



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 17.11.2023
Kabul Tarihi : 25.01.2024

Received Date : 17.11.2023
Accepted Date : 25.01.2024

SİMÜLASYON VE MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMLARI İLE MÜŞTERİ ŞİKAYETLERİNİ ÇÖZME SÜRESİ VE MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATING THE TIME AND THE COST OF SOLVING CUSTOMER COMPLAINTS WITH SIMULATION AND MATHEMATICAL MODEL APPROACHES

Vedat ÇEKİCİ¹* (ORCID: 0000-0002-6489-5080)

¹Çukurova University, Industrial Engineer Department, Adana-Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Vedat ÇEKİCİ, vedat.cekici5@gmail.com

ÖZET

Şirketler katma değerli ürün ve hizmetler üreterek müşterilerinin beklentilerini karşılamayı ve onları mutlu etmeyi amaçlamaktadır. Müşteri memnuniyeti ise birçok faktörden etkilenmektedir. Şikayetin hızlı ve beklenen kalitede çözülmesi bu faktörlerden biridir. Bunun için şikayet sistemine optimum kaynakların sağlanması gerekir. Bu çalışmada, oluşturulan simülasyon modeli sayesinde şikâyetlerin ulaşmasından kapatılmasına kadar geçen aşamalar değerlendirilerek, şikayet sisteminde kullanılan kişi sayısı ve maliyeti belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada şikayet gelişinden kapanışına kadar olan servis süreleri üstel dağılım alınarak matematiksel model kurulmuş ve çözülmüştür. Sonrasında aynı koşullardaki simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonucunda, simülasyon ve matematiksel model sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Servis süreleri üstel dağılımlı olan matematiksel model ve servis süreleri üstel dağılımlı olan simülasyon model çözümleri arasındaki şikayet kapatma süresi farkı sadece % 0,381 olmuştur. Ayrıca servis süreleri üstel dağılım olarak alındığında, elde edilen şikayet kapatma süresi, servis sürelerinin fiili dağılım değeri ile elde edilenden %6,749 daha düşük çıkmıştır. Sonuçlara göre servis sürelerini üstel dağılım olarak almanın şirketler için uygulanabilir bir seçenek olduğu gösterilmiştir. Optimum eleman kullanımı ile, müşteri memnuniyeti artacak ve elemanların daha verimli kullanılmasına katkı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Şikayeti değerlendirme, kuyruk sistemi, simülasyon optimizasyonu, matematiksel modelleme.

ABSTRACT

Companies aim to meet their customers' expectations and make them happy by producing value-added products and services. Customer satisfaction is affected by many factors. Resolving the complaint quickly and with the expected quality is one of these factors. For this, optimum resources must be provided to the complaint system. In this study, the number of people used in the complaint system and its cost were determined by evaluating the stages from the arrival of the complaints to their closure, thanks to the simulation model created. In addition, in the study, a mathematical model was established and solved by taking the exponential distribution of service times from complaint arrival to closure. Afterwards, it was compared with the simulation results under the same conditions. As a result of the comparison, it was determined that the simulation and mathematical model results were very close to each other. The difference in complaint closing time between the mathematical model with exponential distribution of service times and the simulation model solutions with exponential distribution of service times was only 0,381%. Additionally, when service times are taken as an exponential distribution, the resulting complaint closing time is 6,749% lower than that obtained with the actual distribution value of service times. The results show that taking service times as an exponential distribution is a viable option for companies. With optimum use of personnel, customer satisfaction will increase, and more efficient use of personnel will be contributed.

Keywords: Complaint handling, queueing system, simulation optimization, mathematical modeling.

GİRİŞ

Müşteriler, aldıkları ürünün-servisin kendi istedikleri özellikleri karşılması ve ürünü-servisi kullanımı sırasında sorun yaratmaması durumunda memnun olurlar. İşletmeler ise müşterilerini mutlu ettiği sürece satışlarına devam ederler. Müşteri memnuniyeti, işletme için hayati öneme sahiptir (Estelami, 2000). Çünkü müşteri memnuniyeti sağlanmazsa müşteri tekrar aynı firmadan ürün-servis almayacak ve şirket üretim-servis faaliyetlerine devam edemeyecektir. Bu kapsamda firma müşterileri memnun etmek için müşterilerden gelen şikayetleri hızlıca değerlendirmeli ve çözmelidir. Bunun için firmanın şikâyetleri çözmeye istekli olması ve uygun kaynak tahsis etmesi önemlidir. Buna rağmen işletmelerin birçoğunun şikâyetleri ele almak ve müşteriye yanıt vermek için yeterli kaynak ayırmadığı tespit edilmiştir. Müşteri, firmaya şikâyet bildirdikten sonra, şikâyeti giderildiğinde tekrar aynı şirketle alışverişe devam etmektedir. Herhangi bir mal veya servisteki kusur, müşteri tarafından firmaya şikâyet olarak bildirilmeyebilir. Aslında ürün-servis kusurlarının %5'ten azını müşteri firmaya iletmektedir. Bu problemlerin de yarısı kadarına yeterli çözüm üretilmektedir (Estelami, 2000). Yapılan bir araştırmaya göre sorun yaşayan müşterilerin %95'inin sorun yaşadığında sessiz kaldığı belirtilmiştir (Timur & Sarıyer, 2004).

Müşterinin ilettiği problemleri araştırma ve müşteriye cevap verme müşterinin firma ile ilişkisini sürdürmesi için önemlidir. Verimli bir servisin kilit elemanlarından biri müşterinin yaşadığı probleme yanıt vermektir. Benzer şekilde, problemleri ele almadaki hatalar, müşteriye hayal kırıklığına sürüklemektedir (Davidow, 2000). Yapılan bir çalışmada şikâyeti etkin olarak inceleyen ve nedenini ilk seferde doğru çözen firmaların, şikâyeti de birinci çözümden giderdiği tespit edilmiştir (Çekici & Yüregir, 2020). İşletmeler müşteriden gelen sorunları analiz ederek ürünlerini geliştirme şansı da yakalamaktadır. Müşteri merkezli olmanın belirgin bir göstergesi müşterinin yaşadığı sorunları gidermektir. Bundan dolayı müşteri problemini çözmek için yeterli kaynak tahsis edilmesi ve bu kaynağın en uygun verimle kullanılması çok önemlidir.

Müşteri şikâyetlerini çözüme ve müşteriye kazanma için yapılan çalışmalar sadece ülkemizde değil tüm dünyada öncelik gösterilen bir konu olduğu için bu alanda uygulama çalışması yapılmıştır. Bu çalışma hem simülasyon hem de matematiksel modelleri kullanarak müşteri şikâyetlerinin çözüm süresini ve maliyetini belirlemeye dair iki farklı uygulama seçeneği sunmaktadır. Çalışmada uygulanan yöntemler sadece müşteri şikâyetleri için değil ayrıca üretim hatlarında, lojistik zinciri uygulamalarında ve diğer servis sektörlerinde de hayata geçirilebilir. Modele ilave süreç eklenerek, süreçler değiştirilerek, eleman sayısı değiştirilerek yeni uygulamalar yapılabilir ve çözümler bulunabilir. Bu çalışmada, şikâyetleri değerlendirmek ve beklenen seviyede çözmek için süreçler belirlenmiş ve bu süreçlerin zamanları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ana süreçlerin zaman dağılımlarını kullanarak simülasyon modeli kurulmuştur. Şikâyet kapanma maliyetini minimum yapabilmek için sistemdeki optimum kişi sayısı simülasyon optimizasyonu ile tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, şikâyet değerlendirme sistemine ait şikâyet giderme zamanının maliyeti formüllerle matematiksel ifadelerle dönüştürülmüş ve çözüm üretilmiştir. Bu kapsamda çalışmada, geliş süreleri ve servis süreleri üstel dağılım olarak alınmıştır. Sonrasında, hesaplanan sonuçlar aynı şartlardaki simülasyon bulguları ile mukayese edilmiştir.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Araştırmacılar uygulama yapılan modelin verimliliğini belirlemek ve iyileştirmek için uygulamada simülasyon yönteminden faydalanmıştır. İmalat prosesleri üzerine oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, servis sistemleri için simülasyon uygulamaları sınırlı sayıdadır. Çünkü servis süreçleri rastgeledir (stokastiktir) ve belli bir düzeni yoktur. Örneğin hastanelerin acil servis birimlerine gelen hastaların gelme zamanları ve belirsiz hastalık türüne göre gelmeleri karmaşık bir yapıyı oluşturduğu için simülasyon kullanımı sınırlıdır. Daha önce birçok sisteme simülasyon yöntemi uygulanmıştır, fakat şikâyet değerlendirme sisteminde yer alacak eleman sayısını ve maliyetini hem simülasyon optimizasyonu ile modelleme hem de matematiksel modelleme teknikleri ile belirleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle gerçek verilerle yapılan uygulama çalışmamızın bu konudaki boşluğu dolduracağı amaçlanmıştır. Ayrıca, aynı problem basit kabuller ile formülleştirilmiş, matematiksel model oluşturulmuş ve çözülmüştür. Çalışmada, matematiksel model ve simülasyon model ile üretilen sonuçların birbirine yakın çıkıp çıkmayacağı araştırılmıştır. Literatürde uygulama yapılan problemlere çözüm aranırken sadece belli bir teknik üzerine yoğunlaşarak çözüm aranmıştır, problemin çözümünü iki farklı teknikle gerçekleştirme çalışmalarına pek rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın literatüre olan en önemli katkılarından biri gerçek hayattan bir örnek uygulama olarak müşteri şikâyet yönetim süreçlerinin hem matematiksel modele dönüştürülmesi ve hem de matematiksel modelden elde edilen sonuçların, aynı şartlarda simülasyon optimizasyonu ile elde edilen sonuçlarla doğrulanmaya çalışılmasıdır. Daha sonraki araştırmacılar da farklı sistemler veya süreçler için oluşturacakları matematiksel model formüllerinden elde edilen sonuçları yine simülasyon optimizasyonu modeli kurarak (veya genetik algoritma, yapay

sinir ağları, bulanık mantık gibi farklı teknikler kullanarak) elde edilen sonuçlarla doğrulayabilecek ve çözüm için şirketlere daha kolay ve farklı alternatif teknikler sunabileceklerdir. Bu çalışmada şirketin hedef olarak belirlediği müşteri şikayetlerini çözme süresini sağlayan optimum personel ataması her iki farklı teknikle gerçekleştirilmiş ve sonuçların birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Optimum personel tahsis edilmesi ile bu iş için kullanılacak personeller en verimli şekilde çalıştırılabilir ve atıl işgücü ortadan kaldırılacaktır. Şirket, personel verimliliği ile kazanılan işgücünü yine şirket içinde farklı süreçlerde değerlendirebilecektir. Müşteri şikâyetlerini ele alma ve çözme prosesleri hakkında yapılan önceki araştırmalar Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Müşteri Sorunlarını Ele Alma ve Şikâyet Sistemi Proseslerini Geliştirmek İçin Yapılan Uygulamalar

