	0,024	\$ 18,41	5	0,024	\$22,36	
39	1	0,377	\$41,61	2	0,049	\$12,86	3	0,027	\$14,73	4	0,024	\$ 18,42	5	0,024	\$22,36	
40	1	0,400	\$43,93	2	0,051	\$13,10	3	0,028	\$14,77	4	0,024	\$ 18,43	5	0,024	\$22,36	
41	1	0,424	\$46,26	2	0,054	\$13,35	3	0,028	\$14,80	4	0,024	\$ 18,44	5	0,024	\$22,36	
42	1	0,447	\$48,60	2	0,056	\$13,63	3	0,028	\$14,84	4	0,024	\$ 18,44	5	0,024	\$22,36	
43	1	0,470	\$50,94	2	0,060	\$13,94	3	0,029	\$14,88	4	0,025	\$ 18,45	5	0,024	\$22,37	
44	1	0,494	\$53,28	2	0,063	\$14,27	3	0,029	\$14,93	4	0,025	\$ 18,46	5	0,024	\$22,37	
45	1	0,517	\$55,62	2	0,066	\$14,63	3	0,030	\$14,97	4	0,025	\$ 18,47	5	0,024	\$22,37	
46	1	0,541	\$57,97	2	0,070	\$15,03	3	0,030	\$15,02	4	0,025	\$ 18,49	5	0,024	\$22,38	
47	1	0,564	\$60,31	2	0,075	\$15,46	3	0,031	\$15,08	4	0,025	\$ 18,50	5	0,024	\$22,38	
48	1	0,588	\$62,66	2	0,080	\$15,93	3	0,031	\$15,13	4	0,025	\$ 18,51	5	0,024	\$22,38	
49	1	0,611	\$65,00	2	0,085	\$16,44	3	0,032	\$15,20	4	0,025	\$ 18,52	5	0,024	\$22,39	
50	1	0,635	\$67,35	2	0,090	\$17,00	3	0,033	\$15,26	4	0,025	\$ 18,54	5	0,024	\$22,39	

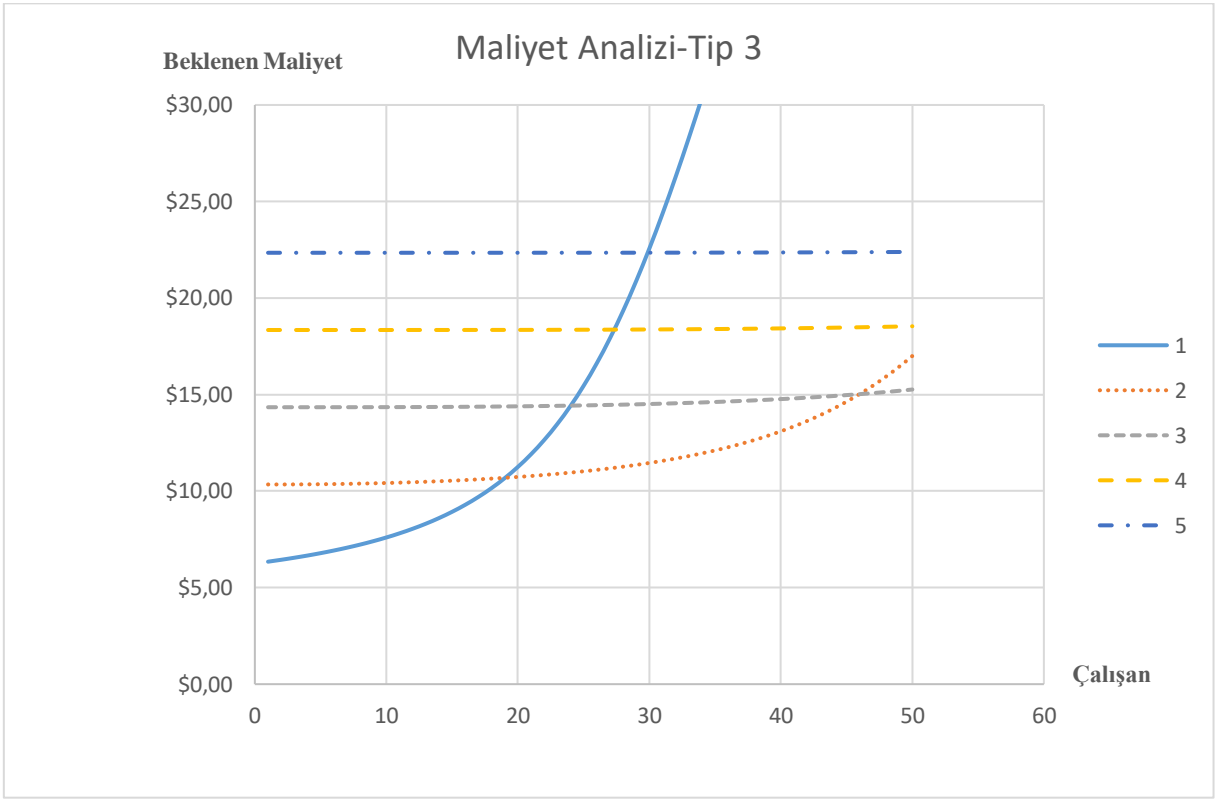
İkinci tablolardan elde edilen alternatifli maliyet sonuçları, üçüncü tablolarda grafiksel olarak gösterilmiştir. Eğimlerin kesişim noktalarında çalışan/makine optimum noktalar gösterilmektedir. Makine sayısı arttıkça, çalışan sayısının hangi oranda artması gerektiği ile ilgili görsel bilgi sunulmaktadır (Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6).



