



## Simulation software development and workforce optimization for service systems: QS-Sim software

Emine Rumeysa Kocaer<sup>ID</sup>, Halil İbrahim Koruca\*<sup>ID</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, 32260, Türkiye

### Highlights:

- Development of simulation software for service systems
- Personnel optimization algorithm
- Sample queue models and QS-Sim simulation results

### Keywords:

- Workforce optimization
- Service Systems
- Simulations
- Statistical Distributions

### Article Info:

Research Article

Received: 14.04.2022

Accepted: 01.01.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1103685

### Correspondence:

Author: Halil İbrahim

Koruca

e-mail:

halilkoruca@sdu.edu.tr

phone: +90 542 762 3844

### Graphical/Tabular Abstract

Station Name	Customer Entry Rate %	Personnel Cost	Number of Personnel	1	2	3	4	5	6	7	8
Station 1	100	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10
Station 2	75	10	3	3	3	3					
Station 3	100	10	2	2	2						

Figure A. QS-Sim Tool Modelling – Simulation Interfaces

### Purpose:

The aim of this study is to develop a flexible simulation software (QS-Sim Tool) that can simulate queuing system models for the service sector, measure performance and perform workforce optimization.

### Theory and Methods:

With the developed software, a service or production system can be modeled. New parallel stations can be added to the system, and customer arrival and service distributions can be determined as Poisson, Exponential, Normal, Erlang distributions or deterministic according to the model (Figure A). With the software, the performance for the queuing problems encountered in the service sector can be measured and the costs of different personnel numbers can be obtained in the optimization interface.

### Results:

In this study, different types of examples of queuing problems encountered in the service sector are given and simulated in the developed software. Within the scope of this study, a model for four queuing systems for different sectors has been created and simulated.

### Conclusion:

Performances of queuing systems with the help of software; The probability of the system being idle ( $P_0$ ), the number of people waiting in the queue ( $L_q$ ) and the service ( $L_s$ ), the waiting times in the queue ( $W_q$ ) and the service ( $W_s$ ) together with the longest waiting times in the queue ( $Max W_q$ ) and the service ( $Max W_s$ ), the idle waiting time of the personnel, the overtime hours and the number of people leaving the system without receiving service can also be calculated.



## Servis sistemlerine yönelik simülasyon yazılımı geliştirme ve işgücü sayısı eniyilemesi: QS-Sim

Emine Rumeysa Kocaer<sup>ID</sup>, Halil İbrahim Koruca\*<sup>ID</sup>

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 32260, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Servis sistemlerine yönelik simülasyon yazılımı geliştirme
- İş gücü sayısı eniyileme
- Örnek kuyruk modelleri ve QS-Sim simülasyon sonuçları

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 14.04.2022

Kabul: 01.01.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1103685

#### Anahtar Kelimeler:

İş gücü eniyileme,  
servis sistemleri,  
simülasyon,  
istatistiksel dağılımlar

#### ÖZ

İşletmelerde bir ürün ya da hizmete olan talebin artması ve çalışan sayısının yetersiz kalması, hammadde/ yarı mamul stoklarının düşük olması vb. nedenlerden dolayı müşteriler beklemek zorunda kalmaktadır. Kuyrukta bekleme süresi azaltılarak müşteri memnuniyeti artırılabilir. Uzun kuyruklar müşterilerin sistemden ayrılmasına ve bunun sonucunda personelin boşa kalmasına ve maliyetlerin artmasına neden olur. Kuyrukta bekleme süresi ve personel maliyetleri arasında karar vermede ikilem oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, hizmet sektörüne yönelik kuyruk sistemi modellerinin benzetilebildiği ve performansının ölçülebildiği ve işgücü sayısının eniyilemesinin gerçekleştirilebildiği esnek bir kullanım sağlayan simülasyon yazılımı (QS-Sim) geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile bir hizmet veya üretim sistemi modellenmektedir. Sisteme yeni paralel istasyonlar eklenebilmekte, müşteri geliş ve servis süresi ise sürece uygun dağılımlar ile; Poisson, Üstel, Normal, Erlang dağılımları veya Deterministik olarak düzenlenebilmektedir. Yazılım yardımıyla, hizmet sektöründe karşılaşılan bekleme hatlı problemlerine yönelik performans ölçülebilmekte ve işgücü sayısı eniyileme arayüzü ile farklı personel sayılarındaki maliyetler elde edilebilmektedir. Farklı sektörlerden elde edilen veriler ile oluşturulan modellerin simülasyon sonuçları ve aynı modellerin işgücü eniyileme algoritma sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir.

## Simulation software development and workforce optimization for service systems: QS-Sim software

### H I G H L I G H T S

- Development of simulation software for service systems
- Workforce optimization
- Sample queue models and QS-Sim simulation results

#### Article Info

Research Article

Received: 14.04.2022

Accepted: 01.01.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1103685

#### Keywords:

Work force optimization,  
service systems,  
simulation,  
statistical distributions

#### ABSTRACT

Customers have to wait due to reasons such as increased demand for a product or service in businesses, insufficient number of personnel, low stocks of raw materials/semi-finished products, etc. Reducing the waiting time in the queue increases customer satisfaction. Long queues cause customers to leave the system, and as a result, increase idle time of personnel and costs. A dilemma occurs when deciding between queue waiting time and personnel cost. In this study, a flexible simulation software (QS-Sim) has been developed in which the queuing system models for the service sector can be simulated and their performance can be measured, and workforce can be optimized. With the developed software, a service or production system can be modelled. New parallel stations can be added to the system, and customer arrival and service distributions can be determined as Poisson, Exponential, Normal, Erlang distributions or deterministic according to the model. The performance for the queuing problems encountered in the service sector can be measured with the software, and the costs of different personnel numbers can be obtained in the optimization interface. The simulation results of the models created with the data obtained from different sectors and the simulation results of the work force optimization of the same models are analysed comparatively.

## 1. Giriş (Introduction)

Küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler), operasyonel uyumla ilgili karar vermede çok sayıda zorlukla karşı karşıyadır. KOBİ'lerin hedefledikleri hizmeti veya üretimi sürdürebilmeleri ancak kaynaklarını ve süreçlerini iyi yönetebilmeleri halinde mümkündür. Kaynak kullanımı, müşteri memnuniyeti ve maliyet ilişkisi her işletme için planlama gerektiren bir alandır. Maliyet tasarrufu her şirketin istediği ve çok zorlandığı temel hedeflerinden biridir. Hizmet ve üretim sektöründe talebin fazla olması, personel/makine yetersizliği ve servis/işlem sürelerinin uzun olması kuyruk oluşmasına neden olur. Kuyruklardaki bekleme süresi müşteri yoğunluğuna, servis sağlayıcısının sayısına ve servis süresi uzunluğuna bağlı olarak değişir. Bir kuyruk sisteminde iki tür maliyet söz konusudur: Müşterilerin kuyruktaki bekleme süresinden kaynaklı bekleme maliyeti ve servis sağlayıcıların (işgücü/makina) oluşturduğu maliyetlerdir [1]. Bekleme süresinin yükselmesi müşteri memnuniyetini düşürür ve işletmenin maliyetini yükseltir [2]. Dolayısıyla bekleme süresinin artması müşteri kayıplarına, karın düşmesine, servis sağlayıcılarının boş kalmasına ve maliyet artışına neden olmaktadır [3]. Kuyruk teorisi çalışmaları, 1909 yılında Erlang'ın şehir santrali için optimum telefon hattı sayısını belirlemeye çalışması ile başlamış ve 1945'ten sonra ise birçok farklı problemde uygulandığı görülmektedir [4]. Kuyruk simülasyonu yaklaşımı, kuyruk teorisi ile gerçek yaşamın simülasyon yoluyla modellenmesinin birleşimidir. [5] Kesikli olay simülasyonu ise, kuyrukları analiz etmek için yaygın uygulanan ve hızlı bir yöntemdir [6]. Kuyruk sistemi ile üretim ve servis sistemi modellemek ve bekleme sürelerini azaltabilmek için kullanılan en yaygın yöntem simülasyon yöntemidir. Simülasyon ile bir sistemin mevcut durum analizi ve alternatif senaryoların simülasyon sonuçları ile en uygun sistem tasarımları gerçekleştirilebilmektedir [7]. Servis sistemlerinde, sorunun belirlenmesi, çözüm bulunması ve eniyilemesi için simülasyon yöntemi önemli bir rol oynamaktadır. Birçok analitik metot ve teknik, servis sistemlerinin eniyilemesi için uygulanmaktadır. Simülasyon hem üretim sistemleri hem de servis sistemlerinde uygulanan bir mühendislik aracıdır [8]. Atatürk Havalimanı'nda yolcu bekleme sürelerini ve kontuar maliyetlerini en aza indirmek için kontuar sayısını simüle edecek bir yazılım geliştirilmiştir [9]. Antalya Uluslararası Havalimanı'nda pist kullanımından kaynaklanan bekleme süreleri ve bu bekleme sürelerinin hava kirliliğine etkisi Arena simülasyon programı ile incelenmiştir [10]. Bir eczanedeki kuyruk sistemi PROMODEL ile [11], diğer bir çalışmada sağlık sektörü ile ilgili bir hastanenin acil servisindeki bekleme süresini azaltmak için ARENA ve ARIS simülasyon programları ile simüle edilmiştir [12]. Farklı programlama dillerindeki simülasyon yazılımları ile gerçekleştirilen çalışmalarda; bir bankada MATLAB programlama dili ile M/M/c kuyruk sistemi simülasyon modeli oluşturularak performansları ölçülmüş ve ortalama bekleme süresini azaltmak için kuyruk modeli ağırlıklı algoritma ile optimize edilmiştir [13]. Bir marketin kasa hattındaki kuyruk uzunluğunu azaltmak için SIMAN programı [14], yine marketin kasadaki bekleme süresini azaltmak için ARENA simülasyon programı [15], bir bankanın gişesindeki kuyrukları ve bekleme sürelerini azaltmak için ise ARENA simülasyon programı kullanılmıştır [16]. PYTHON programlama dili kullanılarak geliştirilen yazılım ile Bangkok hızlı tren bilet satış sistemi ve çeşitli vakalar simüle edilmiştir [17].