YIL	YAZAR	PROBLEM	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
1988	Fornell & Wernerfelt	Müşteriyi kaybetmemek ve kaybolan müşteriyi geri kazanmak	Şikâyet sistemini verimli uygulamak müşterinin satın aldığı ürün ve servisten beklediği kazancı artırmaktır.
1998	Greasley & Barlow	Polis şubesindeki eleman istihdam problemi.	Simülasyon yöntemi ile bir karakol prosesleri incelenmiş ve süreç değişiklikleri ile optimum eleman istihdam edilmiştir.
2000	Estelami	Piyasa faktörlerinin firmanın tüketici şikâyetlerini talep etme motivasyonuna etkisini belirleme	Önceki çalışmalardan elde edilen ampirik tahminler girdi olarak kullanılmış. Simülasyon ile anket çıktılarında tutarlık görülmüştür. Şirketler şikâyet alma etkinliklerini iyileştirdiğinde yarar sağlayacaktır.
2002	Baykoç vd.	Bir Fast Food müşterilerinin kuyrukta fazla beklemesi.	Var olan sistem incelendikten sonra, simülasyon ile farklı bir sistem önerilmiştir.
2003	Kim et al.,	Online alışveriş mağazalarının yarattığı rekabet ile memnun olmayan tüketicileri yönetme.	Çalışma, memnun olmayan müşteri sadakatinin düşük olduğunu göstermektedir. Çalışmada, müşteri memnuniyetini artırmak için müşteri şikâyetlerinin nasıl yönetileceği önerilmiştir.
2003	Mattila & Mount	Müşteri hizmet merkezlerinin şikâyet değerlendirme sürecine olan etkisinin tespiti.	Anket ile otellerden gelen dataların analizi ile elde edilen bilgiler şikâyetin ele alınmasının ve müşterinin tekrar satın alma isteğinin, şikâyetleri cevaplama süresi ile ilgili olduğunu belirtmektedir.
2005	Armaneri	Vantilatör montaj istasyonu için optimal işgücü dağılımının optimizasyon ile incelenmesi.	Arena OptQuest modülü yardımıyla yeni bir model oluşturularak çalışanlar üretim yerlerine dağıtılmış ve vantilatörlerin sistemde kaldığı zamanın en az olması sağlanmıştır.
2006	Lin & Horng	G/G/1/K model optimizasyon algoritması ile yeterli servis kullanarak, kuyrukta kalma zamanını minimum yapmak.	Çalışma, genel varış süreçlerinde sınırlı kuyruk uzunluğu, servis ve varış zaman dağılımlarını hesaplamaktadır. Çalışılan G/G/1/K yöntemi ile elde edilen ortalama bekleme süresi, Genetik algoritma ile bulunandan daha iyi çıkmıştır.
2009	Akdeniz & Tatar	İzmir Milletlerarası Üniversite Olimpiyatları nedeniyle uçuş yoğunluğunun optimizasyonu.	Uçak hareketi en sık olan gün 100 uçak incelenmiş olup havaalanının olimpiyat yükünü karşılayamayacak derecede olduğu tespit edilmiştir.
2012	Hamad & Arisha	Bir hastaneye ait acil servis süreçlerinin iyileştirilmesi.	Kuyruk olmaması için ikinci piste ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Simülasyon yöntemi ile hastalara yatak ataması sağlanmış ve acil servis süreçlerindeki blokaja engel olunmuştur.
2015	Faed et al.,	Limanda müşteri kabul edilen sürücülerden alınan müşteri şikâyetlerini çözme konusu.	Limanda araç kullananlardan toplanan problemler incelenmiştir. Analizde, problemler önceliklendirilmiş ve kullanım performansı optimizasyon ile arttırılmıştır.
2016	Liu & Yen	Otobüs yolcularının şikâyetlerini çözme problemi.	Otobüs yolcularında alınan şikâyetler analiz edilmiş şikâyet prosesleri geliştirilmiş ve yeni model önerilmiştir.
2019	Atalan & Dönmez	Acil olmayan veya acil servislerde ileri düzey hemşireler çalıştırarak hasta bekleme sürelerini azaltmak.	Bir acil servis ayrık olay simülasyon yöntemi uygulayarak tedavi edilen hasta sayısının günlük %26,71, haftalık ise %15,13 arttığı belirlendi. Acil serviste kalış süresi 82,46 dakikadan 53,97 dakikaya düştü.
2019	Belgin	İmalat sisteminde en uygun çalışan sayısını bulma.	Belli kısıtlar ile üretim hatlarında çalışanların işe atanma optimizasyonu simülasyon tekniği ile tespit edilmiştir.
2019	Düzgit vd.	Ev aletleri endüstrisinde satış sonrası teknik servisin verimliliğini artırma problemi.	Etkinliği yükseltmek için personellere iş ataması yapılmıştır. Teknik adamları işe görevlendirmek için karmaşık tam sayılı programlama modeli oluşturulmuş ve harcanan süre en aza indirilmiştir.
2019	İbiş vd.	Otel işletmelerine internetten yapılan müşteri yorum ve şikâyetlerin incelenmesi.	Yapılan çalışmada Hotelde konaklayanların şikâyetleri değerlendirilmiş ve konaklayanlara daha kaliteli servis sağlamak için şikâyetlere kalıcı çözüm bulmaları önerilmiştir.
2020	Ahmedl at al.,	200 kişinin ankete katılımı ile toplanan verilerin analizi.	Şikâyetlerin değerlendirilmesi ve çok hızlı yanıtlanmasının, müşteriyi memnun ettiği ve sadık kalma olasılığını yükselttiği belirlenmiştir. Ayrıca iş operasyonlarının verimi arttırmıştır.
2020	Atalan & Dönmez	Deneysel simülasyon yöntemi ile matematiksel olarak modellenen ancak çözülemeyen modellerin çözülmesi.	Bir acil servis için kesikli olay simülasyonu tekniği ile deneysel tasarım entegre edilmesiyle hastanın ortalama bekleme süresi düşürülmüştür. Günlük acil servise yönelik kaynak sayısı artırılmadan kaynak kapasitesi artırılarak tedavi edilen hasta sayısı artırılmıştır.
2020	Bahari & Asadi	Hastane yöneticilerine, acil durumlarda taburculuk süresini optimize etmek ve verimi arttırmak	Bu çalışmada, acil servisteki kaynaklar araştırılmış ve acil servisteki hastaların bekleme süresini azaltmak için simülasyon optimizasyon yaklaşımı ile bu kaynakların optimal kombinasyonunu sağlanmıştır.
2020	Ordu vd.	Tam teşekküllü bir hastanede travma ve ortopedi polikliniğinin	Geliştirilen simülasyon modeli ile poliklinik kullanım oranlarının, gelecekte ihtiyaç duyulacak personel, yeterli bütçe ve ekipman gibi

		gelecek yıllarda sahip olabileceği klinik kullanım oranlarının hesabı.	kaynak ihtiyaçlarının önceden tespit edilmesi ve daha iyi kaynak planlaması için hastane yönetimine bir öngörü sunulmuştur.
2021	Baş vd.	Bir bulaşık makinesi fabrikasında robot çalışma alanı belirleme ve istasyona çalışan kişileri atama.	Çalışma alanlarının seçimi ile ilgili yeni bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Benzer işler sınıflanarak çalışma yeri miktarı 68%, işçi sayısı 10% düşürülmüş ve üretilen makine sayısı %43 artırılmıştır
2021	Çekici & Yüregir	Müşteri şikâyet değerlendirme sisteminin süreçlerinin simülasyon metodu ile optimizasyonu.	İncelenen şikâyet süreçleri sadeleştirilerek en verimli sistem belirlenmiştir. Eski sistem sonuçları ile karşılaştırıldığında, yeni sistemin ortalama şikâyet kapanma süresi %38,9 oranında kısalmıştır.
2021	Şenses vd.	Bir madencilik şirketi için en az maliyetle yedek parça envanter optimizasyonu.	Endüstriyel yağlar için bir vaka çalışması yapılarak optimizasyon modeli kurulmuş. Modelin uygulanmasıyla şirket ekonomik kazançlar sağlanmıştır.
2022	Atalan	Hastanenin acil servisinde tedavi gören hasta sayısı, hasta bekleme süreleri ve çalışan hemşire ve doktor sayısına bağlı olarak bir hastanın tedavi maliyetinin analizi.	Kesikli olay simülasyon modeli, hemşire ve doktor sayısına göre dokuz senaryodan türetilmiş ve senaryo sonuçları ile gerçek sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Senaryolar arasında senaryo 6, en iyi performansa sahip üç doktor ve iki hemşireyi çalıştırarak bir hastaya en düşük tedavi maliyetini sağlamıştır.
2022	Atalan vd,	Bir acil servisteki sağlık hizmeti kaynaklarının sayısına göre bekleyen hasta sayısını, süresini ve hastaneye maliyetini analiz etmek.	Kesikli olay simülasyonu modeli ile makine öğrenmesi algoritmalarının entegrasyonu yapılmıştır, çalışmada kaynak maliyet katsayısına bağlı olarak çıktı değişkenlerinin tahmini hesaplanmış makine öğrenmedeki bekleme zamanı azaltılarak hastane maliyeti düşürülmüştür.
2022	Akin & Ordu	Sağlık hizmetleri yöneticilerinin, sonraki covid19 dalgalarında yaşanabilecek hemşire ihtiyacı sorunlarının simülasyon - optimizasyon ile planlanması.	Çalışmada hasta değişkenliğine göre haftalık hemşire ihtiyacı tespit etmek için simülasyon modeli geliştirildi. Haftalık vardiya sayılarını belirlemek için ilk matematiksel model kullanılmıştır. Pandemi servisinde adil hemşire vardiya takvimi hazırlamak için ikinci matematiksel model uygulanmıştır.
2022	Mutlu vd.	Ulaştırma ürünlerin arz noktasından talep noktalarına minimum maliyetle taşınması.	Çalışmada, taşıma problemi için maksimum maliyetten kaçınma yöntemi önerilmiştir. Sonuçlar önerilen optimizasyon yönteminin tutarlı ve iyi çözümler ürettiğini göstermiştir.
2022	Ordu & Korhan	Bir tekstil firmasında darboğazları tespit etmek ve malzeme akışını iyileştirmek.	Simülasyon yöntemi kullanılarak tekstil firmasının kesim departmanına tesis yerleşimi için yerleşim planlaması önerilmiş ve departmandaki üretim verimliliği yaklaşık %14 artmıştır.
2022	Ordu	Türkiye Bireysel Emeklilik Sistemi'nin (BES) katılımcılara uygulanabilirliğinin araştırılması.	Çalışmada farklı senaryolar ampirik olarak araştırılmıştır. BES yatırımının kısa vadeli yatırımlar için uygun olmadığı ancak orta-uzun vadede tüm emeklilik planlarının karlı olduğu belirlendi. Uzun vadede BES'in, dinamik ve agresif fonlarının da karlı olduğu belirlenmiştir.
2022	Tian at al.,	Hollanda'da bir su şirketine gelen müşteri şikâyet metinlerini değerlendirme.	Derin öğrenmenin sağladığı doğal dil işleme (NLP) ve evrimsel sinir ağlarının kullanımı ile müşteri şikâyetlerine ait belirlenmiştir. Şikâyeti ele alma süreci otomatikleştirilmiştir.
2023	Kocaer & Kuruca	Servis süreçleri üzerine benzetim programı oluşturma ve çalışan kişilerin optimizasyonu.	Servis sektörü için kuyruk modelinin simülasyonunu yapabilen, verimliliğini ölçebilen ve işgücünü optimize edebilen bir benzetim programı (QS-Sim Tool) oluşturulmuştur.
2023	Güleryüz & Koyuncu	Bir yoğun bakım ünitesinde kuyrukta beklemeden gelen tüm hastaları barındırmak için gereken yatak sayısını belirleme.	Hastaların gelişler arası süre ve servis süresi karışım dağılımları kullanılarak gereken yatak sayısını belirlemek için simülasyon modeli kuruldu. Sonuçlar, karışım dağılımlarının ampirik istatistiksel dağılımlardan daha iyi bir tahmin sağladığını göstermektedir.
2023	Uncu & Koyuncu	Acil tıbbi hizmet (EMS) sistemlerinde ambulans tahsisi.	Ayrıntılı olay sistemi simülasyon ve optimizasyon modeli çalışmasıyla Kentsel ve kırsal bölgelerdeki vakalara müdahale süreleri sırasıyla %40 ve %45 iyileşti. Ambulans sayısının revize edilmesi ve mevcut sistemdeki istasyonlara tahsisinin yeniden düzenlenmesi önerildi.