Şekil 4.4. Tip-1 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri



Şekil 4.5. Tip-2 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri



Şekil 4.6. Tip-3 ürünü için alternatifli maliyet grafikleri

Bu grafikler, ikinci tablolarda görülen optimum maliyet noktalarını doğrulamaktadır. Örneğin Tip-1 için Şekil 4.7'ye baktığımızda 10. makinede 1 kişi ile 2 kişi çakışmaktadır. Burada eğim değişerek 11. makinede 2 kişi ile daha uygun maliyetli bir alternatif elde edilmektedir. Aynı şekilde 28. makinede 2 kişi ile 3 kişi çakışmaktadır. Burada kesişim noktasından sonra yani 29. Makinede 3 kişi çalıştırmanın daha uygun maliyetli bir seçenek olduğu görünmektedir.

Çizelge 4.4'de net şekilde görebileceğimiz gibi beklenen maliyetler;

11 makinede 1 kişi çalışırken toplam beklenen maliyet 13,74\$ iken, 11 makinede 2 kişi çalışmasında toplam beklenen maliyet 13,03\$ olarak hesaplanmıştır. 29 makinede 2 kişi çalışırken toplam beklenen maliyet 18,22\$ iken, 29 makinede 3 kişi çalışması durumunda toplam beklenen maliyet 17,54\$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Tip-1 ürünü için optimum maliyet