Simülasyon yönteminin amaçlarından biri, analitik yöntemlerin eksiklerini gidermek ve gerçek sistemin analitik çözümde ifade edilemeyen özelliklerini ortaya çıkarmaktır. Kuyruk sistemlerinde servis sağlayıcı ve personel sayısı eniyilemesi için analitik çözümde ulaşılamayan birçok rastgele değişken bulunmaktadır. Bu nedenle, sistem modelinin mümkün olduğunca gerçek sisteme benzetilmesi ve bunun için simülasyon yönteminin uygulanması gerekmektedir. Simülasyon yönteminin en önemli katkısı, modellenen sistemin

dinamik yönlerini ve karmaşık olasılık ilişkilerinin anlaşılmasına yardımcı olmasıdır. Kesikli olay simülasyonu (DES), üretim sektöründeki kuyruk sistemlerinin performanslarının hesaplanmasını ve bekleme süresinin düşürülmesi için geliştirilmiştir. DES son yıllarda süpermarketler, havaalanları ve çağrı merkezleri gibi hizmet sektörlerini modellemek için de uygulanmaktadır. Bu yaklaşım ile kuyruk modelleri için gerekli olan bileşen sayıları azaltılmış ve servis sistemlerinin modellenmesi basitleştirilmiştir [18]. Java programlama dili ile kesikli olay simülasyonu yazılımı [19] ve benzer şekilde başka bir araştırmacılar 'URURAU' ismini verdikleri bir yazılım geliştirmişlerdir [20]. 'URURAU', kullanıcıya grafik arayüzden modeller oluşturulmasına ve farklı tasarımlar geliştirmesine veya bu modelleri kaynak kodunda uygulanmasına imkân vermektedir. Kesikli olay simülasyonu için geliştirilen bir diğer yazılım ise R programlama dili ile geliştirilen SIMMER yazılımıdır [21]. Postane maliyetlerini optimize etmek amacıyla simülasyon yöntemi yardımıyla postane kuyruk sistemlerinin analitik çözümünden kaynaklanan yetersizlikler giderilmiştir. Analitik çözümün aksine, simülasyon modelinde rastgele değişkenlerin değerini üretmek için sistemin stokastik elemanları bir algoritma tarafından yakalanır. Maliyet tasarrufu sağlayacak şekilde simülasyon yöntemi uygulanmış ve servis sağlayıcılarının sayısı optimize edilmiştir [22]. Grafiksel modelleme yapabilen nesne tabanlı bir kesikli olay simülasyon programı (SIMIO) [23] ve DotNetSim, Microsoft.Net kullanarak kesikli olay simülasyonu modellerini ve paket programları çaprazlayan ve tek bir web hizmetinde birleştirmek için bir prototip geliştirilmiştir [24]. DotNetSim yazılımının yapısı, Microsoft Visio'da model tanımları ve görselleştirme, C# programlama dili ile simülasyon yazılımı ve Excel ile de çıktı analizi/ gösterimi elde edilebilmektedir. Diğer bir çalışmada, bir hastanenin yoğun bakım ünitelerindeki yatak sayılarının Visual Basic'de kesikli olay simülasyonu ile optimize edilmesi amaçlanmış, yatak sayılarının artırılması, yatış sürelerinin kısaltılması gibi farklı senaryolar ile analiz edilmiştir [25].

İş gücü verimliliğini artırmak için SIMIO simülasyon yazılımı ile bir üniversite yerleşkesindeki yemekhanede yemek hazırlama istasyonlarında müşteri siparişlerine göre yemek hazırlanmakta, istasyonlarda uzun kuyruklar oluşmakta ve tesiste aşırı bekleme süreleri olmaktadır. Çalışmada, beş farklı alternatif senaryo ile kapasite planlaması ve kuyruk sistemlerinin müşteri bekleme süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Alternatif senaryolarda yemek istasyonlarının artırılması ile ortalama bekleme süresinin ne kadar kısalaacağı analiz edilmiştir [26]. Kuyruk sistemleri, personel sayısına göre tek ya da çok servisli kuyruk modelleri olarak tanımlanmaktadır [27]. Kuyruk sistemlerinde birden fazla personel aynı istasyonda bulunabileceği gibi, birbirine paralel bağlı istasyonlarda da çalışabileceği ve karmaşık yapıdaki sistemlerde neden-sonuç ilişkisi bulabilmek için modellenerek simülasyon yönteminden yararlanılmıştır [28]. Kuyruk sistemlerinde simülasyon yöntemi uygulaması ile farklı kuyruk modelleri farklı geliş parametrelerine ve servis sağlayıcı sayısına göre modellenebilir ve performansları ölçülebilir. Müşterileri kuyruktaki bekleme süreleri ile daha fazla servis sağlayıcı bulundurmaya arasında optimum bir dengeyi (genel de en düşük toplam maliyet) sağlamak gerekir. Bekleme maliyetinin düşürülmesi ancak servis sağlayıcılarının sayısının artırılması ile mümkün olabilir. Servis sağlayıcılarının sayısının artması ile servis maliyeti artar ve bekleme maliyeti düşer. Servis maliyeti ile bekleme maliyeti arasında ters bir orantı vardır. Bu durum, kuyruk problemlerinin optimum çözümünü önemli hale getirmektedir [29]. Servis istasyonları arasında yük dengelemek kuyruk sistemleri için bir sorun teşkil etmektedir. Bazı servislerin/ işgücünün önünde uzun kuyrukların oluşması diğer çalışanların ise daha kısa kuyruklara sahip olması veya boş kalması servis istasyonu yük dengeleme problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Tek servisli kuyruklarda yük dengeleme problemleri için farklı

senaryolar denenmiştir. Ayrıca, ARENA-OptQuest kullanarak kuyrukların dengelenmesi için farklı iş rotaları ve servis politikaları optimize edilmeye çalışılmıştır [30]. Süpermarketlerde oluşan kuyruk uzunluklarını tahmin etmek için makine öğrenimi algoritmalarından yararlanılabilir. Böylece bir kasada oluşabilecek olan yük dengelenmiş olacaktır [31]. Bir hazır giyim üreticisinin kişiye özgü giysi tasarımı ve üretimi için alternatif dikim atölyesi yerleşim senaryoları simülasyon destekli tasarlanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Üniversite'nin kendi geliştirdiği 'FEMOS' simülasyon yazılımında modellenerek farklı kişiye özgü ürün tasarımı için üretim sistemleri tasarlanmış ve farklı sipariş miktarı altında simülasyon senaryoları analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında dolaşım süresi, iş istasyonu ve personel kapasite kullanım oranı ve birim ürün maliyetleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Simülasyondan elde edilen sonuçlar moda tasarımcısı firmaya kişiye özgü ürün tasarımının uygulanabilirliği konusunda bir fikir vermektedir [32].

Üretim hatlarının arzalı olduğu, onarılabilir ürünlerin bir tamir atölyesine gönderilmesi ve bir üretim ortamında bakım sistemlerini simülasyon tabanlı modellerin geliştirilmesi çalışmada konu edilmiştir. Önerilen modeller üç yenileme stratejisi, parti bazında, a) ekonomik sipariş miktarı, b) yeniden sipariş noktası ve c) onarılabilir ürünlerin en düşük ve en yüksek sipariş düzeyi (s-S)'lerinde yeniden sipariş politikaları ile onarılan ürünlerin merkezi depolanması araştırılmıştır. Önerilen simülasyon modellerinin uygunluğunu ve uygulanabilirliğini göstermek ve parametrik analiz kullanarak farklı parametrelerin performans ölçümleri üzerindeki etkisini incelemek için simülasyon problemleri sunulmuştur. Çalışmada sunulan yönetsel öngörülerde, en düşük envanter seviyesi maliyetlerine ve en yüksek hizmet seviyelerine ulaşmak için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır [33]. Tedarik zinciri planlamasıyla ilgili çalışmalarda üretim ile dağıtımın bütünleştirilerek karın maksimize edilmesi amaçlanır. Matematik ve simülasyon tabanlı bu çalışmada, optimal bir üretim-dağıtım planı elde edebilmek için matematiksel bir model formüle edilmiştir. Öngörülen matematiksel planın uygulanabilirliğini doğrulamak için belirsizlik altında çalışan bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bütünleşik yaklaşım, belirsizliklerden korunmak için emniyet stoğunun kullanıldığı ve müşteri talebindeki aşırı dalgalanmaya karşı hem gerekli müşteri hizmet seviyesi hem de üretim süresi sınırlamasını karşılayan uygulanabilir bir üretim planının belirlenmesi amaçlanmıştır. Önerilen matematiksel algoritmayı göstermek için tüm zincirin kârını optimize eden bir vaka çalışması ele alınmıştır [34]. Performans değerlendirme sistemlerinin temel amacı, performans ölçüm kriterlerine göre modellenen sistem için verimli ve etkin kararlar vermektir. Üretim işletmelerinin performanslarını ölçmek ve değerlendirebilmek için FABORG-Sim adlı bir yazılım geliştirmişlerdir [35]. FABORG-Sim yazılımı, üretim sistemlerinde personel ve iş istasyonu kapasite kullanım oranlarını, dolaşım süreleri (tedarik süreleri) performanslarını, süreçte bekleyen işlerin başarımını ve teslimat oranlarını ölçebilmektedir. Aynı yazılımda, öncelik kuralları temel alınarak üretim sisteminin performansları ve bir genetik algoritma (GA) çizelgeleme modülü eklenerek siparişlerin optimize edilmesi ile sistem performansına etkisi belirlenmiştir. Bununla birlikte, çizelgeleme problemlerinde öncelik kuralları müşteri siparişlerinin sıralanması için de uygulanmaktadır. Kuyruk sistemlerinde ise müşterinin kuyruğa geçmesi dolayısı ile siparişinin alınması, sisteme gelen ilk müşteri kuyruğa ilk girerek ilk hizmeti alır (FIFO) kuralı simüle edilmiş [36] ve diğer bir çalışmada en kısa işlem süresi, ilk gelen ilk hizmet alır, en erken teslim zamanı, en uzun işlem süresi, en kısa hazırlık süresi ve en düşük serbestlik seviyesine göre işlemleri makinalar atanması GANNT diyagram çizelgeleri gösterilmiştir [37]. Üretim sistemlerinde simülasyon yöntemi ile öncelik kuralı ve sezgisel algoritma uygulanarak işler çizelgelenebilmektedir [38]. Otobüs veya benzeri araçların üretildiği