MATERYAL VE METOD

Bu araştırma çalışmasında, uygulamadan alınan şikâyet zaman verileri değerlendirilerek simülasyon modeli kurulmuştur. Öncelikle şikâyet yönetim modelinin temel süreçleri belirlenmiş, sonrasında her sürece ait zamansal dağılım, istatistiksel incelemeler sonucunda bulunmuştur. Simülasyon modeli kurmak için uygulamadaki temel proseslerin zaman dağılımlarından faydalanılmıştır. Sonrasında değişik girdi değerleriyle simülasyon modeli çalıştırılmış ve hedeflenen çözüm zamanını karşılayan en uygun personel sayısı tespit edilmiştir. Ayrıca, şikâyet kapanma maliyeti basit varsayımlarla matematiksel olarak ifade edilmiş ve matematiksel modelden elde edilen zamanlar aynı şartlarda simülasyonla elde edilen zamanlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda şikâyet kapanma süresi, servis süreleri ve birim şikâyet kapanma maliyeti hesaplanmıştır.

Materyal

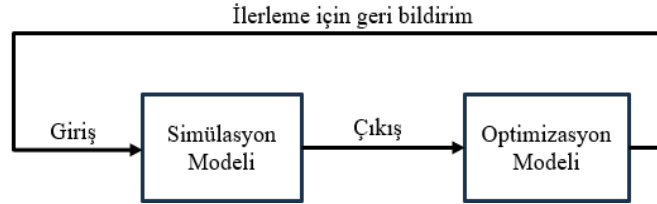
Bu çalışmada uygulamadan alınan 1839 adet gerçek şikâyet zaman verileri ve uzman görüşlerinden elde edilen bilgilerden faydalanılmıştır. Mevcut durumu belirlemek için öncelikle müşteri şikâyet sisteminin her sürecine ait zaman verilerinden faydalanılmıştır. Elde edilen dağılımlarla proseslerde görev alan personel sayısı Arena yazılımına

tanımlanmıştır. Şikayetlerin gelişler arası zamanları, kök nedenini bulmak için ilgiliye yönlendirme zamanı, kök nedeni bulma zamanı, çözüm bulan kişiye yönlendirme zamanı, bölümlerin şikâyeti çözme zamanları incelenmiştir.

Metot

i. Simülasyon: Bilgisayar simülasyonu, modelin hareket tarzını matematiksel ve mantıksal iletişim kuran bilgisayar üzerinden zamanla ilişkili halde denemeler gerçekleştiren ve sayılarla ifade edilen bir tekniktir (Rossetti, 2010). Rastgele prosesleri, bilinen matematiksel modellerle açıklamak oldukça zordur. Fakat, belirli varsayımlarla bu prosesler matematiksel ifadelere çevrilebilir. Ancak bu matematiksel formüller de gerçek durumu tam anlamıyla sembolize etmemektedir. Rastgele prosesleri açıklamak için çoğunlukla simülasyon metodundan faydalanılmaktadır. Simülasyon, mevcut bir sistemi bilgisayar modeline aktaran, gerçek sistemin değişik koşullardaki davranışının bilgisayar modelinde izlenmesine olanak sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simülasyon giriş değişkenlerini değiştirerek, çıkış değişkenlerinin nedenlerini belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir (Carson & Maria 1997).

ii. Simülasyon Optimizasyonu Metodu: Simülasyon optimizasyonu, tüm olasılıkları analize gerek duymadan tüm olasılıklar içinden en uygun girdi değişken değerlerini bulma sürecidir. Optimal olmayan girdi değerler ile başlanırsa hesap maliyeti artacaktır. Modelin ürettiği çıktı, optimal çözüm araştırırken geri bildirim sağlayan yöntem kullanır (Carson & Maria 1997). Bilgisayar simülasyonu, servis ve üretim modellerinin tasarlanması ve incelemesinde geniş çaplı kullanılmaktadır. Simülasyon girdi değişkenlerinin miktarı çok ve sistem karmaşık ise simülasyon denemesinin çözülmesine engel olur. Simülasyon-optimizasyon yönteminin (Şekil 1.) amacı, bir simülasyon denemesinden elde edilecek çıktı verilerini maksimum yaparken, minimum kaynak tüketmektir.



Şekil 1. Bir simülasyon optimizasyon modeli

Simülasyon optimizasyon metodunun sunduğu en anlamlı fayda, gerçek modeli tanımlayacak matematiksel ifadelerle gerek duymadan modeli bilgisayarda çalıştırarak bulunan çıktılarla simülasyon optimizasyonu gerçekleştirebilmektir. Gerçek sistem problemi çözülürken daha az kabul ile gerçeğe yakın olan neticeler bulunacak ve sonuçların değerlendirilmesi kolaylaşacaktır. Karmaşık, büyük ölçekli ve rastgele (stokastik) modellerin amaç fonksiyonunu formülleştirmek zordur, ama, regresyon modeli ile tahmini olarak formülleştirilebilir.

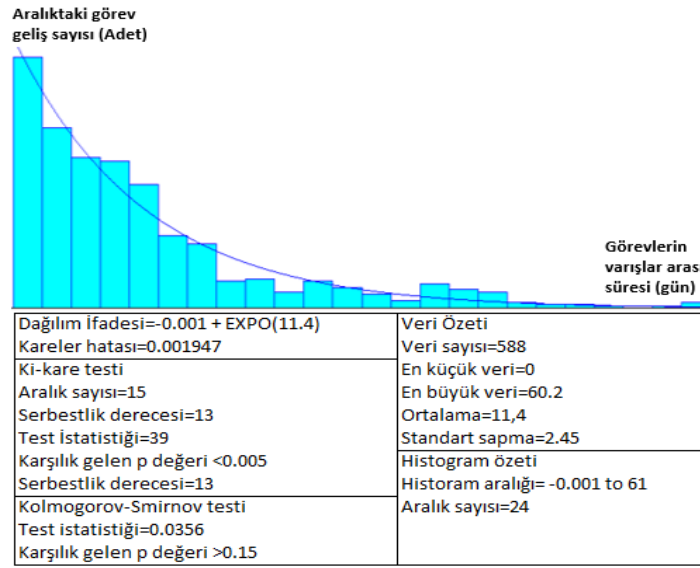
Çalışmamızda şikâyet sisteminin başlangıç durumu incelenmiş ve anahtar performans göstergeleri belirlenmiştir. Daha sonra, şikâyet değerlendirme sistemine ait simülasyon modeli kurulurken, belirlenen ölçütler (kök neden araştırma, görev atama, çözüm araştırma, şikâyeti kapatma zamanları, çalışan sayısı) giriş verisi olarak alınmıştır. Ana proseslerin zaman dağılımları ile simülasyon modeli kurulmuştur. Kısıt ve amaç fonksiyonu ile toplam kaç elemanla, şikâyetin ne kadar sürede çözüleceği hesaplanmıştır. Ayrıca, şikâyet kapanma maliyeti basit kabullerle ve gelişler arası ve servis zamanları üstel dağılım varsayımlarıyla matematiksel ifadelerle tanımlanmış ve matematiksel modelden elde edilen süreler aynı şartlarda simülasyonla elde edilen süreler ile karşılaştırılmıştır. Matematiksel model yardımıyla her bir süreç için gerekli eleman sayısı, kuyruk sisteminde bekleyen toplam şikâyet sayısının beklenen değeri (adet), beklenen kuyruk uzunluğu (işlem gören şikâyetler hariç), serviste görev alan kişilerin maliyeti, bekleme süresi maliyeti, toplam (servis + bekleme) maliyeti, toplam bekleme maliyeti hesaplanmıştır. Ortalama şikâyet çözüm maliyetini minimum yapacak personel sayısını tespit etmek amacıyla Arena yazılımı yardımıyla simülasyon optimizasyonu yapılmıştır.

iii. Çalışmanın Zaman Dağılımları ve Uygulanan Testler: Çalışmada uygulamadaki gerçek şikâyetlerin zaman değerleri (rasgele ve sürekli) incelenmiş ve her temel prosesin zaman dağılımı istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada Arena programının gelişmiş bir fonksiyonu olan Input Analyzer modülünden faydalanılmış ve şikâyet süreleri analiz edilerek süreçlerin zaman dağılımları tespit edilmiştir, ulaşılan teorik dağılımlar simülasyon yazılımı ile tutarlı ve etkili çalıştığından seçilmiştir. Servis süreleri Arena programına tanımlanmış ve en uygun dağılım Arena programı tarafından belirlenmiştir. Şikâyet gelişleri ve servis süresi verileri rastgele olduğu için program verilere uyum sağlayan en yakın dağılımı belirlemektedir.

Tablo 2. Şikayet Süreçlerinin Gerçek Zaman Dağılımı ve Uygulanan Testler

Süreç ismi	Servis süreçlerinin gerçek dağılımları	p değeri		Kareler hatası
		χ^2 test	K-S test	
Şikâyet gelişleri	EXPO (1,55)	<0,005	<0,01	0,02368
Kök neden araştırma için görev atama	0,771*BETA (0,705 , 1,36)	0,0053	>0,15	0,00520
Kök neden araştırma	EXPO (1,08)	<0,005	<0,01	0,00514
Çözüm birimine görev atama	0,821*BETA (0,712 , 1,41)	0,245	>0,15	0,00304
Ar-Ge çözüm araştırma	GAMM (11 , 1,16)	0,05	>0,15	0,00234
Satın alma çözüm araştırma	EXPO (11,4)	<0,005	>0,15	0,00201
Üretim/Servis çözüm araştırma	WEIB (6,49 , 0,877)	0,5	=0,0263	0,00095
Kalite çözüm araştırma	LOGN (8,68 , 14,1)	<0,005	>0,15	0,01067

Şikayet süreçlerinin zaman dağılımı ve uygulanan testlere örnek olarak Şekil 2’de Satın alma çözüm araştırma bölümüne ait verilerin histogramı ve zaman dağılım bilgileri verilmiştir. Veri sayısı=588, verilerin ortalaması 11,4, standart sapması 2,45’tir. Benzer şekilde, tüm servis süreçlerine ait zaman dağılımları ayrı ayrı hesaplanarak incelenmiştir.

**Şekil 2.** Satın Alma Çözüm Araştırma Bölümüne Ait Verilerin Histogramı ve Zaman Dağılım Bilgileri

Uygulamadaki şikayetlerin giriş verisi olan varışlar arasındaki zamanlar üstel dağılıma uymaktadır. Şikayet geliş sürelerine ait üstel dağılım standart sapma değeri 2,45 gün, ortalama değeri 1,55 gündür. Her 1,55 günde sisteme bir adet yeni şikayet gelmektedir. Oluşturduğumuz modelde uygulama yapılan şikayet sistemindeki zaman verileri Kolmogorov-Smirnov (K-S) uyum iyiliği ve Ki-Kare (χ^2) testleri ile istatistiksel anlamda analiz edilmiştir. Tablo 2’de belirtildiği gibi kareler hatası oldukça küçüktür. Örnek olarak, müşteri şikayetlerinin geliş süreleri, üretim-servis çözüm araştırma bölümüne ait servis süreleri ve kalite çözüm araştırma bölümüne ait servis süreleri için uygulanan Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri açıklanmıştır. K-S testi: Gözlenen bir frekans dağılımının kuramsal bir dağılıma uyup uymadığını belirlemek için kullanılır.

1. Şikayet geliş verilerine uygulanan testler: EXPO(1,55)

Şikayet gelişlerine ait Ki-kare testi: Aralık sayısı=10, Serbestlik derecesi=8, Test istatistiği=632.

Ki kare testi: H_0 = Gözlenen frekans dağılımı kuramsal bir dağılıma uygun değildir.

Serbestlik derecesi=8 ve $\alpha=0,05$ için tablodan χ^2 değeri 22,362 okunur, hesaplanan ki kare test istatistiği=632.