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
6	Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC
7	1	1	0,026	\$8,63	2	0,026	\$12,63	3	0,026	\$16,63
8	2	1	0,028	\$8,91	2	0,026	\$12,63	3	0,026	\$16,63
9	3	1	0,030	\$9,23	2	0,026	\$12,64	3	0,026	\$16,63
10	4	1	0,032	\$9,58	2	0,026	\$12,66	3	0,026	\$16,63
11	5	1	0,034	\$9,97	2	0,027	\$12,68	3	0,026	\$16,63
12	6	1	0,036	\$10,41	2	0,027	\$12,72	3	0,026	\$16,64
13	7	1	0,039	\$10,92	2	0,027	\$12,76	3	0,026	\$16,64
14	8	1	0,043	\$11,49	2	0,027	\$12,82	3	0,026	\$16,64
15	9	1	0,046	\$12,14	2	0,028	\$12,88	3	0,026	\$16,65
16	10	1	0,050	\$12,88	2	0,028	\$12,95	3	0,026	\$16,66
17	11	1	0,055	\$13,74	2	0,029	\$13,03	3	0,027	\$16,67
18	12	1	0,061	\$14,73	2	0,029	\$13,13	3	0,027	\$16,68
19	13	1	0,067	\$15,87	2	0,030	\$13,24	3	0,027	\$16,70
20	14	1	0,075	\$17,19	2	0,030	\$13,36	3	0,027	\$16,72
21	15	1	0,084	\$18,71	2	0,031	\$13,50	3	0,027	\$16,74
22	16	1	0,094	\$20,47	2	0,032	\$13,65	3	0,027	\$16,76
23	17	1	0,105	\$22,48	2	0,033	\$13,82	3	0,027	\$16,79
24	18	1	0,118	\$24,77	2	0,034	\$14,01	3	0,027	\$16,82
25	19	1	0,133	\$27,37	2	0,035	\$14,22	3	0,028	\$16,86
26	20	1	0,149	\$30,27	2	0,037	\$14,45	3	0,028	\$16,90
27	21	1	0,168	\$33,48	2	0,038	\$14,72	3	0,028	\$16,95
28	22	1	0,187	\$36,99	2	0,040	\$15,01	3	0,028	\$17,00
29	23	1	0,209	\$40,75	2	0,042	\$15,33	3	0,029	\$17,06
30	24	1	0,232	\$44,75	2	0,044	\$15,69	3	0,029	\$17,12
31	25	1	0,255	\$48,93	2	0,046	\$16,10	3	0,029	\$17,19
32	26	1	0,280	\$53,26	2	0,049	\$16,54	3	0,030	\$17,26
33	27	1	0,305	\$57,69	2	0,051	\$17,04	3	0,030	\$17,35
34	28	1	0,331	\$62,20	2	0,055	\$17,60	3	0,031	\$17,44
35	29	1	0,357	\$66,76	2	0,058	\$18,22	3	0,031	\$17,54
36	30	1	0,383	\$71,35	2	0,062	\$18,92	3	0,032	\$17,65
37	31	1	0,409	\$75,97	2	0,065	\$19,66	3	0,032	\$17,77

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde hesaplamalarda kullanılan λ , μ , çalışan maliyeti ve kumaş maliyeti değişimlerinin optimum maliyet üzerine etkileri Tip-1 üzerinde tartışılacaktır.

5.1 λ Değerinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri

λ değeri “birim zamanda gelen müşteri sayısı” olduğu için bu makine modeline arızaların artması buna bağlı olarak makine bekleme maliyetlerinin yükselme ihtimali anlamına gelmektedir. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi örneklememizde makine bekleme maliyeti, işçilik maliyetinin çok üzerinde olduğu için λ değerinin 2 katına çıkması atanması gereken çalışan sayısını arttırmaktadır.

λ değerinde Tip-1 için 11 makineye kadar 1 kişi, 29 makineye kadar 2 kişi optimum maliyet sağlarken, 2λ durumunda 5 makineye kadar 1 kişi, 13 makineye kadar 2 kişinin çalışması daha uygun maliyet sunmaktadır.