üretim sistemlerinde artan kişiselleştirilmiş ürün talebinin karşılanması için zaman baskından etkilenen tasarım, tedarik ve üretim süreçleri incelenmiştir. Yapılan analizlerde çeşitlilik artışının tasarım yükünü artırdığı, belirli bir seviyeden sonra tedarik ve kalite süreçlerinde çeşitli problemlere neden olduğu ve üretim verimliliğini düşürdüğü ortaya koymuştur [39]. Müşteri memnuniyet ve şikâyet yönetiminin dikkate alındığı iş gören maliyetlerini eniyilediği simülasyon destekli uygulama çalışmasında, ortalama şikâyet kapatma süresi %38,9 oranında kısaltılmıştır. Müşterinin ürüne-servise ve şirkete olan sahiplenme duygusunun artmasını hedefleyen bu model hem sadık müşteri yaratma konusunda hem de şikâyet sürecinde sözü edilen maliyetlerini azaltması hedeflenmiştir [40].

Bir hastanede hemşirelerin iş yükünün azaltılması ve hastalık bulaşmasının önlenmesi için Otomatik Yönlendirmeli Araçların (Automated guided vehicles -AGV) kullanılması ile hastalara ilaç dağıtımını amaçlanmış ve bu durum simülasyon destekli olarak analiz edilmiştir. İstatistiksel olarak doğrulanmış sonuçlarda, hasta bilgilerini işleyecek ve ilaç dağıtacak özerk bir AGV'nin hemşirelerin iş yükünü yaklaşık bir ayda %14 oranında azalttığı gösterilmiştir [41, 38]. Hizmet sektörüyle ilgili hastanede gerçekleştirilen farklı bir çalışmada, hastane içi sağlık hizmetlerinin optimize edilmesi ile ilgili bir modelleme yaklaşımı geliştirilmiş ve modelde CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasını amaçlamışlardır [42, 39]. Hastane hizmetlerinin verilmesi sırasında elektrik enerjisi tüketilir ve bunun sonucu CO<sub>2</sub> emisyonu ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, hasta tedavi süreçlerini ve karbondioksit üretimini belirlemek için hibrit bir veri madenciliği yöntemi ve simülasyon-eniyileme teknikleri uygulanmıştır. Hizmet verilen hasta sayısı, bekleme süreleri ve kalış süresi ile CO<sub>2</sub> emisyon miktarı gibi performans ölçümlerini tahmin etmek için her hastalık kategorisine ayrı süreç akışı belirlenmiş ve simülasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen hibrit yöntemin hastanelerin hastaları tedavi ve bakım süreçlerine göre sınıflandırmasında etkili olduğu görülmüştür. Hem hasta akışını optimize etmeye hem de bakım hizmetlerinin çevresel sonuçlarını en aza indirmeye yardımcı olduğu bu çalışma sonuçlarında elde edilmiştir. Bu çalışmada, hizmet sektöründe uygulanmak üzere kuyruk sistemleri yazılımı (QS-Sim) geliştirilmiştir. Çalışmada, gerçek hayattaki gibi ara istasyonlara doğrudan katılabilme veya ayrılabilme durumu ile kuyruğun yoğun zamanlarında hizmet veren işgücü sayısını artırma imkânı bulunmaktadır. Geliştirilen yazılım ile hizmet sektöründe oluşan kuyruk sistemleri, müşteri gelişleri, servis süreleri istatistiksel dağılımlar ile modellenilebilmekte ve kuyruk modellerinin performans ölçüm sonuçları elde edilebilmektedir. Geliştirilen QS-Sim ile, bir hizmet/üretim sisteminin tasarımı modellenilebilir ve farklı alternatif sistem tasarımlarının/senaryolarının simülasyon sonuçları elde edilebilir. QS-Sim'de, modellenen sistemde ilave iş istasyonu ve personel ekleme, müşterilerin ara istasyonlara doğrudan girebilmesi veya ara istasyondan çıkabilmesi, müşteri gelişlerine ve servis sürelerine uygun dağılımları seçebilme esnekliği bulunmaktadır. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklılaştıran en önemli özellik, her bir istasyonda çalışan işgücü sayısının eniyilemesi için bir algoritma önermesidir. Algoritma ile istasyonlardaki işgücü sayılarını değiştirerek en uygun işgücü sayılarını belirlenebilmektedir. İşgücü sayısı, belli bir yüzdeler (kullanıcının belirlediği) aralığında artırılıp azaltılarak en uygun sonuçlar elde edilebilmektedir. İşgücü yararlanma oranı, ortalama müşteri bekleme süresi ve toplam maliyetlerin simülasyon sonuç değerleri listelenebilmektedir. Bu sonuçlar yardımıyla karar verici üretim veya servis sistemleri tasarımında hangi istasyonlarda hangi sayıda işgücü ile toplam maliyetin en düşük olduğu durumu ve en yüksek çıktı sayısını önceden öngörebilmektedir. Böylece işgücü planlaması ve atamaları gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmanın ikinci yöntem bölümünde, kuyruk sistemleri performans ölçütleri, yazılımda uygulanabilen dağılımlar hakkında

bilgi verilmiş, yazılımda simüle edilen test problemleri, geliştirilen yazılımın yapısı ve özellikleri ile bu simülasyon yazılımını diğer yazılımlardan ayıran ve farklı kılın işgücü sayısını eniyileme özelliği ve algoritması tanıtılmıştır. QS-Sim yazılımının modelleme, simülasyon ve sonuçlar arayüzleri gösterilmiş ve tanıtılmıştır. Sonuçlar ve tartışma kısmında, modellerin simülasyon sonuçları verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde sonuçlar ve sonraki çalışmalar için öneriler değerlendirilmiştir ve QS-Sim’de daha neler geliştirilebilir açıklanmaya çalışılmıştır.

## 2. Yöntem (Methods)

Üretim ve servis sistemlerinde simülasyon analizinin kullanımı oldukça yaygındır. Çalışan bir sistemin bir prototipini önceden görmek, özellikle maliyet açısından yarattığı faydaya ve simülasyon analizinin ortaya çıkardığı sonuçlara bakarak kolaylıkla anlaşılabilir. Simülasyon, gerçek sistemin zaman içindeki davranışlarını, bir ölçüde taklit edebilmektedir [28]. Kuyruk problemlerinin çözümünde amaç, işlem için beklemenin toplam maliyetini minimize etmektir [35]. Simülasyon destekli kuyruk problemlerini çözmek için gerekli girdi bilgileri; iş istasyonlarına gelişler arası süreler ve işlem süreleridir. Bir işletmeyi daha bütünsel bir bakış açısıyla, kurumsal modelleme ve simülasyon yöntemi ile bütünleştiren akıllı yetenek edinme sistemleri oluşturmak için çok görüşlü bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım, kavramsal modelleme paradigmasına dayanan bir dizi teknik ve aracı bütünleştirilmiş, bir vaka çalışmasında göstermiş ve uygulama sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan vaka çalışmasında yaratıcı ve yenilikçi yeteneklere ulaşmak, kurumsal stratejiye uyumlu hale getirmek ve işletmelerin kendilerini nasıl ve hangi platformda tanımlayacakları konusunda stratejik kararlar almaları sağlanmıştır [43, 40].

### 2.1. Kuyruk Sistemleri ve Performans Ölçütleri (Queuing Systems and Performance Measures)

Bir kuyruk sisteminin modellenmesi ve analizi için sistemin işleyişi, müşteri ve sunucuların tanımlanması ve işlevleri, bekleme hattının özellikleri, servisin disiplini, sistemin genel olarak temel bileşenlerinin bilinmesi gerekir. Sistemdeki sunucu sayısı, bekleme hattı kapasitesi ve potansiyel müşteri sayıları ile kuyruk sisteminin sayısal performans ölçütleri için temel özellikler, gerekli parametrelerin notasyonları ve formülleri Tablo 1’de verilmiştir [27].

Sistemin performansının ölçülmesi ve analiz edilmesi gün, saat, dakika veya saniye olarak belirlenebilir. Bu sürecin büyüklüğü sonlu

veya sonsuz olabilir. Müşteri gelişleri rassal olarak veya belirli bir dağılıma uygun olarak gerçekleşir. Gelişler, genel olarak Poisson dağılımı, Normal dağılım, Erlang dağılımı ve sabit (deterministik) olarak modellenir. Servis süreci, sisteme gelen müşterilere verilen ortalama hizmet süresidir, Üstel dağılım ve Normal dağılım gibi dağılımlara uygun modellenir. Müşterinin servis sağlayıcının önüne kadar gelmesi ve sistemden ayrılması için oluşan süre servis süresinin içine dahil edilir. Müşterilerin sisteme varışları ve hizmet almaları istatistik dağılımlarına uyarlanarak sistem gerçek sisteme benzetilebilir.