$\chi^2_{hesap}=632 > \chi^2_{tablo}=22,362$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Sonuç olarak ki kare testine göre seçilen dağılım verileri ile uyumludur. Ayrıca, eğer p değeri $> \alpha$, H_0 reddedilmez, eğer p değeri $< \alpha$, ise H_0 reddedilir. $p < 0,005$ değeri $\alpha = 0,05$ ’ten küçük olduğu için hipotez reddedilir. Sonuçta, Ki-Kare testine göre seçilen dağılım verileri ile uyumludur.

Şikayet geliş sürelerine ait Kolmogorov-Smirnov Testi: Test istatistiği=0,826, Karşılık gelen p değeri $< 0,01$

K-S testinde H_0 hipotezi olarak "Kuramsal ve örnekten elde edilen gözlenen eklemeli frekansların oranları birbirine eşittir" alınır. Örnekten bulunan D değeri, K-S tablosundaki kritik D değerine eşit ya da daha büyükse H_0 reddedilir. Aksi olduğunda ise ($K-S_{tablo} > K-S_{hesap}$) H_0 kabul edilir. Kolmogorov-Smirnov (K-S), p-değeri $< 0,01$.

$D(0,1)_{tablo} = 0,0317$, $D(0,1)_{tablo} = 0,0317 > D_{hesap} < 0,01$ olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Sonuçta, K-S testine göre seçilen dağılım veriler ile uyumludur.

2. Üretim-servis çözüm araştırma bölümüne ait servis süresi verilerine uygulanan testler: WEIB (6,49 , 0,877)
Üretim-Servis sürelerine ait Ki-kare testi: Ki-kare testinde $H_0 =$ Gözlenen frekans dağılımı kuramsal bir dağılıma uygun değildir. Serbestlik derecesi=5 ve $\alpha=0,05$ için tablodan ki-kare değeri 16,919 okunur, hesaplanan ki kare test istatistiği=4,35. $\chi^2_{hesap} = 4,35 > \chi^2_{tablo} = 16,919$ olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Sonuç olarak Ki-kare testine göre seçilen dağılım veriler ile uyumlu değildir. Ayrıca, eğer p değeri $> \alpha$, H_0 reddedilmez, Eğer p değeri $< \alpha$, ise H_0 reddedilir. $p \leq 0,5$ değeri $\alpha=0,05$ 'ten büyük olduğu için hipotez kabul edilir.

Üretim-Servis sürelerine ait Kolmogorov-Smirnov Testi: K-S, p-değeri $< 0,0263$, $D(0,1)_{tablo} = 1,36 / ((365)^{0,5}) = 0,0712$, $D(0,1)_{tablo} = 0,0712 > D_{hesap} \leq 0,0263$ olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Sonuç olarak K-S testine göre seçilen dağılım veriler ile uyumludur.

3. Kalite çözüm araştırma bölümüne ait servis sürelerine uygulanan testler: LOGN (8.68, 14.1)
Ki-kare testinde $H_0 =$ Gözlenen frekans dağılımı kuramsal bir dağılıma uygun değildir. Serbestlik derecesi=2 ve $\alpha=0,05$ için tablodan Ki-kare değeri 9,488 okunur, hesaplanan ki kare test istatistiği=25,2. $\chi^2_{hesap} = 25,2 > \chi^2_{tablo} = 9,488$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Sonuç olarak Ki-kare testine göre seçilen dağılım veriler ile uyumludur. p değeri 0,005 $\alpha=0,05$ 'ten küçük olduğu için hipotez reddedilir.

K-S, p-değeri $> 0,15$, $D(0,1)_{tablo} = 1,36 / ((122)^{0,5}) = 0,123$, $D(0,1)_{tablo} = 0,123 < D_{hesap} < 0,15$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Sonuç olarak K-S testine göre seçilen dağılım veriler ile uyumlu değildir.

iv. Simülasyon Uzunluğu: Oluşturulan modelin çalıştığı zamandır. Herhangi bir değer belirtilmezse simülasyon modeli devamlı çalışır. Çalışmada simülasyon zamanının ne kadar olması gerektiği Little formülü ile hesaplanmıştır. Formül basit olup kuyruk süreçlerini doğrulamak için kullanılır. Formül (1), sistemde bilinmeyen neden ile kalan gelişleri ortaya çıkarmak için de kullanılır (Altıok ve Melamed, 2007). N, proseslerdeki ortalama iş miktarıdır, W işin model içinde kaldığı zamanın ortalamasıdır ve λ sadece etkili geliş değeridir.

$$N = \lambda W \quad (1)$$

Little formülü alt kuyruk modelleri için de kullanılır. Arena Create modülünde önce 1839 geliş yazılmış ve program çalıştırılmış, daha sonra 4000 yazılmış ve tekrar program çalıştırılmıştır. Elde edilen süreler uygulamadaki başlangıç verileri ile karşılaştırılmıştır. Müşteri şikayetlerinin simülasyon uzunluğu 1839 gün olduğunda kurulan model % 98,75 oranında, 4000 gün olduğunda ise %99,97 oranında güvenilirlik sağlanmıştır.

v. Kurulan Modelin Geçerliliğinin Doğrulanması: Model fiili uygulama verileri ve simülasyon ile bulunan değerler mukayese edilerek doğrulanmıştır. Simülasyon modelinin hassasiyetini arttırmak için simülasyon uzunluğu arttırılmıştır. Ayrıca, doğrulama kurulan modelin alt bölümlerinin Little formülü ile test edilmesiyle de gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Uygulama çalışmasında müşteri şikayetlerine çözüm için görevlerin %40'ı Ar-Ge , %32'si satın alma, %19'ü üretim/servis, %9'u kalite birimlerine yönlendirilmiştir.

Tablo 3. Simülasyon Optimizasyonu Modelinin Doğruluğunun Little Formülü ile Kontrolü

No	Süreç ismi	Başlangıca ait süreç zamanları (gün)	Kişi sayısı (adet)	Servis süreleri	Süreç zamanları 1839 geliş için (gün)	Servis süreleri	Süreç zamanları 4000 geliş için (gün)
1	Kök neden bulma için görev atama	0,308	1		0,306		0,308
2	Kök neden bulma	1,190	2		1,180		1,190
3	Çözüm birimine karar verme	0,324	1		0,322		0,324
4	Ar-Ge çözüm bulma	12,662	5	0,4*12,41	4,9656	0,4*12,662	5,0648
5	Satın alma çözüm bulma	13,998	4	0,32*13,83	4,4256	0,32*13,998	4,4793
6	Üretim/Servis çözüm bulma	9,436	2	0,19*9,42	1,79018	0,19*9,436	1,7928
7	Kalite çözüm bulma	15,891	1	0,09*15,69	1,4121	0,09*15,891	1,43
8	Ortalama Şikayet kapatma süresi	14,585	16	Toplam	14,402		14,589

Modelin doğruluğu	98,75%	Modelin doğruluğu	99,97%
-------------------	--------	-------------------	--------

vi. Simülasyon Modeline Ait Replikasyon Sayısı: Simülasyon esas olarak bir modelin veriminin örnekleme ile tahminidir. Her bir replikasyon, simülasyonun bağımsız bir tekrarıdır. Bu araştırma çalışmasında t dağılımı temel alınarak iterasyon ile her proses için farklı replikasyon değeri bulunmuştur. Replikasyon değerini belirlemek amacıyla denklem (2) ile verilen formülden yararlanılmıştır (Rossetti, 2010).

$$n \geq ((t_{\alpha/2}, (n-1)^S) / E)^2 \quad (2)$$

Güven aralığı, tahminin güvenilirliğini gösterir. Bu çalışmada %95 olan güven aralığı kullanılmıştır. $\alpha=1-0,95=0,05$ (yarım genişliğe sahip güven aralığında $\alpha/2=0,025$), S=verilere ait standart sapma, E=Verilere ait ortalama, n=Başlangıçtaki replikasyon değeri. Formülde “t $\alpha/2$, n-1” n’e bağlıdır, bu nedenle iterasyon yapılması gereklidir.

Tablo 4. Kök Neden Bulma Zamanı için Replikasyon Sayısı

Başlangıç replikasyon sayısı (n)	ortalama	ort*hata= ort*0,99	standart sapma	t $\alpha/2$, n-1	n (formül)	Notlar
2	1,080	1,069	1,48	12,7	309,04	10 \geq 9,8
3	1,080	1,069	1,48	4,303	35,48	
4	1,080	1,069	1,48	3,182	19,4	n=10
5	1,080	1,069	1,48	2,776	14,77	yeterli
6	1,080	1,069	1,48	2,571	12,67	
7	1,080	1,069	1,48	2,447	11,47	
8	1,080	1,069	1,48	2,365	10,72	
9	1,080	1,069	1,48	2,306	10,19	
10	1,080	1,069	1,48	2,262	9,8	

Tablo 5. Ana parametreler için bulunan replikasyon sayısı

Ana parametreler	Minimum Replikasyon sayısı
Şikâyeti kapatma süresi	2
Kök neden bulma için görev atama süresi	5
Kök neden araştırma süresi	10
Çözüm için birime görev atama süresi	6
Ar-Ge çözüm araştırma süresi	6
Satın alma çözüm araştırma süresi	7
Üretim/Servis çözüm araştırma süresi	8
Kalite çözüm araştırma süresi	7

Hesaplamalar sonucunda çıkış verisi şikâyeti kapatma zamanı için n=2, kök neden araştırma için n=10 (Tablo 4), satın alma çözüm araştırma süresi için n=7 replikasyon yeterli çıkmıştır. Hesaplanan değerler replikasyon sayısının en küçük değeridir, doğruluk değerini artırmak için 100 replikasyon ile program çalıştırılmıştır. Replikasyon sayıları ise geliştirilen modelin bütün anahtar performans göstergeleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 5).

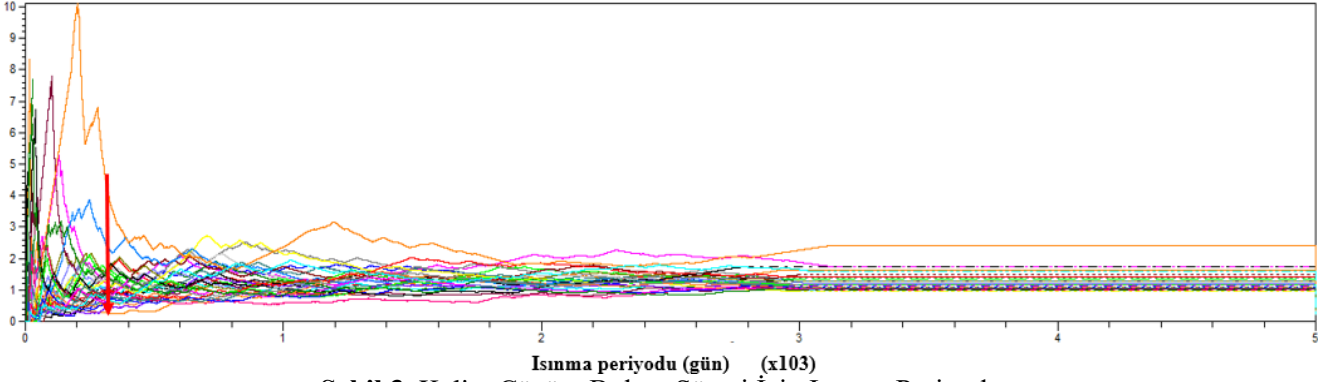
vii. Simülasyon Modeline Ait Isınma (Warm-up) Periyodu: Isınma periyodunun bulunması için farklı metotlar vardır. Araştırmamızda ise Welch Grafik metodu ile ısınma periyodu belirlenmiştir (Rossetti, 2010). Metodun özeti aşağıda verilmiştir. $R > 5$ replikasyon yapılması önerilir ve $r = 1, 2, \dots, R$ ve $i = 1, 2, \dots, nr$ için replikasyonda yer alan i'inci gözlemin değeri Y_{ri} olsun. Her bir $i = 1, 2, \dots, n$ değeri için replikasyona ait ortalama belirlenir (3).