Çizelge 5.1. Tip-1 ürünü için 2λ durumunda optimum maliyet

Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC
1	1	0,026	\$13,27	2	0,026	\$17,27	3	0,026	\$21,27
2	1	0,029	\$14,33	2	0,026	\$17,27	3	0,026	\$21,27
3	1	0,033	\$15,60	2	0,027	\$17,33	3	0,026	\$21,27
4	1	0,037	\$17,14	2	0,027	\$17,45	3	0,026	\$21,27
5	1	0,043	\$19,01	2	0,027	\$17,63	3	0,026	\$21,28
6	1	0,049	\$21,29	2	0,028	\$17,88	3	0,026	\$21,31
7	1	0,057	\$24,07	2	0,029	\$18,20	3	0,027	\$21,35
8	1	0,067	\$27,45	2	0,030	\$18,60	3	0,027	\$21,41
9	1	0,078	\$31,54	2	0,032	\$19,09	3	0,027	\$21,49
10	1	0,092	\$36,41	2	0,033	\$19,67	3	0,027	\$21,59
11	1	0,108	\$42,11	2	0,035	\$20,37	3	0,028	\$21,72
12	1	0,127	\$48,65	2	0,038	\$21,20	3	0,028	\$21,88
13	1	0,148	\$55,94	2	0,040	\$22,18	3	0,029	\$22,07
14	1	0,170	\$63,87	2	0,044	\$23,33	3	0,029	\$22,30
15	1	0,194	\$72,30	2	0,047	\$24,68	3	0,030	\$22,57
16	1	0,219	\$81,08	2	0,052	\$26,25	3	0,031	\$22,89
17	1	0,245	\$90,08	2	0,057	\$28,08	3	0,032	\$23,26
18	1	0,271	\$99,21	2	0,063	\$30,18	3	0,033	\$23,69
19	1	0,297	\$108,42	2	0,070	\$32,57	3	0,035	\$24,19
20	1	0,323	\$117,65	2	0,078	\$35,28	3	0,036	\$24,77
21	1	0,286	\$104,65	2	0,086	\$38,30	3	0,038	\$25,44
22	1	0,376	\$136,17	2	0,096	\$41,63	3	0,040	\$26,20
23	1	0,402	\$145,44	2	0,106	\$45,24	3	0,043	\$27,07
24	1	0,428	\$154,70	2	0,117	\$49,10	3	0,046	\$28,06

Bu analizden yola çıkarak λ değeri arttıkça atanması gereken çalışan sayısı artarken, λ değeri azaldıkça atanması gereken çalışan sayısı azalır sonucuna varılmaktadır.

5.2 μ Değerinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri

μ değeri, “birim zamanda servis sayısı” olarak tanımlanır ve kuyruk teoreminin temel yapı taşlarından biridir. Ancak maliyet hesaplama formülünde doğrudan μ değeri bulunmaz. μ değeri, W değerini etkilediği için dolaylı yoldan optimum maliyeti etkilemektedir. Örneğin; μ değerinin 2 katına çıkmasının etkisi Çizelge 5.2’deki tabloda gösterilmektedir. μ değerinde Tip-1 için 11 makineye kadar 1 kişi optimum maliyeti verirken, 2μ durumunda 1 kişinin 25 makineye bakıyor olması daha uygun maliyet vermiştir.

Çizelge 5.2. Tip-1 ürünü için 2μ durumunda optimum maliyet

Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W
1	1	0,013	\$6,32	2	0,013	\$10,32	3	0,013
2	1	0,014	\$6,39	2	0,013	\$10,32	3	0,013
3	1	0,014	\$6,47	2	0,013	\$10,32	3	0,013
4	1	0,014	\$6,55	2	0,013	\$10,32	3	0,013
5	1	0,015	\$6,63	2	0,013	\$10,32	3	0,013
6	1	0,016	\$6,73	2	0,013	\$10,33	3	0,013
7	1	0,016	\$6,83	2	0,013	\$10,33	3	0,013
8	1	0,017	\$6,93	2	0,013	\$10,34	3	0,013
9	1	0,017	\$7,04	2	0,013	\$10,35	3	0,013
10	1	0,018	\$7,17	2	0,013	\$10,36	3	0,013
11	1	0,019	\$7,30	2	0,013	\$10,37	3	0,013
12	1	0,020	\$7,44	2	0,014	\$10,38	3	0,013
13	1	0,020	\$7,59	2	0,014	\$10,39	3	0,013
14	1	0,021	\$7,75	2	0,014	\$10,41	3	0,013
15	1	0,022	\$7,93	2	0,014	\$10,42	3	0,013
16	1	0,023	\$8,12	2	0,014	\$10,44	3	0,013
17	1	0,025	\$8,33	2	0,014	\$10,46	3	0,013
18	1	0,026	\$8,56	2	0,014	\$10,48	3	0,013
19	1	0,027	\$8,81	2	0,014	\$10,50	3	0,013
20	1	0,029	\$9,08	2	0,014	\$10,52	3	0,013
21	1	0,031	\$9,38	2	0,014	\$10,55	3	0,013
22	1	0,032	\$9,72	2	0,015	\$10,57	3	0,013
23	1	0,035	\$10,08	2	0,015	\$10,60	3	0,013
24	1	0,037	\$10,48	2	0,015	\$10,63	3	0,013
25	1	0,039	\$10,93	2	0,015	\$10,67	3	0,013
26	1	0,042	\$11,42	2	0,015	\$10,70	3	0,013
27	1	0,045	\$11,96	2	0,016	\$10,74	3	0,013