Servis alacak kişi sayısı, hizmet veren kişi sayısı, her bir müşterinin hizmet alma süresi müşterinin kuyrukta bekleme süresini belirlemektedir. Dolayısıyla uzun kuyruklar müşterinin işlem yapmaktan veya hizmet almaktan vazgeçmesini veya bekleme süresinden kaynaklanan maliyet oluşmasına neden olur. Bu maliyetler onarım bekleyen bir makine veya uzun kuyrukta bekleyen müşteri de olabilir. Sonuç olarak bekleme süresi ortadan kaldırılamaz fakat minimum seviye düşürülebilir. Kuyrukta bekleyen müşteri sürelerini azaltmanın yolu sisteme yeni servislerin (işgücü) eklenmesi ile çözülebilir fakat bu da maliyetleri arttıracaktır.

Sisteme fazla sayıda işgücü eklenmesi işgücü maliyetlerini arttırmakla birlikte bekleme maliyetini düşürecektir. Sistemde bekleyen kişi sayısı azalacağı için daha fazla müşteri girecektir. Bekleme maliyeti, kuyrukta müşterilerin beklediği süre ile birim bekleme maliyetinin çarpılması ile bulunur. Servis maliyeti ise işgücü sayısı ile birim işgücü maliyetinin çarpılması ile hesaplanmaktadır. Geliştirilen yazılımda hesaplamalar için gerekli veriler ‘Modelleme – Simülasyon Arayüzü’, ‘Maliyet Bilgileri’ kısmında ‘Servis Maliyeti (TL/ Kişi)’ ve ‘Bekleme Maliyeti (TL/ Dakika)’ olarak gerçek birim maliyetlerine uygun değerler ile girilebilmektedir (Şekil 3).

Kuyruk sisteminin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan performans ölçütlerinin genel ve detaylı değerlendirmeleri sistemin daha iyi tasarlanmasına katkı sağlayacaktır. Performans ölçütleri sistemin iyileştirilmesi için neler yapılması gerektiği konusundaki fikir verir ve değerlendirmeler sırasında sistemin maliyeti ile ilgili bilgiler geliştirilen yazılımdan elde edilebilmektedir.

### 2.2. Yazılımda Uygulanan İstatistik Dağılımları (Statistical Distributions Implemented in Software)

a) *Poisson Dağılımı*: Poisson dağılımı belli bir zamanda ortaya çıkan olay sayısıdır. Poisson dağılımının uygulanmasına dair örnekler

**Tablo 1.** Kuyruk Sistemleri Notasyon ve Formülleri (Queuing Systems Notation and Formulas)

Tanımlar	Notasyon ve Formüller
Geliş hızı, gelişler arası zaman	$\lambda$
Servis hızı, birimlerin servis süresi	$\mu$
Sistemde bulunan birim sayısı	$n$
Trafik yoğunluğu ( $\rho$ )	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Sistemin boş kalma olasılığı ( $P_0$ )	$P_0 = 1 - \rho$
Sistemin ortalama bekleme süresi ( $W$ )	$W = Wq + Ws$
Kuyrukta geçen ortalama bekleme süresi ( $Wq$ )	$Wq = \frac{\lambda}{\mu}$
Serviste geçen ortalama bekleme süresi ( $Ws$ )	$Ws = \frac{1}{\mu}$
Sistemde bulunan ortalama birim/kişi sayısı ( $L$ )	$L = Lq + Ls$
Kuyrukta bulunan ortalama birim/kişi sayısı ( $Lq$ )	$Lq = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$
Serviste bulunan ortalama birim/kişi sayısı ( $Ls$ )	$Ls$
Toplam maliyet ( $Tc$ ) bekleme ( $Tq$ ) ve servis ( $Ts$ ) maliyetlerin toplamıdır.	$Tc = Tq + Ts$

şunlardır: Bir bankaya belli bir zaman diliminde gelen müşteri sayısı, bir saatte belirli bir internet sitesine gelen bağlantı sayıları, bir üründe bulunan kusur sayısı, birim zamanda kalkan uçak sayısı gibi olayların modellenmesine uygundur.

*b) Üstel Dağılım:* Üstel dağılım iki olay arasında geçen zamandır. Bir kişinin belirli bir olay gerçekleşmeden önce beklemesi gereken süreyi modellemek için kullanılan sürekli ve sabit olasılık dağılımını ifade eder. Üstel dağılım özellikle bekleme hattı modellerinde kullanılır. Bir çağrı merkezine gelen çağrılar arasındaki süre, bir üründe bulunan kusurlar arasındaki uzunluk vb. üstel dağılıma örnek olarak verilebilir. Poisson dağılımı ve üstel dağılım arasında bir ilişki vardır. Örneğin; birim zamanda kalkan uçak sayısı Poisson dağılımı ile modellenirken, kalkış yapacak olan uçaklar arasındaki süre Üstel dağılım ile modellenir.

*c) Erlang Dağılımı:* Erlang dağılımı gelişler arası sürenin Üstel dağılım ile belirlenemediği olaylar için kullanılabilir ayrıca k tane hizmet istasyonu bulunan sistemlerde, bir müşterinin işlemi bitmeden başka bir müşteriye hizmet verilemediği olaylarda kullanılmaktadır. Kuyruk sistemlerinde bekleme zamanlarını önceden tahmin etmek için geliştirilmiştir.

*d) Normal Dağılım:* Normal dağılım, gözlem değerlerinin ortalama etrafında toplandığı ve ortalamadan uzaklaştıkça gözlem sayısının azaldığı olaylarda kullanılır. Normal dağılım sürekli bir olasılık dağılımıdır. Tüm olasılık dağılımlarında, dağılımı karakterize etmek yani nitelemek üzere iki önemli ölçü kullanılır. Bu ölçüler, dağılımın beklenen değeri, diğer deyişle dağılımın ortalaması ve dağılımın standart sapması veya varyansdır. Normal dağılımda, ortalaması;  $\mu$  ve standart sapması,  $\sigma$  ya da varyansı  $\sigma^2$  ile ifade edilen sürekli bir dağılımdır. Normal dağılımın şekli simetriktir ve şeklinin çana benzemesi sebebiyle çan eğrisi olarak da bilinir. Normal dağılıma uygun olarak elektronik cihazların ömrü, parti şeklinde imal edilen ürünlerin ölçüleri örnek olarak verilebilir.

*e) Deterministik:* Deterministik, gelişler arası sürenin veya servis sürelerinin sabit bir zaman olduğu olaylarda kullanılır. Deterministik modellerde, sistemin gelecek durumlarının belirlenmesinde rassallık söz konusu değildir. Örneğin; bir makinenin bir parçayı işleme süresi 3 dakika ise tüm parçalar 3 dakikada işlenecektir.

Rassallık; kuyruk sistemlerinde gelişler arası sürenin ve hizmet sürelerinin rassal olmasından dolayı simülasyon yöntemine sıkça başvurulmaktadır. Ters dönüşüm tekniği, sürekli ve kesikli olasılık dağılımlarından rassal değer üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Simülasyon uygulamalarında belirli bir olasılık dağılımına uygun rassal değer üretmek için ters dönüşüm tekniği sıkça kullanılmaktadır. Üstel dağılıma uygun rassal sayı üretmek için kullanılan sözde kod Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Üstel Dağılım Rassal Sayı Sözde Kodu  
(Exponential Distribution Random Number Pseudocode)

Üstel Dağılım İçin Rassal Sayı Üretme Algoritması	
<b>begin</b>	
	$u \sim u(0,1) \leftarrow \text{üret}$
	$x = \frac{-1}{\lambda} \ln(u)$
	return
<b>end</b>	

Bu çalışma kapsamında, QS-Sim (Queuing systems simulation software) yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile servis sistemlerinde kuyruk problemlerine çözüm bulabilmek amacıyla müşteri memnuniyeti ve sistemin ekonomikliği ile ilişkili

parametreler elde edilebilmektedir. Müşterilerin kuyrukta kısa bekleme ve hizmet alma isteği sistemdeki personel sayısının artmasına dolayısıyla personel maliyetinin yükselmesine neden olur. Bu çalışmada, Şekil 1'de gösterilen hizmet sektöründen alınan kuyruk sistemleri test problemleri geliştirilen yazılımda modellenmiş, simüle edilmiş ve personel sayısı eniyilemesi yapılarak toplam maliyet ve bekleme süresi sonuçları sonuçlar ve tartışma bölümünde verilmiştir.

### 2.3. Kuyruk Sistemleri için Test Problemleri (Test Instance Applications for Queue Systems)

Bu çalışma kapsamında farklı sektörler için dört kuyruk sistemi modeli oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. İstasyonların, geliş ve servis dağılımları, kuyruk modellerinin maliyet bilgileri Şekil 1'de verilmiştir. Servis sistemleri günde 12 saat çalışmakta ve simülasyon 15 kez tekrarlanarak çalıştırılmıştır.

*a) Motor ve Teker Montajı Test Modeli:* Bu modelde bir otomobilin üretimi için gerekli olan motorun ve lastiklerin takılması istasyonları modellenmiştir [27]. Modelde, sisteme saatte ortalama 54 (Poisson dağılımı) otomobil gelmektedir. İstasyonlardaki servis süreleri üstel dağılıma uygun, sırasıyla 1. istasyonda 3 dakika ve 2. istasyonda 5 dakikadır (Şekil 1a).

*b) Kardiyoloji Bölümü Kuyruk Test Modeli:* Bu modelde bir hastanenin kardiyoloji bölümü gözlemlenmiş ve gözlem sonucunda sistem modellenmiştir. Sisteme normal dağılıma uygun olarak saatte ortalama 30 hasta gelmektedir. Hastaların %70'i kan alma istasyonuna, %40'ı EKG'ye ve %15'i ise efor testine gitmektedir (Şekil 1b). Servis süreleri yine normal dağılıma uygun olarak istasyonlar için sırasıyla 4, 3 ve 2 dakikadır.