$$\hat{Y}_{.i} = (\sum_{r=1}^R Y_{ri}) / R \quad (3)$$

$i=1, 2, \dots, n$ değerine ait $\hat{Y}_{.i}$ grafiğinin şekli oluşturulur. $\hat{Y}_{.i}$, $i=1, 2, 3 \dots n$ 'e düzleştirme yöntemleri uygulanır. Göz ile grafiklerin düzleşmeye başladığı yer belirlenir. Görüntü bakımından düzleşmeye başlayan bölge warm up değeri kabul edilir. Arena programı ile tüm servis süreçleri için grafikler çizilmiş olup çizilen grafiklerden faydalanarak warm-up periyodu 300 gün olarak belirlenmiştir. Kalite bölümünün çözüm bulma süresi için bulunan ısınma periyodun grafiğinde (Şekil 3), görüldüğü gibi ~300 gün değerine kadar dalgalanmalar görülmektedir. Benzer şekilde çözüm birimine görev atama süresi için elde edilen ısınma periyodu grafiğinde de (Şekil 4) ~300 gün değerine kadar aşırı dalgalanmalar görülmektedir. Bu nedenle dalgalanmaların olduğu ilk 300 gün için elde edilen değerler

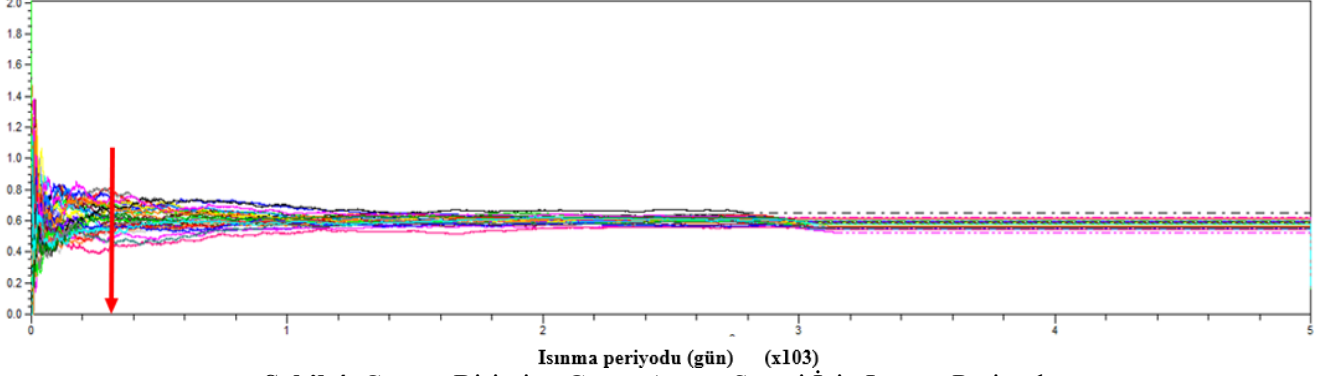
istatistiklere dahil edilmemiştir. Isınma periyodu grafiği ilk oluşturulurken Arena program run setup değerlerinde ısınma periyodu değeri sıfır alınmış ve Şekil 3 ile Şekil 4'teki grafikler elde edilmiştir. Grafikte ~300 civarında eğrinin düzleşmeye başladığı görülmüştür.

Kalite Çözüm bulma süresi (gün)



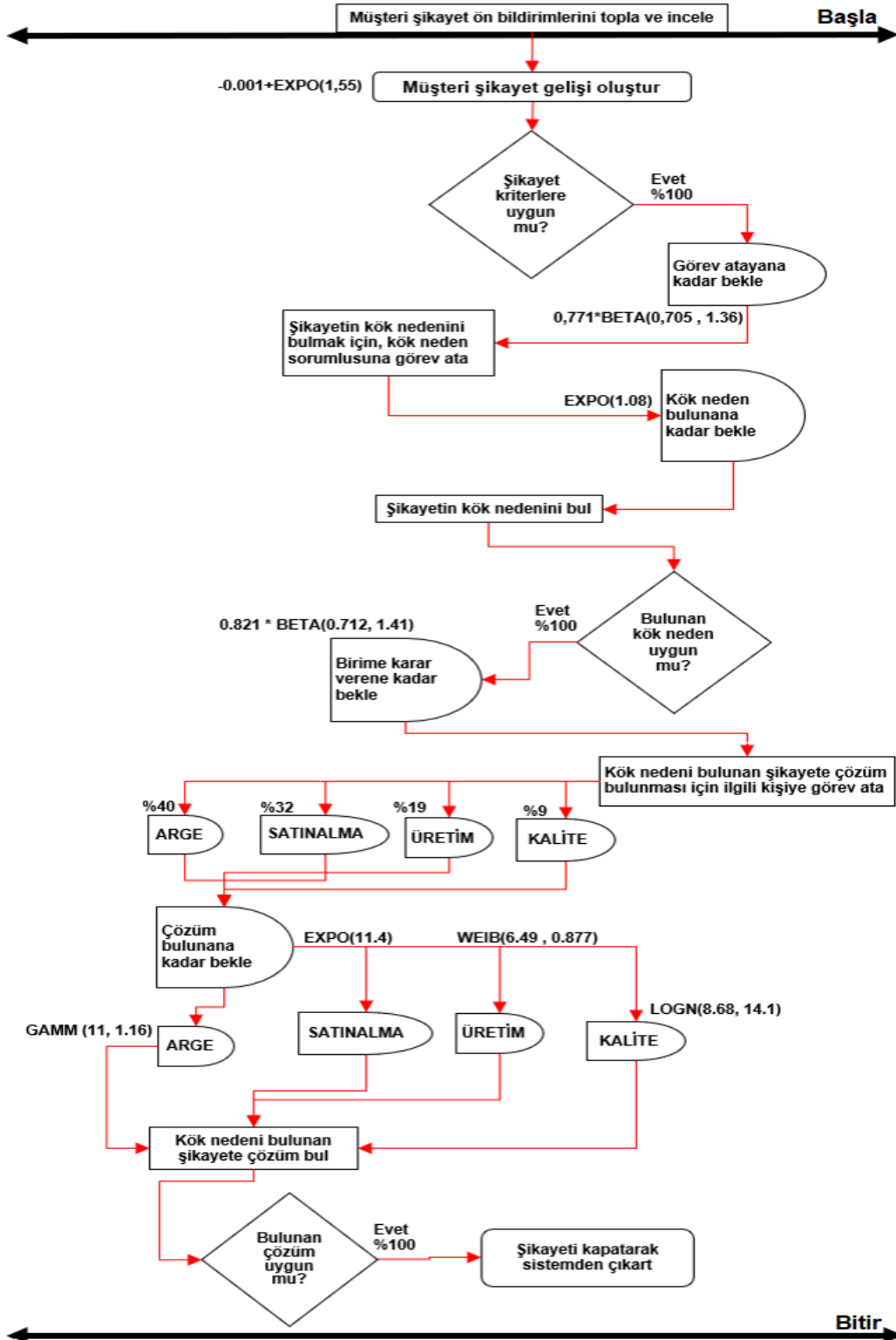
Şekil 3. Kalite Çözüm Bulma Süresi İçin Isınma Periyodu

Çözüm birimine görev atama süresi (gün)



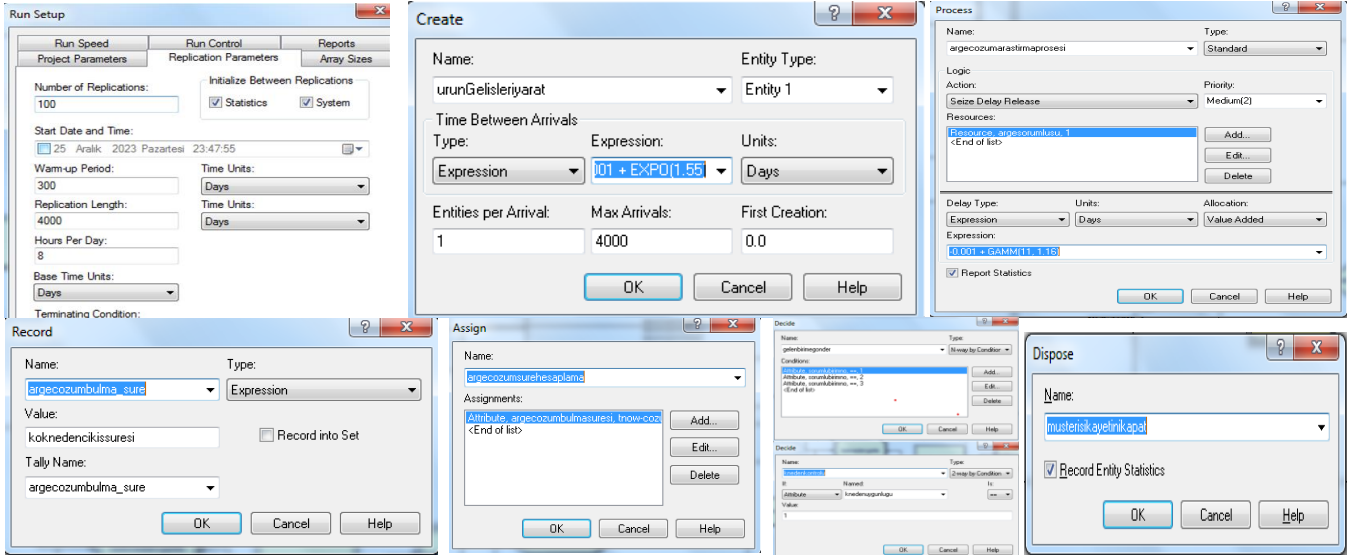
Şekil 4. Çözüm Birimine Görev Atama Süresi İçin Isınma Periyodu

viii. Müşteri şikayetlerini değerlendirme süreçlerine ait simülasyon akış çizelgesi Şekil 5'te verilmiştir. Simülasyon modeli kurulurken iletilen şikayetlerin tamamının kriterlere uygun olduğu kabul edilmiştir. Uygulamaya göre başlangıç durumunda şikayetin kök nedeninin ve çözümünün ilk seferde doğru olarak bulunduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5. Müşteri şikayetlerini değerlendirme süreçlerine ait simülasyon akış çizelgesi

ix. Arena simülasyon modelinin kurulum modülleri: Kurulan modele ait tekrar değeri ve simülasyon modelinde kullanılan modüllerin ekran görüntüleri Şekil 6'da tanımlanmıştır. Program çalıştırma verileri Run Setup ekranında verilmiştir, Create modülü ile müşteri şikayet gelişleri yaratılmıştır (Expression: EXPO:1,55). Proses modülüne servis süreçlerin (Ar-Ge vs..) dağılımı (-0,001+GAMM(11 , 1,16) tanımlanmıştır. Decide modülü ile karar verilmesi gereken durumlar tanımlanmıştır. Evet/Hayır gibi 2 seçenek gerektiren durumlarda 2-way by condition, 2 seçenekten fazla olan durumlarda (çözüm birimlerine görev atama) N-way by condition kullanılmıştır. Record modülünün istenen süreçlere bağlanması ile gerekli kayıtlar yaratılmış ve rapor çıktısında her bir sürecin verileri yazdırılmıştır. Dispose modülü ile de çözülen müşteri şikayetlerinin kapatılması ve sistemden çıkarılması sağlanmıştır.