Bu analizden yola çıkarak μ değeri arttıkça atanması gereken çalışan sayısı azalırken, μ değeri azaldıkça atanması gereken çalışan sayısı artar sonucuna varılmaktadır.

5.3 Çalışan Maliyetinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri

Çalışan maliyeti, maliyet formülünde doğrudan etkindir ve birim maliyet ile çalışan sayısının çarpımı olarak hesaplamalarda kullanılır. Bu sebeple çalışan sayısı arttıkça beklenen maliyetin de artması beklenmektedir. Çizelge 5.3’de görülebileceği gibi çalışan maliyetini 4\$ yerine 8\$ olarak aldığımızda sonuçlar değişmektedir. Bu değişim aynı zamanda çalışanın sorumlu olacağı makine sayısındaki optimum noktayı da değiştirmektedir.

4\$ olan çalışan maliyetinde Tip-1 için 11 makineye kadar 1 kişi, 29 makineye kadar 2 kişi optimum maliyet sağlarken, çalışan maliyetinin 8\$ olması durumunda 15 makineye kadar 1 kişi, 34 makineye kadar 2 kişinin çalışması daha uygun maliyet sunmaktadır.

Bu analizden yola çıkarak çalışan maliyeti arttıkça atanması gereken çalışan sayısı azalırken, çalışan maliyeti azaldıkça atanması gereken çalışan sayısı artar sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5.3. Tip-1 ürünü için çalışan maliyetinin 2 katı olması durumunda optimum maliyet

Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC	I
14	1	0,075	\$21,19	2	0,030	\$21,36	3	0,027	\$28,72	
15	1	0,084	\$22,71	2	0,031	\$21,50	3	0,027	\$28,74	
16	1	0,094	\$24,47	2	0,032	\$21,65	3	0,027	\$28,76	
17	1	0,105	\$26,48	2	0,033	\$21,82	3	0,027	\$28,79	
18	1	0,118	\$28,77	2	0,034	\$22,01	3	0,027	\$28,82	
19	1	0,133	\$31,37	2	0,035	\$22,22	3	0,028	\$28,86	
20	1	0,149	\$34,27	2	0,037	\$22,45	3	0,028	\$28,90	
21	1	0,168	\$37,48	2	0,038	\$22,72	3	0,028	\$28,95	
22	1	0,187	\$40,99	2	0,040	\$23,01	3	0,028	\$29,00	
23	1	0,209	\$44,75	2	0,042	\$23,33	3	0,029	\$29,06	
24	1	0,232	\$48,75	2	0,044	\$23,69	3	0,029	\$29,12	
25	1	0,255	\$52,93	2	0,046	\$24,10	3	0,029	\$29,19	
26	1	0,280	\$57,26	2	0,049	\$24,54	3	0,030	\$29,26	
27	1	0,305	\$61,69	2	0,051	\$25,04	3	0,030	\$29,35	
28	1	0,331	\$66,20	2	0,055	\$25,60	3	0,031	\$29,44	
29	1	0,357	\$70,76	2	0,058	\$26,22	3	0,031	\$29,54	
30	1	0,383	\$75,35	2	0,062	\$26,92	3	0,032	\$29,65	
31	1	0,409	\$79,96	2	0,066	\$27,69	3	0,033	\$29,77	
32	1	0,435	\$84,58	2	0,071	\$28,54	3	0,034	\$29,90	
33	1	0,462	\$89,21	2	0,077	\$29,49	3	0,034	\$30,05	
34	1	0,488	\$93,84	2	0,083	\$30,54	3	0,035	\$30,21	
35	1	0,514	\$98,47	2	0,089	\$31,69	3	0,036	\$30,38	
36	1	0,541	\$103,10	2	0,096	\$32,95	3	0,037	\$30,57	
37	1	0,567	\$107,74	2	0,104	\$34,33	3	0,039	\$30,77	