*c) Alışveriş Merkezi Kuyruk Test Modeli:* Bu modelde üniversite öğrencilerine yaptırılan bir çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre bir süpermarkete deterministik olarak 50 müşteri/saat gelmektedir. Müşterilerin %40'ı et, %30'u süt ve %30'u tahıl ürünleri reyonuna yönelmektedir. Et ürünleri reyonuna gelen müşterilerin %20'si süt ürünleri reyonuna, süt ürünleri reyonuna gelen müşterilerin de %20'si tahıl ürünleri reyonuna yönelmektedir. Servis süreleri ise deterministik olmakla birlikte 1 dakikadır (Şekil 1c).

*d) Müzik Ekipmanları Mağazası Test Modeli:* Bu modelde bir müzik ekipmanları satış mağazası satış görevlisi, kasiyer ve teslimat personeli istasyonları ile modellenmiştir [14]. Modelde, sisteme saatte ortalama 40 müşteri gelmektedir. Satış görevlisi istasyonuna uğrayan müşterilerin %25'i satın alma işlemi yapmadan sistemden ayrılmaktadır. İstasyonlarda hizmet süreleri üstel dağılıma uygun olarak sırasıyla 10, 3 ve 2 dakikadır (Şekil 1d).

### 2.4. Simülasyon Yazılımı QS-Sim'in Özellikleri (Features of QS-Sim Simulation Software)

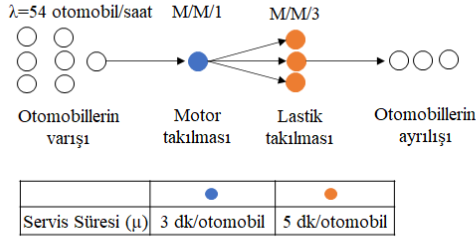
Bu çalışmada, kuyruk sistemlerini simüle etmek için Visual Studio 2017'de C# yazılım dili ile 2.2Ghz Intel i7 işlemcili bilgisayar yardımıyla QS-Sim simülasyon yazılımı geliştirilmiş ve farklı kuyruk modelleri analiz edilerek yazılım test edilmiştir. QS-Sim, farklı kuyruk modellerinin esnek olarak modellenmesine, simüle edilmesine, sistemin performansının ölçülmesine, personel sayısının en iyileşmesine ve maliyetlerin elde edilmesine imkân vermektedir. QS-Sim simülasyonu üç ana arayüzden oluşmaktadır.

#### 2.4.1. Yazılımın Yapısı ve Özellikleri (Structure and features of the software)

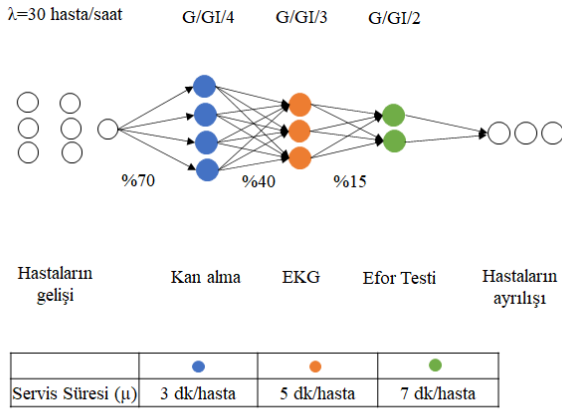
Yazılım, tüm hizmet sektöründe kolayca modellenebilmesi, farklı parametreler ile simüle edilme ve sonuçların gösterilmesine imkân



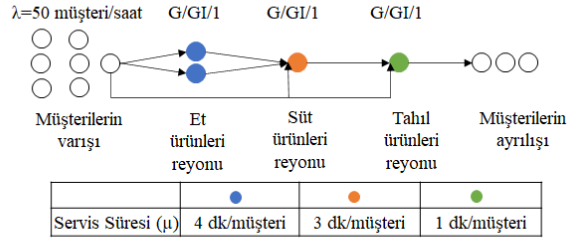
a) Otomobil Üretimi Kuyruk Test Modeli



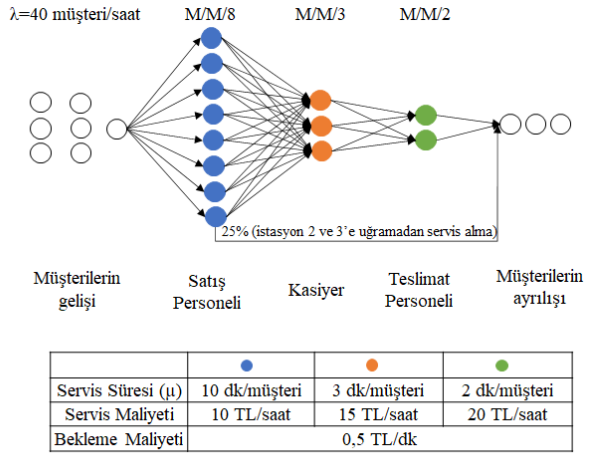
b) Kardiyoloji Kuyruk Test Modeli



c) Süpermarket Kuyruk Test Modeli



d) Müzik Ekipmanları Satış Mağazası Kuyruk Test Modeli (Gökgöz, 2009)



Şekil 1. Kuyruk Modelleri Test Modelleri (Test Instance of Queue Models)

sağlayacak şekilde esnek olarak yapılandırılmıştır. Modellenen sisteme istenildiği kadar farklı iş istasyonu ve çalışan sayısı ekleyebilme, geliş ve servis sürelerine uygun farklı dağılım seçebilme gibi özellikler esneklik kazandırmıştır. Yazılımda, müşteriler birbirine seri bağlı istasyonlara sırayla girebileceği gibi, müşterilerin aradaki istasyonlara doğrudan katılabilme ve aradaki istasyondan çıkabilme imkânı bulunmaktadır. Örneğin; bir markette et ürünleri, tahıl ürünleri ve temizlik ürünleri reyonlarına müşteriler sırayı takip etmek zorunda kalmadan aradan giriş- çıkış yapabilmekte veya ara istasyonlara doğrudan katılabilme ve çıkabilmektedirler. Bir hizmet ve üretim sistemini modelleyebilmek ve işgücü sayısının eniyilemesini yapabilmek için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3).

a) İstasyon bilgileri: Mevcut sistemin istasyon numarası, istasyon isimleri ve istasyonlarda çalışan personel sayısı ve her personelin servis/ hizmet süresi belirlenir ve model oluşturulur.

b) Müşteri bilgileri: Müşterilerin saat başına ortalama geliş hızı ( $\lambda$ ) ve her istasyona gelen müşterilerin yüzdesi gerçek mevcut sisteme uygun olarak belirlenir ve QS-Sim'e girilir. Müşteriler uğramak istedikleri bir istasyona ulaşabilir veya önce ara istasyonlara uğrayabilir, bunun için gerçek sistemden elde edilen yüzdelere göre paylaşım yapılarak QS-Sim'de modellenilebilmektedir.

c) Varış ve servis istatistiği: Yazılıma dört farklı dağılım tanımlanmıştır. Bu dağılımlar ile modellenen sisteme uygun şekilde hem müşteri varışlarını hem de servisleri tanımlama imkânı bulunmaktadır. Tanımlanabilir dağılımlar: Müşteri varışları için;

Poisson, Erlang ve Normal dağılım ve deterministiktir. Servis hizmetleri için; Üstel, Erlang ve Normal dağılım ve deterministiktir.

d) Maliyet bilgisi: Kuyrukta bekleyen müşterilerden kaynaklanan bekleme maliyeti ve personel sayısına bağlı olarak değişen işgücünün hizmet maliyeti modellenerek, simülasyon bittiğinde sistem maliyetleri elde edilebilmektedir. Bekleme maliyeti, kuyrukta müşterilerin beklediği süre ile birim bekleme maliyetinin çarpılması ile bulunur. Servis maliyeti ise işgücü sayısı ile birim işgücü saat ücretinin çarpılması ile hesaplanmaktadır.

e) Çalışma bilgileri: QS-Sim simülasyon çalıştırma süreleri haftalık, günlük ve saatlik olarak tanımlanabilir ve o süreler içinde simülasyon sonuçları elde edilebilmektedir.

f) İş gücü sayısı eniyilemesi: Eniyileme seçeneği, mevcut müşteri sayısı değiştirilmeden geliştirilen algoritma ile en iyi maliyetli işgücü sayısını belirleyebilmektedir. Her istasyondaki işgücü sayısı girilen yüzde aralığına göre artırılıp azaltılabilir, işgücünden yararlanma oranı, ortalama müşteri bekleme süresi ve toplam maliyet değişimleri elde edilebilmektedir.