Şekil 6. Simülasyon Modelinde Kullanılan Modüllerin Örnek Ekran Görüntüleri

x. Matematiksel Modelleme

Müşteri şikayetlerini ele alma modelinde şikayeti giderme zamanının maliyeti matematiksel ifadelerle formüle edilerek, şikâyet kapatma maliyetini en küçük yapmak hedeflenmiştir. Şikâyet kapanma süresi, şikayetlerin gelişler arası zamanlarına, sistemde çalışan kişi sayısına ve şikâyetin bölümlerdeki servis sürelerine bağlıdır. Şikayete ait gelişler arası süreler, kuyrukta kalma süresi, her bölümün şikâyeti gidermek için kullandığı ortalama zaman ve şikâyetin giderilme zamanı tesadüfidir. Bu kapsamda matematiksel model oluşturulurken aşağıdaki varsayımlar, özellikler ve notasyonlar kullanılmıştır. Belirtilen varsayımların kullanımıyla, tesadüfi proseslere sahip sistem matematiksel olarak modellenmiştir.

Modelin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Şikâyetlerin geliş sayısında sınırlama bulunmuyor.
- İlgili bölümlere ve çalışan kişilere gelecek şikâyet sayısında sınırlama bulunmuyor.
- İlgili bölümlerde görev alacak kişi sayısı kısıtlıdır.
- İlgili bölümün personeli yalnızca kendi bölümüne iletilen şikayetleri çözüyor
- Her bölümde çalışan kişiler tüm gün (8 saat) çalışmaktadır.

Problemin hipotezleri aşağıdadır.

- Proseslerde çalışan kişilerin ücreti eşit varsayılmıştır.
- Proseslerde çalışan kişilerin hızları aynı kabul edilmiştir.
- Masraflar, yalnızca işgücü ve bekleme masrafıdır.
- Bölümlerin servis süreleri aynı değildir.
- Ulaşan şikayetlerin birbirine göre önceliği yoktur.
- Proseslerde çalışan servis elemanları kendi işlerini biliyorlar (öğrenme özelliğine ihtiyaç bulunmuyor),
- Sisteme ulaşan bütün şikayetler doğru şikayet olarak alınmış ve çözüm bulma çalışması başlatılmıştır.
- Problemin kök nedeninin ve çözümünün ilk seferde doğru olarak bulunduğu kabul edilmiştir.
- Ortalama varış ve servis zamanlarının üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır.
- Kuyruk modelindeki azami ortalama servis süresinin (s_u), ortalama geliş süresi λ 'yı geçtiği dengeli hal kabul edilmiştir.

Modelde kullanılan notasyonlar aşağıdadır.

İndis : $i = 1 \dots n$ i : birim indisi,

Karar değişkenleri

s : Servis elemanı sayısı (adet)

Kısıtlar

Uygulamadaki verilere göre her bir süreçte yer alacak servis elemanı sayısı $s \geq 1$ ile ifade edilmiştir.

Parametreler

C_s : Her bir servis elemanının maliyeti (TL/gün)

C_w : Kuyruk sistemindeki her müşteri şikayeti için bekleme süresi maliyeti (TL/gün)

$$E(TC) = E(WC) + E(SC) \quad (4)$$

$E(TC)$: Birim zaman başına beklenen toplam (servis + bekleme) maliyet (TL/gün)

$E(WC)$: Birim zaman başına beklenen bekleme maliyeti (TL/gün)

$E(SC)$ = birim zaman başına beklenen servis maliyeti, her sunucunun maliyeti aynı olduğunda, servis maliyeti $E(SC)=C_s s$,

L : Kuyruk sisteminde bekleyen toplam şikâyet sayısının beklenen değeri (adet)

L_q : Beklenen kuyruk uzunluğu (işlem gören şikâyetler hariç)

n : t anında kuyruk sistemindeki toplam şikâyet sayısı (adet)

P_0 : Kuyruk sisteminde sıfır adet şikâyet bulunma olasılığı

P_n : Kuyruk sisteminde tam olarak n adet şikâyetin bulunma olasılığı

s_i : Her bir birimdeki servis elemanı sayısı (kişi)

W : Her bir şikâyetin sistemde kalma zamanı (servis zamanı dahil – gün)

W_q : Kuyruksız kalma zamanı (servis zamanı dahil değil - gün)

W_s : Kuyruksız bekleyen şikâyet gelişinin ortalama servis zamanı (gün)

λ : Şikâyetlerin ortalama geliş hızı (şikâyet/gün)

λ_n : Sistemde n adet şikâyet mevcutken yeni şikâyet gelişlerinin ortalama hızı. λ_n tüm n değerlerinde aynı ise, bu λ sabiti ile belirtilir. $1/\lambda$ (gün) gelişler arasındaki zamandır.

μ_n : Sistemde n adet şikâyet varken şikâyetlerin ortalama servis süresi (1/gün). Beklenen servis süresi $1/\mu$ (gün)

ρ : Kullanım faktörü

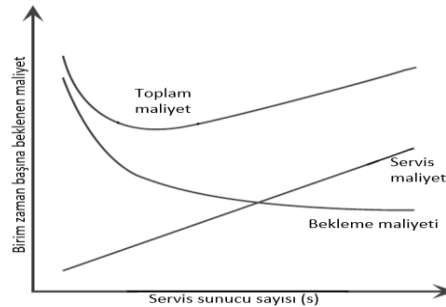
ρ_i : Çözüm araştıran i . birim için kullanım oranı faktörü

Modelin Amaç Fonksiyonu: Şikâyetleri ele alma sisteminde şikâyetleri kapatma maliyeti, proseslerde çalışan kişilerin (s) maliyetidir. Bu modeli çözme metodu, s 'nin aldığı belirli değerler için $E(TC)$ yi belirlemek ve en az olan değeri seçmektir. Modelin amaç fonksiyonu eşitlik (5) ile formüle edilmiştir (Hillier ve Lieberman, 2010).

$$\text{Minimize } E(TC) = C_s * s + E(WC) = C_s * s + C_w * L \quad (5)$$

Karar değişkeni sunucu sayısı olduğunda amaç fonksiyonunu (5) formüle etmek için, $E(TC)$ birim zamandaki beklenen toplam maliyet, $E(SC)$ birim zamandaki beklenen hizmet maliyeti, $E(WC)$ birim zaman başına beklenen bekleme maliyeti. Daha sonra amaç, $E(TC) = E(SC) + E(WC)$ 'yi en aza indirecek şekilde sunucu sayısını seçmektir. Her sunucunun maliyeti aynı olduğunda hizmet maliyeti $E(SC) = C_s * s$ olur, burada C_s , bir sunucunun birim zaman başına marjinal maliyetidir. Herhangi bir s değeri için WC 'yi değerlendirmek için, $L = \lambda * W$ kuyruk sisteminde birim zaman başına beklenen toplam bekleme miktarını vermektedir. Dolayısıyla bekleme maliyeti, bekleme miktarıyla orantılı olduğunda bu maliyet şu şekilde ifade edilebilir. Lineer durum için, M/M/s kuyruk modelinde $E(WC) = C_w * L$ olur (6).

$$E(WC) = C_w \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = C_w L \quad (6)$$



Şekil 7. Servis sunucu sayısının beklenen maliyet ile değişimi

Şikâyetlerin gelişleri tesadüfidir, farklı bölümlerin şikâyeti çözme zamanları da tesadüfidir. Modelde çözüm zamanlarının ortalaması kullanılmıştır. Modelimizde her bölümün harcadığı sürelerin toplamı, ortalama şikâyet giderme süresi olarak hesaplanmıştır. Kararlı halde yeterince zaman geçince, modelin konumu başlangıç durumuna ve geçen süreye bağımlı olmaz. Kuyruk modeli, ortalama maksimum servis hızının ($s * \mu$) ortalama geliş hızını (λ) geçtiği istikrarlı duruma hedeflenmiştir. Şekil 7'deki gibi (Hillier ve Lieberman, 2010) bekleme hattı için optimum çözüm aranmaktadır.

Kuyrukta kalma zamanı sistem içinde görev alan kişi sayısına ve şikâyetlerin gelişler arası hızına göre değişiklik gösterir. Sistemde çalışan kişi sayısı arttıkça bekleme maliyeti azalır, fakat serviste çalışan kişilerin maliyeti artar. Proseslerde çalışan kişi sayısı ve bekleme zamanını birbirine bağlamak için, kuyruk modeli denklemlerinden faydalanılmıştır. Kuyruk teorisine ait genel denklemler (7) ~ (20) aşağıda verilmiştir.

$$\rho = \lambda / (s * \mu) < 1 \quad (7)$$

ρ = Servis tesisi için kullanım faktörüdür.

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (8)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Üstel dağılımın toplama ve bölünmeden etkilenmeme özelliği kullanılarak kuyruk sistemi modeli kurulmuştur. Geliş sürecinin Poisson olması özelliği üstel dağılım için de geçerlidir. ρ çözüm araştıran i. birim için kullanım oranı faktörü olmak üzere, $s\mu$ ortalama varış oranı λ 'yı aştığında (7) bu modele uyan bir kuyruk sistemi sonunda kararlı durum haline ulaşacaktır. n farklı tipte şikâyetin λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) parametreye sahip Poisson gelişine göre sistem içerisine girdiğini kabul edelim (8). Şikâyet gelişleri tesadüfi olup birbirine bağlı değildir. Bu özellikten tüm şikâyet geliş sürecinin yine $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$ parametrelili bir Poisson sürecine uyduğu söylenebilir. P_i sisteme ulaşan şikâyetlerin i. inci tip olma olasılığıdır. Ayrıca, $\lambda_i = P_i * \lambda$ olsun. Bu özellik, her bir "i" şikâyeti için varış prosesinin tekrar λ_i parametrelili Poisson süreci olacağını ifade eder (Hillier ve Lieberman, 2010). Kuyruk sisteminde, s (sistemdeki kişi sayısı), μ (ortalama servis zamanı) ve λ (her bölüme gelen ortalama şikâyet varış zamanı). Problemden, μ , λ ve C_s değerleri bellidir. Bir servis işletmesinde μ ve λ belliyse, çalışan kişi sayısı tespit edilebilir. Kurulan modelde, her farklı bölüme varan şikâyetlerin kuyrukta kalma zamanı çok kanallı M/M/s tekniğine göre (gelişler arası süre(M) ve servis süresi(M) Poisson veya Markovyan, s=servis sayısı) aşağıdaki gibi hesaplanabilir, bu değerler (5) numaralı formülde yazılarak şikâyetin toplam maliyeti hesaplanır (Hillier ve Lieberman, 2010). Çoklu servis sayısı ($s > 1$) durumuna ilişkin sonuçlar aşağıdaki (10) ~ (20) denklemlerinde verilmiştir. $s > 1$ olduğunda C_n faktörü denklem (11) ile olasılık dağılımı P_0 denklem (11) ve (12) ile verilmiştir.

$$C_n = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n / n! & \text{Eğer } n = 1, 2, \dots, s \text{ ise} \\ \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n / (s! s^{n-s}) & \text{Eğer } n = s, s + 1, \dots, \text{ ise} \end{cases} \quad (10)$$

$$P_0 = 1 / \left(\sum_{n=0}^{s-1} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n / n! + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s! \left(1 - \left(\frac{\lambda}{s\mu}\right)\right)} \right) \quad (11)$$

$$P_n = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n / n! P_0 & \text{Eğer } 0 \leq n \leq s \text{ ise} \\ \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n / (s! s^{n-s}) P_0 & \text{Eğer } n \geq s \text{ ise} \end{cases} \quad (12)$$

$$P_n = C_n P_0 \quad n = 0, 1, 2, \dots \text{ Durağan durum olasılığı} \quad (13)$$

$$W_q = L_q / \lambda \quad (14)$$

$$W = W_q + (1/\mu) \quad (15)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \quad \left(\sum_{n=0}^{\infty} C_n \right) P_0 = 1 \quad (16)$$

$$P_0 = 1 / \left(\sum_{n=0}^{\infty} C_n \right) \quad (17)$$

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n \quad (18)$$

$$L = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad (19)$$

$$L_q = \sum_{n=0}^{\infty} (n-s) P_n \quad L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad (20)$$