5.4 Bekleme Maliyetinin Toplam Maliyet Üzerine Etkileri

Makine bekleme maliyeti, beklenen maliyete λ ve makine sayısı ile birlikte hesaplanarak doğrudan etki eder. Bu sebeple makine bekleme maliyeti arttıkça beklenen maliyetin artması beklenmektedir. Çizelge 5.4’de gösterildiği gibi bekleme maliyetini 71,7 \$ yerine 143,4 \$ olarak aldığımızda sonuçlar değişmektedir. Bu değişim aynı zamanda çalışanın sorumlu olacağı makine sayısındaki optimum noktayı da değiştirmektedir.

71,7 \$ olan bekleme maliyetinde Tip-1 için 11 makineye kadar 1 kişi, 29 makineye kadar 2 kişi optimum maliyet sağlarken, bekleme maliyetinin 143,4 \$ olması durumunda 7 makineye kadar 1 kişi, 22 makineye kadar 2 kişinin çalışması daha uygun maliyet sunmaktadır.

Çizelge 5.4. Tip-1 ürünü için bekleme maliyetinin 2 katı olması durumunda optimum maliyet

Machine	Man	W	TC	Man	W	TC	Man	W	TC
1	1	0,026	\$13,27	2	0,026	\$17,27	3	0,026	\$21,27
2	1	0,028	\$13,83	2	0,026	\$17,27	3	0,026	\$21,27
3	1	0,030	\$14,46	2	0,026	\$17,28	3	0,026	\$21,27
4	1	0,032	\$15,16	2	0,026	\$17,32	3	0,026	\$21,27
5	1	0,034	\$15,94	2	0,027	\$17,37	3	0,026	\$21,27
6	1	0,036	\$16,83	2	0,027	\$17,44	3	0,026	\$21,27
7	1	0,039	\$17,83	2	0,027	\$17,53	3	0,026	\$21,28
8	1	0,043	\$18,97	2	0,027	\$17,63	3	0,026	\$21,29
9	1	0,046	\$20,28	2	0,028	\$17,76	3	0,026	\$21,30
10	1	0,050	\$21,77	2	0,028	\$17,90	3	0,026	\$21,32
11	1	0,055	\$23,48	2	0,029	\$18,07	3	0,027	\$21,34
12	1	0,061	\$25,46	2	0,029	\$18,26	3	0,027	\$21,37
13	1	0,067	\$27,74	2	0,030	\$18,48	3	0,027	\$21,40
14	1	0,075	\$30,38	2	0,030	\$18,72	3	0,027	\$21,43
15	1	0,084	\$33,42	2	0,031	\$18,99	3	0,027	\$21,48
16	1	0,094	\$36,93	2	0,032	\$19,30	3	0,027	\$21,53
17	1	0,105	\$40,96	2	0,033	\$19,64	3	0,027	\$21,58
18	1	0,118	\$45,55	2	0,034	\$20,02	3	0,027	\$21,65
19	1	0,133	\$50,74	2	0,035	\$20,44	3	0,028	\$21,72
20	1	0,149	\$56,55	2	0,037	\$20,91	3	0,028	\$21,81
21	1	0,168	\$62,97	2	0,038	\$21,43	3	0,028	\$21,90
22	1	0,187	\$69,97	2	0,040	\$22,02	3	0,028	\$22,00
23	1	0,209	\$77,50	2	0,042	\$22,66	3	0,029	\$22,11
24	1	0,232	\$85,49	2	0,044	\$23,39	3	0,029	\$22,24
25	1	0,255	\$93,86	2	0,046	\$24,19	3	0,029	\$22,38
26	1	0,280	\$102,51	2	0,049	\$25,09	3	0,030	\$22,53
27	1	0,305	\$111,38	2	0,051	\$26,09	3	0,030	\$22,70