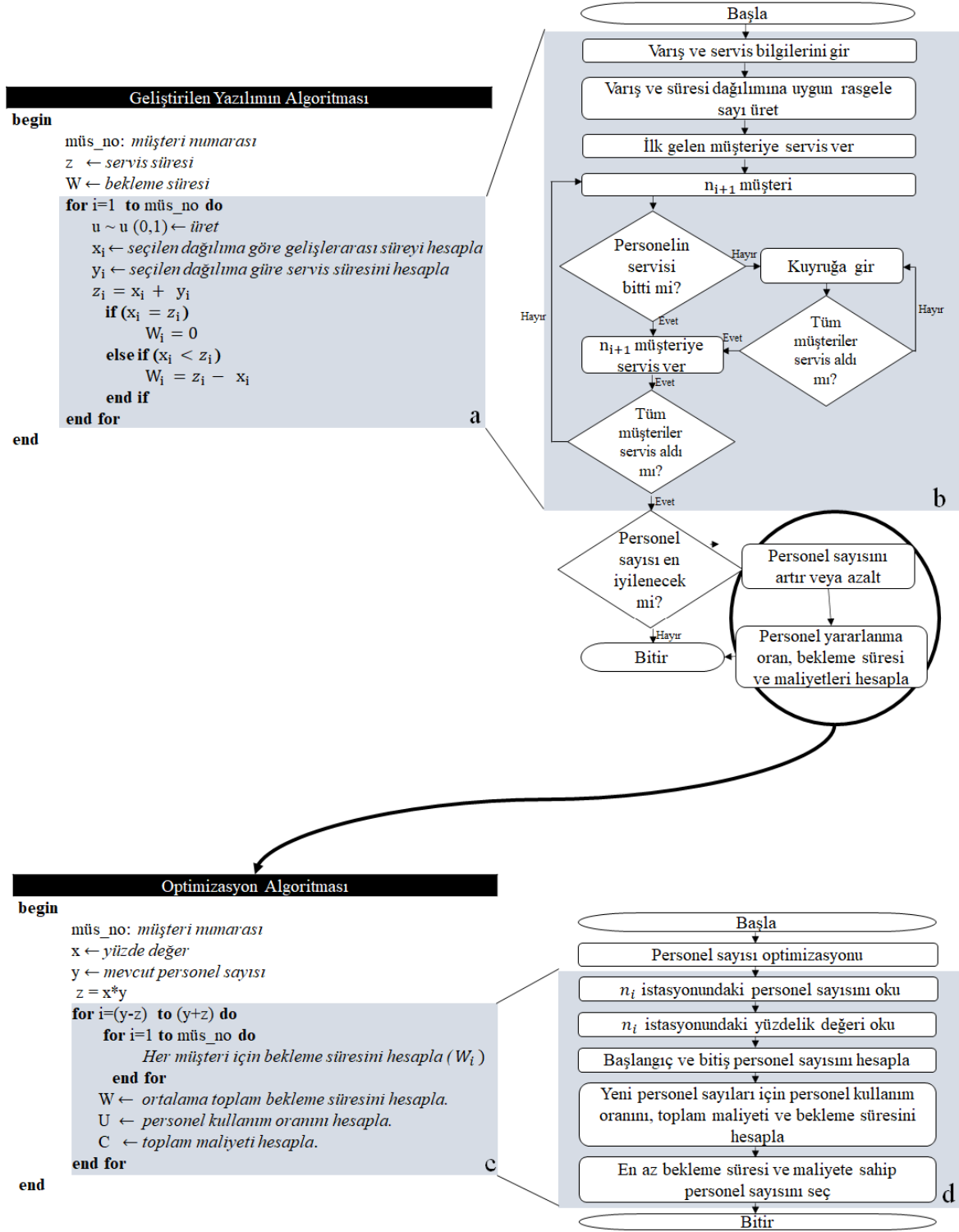
#### 2.4.2. QS-sim iş gücü sayısı eniyilemesi (Personnel optimization in QS-sim)

İş gücü sayısı eniyilemesi seçeneği istasyonlarda en iyi/uygun maliyetli çalışan sayısının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir modüldür. Her istasyonda çalışan sayısı girilen yüzde aralığına göre artırılıp-azaltılarak belirlenir. İş gücünden yararlanma oranı, bir

müşterinin ortalama bekleme süresi, istasyonlar önünde bekleme süresi ve toplam maliyet değişimleri bir döngü içerisinde (Şekil 2) çalıştırılarak, belirlenen kısıtlar altında en iyi çalışan sayısı belirlenebilmekte ve elde edilen sonuçlar listelenebilmektedir.

QS-Sim, istasyona geliş ve servis dağılımlarının tanımlanması ile başlar. Tanımlanan servis ve geliş dağılımlarına göre rasgele sayı

üretilecek müşteri numaraları belirlenir. Sisteme gelen ilk müşteriye hizmet vermeye başlanır (Şekil 2a ve Şekil 2b). İkinci müşteri ilk istasyona uğrar ve çalışan boş ise, hizmetini alır değil ise kuyruğa girer. Eğer iki veya daha fazla servis istasyonu varsa, müşteri (aksi belirtilmedikçe) sırayla diğer istasyonlara geçer. Sistemde var olan tüm müşteriler için aynı işlemler devam eder (Şekil 2b). Tüm müşterilerin işlemleri bittikten sonra sistemden çıkan müşteri/ ürün



Şekil 2. Simülasyon Akışı ve Personel Eniyileme Algoritması (Flow in simulation and personnel optimization algorithm)





süresi ve sistemden hizmet almadan ayrılan kişi sayısı da elde edilebilmektedir (Şekil 3). Ayrıca her istasyonda, müşterilerin bekleme süresi ve personel boş bekleme süresi gibi sistem elemanları ile ilgili bireysel sonuçlarda elde edilir. Eniyileme seçeneği ile istasyonlarda en iyi personel sayısı maliyetlere göre listelenebilmektedir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Kuyruklarda bekleme süresi ve müşteri sayısı, kuyruk sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde önemli unsurlardır. Bu çalışmada istasyonlardaki müşteri sayıları, maliyetler ve istasyonlardaki hem müşteri hem de personel için bekleme süreleri elde edilmiştir. Şekil 1'de gösterilen örneklerde personel sayısı %30 azaltılarak-artırılarak simülasyonun eniyileme sonuçları elde edilmiş olup sonuçlar karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir.

#### a) Model 1 Sonuçları: Otomobil Motor ve Teker Montajı

Bir gün içinde, sisteme ortalama 648 otomobil gelmiş ve İstasyon 1'in ortalama boş kalma olasılığı %0,2, İstasyon 2'nin ortalama boş kalma olasılığı %0,85 olarak elde edilmiştir. İstasyon 1'de ortalama servis süresi 1 dakika, İstasyon 2'de ise 1,93 dakikadır. Motoru takılan her otomobilin lastikleri de takılacağından işlem görmeden ayrılan otomobil sayısı sıfırdır.

Sistemin çalışma süresi boyunca tüm otomobillerin işlemleri bitmediği için 4 dakikalık bir fazla çalışma süresi bulunmaktadır. Sistemde çalışanların ortalama boş bekleme süreleri 98 dakika olarak bulunmuştur. Bir otomobil için motor takma istasyonunda ortalama

bekleme süresi 5,03 dakikadır, lastiklerin takılması istasyonunda ortalama bekleme süresi ise 0 dakikadır ve toplam bir otomobil sistemde 7,96 dakika süre harcamaktadır. Şekil 1a'da verilen Model 1'in simülasyon sonuçları ve optimize edilmiş sonuçları karşılaştırılmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir. Mevcut durumda toplam dört personel çalışmakta, optimize edilmiş sonuçlarda ise toplam 5 personel çalışmaktadır ve toplam maliyet mevcut duruma göre 1509,5 TL azalmıştır.

#### b) Model 2 Sonuçları: Kardiyoloji Bölümü

Kan alma servisine (İstasyon 1) ortalama 264 hasta, EKG servisine (İstasyon 2) ortalama 108 hasta ve EFOR servisine (İstasyon 3) ortalama 24 hasta gelmektedir. QS-Sim yardımıyla, birimde çalışan hemşirelerin ortalama boş bekleme süreleri 23 dakika olarak hesaplanmıştır. Kardiyoloji bölümüne gelen hastaların %70'i kan alma servisine, kan alma servisine gelen hastaların da %40'ı EKG servisine gitmektedir. Bu nedenle kan alma servisine gelen 264 hastanın 156'sı EKG servisine gitmeden sistemden ayrılmaktadır. EKG servisine gelen hastaların da %15'i EFOR servisine gitmektedir. EKG servisine gelen 108 hastanın 84'ü EFOR servisine uğramadan bölümden ayrılmaktadır.

Hastaların kuyrukta ortalama bekleme süreleri İstasyon 1'de 0 dakika, İstasyon 2'de 0,41 dakika ve İstasyon 3'te 1,62 dakikadır. Bir hastanın sistemde ortalama geçirdiği süre ise toplam 9,53 dakikadır. Mevcut durumda toplam 9 personel, optimize edilmiş sonuçlarda ise toplam 7 personel bulunmaktadır. Şekil 1b'de verilen modelin karşılaştırılmalı sonucu Tablo 4'te verilmiştir. Personel sayısının azalmasından dolayı toplam ortalama bekleme süresi 2,19 dakika artmıştır ve toplam maliyet 120 TL azalmıştır.

**Tablo 3.** Model 1 (Şekil 1a) Sonuçları (Model 1 Results)

	Simülasyon sonuçları			Eniyileme algoritması ile elde edilen simülasyon sonuçları		
	S1	S2	Σ	S1	S2	Σ
Personel Sayısı	1	3	4	2	3	5
Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi (dk)	5,03	0	5,03	0	0	0
<i>Model 1</i>						
Bekleme maliyeti (0,5 TL/dk)	1629,5	0	1629,5	0	0	0
Maliyetler				Σ 2109,5		Σ 600
İş gücü maliyeti (10 TL/saat)	120	360	480	240	360	600

**Tablo 4.** Model 2 (Şekil 1b) Sonuçları (Model 2 Results)

	Simülasyon sonuçları				Eniyileme algoritması ile elde edilen simülasyon sonuçları			
	S1	S2	S3	Σ	S1	S2	S3	Σ
Personel Sayısı	4	3	2	9	3	2	2	7
Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi (dk)	0	0,41	1,62	2,03	0,02	2,58	1,62	4,22
<i>Model 2</i>								
Bekleme maliyeti (0,5 TL/dk)	0	22	19,5	41,5	2,5	139,5	19,5	161,5
Maliyetler					Σ 1121,5			Σ 1001,5
İş gücü maliyeti (10 TL/saat)	480	360	240	1080	360	240	240	840

## c) Model 3 Sonuçları: Aışveriş Merkezi

Et ürünleri reyonuna (İstasyon 1) 240 müşteri, süt ürünleri reyonuna (İstasyon 2) 228 müşteri ve tahıl ürünleri reyonuna (İstasyon 3) 225 müşteri gelmiştir. Reyonlara müşterilerin gelişleri deterministik olduğu için et, süt ve tahıl ürünleri reyonlarının boş kalma olasılığı sıfırdır. İstasyon 3'ün hizmet süresi İstasyon 2'den az olduğu için İstasyon 3'te kuyrukta bekleyen müşteri yoktur. Müşterilerin kuyrukta ortalama bekleme süreleri et ürünleri reyonunda 9,9 dakika ve süt ürünleri reyonunda 9,4 dakikadır.