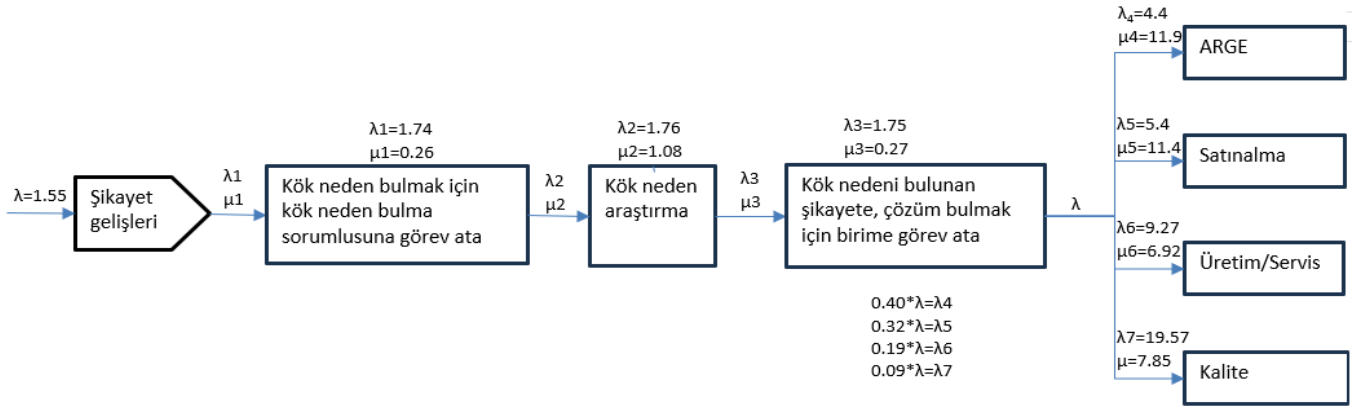
$\lambda < s * \mu$ olması koşuluyla istenilen t anında, s , λ ve μ değerleri için tüm hesaplamalar Excel programı ile yapılabilir (Hillier ve Lieberman, 2010). Eğer $\lambda \geq s * \mu$ olursa, ortalama varış hızı servisi tamamlamanın maksimum ortalama değerini aşarsa, bu durumda kuyruk sınırsız olarak büyür, dolayısıyla önceki kararlı durum çözümleri uygulanamaz.

BULGULAR VE TARTIŞMA

i. Matematiksel Model Sonuçları: Servis zamanının üstel olmadığı çok kanallı kuyruk modelinin tam çözümü yoktur. Bunun yanında, gelişler arası ve servis zamanları üstel dağılırsa matematiksel formüller yardımıyla çözülebilir. Bu kapsamda şikayetleri ele alma sisteminde, birim şikâyet giderme zamanının maliyeti formüllerle ifade edilip çözüm üretilmiştir. Şekil 8'de gösterilen kuyruk modelindeki temel proseslerin λ ve μ değerleri uygulamadan alınan veriler dikkate alınarak çözülmüştür. Şikâyeti çözme maliyeti (5) nolu formül ile hesaplanmıştır (Hillier ve Lieberman, 2010). Benzer olarak tüm süreçler için de belirtilen parametreler ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 6) (kök neden araştırmak için atama, kök nedeni bulma, çözüm bulan birime atama, Ar-Ge, satın alma, üretim, kalite çözüm araştırma süreleri). Problemden C_s ile λ ve μ değerleri bellidir. Bu veriler kullanılarak her bir süreçte yer alan, servis elemanı adedi s hesaplanabilmiştir. Hesaplamalarda her gün için $C_s=70$ TL/kişi ve $C_w=140$ TL/kişi alınmıştır. İlave olarak, serviste çalışan kişilerin (s) tam gün 8 saat çalıştığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 6. Temel proseslerin gelişler arası (λ) ve servis (μ) zamanları

Süreç ismi	λ (gün)	λ (1/gün)	μ (gün)	μ (1/gün)
Şikayet gelişleri	1,55			
Kök neden bulma için görev atama	1,74	0,575	0,262	3,817
Kök neden araştırma	1,76	0,568	1,080	0,926
Kök neden uygunluk kararı	1,75	0,569	0,275	3,636
Ar-Ge çözüm araştırma	4,40	0,227	11,90	0,084
Satın alma çözüm araştırma	5,40	0,185	11,40	0,088
Üretim/Servis çözüm araştırma	9,27	0,108	6,92	0,145
Kalite çözüm araştırma	19,57	0,051	7,85	0,127



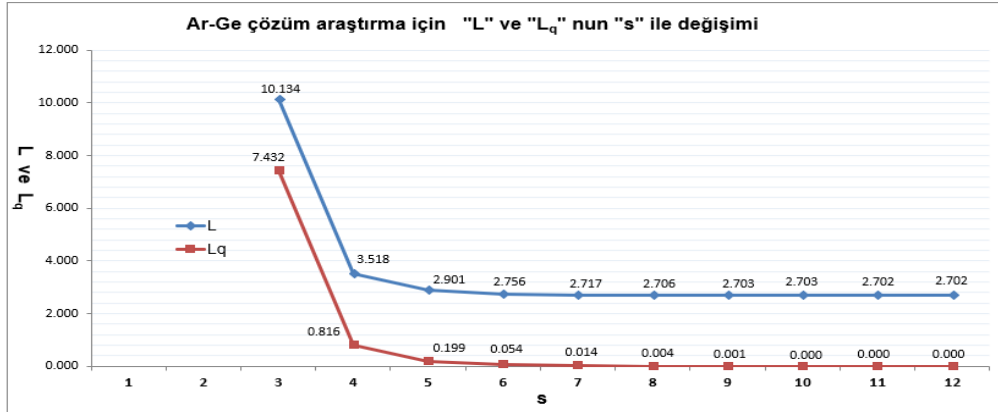
Şekil 8. Müşteri Şikâyet Değerlendirme Sistemine Ait Kuyruk Modeli

Ar-Ge çözüm bulma bölümüne atama için tüm parametreler Tablo 7’de verildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 7. Ar-Ge Çözüm Bulma Birimi İçin Parametreler

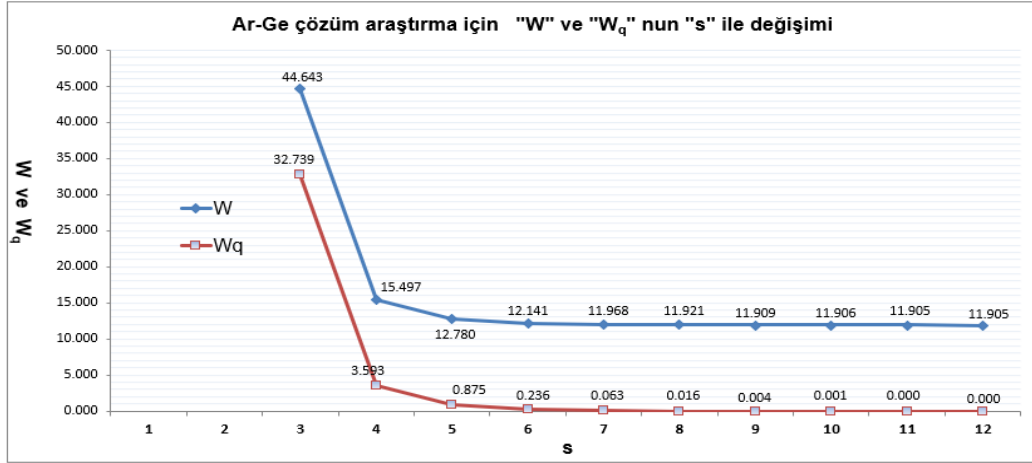
s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L	10,13	3,52	2,90	2,76	2,72	2,71	2,70	2,70	2,70	2,70
L _q	7,4	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
W	44,6	15,5	12,8	12,1	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
W _q	32,7	3,6	0,9	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C _s s	210	280	350	420	490	560	630	700	770	840
E(WC)	1419	493	406	386	380	379	378	378	378	378
E(TC)	1629	773	756	806	870	939	1008	1078	1148	1218
ρ	0,90	0,68	0,54	0,45	0,39	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23

Şekil 9’da Ar-Ge bölümüne çözüm bulma için atama bekleyen şikâyetlerin adedi "L" ile kuyruk uzunluğu "L_q" ve "s" kişi adedi yükseldikçe düşmektedir. s≥5 üzeri değerlerde yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. s=3 iken Ar-Ge’de bekleyen iş sayısı 10,13 adettir. Kuyruktaki iş sayısı ise 7,4 adettir. Ar-Ge için s=5 eleman yeterli görülmektedir.



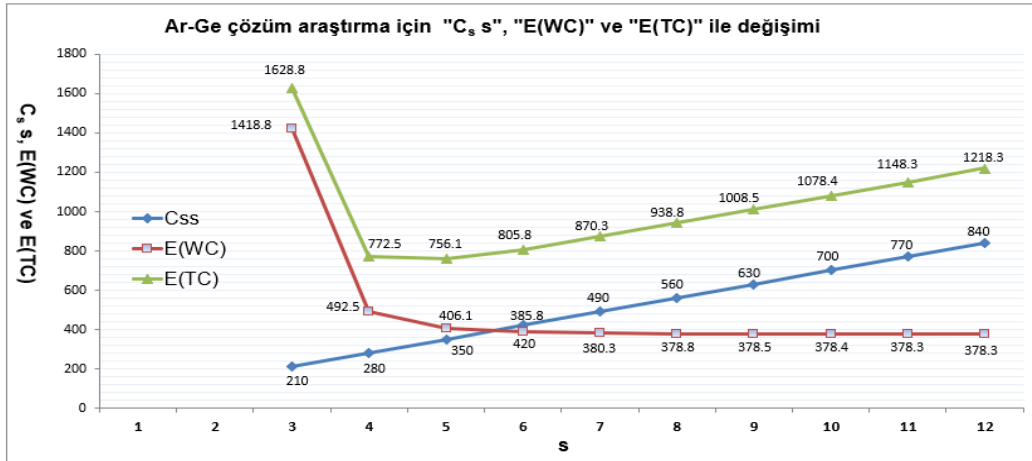
Şekil 9. Ar-Ge Çözüm Bulma Biriminde L ve L_q'nun s ile Değişimi

Ar-Ge bölümünün çözüm bulma zamanı "W" ve şikâyet görevinin kuyruktaki kalma zamanı "W_q", "s" kişi adedi yükseldikçe düşmektedir (Şekil 10). s=3 iken şikâyet ortalama 44,6 günde kapanmaktadır. Kuyruktaki süre ise ortalama 32,7 gün olmaktadır. s=5 olduğunda şikâyetin toplam süresi ortalama 12,8 gün'dür. Sadece kuyruktaki bekleme süresi ise ortalama 0,88 gün olmuştur. s≤2 değerlerinde sonuç elde edilememiştir.