Sonuç olarak; makine girişim uygulaması kuyruk teoremi üzerine temellendirilerek maliyet hesaplamaları ile çözümlendirilmiştir. Bu çalışmada tekstil sektöründe önemli bir sorun olan ve verimliliği doğrudan etkileyen makine/çalışan optimizasyonu için bir çözüm

sunulmuştur. Bu yaklaşım birçok farklı işletmede kolayca uygulanabilir ve bu sayede optimum verilere her işletme kendi özelinde ulaşabilir olacaktır.

Burada ele alınan veriler ışığında işletmelerde yürüme mesafeleri ve buna bağlı olarak makine yerleşim planları göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışanın makineye ulaşma süresi, makine bekleme süresini doğrudan etkilediğinden hat dengeleme önem kazanmaktadır. Makinelere atanacak çalışanların, sorumlu olacağı makinelerin olabilecek en yakın mesafede bulunması girişim süresini azaltacağı için avantaj sağlayacaktır.

Gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılara, mümkünse simülasyon tekniğiyle çalışanların yürüme mesafeleri ve hızlarının da hesaba katıldığı ayrıntılı bir analiz yapılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca farklı dağılım tiplerinin söz konusu olduğu çalışmalarda simülasyon tekniği hesaplama açısından daha hızlı sonuç verme potansiyeline sahiptir. Ancak simülasyon tekniğinin kullanılması durumunda ortaya çıkacak yazılım maliyetleri ve eğitim süresi dikkate alınmalıdır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile ülkemizin lokomotif sektörü olan tekstil için kolayca uygulanabilen bir sanayi çalışmasının sunulması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda herhangi bir işletmenin kendi verilerini kullanarak çalışmayı tekrar edebilmesi, mevcut tez çalışmasının esasını oluşturmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Ala D.M, İkiz Y (2015). Dokuma Üretimi Süresince Oluşan Kumaş Hatalarının Belirlenmesine Yönelik İstatistiksel Bir Araştırma. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(7):282-287
- Alwerfalli D.R (1978). A Study of Models for Optimum Assignment of Manpower to Weaving Operations. Master of Science in Textiles, Georgia Institute of Technology, Atlanta
- Arslan F (2011). Hastaneye Muayene için Gelen Hastaların Bekleme Süreleri ile İlgili Kuyruk Modelleri Ve Analitik Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- Aydın M (2003). Çok Kanallı Kuyruk Sistemlerine Bulanık Yaklaşım. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Aydın Y (2009). Stokastik Süreç Olarak Kuyruk Sistemleri Teorisi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baan F (2012). Optimal Relationship Between The Use of Labour, Number of Running Machines and Type of Product. University of Twente, Holland
- Collins D.H, Warr R.L.(2013). An Introduction to Statistical Flowgraph Models for Engineering Systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part O Journal of Risk and Reliability, <https://www.researchgate.net/publication/258178957> (erişim tarihi, 25.04.2019).
- Durmuş Ü (2017). Kuyruk Teorisinin İncelenmesi ve Üniversite Sektörü İçin Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gönülalan E (2010). Türkiye’de Pamuklu Dokuma Endüstrisinde Verimlilik ve Kalite Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Gross D., Shortle J.F., Thompsom J.M., Harris C.M., 2008. Fundamentals of Queueing Theory. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Elsayed E.A (1981). An Optimum Repair Policy for the Machine Interference Problem. The Journal of the Operational Research Society, Vol: 32 No 9: 793-801
- Engin A.B (2009). Comparative Analysis For Periodical And Random Servicing Systems Considering Different Working Circumstances: A Textile Application. Journal of Manufacturing Systems, 28 (2009): 89-97
- Erdoğan G (2010). Kuyruk Teorisi ve Bir Çağrı Merkezi Uygulaması.Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- Haque L, Armstrong M.J (2007). A Survey of The Machine Interference Problem. European Journal of Operational Research, 179(2007):469-482
- Hillier F.S, Lieberman G.J (2015). Introduction to Operations Research, McGraw-Hill Education, USA
- Hsieh Y.C (1996). Optimal Asssignment of Priorities For The Machine Interference Problems. Microelectron. Reliab. Vol:37 No 4:635-640
- Kısaoğlu Ö (2010). Orta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: II. Duruşların Kontrolü. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:16 Sayı 3:303-313