Modelde ara istasyonlara doğrudan katılım sağlanabilmektedir. Markete gelen müşterilerin %40'ı et ürünleri reyonuna, %30'u doğrudan süt ürünleri reyonuna ve %30'u da doğrudan tahıl ürünleri reyonuna gitmektedir. Bu nedenle bir saatte gelen 50 müşterinin 15'i süt ürünleri reyonuna ve 15'i tahıl ürünleri reyonuna gitmektedir. Geriye kalan 20 müşterinin de 4'ü süt ürünleri reyonuna gitmektedir. Böylece 12 saatte markete gelen müşteri sayıları et ürünleri reyonu için 240 müşteri, süt ürünleri reyonu için 228 müşteri ve tahıl ürünleri reyonu için 225 müşteridir.

Model 3'ün simülasyon sonuçları ve eniyileme ile elde edilen simülasyon sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toplam maliyet 1763,2 TL azalmıştır. Toplam personel sayısı ise 2 kişi artmıştır. Toplam bekleme süresi 19,3 dakikadan 2,3 dakikaya düşmüştür.

## d) Model 4 Sonuçları: Müzik Aletleri Satış Mağazası

Simülasyon sonuçlarına göre İstasyon 1'e 408 müşteri, İstasyon 2'ye 306 müşteri ve İstasyon 3'e 306 müşteri gelmiştir. Toplam personel bekleme süresi 129 dakikadır. Simülasyon süresi boyunca (12 saat) tüm müşterilerin işlemleri bittiği için fazla çalışma süresi bulunmamıştır. İstasyonlardaki personel maliyetleri sırasıyla 960 TL, 360 TL ve 240 TL'dir. Bekleme maliyetleri ise sırasıyla 0 TL, 131 TL ve 212,5 TL'dir. Müşterilerin istasyonda bekleme süreleri İstasyon 1'de 0 dakika, İstasyon 2'de 0,85 dakika ve İstasyon 3'te 1,38 dakikadır. Bekleme süreleri ve servis süreleri toplamı ise 12,13 dakikadır.

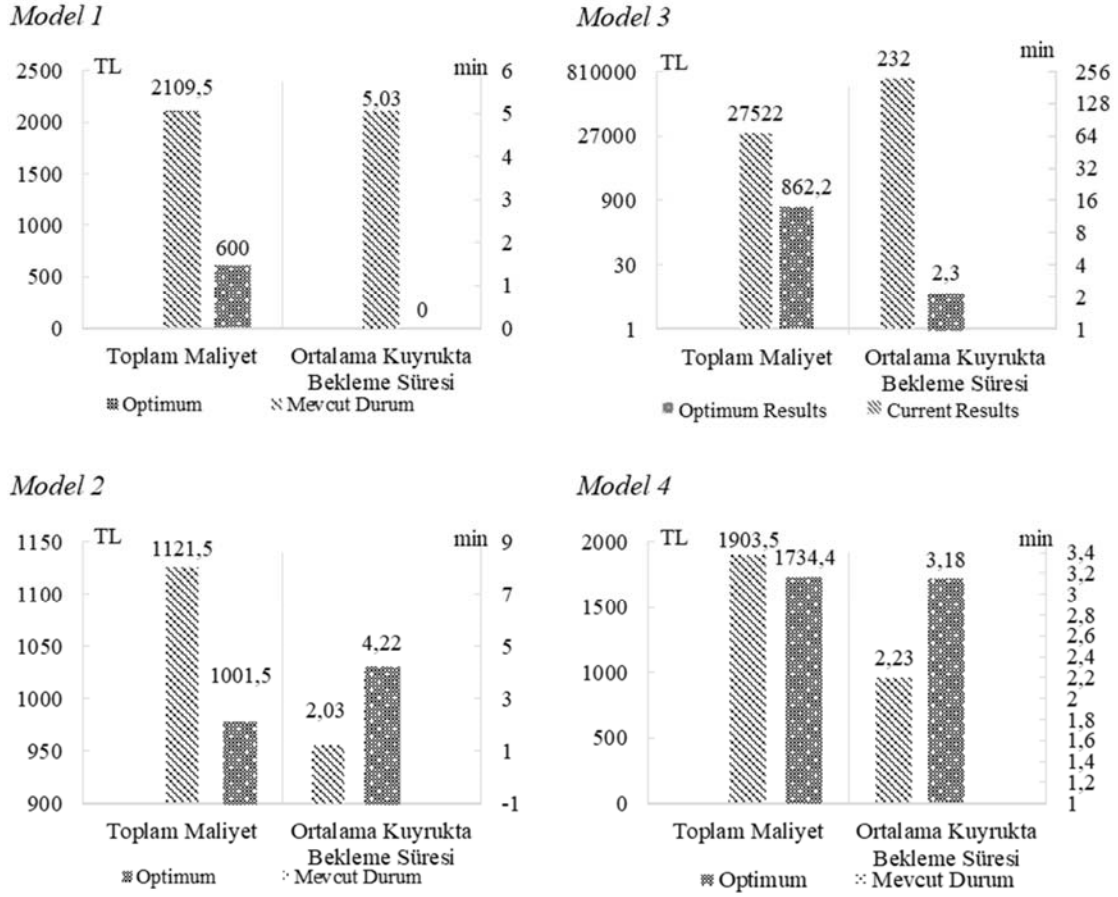
Mevcut durumda satış görevlilerin sayısı 8 olarak verilmiştir ve %30 oranında azaltılıp artırıldığında 6 ile 10 çalışan sayısı için ortalama bekleme süresi ve toplam maliyet sonuçları elde edilmiştir. Satış görevlisi istasyonu (S1) için toplam maliyeti en az olan çalışan sayısı 6, ortalama müşteri bekleme süresi en az olan çalışan sayısı 10'dur. Personel sayısı arttıkça ortalama bekleme süresi azalmaktadır. Toplam maliyet, servis ve bekleme maliyetinin toplamı olduğu için servis maliyetleri personel sayısının artmasına bağlı olarak artmakta ancak bekleme maliyeti azalmaktadır. Elde edilen verilere göre toplam maliyetin en az olduğu personel sayısı İstasyon 1 için 6'dır. Elde edilen sonuçlara göre toplam maliyet 169,1 TL ve toplam personel sayısı 3 kişi azalmıştır (Tablo 6). Personel sayısının azalmasının sonucu olarak toplam ortalama bekleme süresi 0,95 dakika artmıştır.

Tablo 5. Model 3 (Şekil 1c) Sonuçları (Model 3 Results)

	Simülasyon sonuçları				Eniyileme algoritması ile elde edilen simülasyon sonuçları			
	S1	S2	S3	Σ	S1	S2	S3	Σ
Personel sayısı	1	1	1	3	2	2	1	5
Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi (dk)	9,9	9,4	0	19,3	0	2,3	0	2,3
<i>Model 3</i>								
Bekleme maliyeti (0,5 TL/dk)	1190	1073,5	0	2263,5	0	262,5	0	262,2
Maliyetler					Σ 2623,5			Σ 862,2
İş gücü maliyeti (10 TL/saat)	120	120	120	360	240	240	120	600

Tablo 6. Model 4 Sonuçları (Şekil 1d) (Model 4 Results)

	Simülasyon sonuçları				Eniyileme algoritması ile elde edilen simülasyon sonuçları			
	S1	S2	S3	Σ	S1	S2	S3	Σ
Personel sayısı	8	3	2	13	6	3	1	10
Ortalama Kuyrukta Bekleme Süresi (dk)	0	0,85	1,38	2,23	0,93	0,85	1,4	3,18
<i>Model 4</i>								
Bekleme maliyeti (0,5 TL/dk)	0	131	212,5	343,5	189,2	131	214,2	534,4
Maliyetler					Σ 1903,5			Σ 1734,4
İş gücü maliyeti (10 TL/saat)	960	360	240	1560	720	360	120	1200



Şekil 4. Modellerin Sonuçları (Results of Models)

## e) Modellerin Sonuçları

Tüm modellerin, yazılım ile elde edilen toplam maliyet ve ortalama bekleme süresinin karşılaştırılmalı sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 4). İstasyonlardaki personel sayıları artırılıp azaltılarak modeller için alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolardan en düşük maliyetli personel sayıları belirlenmiştir. İstasyonlardaki personel sayılarının değişmesinden dolayı personel maliyetleri, ortalama bekleme süreleri ve bekleme maliyetleri değişmiştir. Örneğin, Model 1 (Şekil 4) için mevcut durumda toplam maliyet 2109,5 TL iken personel sayıları değiştirilerek önerilen eniyileme algoritması ile elde edilen toplam maliyet 600 TL olmuştur. Aynı şekilde mevcut durumda toplam ortalama bekleme süresi 5,03 dakika iken 0 dakikaya düşmüştür.

4. Sonuç ve Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler  
(Conclusion and Recommendations for Future Work)

Bu çalışma kapsamında, hizmet sektörüne yönelik kuyruk sistemleri problemlerini simüle edebilen ve işgücü sayısını eniyileme yapabilen bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım, hizmet sektöründe karşılaşılan kuyruk problemleri için mevcut çalışan personel sayılarını istenen belli bir yüzdelik aralığında değiştirerek eniyileme amaçlı simülasyon çalışması yapabilmektedir. Bunun yanında QS-Sim istasyon eklemesi/çıkarma, personel sayısını belirleme, geliş ve servis dağılımlarını seçme ve ara istasyonlara doğrudan katılma gibi imkanlar da sunmaktadır. Yazılım yardımıyla kuyruk sistemlerinin performansları; sistemin boş kalma olasılığı ( $P_0$ ) kuyrukta ve serviste bekleyen kişi sayısı ( $L_q, L_s$ ) kuyrukta ve serviste bekleme süreleri

( $W_q, W_s$ ), en uzun kuyrukta bekleme süresi ( $Max W_q$ ), en uzun serviste bekleme süresi ( $Max W_s$ ) personellerin boş bekleme süresi, fazla çalışma süresi ve sistemden hizmet almadan ayrılan kişi sayısı hesaplanabilmektedir. Geliştirilen simülasyon yazılımı (QS-Sim) ile otomobil üretiminde motor ve lastik montaj birimi, süpermarket, bir hastanenin kardiyoloji birimi ve müzik ekipmanları satışı mağazası örnek modelleri oluşturulmuş ve simülasyon sonuçları kuyruklar ve maliyetler açısından değerlendirilmiştir.