- Kostak G.K (2016). Çağrı Merkezi Bekleme Süresinin Kuyruk Modelleri İle İncelenmesi Ve İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Mack C, Murphy T, Webb N.L, (1957). The Efficiency of N Machines Uni-Directionally Patrolled by One Operative when Walking Time and Repair Times are Constants. Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 19 No. 1:166-172
- Meriç B, Özkal A (2002). Döşemelik Kumaş Üreten Bir İşletmede Randıman Analizi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi, Cilt:7 Sayı 1:131-140
- Murthy P.R (2007). Operations Research, New Age International LTD, New Delhi
- Özkan F (2010). Bekleme Hattı (Kuyruk) Modelleri ve Bir Çağrı Merkezi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- Rahman A.N.M.M, Amin R (2011). Efficiency Analysis in Rapier Loom. International Journal of Basic&Applied Sciences Vol:11 No 3:44-50
- Siddhartan K, Jones M.J, Johnson J.A (1996). A Priority Queuing Model to Reduce Waiting Times in Emergency Care. International Journal of Health Care Quality Assurance, Vol: 9 No 5:10 - 16
- Stecke E.K, Aronson J.E (1985). Review of Operator/ Machine Interference Models. International Journal of Production Research, Vol:23 No 1:129-151
- Stevenson W.J (2018). Operations Management, Thirteenth Edition. McGraw-Hill Education, 929 p, Newyork, USA
- Sztrik J, Bunday B.D, (1992). An Asymptotic Approach To The Multiple Machine Interference Problem With Markovian Environments. Annales Universitatis Scientiarum Budapest, 13(1992):135-148
- Sztrik J, Bunday B.D, (1993). Machine Interference Problem With a Random Environment. European Journal of Operational Research, 65(1993):259-269
- Ulaş M (2007). İki Hizmet Kanalına Sahip Kuyruk Sistemlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Uyrun A (2012). Bekleme Hattı (Kuyruk) Modeliyle Servis Sisteminin Analizi: Hızlı Yiyecek İçecek İşletmesinde Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Düzce
- Yıldırım B (2011). Dokuma Tezgahında Kumaş Oluşumu. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Yücesoy E (2017). Bloklü Stokastik Bir Tandem ve Paralel Kuyruk Sisteminin Analizi ve Simülasyonu. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- Winston W.L., 2004. Operations Research Applications and Algorithms, Brooks/Cole Cengage Learning, USA.
- Winston W.L, Albright S.C. (2011) Practical Management Science, South-Western Cengage Learning, USA.
- Zobu M (2012). Faz Dağılımlı Kuyruk Sistemlerinde Hipotez Testleri İçin Ardışık Çözümleme Yönteminin Kullanılması. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun

ÖZGEÇMİŞ

19.03.1984 tarihinde Mersin’de doğan Sezin ÇELİKKIRAN, İlk-orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladıktan sonra 2002 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünü kazanarak yükseköğrenimine başlamıştır. 2007 yılında Ege Üniversitesi’nden mezun olmuştur. 2016 yılında yüksek lisans yapmak üzere Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği anabilim dalına başlamıştır. 2007 yılından bu yana özel tekstil firmalarında Ürün Geliştirme Mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.