QS-Sim'i diğer yazılımlardan ayıran en önemli özelliği, belirlenen koşullar altında işgücü sayısının belli yüzdelik aralığında değiştirerek simüle edebilmesi 'bekleme süresi ve toplam (işgücü + bekleme) maliyet sonuçlarına göre en uygun işgücü sayısını belirleyebilmesidir. QS-Sim'in yazılım olarak daha da iyileştirilmesi için sonraki çalışmalarda toplam maliyetler dikkate alınarak, maliyet bileşenlerinin belli bir seviyenin üzerine çıkmamasını gözeterek algoritmalar geliştirilebilir. Bekleme maliyetleri ile servis (işgücü) maliyetleri arasında belirlenen yüzde değerleri aralığında kalmasını sağlayan algoritmalar üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılabilir.

## Kaynaklar (References)

1. Cevik, O., Yazgan, A.E., Measuring Activity by a System that Servicing Waiting Line (Queue) Model, Journal of Nigde University Faculty of Economics and Administrative Sciences, 1 (3), 119-128, 2008.
2. Kazan, H., Ergülen, A., Coruhlu, N., Waiting and Customer Relationship Management in Bank Call Centers: An Application of a State Bank, Afyon Kocatepe University Journal of the Faculty of Economics and Administrative Sciences, 14 (1), 251-268, 2022.

3. Hillier, F.S., Liberman, G.J., Introduction to Operations Research, Mc Graw Hill Education, New York, 2015.
4. Erlang, A.K., The Theory of Probabilities and Telephone Conversations, *Nyt Tidsskrift for Mathematic B*, 20, 33-39, 1909.
5. Aradhye, A., Kallurkar, S., Application of Queuing Theory to Reduce Waiting Period of Pilgrim, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3 (10), 16775-16781, 2014.
6. Palmer, G.I., Knight, V.A., Harper, P.R., Hawa, A.L., Ciw: An Open-Source Discrete Event Simulation Library, *Journal of Simulation*, 13 (1), 68-82, 2018.
7. Zulch, G., Korucu, H.I., Borkircher, M., Simulation-Supported Change Process for Product Customization- A Case Study in a Garment Company, *Computers in Industry*, 62, 568-577, 2011.
8. Hicks, E. P., *Industrial Engineering and Management*, Oklahoma State University, New York, 319, 1994.
9. Eroglu, A.A., Application of Queuing Theory for Atatürk Airport International Terminal THY Counters, Master Thesis, Marmara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul, 2001.
10. Oz, Y. A., Queue Problem with Antalya International Airport Simulation Model, *Kilis 7 December University Journal of Science and Engineering*, 1 (2), 50-62, 2017.
11. Rashida, A.R., Fadzli, M., Ibrahim, S., Goh, S.R., Modeling and Simulation of M/M/c Queuing Pharmacy System with Adjustable Parameters, 7<sup>th</sup> Seams Ugm International Conference on Mathematics and Its Application, Indonesia, 18-21 August 2016.
12. Wang, T., Guinet, A., Belaidi, A., Besombes, B., Modelling and simulation of Emergency Services with ARIS and Arena, Case study: The Emergency Department of Saint Joseph and Saint Luc Hospital. *Production Planning & Control, The Management of Operations*, 20 (6), 484-495, 2009.
13. Wang, Y., Qian, C., Cao, J., Optimized M/M/c Model and Simulation for Bank Queuing System, *IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences*, China, 474-477, 2010.
14. Gürbüz, O., Tabu Arama Algoritmasının Kuyruk Problemine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2015.
15. Pereira, J.V., Silva A.M., Moraes, D.G., Discrete Simulation Applied to Queue Management in a Supermarket, *Independent Journal of Management & Production*, 11 (5), 1666-1683, 2020.
16. Nascimento, M.A.D., Santos, L.M., Silva, A.M., Bueno, R.C., Machado, S.T., Tanaka, W.Y., Discrete Event Simulation Applied to Single Queue Management: A Case Study at a Bank Agency, *Independent Journal of Management & Production*, 12 (9), 831-842, 2021.
17. Poomrittigul, S., Koomsubsiri, A., Sasithong, P., Deenuch, D., Wuttisittikuljij L., The Simulation of Queuing Model for Bangkok Rapid Transit Train Ticket System Using Python, 34<sup>th</sup> International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, JeJu, Korea, 23 – 26 June 2019.
18. Robinson, S., Modelling without Queues: Adapting Discrete-Event Simulation for Service Operations, *Journal of Simulation*, 9 (3), 195-205, 2015.
19. Howell, F., McNab, R., SimJava: A Discrete Event Simulation Library for Java, *Scs 1998 International Conference on Web-Based Modeling and Simulation*, San Diego, U.S.A., 51-56, 11-14 January 1998.
20. Peixoto, T.A., Rangel, J.J.A., Matias, I.O., Silva, F.F., Tavares, E.R., Ururau: A Free and Open-Source Discrete Event Simulation Software, *Journal of Simulation*, 11 (4), 303-321, 2017.
21. Ucar, I., Smeets, B., Azcorra, A., Simmer: Discrete – Event Simulation for R. *Journal of Statistical Software*, 90 (2), 1-30, 2019.
22. Dutkova, S., Achimsky, K., Hostakova, D., Simulation of Queuing System of Post Office, *Transportation Research Procedia*, 40, 1037-1044, 2019.
23. Pegden, C. D., Introduction to Simio, 2008 Winter Simulation Conference, Miami, U.S.A., 229-235, 7-10 Dec 2008.
24. Pidd, M., Carvalho, A., Simulation Software: Not the Same Yesterday, Today or Forever, *Journal of Simulation*, 1 (1), 7-20, 2006.
25. Griffiths, J.D., Jones, M., Read, M.S., Williams, J.E., A Simulation Model of Bed-Occupancy in a Critical Care Unit, *Journal of Simulation*, 4 (1), 52-59, 2010.
26. Kambli, A., Sinha, A.A., Srinivas, S. Improving Campus Dining Operations Using Capacity and Queue Management: A Simulation-Based Case Study, *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 43, 62-70, 2020.
27. Winston, W.L., *Operations Research Applications and Algorithms*. Thomson, Canada, 2004.
28. Murphy, C. A., Perera, T.D., The Definition and Potential Role of Simulation within an Aerospace Company, *Winter Simulation Conference*, U.S.A., 829-237, 9-12 December 2001.
29. Taha, H., *Operations Research*. Pearson, New Jersey, 2006.
30. Uncu, N., Load Balancing in Polling Systems Under Different Policies Via Simulation Optimization, *International Journal of Simulation Modelling*, 21 (2), 273-283, 2022.
31. Mitzenmacher, M., Dell'Amico, M., The Supermarket Model with Known and Predicted Service Times, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 33 (11), 2740-2751, 2022.
32. Korucu, H.I., Ozdemir, G., Aydemir, E., Cayirli, M., The Simulation-Based Performance Measurement in an Evaluation Module for Faborg-Sim Simulation Software, *Expert Systems with Applications*, 37, 8211-8220, 2010.
33. Osman, M.F.S., Modeling and simulation for inventory management of repairable items in maintenance systems, *SIMULATION: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, 98 (11), 2022.
34. Ji, J., Chiadamrong, N., Integrating Mathematical and Simulation Approach for Optimizing Production and Distribution Planning With Lateral Transshipment in a Supply Chain, *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)* 15 (1), 30, 2022.
35. Aydemir, E., Korucu, H. I., A New Production Scheduling Module Using Priority-Rule Based Generic Algorithm, *International Journal Simulation Modelling*, 14 (3) 450-462, 2015.
36. Korucu H. I., Aydemir E., A Priority Rule Based Production Scheduling Module on Faborg-Sim Simulation Tool, *Gazi University Journal of Science*, 27 (4), 1143-1155, 2014.
37. Korucu, H.I., Ozdemir, G., Aydemir, E., Çayırılı, M., Developing a Flexible Workflow Plan Editor for a Simulation Software and Scheduling Operations in Gantt Chart, *Gazi University Journal of Faculty Engineering and Architecture*, 25 (1), 77-81, 2010.
38. Al-Aomar, R., *Simulating Service Systems: Discrete Event Simulations*, Aitor Goti, IntechOpen, 2010.
39. Dogruyol, Z., Guner, S., Examining the effect of product diversity on design, supply and production processes with a system dynamics approach, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 36 (3), 1185-1198, 2021.
40. Cekici, V., Yuregir, H.O., Process optimization of the customer complaints evaluation system and a new customer-oriented model proposal, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (2), 855-869, 2021.
41. Demir, A.S., Mumcu, E., Analysis of automated guided vehicle use in health care by simulation: A case study in a university hospital, *Concurrency and Computation Practice and Experience*, 32 (17), 11-9, 2022.
42. Vali, M., Salimifard, K., Gandomi, A.H., Chaussalet, T.J., Care process optimization in a cardiovascular hospital: an integration of simulation-optimization and data mining, *Annals of Operations Research*, 318, 685-712, 2022.
43. Amjad F., Loucopoulos, P., Bridging the Strategy Execution Gap of Designing Intelligent Talent Acquisition Systems Using Enterprise Modelling and Simulation, *Enterprise Information Systems*, 1-36, 2021.