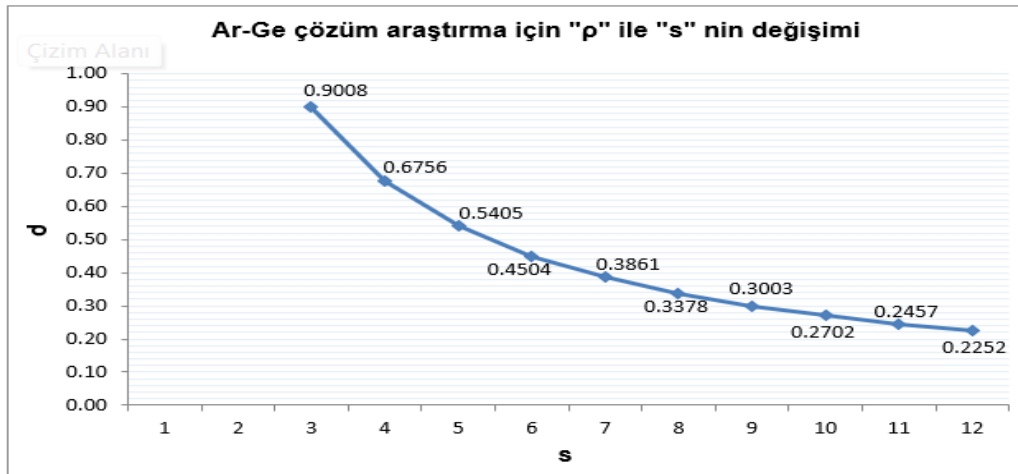


Şekil 10. Ar-Ge Bölümü için s ile W ve W_q'nin Değişimi

Şekil 11'de ise, Ar-Ge bölümünün çözüm bulma maliyeti " C_s ", beklenen toplam maliyet "E(TC)" ile kuyrukta kalma maliyeti E(WC), " s " kişi adedi yükseldikçe yükselmektedir. $s=1$ ve $s=2$ için çözüm bulunamamıştır. Çözüm üretilmesi için s 'nin en az 3 kişi olması gereklidir. $s=3$ iken beklenen maliyet günlük 1628,8 TL, kuyrukta kalma masrafı ise 1418,8 TL'dir. Şekilden Ar-Ge bölümünde 5 kişi çalışınca optimum değerler elde edilmiştir.



Şekil 11. Ar-Ge Bölümü için s ile E(WC), C_s ve E(TC)'nin Değişimi



Şekil 12. Ar-Ge Bölümü için ρ ile s'nin Değişimi

Belirtilen s değerleri için, $\rho = \lambda / (s * \mu) \leq 1$ sağlamaktadır. $s=3$ iken, $\rho=0,9008$, $s=4$ iken $\rho=0,6756$ ve $s=5$ iken $\rho=0,5405$ değerini almaktadır. Bölüm iş planına göre servis elemanının kalan zamanı $\rho=0,4595$ (%45,95) başka işler yapmak için değerlendirilebilir (Şekil 12).

Matematiksel model ile, kuyrukta bekleyen toplam şikâyet sayısı, beklenen kuyruk uzunluğu (işlem gören şikâyetler hariç), her bir şikâyetin sistemde kalma zamanı (servis zamanı dahil), kuyrukta kalma zamanı (servis zamanı dahil değil), birim zaman başına beklenen toplam (servis + bekleme) maliyet, birim zaman başına beklenen bekleme maliyeti, birim zaman başına beklenen servis maliyeti, servis maliyeti ve servisin kullanım oranı hesaplanmıştır.

ii. Simülasyon Model Sonuçları: Uygulamaya ait her sürecin zaman verilerinden faydalanılarak her sürecin zaman dağılımları bulunmuştur. Elde edilen dağılımlar ve proseslerde görev alan personel sayısı Arena yazılımına tanımlanmıştır. Şikâyetlerin gelişler arası zamanları, kök neden araştırma için görev atama zamanı, kök neden araştırma zamanı, çözüm birimine görev atama zamanı, çözüm araştıran bölümlerin çözüm bulma zamanları elde edilmiştir. Simülasyon programı hem gerçek servis süreleri dağılımı ile hem de üstel dağılımlar ile ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Verilerin zaman birimi gün 'dür. Mevcut verilere göre şikâyetlerin varışları EXPO (1,55) olan üstel dağılıma karşılık gelmektedir. Ortalama olarak her 1,55 günde 1 adet şikâyet geliş olmaktadır.

iii. Simülasyon modeli ile elde edilen sonuçların, matematiksel model ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılması: Elde edilen sonuçlara göre simülasyon model ve matematiksel model sonuçları birbiri ile uyumlu olmuştur (Tablo 8). Matematiksel model ile bulunan üstel dağılım sürelerine göre bir adet şikâyet ortalama 13,663 günde kapanmıştır, Simülasyon ile bulunan üstel dağılım sürelerine göre ise bir adet şikâyet ortalama 13,715 günde kapanmıştır ve aralarındaki fark sadece %0,381 olmuştur.

Simülasyon ile bulunan gerçek dağılım sürelerine göre bir adet şikâyet ortalama 14,585 günde, simülasyon ile bulunan üstel dağılım sürelerine göre ise bir adet şikâyet ortalama 13,715 günde kapanmıştır ve fark %5,965 olmuştur.

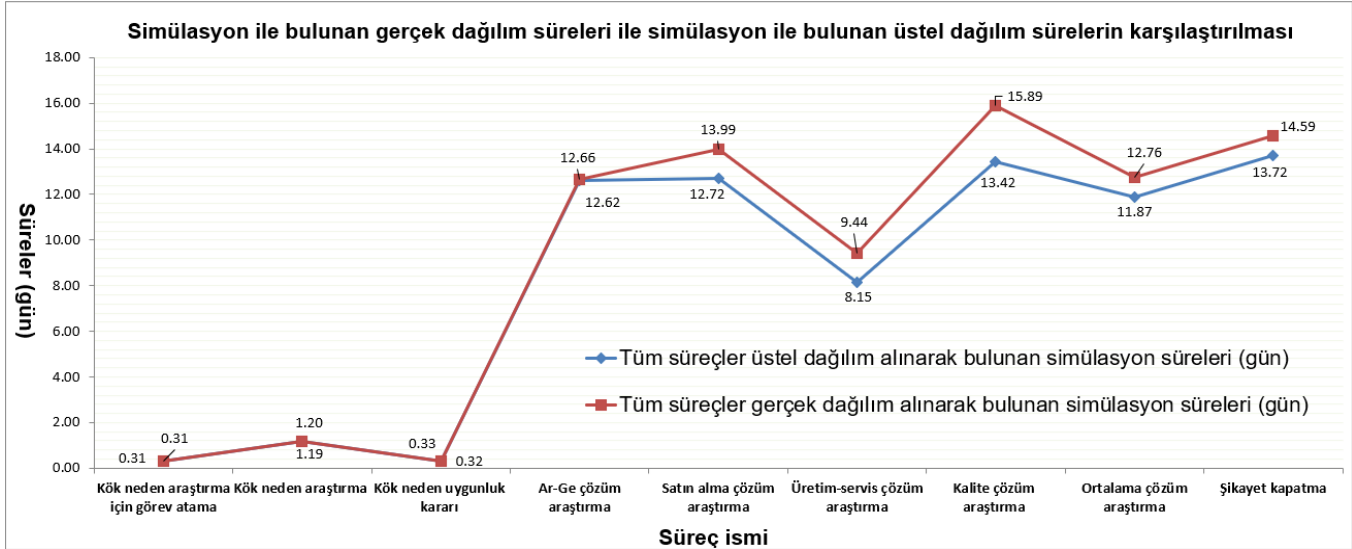
Tablo 8. Her Birimdeki Eleman Sayısı ve Toplam Maliyeti

Süreç ismi	s (adet)	Toplam maliyet (TL/gün)	Matematiksel model ile bulunan üstel dağılım süreleri (gün)	Simülasyon ile bulunan gerçek dağılım süreleri (gün)	Simülasyon ile bulunan üstel dağılım süreleri (gün)	Üstel dağılımlı matematiksel model ve gerçek dağılımlı simülasyon farkı (%)	Üstel dağılımlı matematiksel model ve üstel dağılımlı simülasyon farkı (%)
Kök neden araştırma için görev atama	1	94,48	0,308	0,308	0,307	0,0000	0,3247
Kök neden araştırma	2	234,79	1,192	1,19	1,196	0,1678	-0,3356
Çözüm birimine görev atama	1	95,92	0,326	0,324	0,327	0,6135	-0,3067
Ar-Ge çözüm araştırma	5	756,1	12,78	12,662	12,62	0,9233	1,252
Satın alma çözüm araştırma	4	605,34	12,561	13,988	12,72	-11,361	-1,266
Üretim-servis çözüm araştırma	2	261,07	8,007	9,436	8,15	-17,847	-1,786
Kalite çözüm araştırma	1	163,95	13,158	15,891	13,42	-20,771	-1,991
Ortalama çözüm araştırma	12	560,508	11,837	12,764	11,87	-7,831	-0,279
Şikâyet kapatma sistemi	16	985,698	13,663	14,585	13,715	-6,749	-0,381

Gerçek sistemin gelişler arası ve servis zamanları üstel olarak alındığında, ortalama şikâyet giderme zamanı % 6,749, bölümlerin ortalama çözüm bulma zamanı ise %7,831 daha düşük çıkmıştır. Matematiksel model ile bulunan değerler aynı şartlardaki simülasyon değerleriyle karşılaştırılmıştır. Üstel dağılımlı matematiksel modele göre 16 kişi ile ortalama 13,66 günde, günlük 985,7 TL masrafla bir adet şikâyete çözüm bulunmaktadır, gerçek dağılımlı simülasyona göre ise ortalama %6,749 daha fazla maliyetle 14,59 günde 1052,22 TL masrafla bir adet şikâyet çözülmektedir (Tablo 8). Şikâyet gelişleri ve servis sürelerinin gerçek ve üstel dağılımları Tablo 9'da verilmiştir.

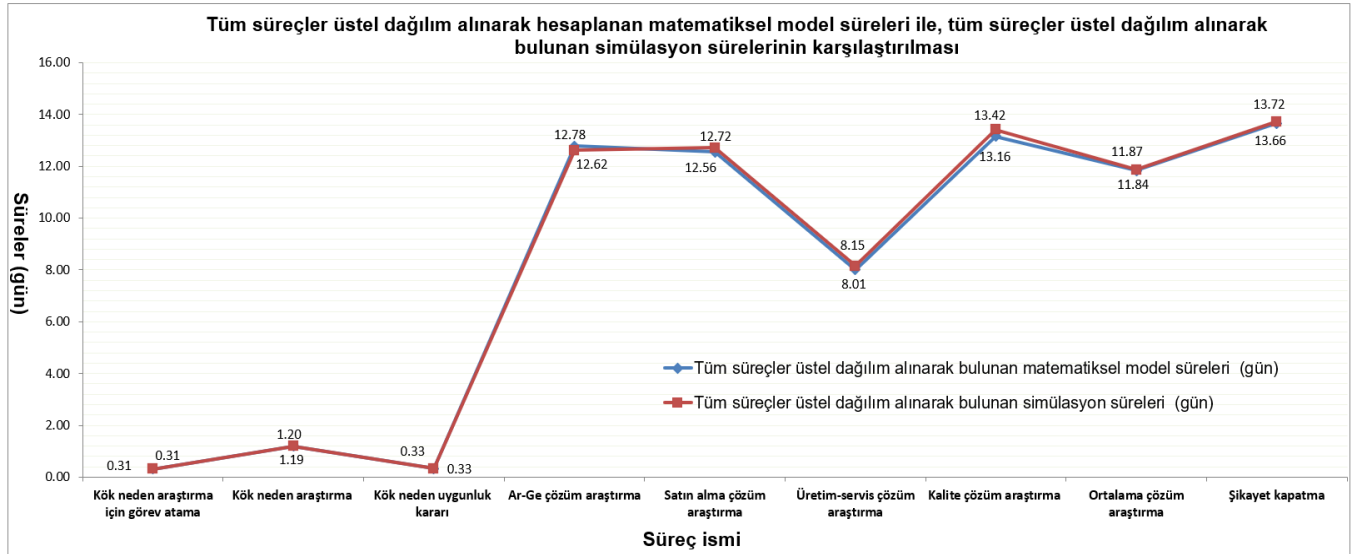
Tablo 9. Servis Sürelerinin Gerçek ve Üstel Dağılımı

Süreç ismi	Servis sürelerinin gerçek dağılımları	Servis sürelerinin üstel dağılımları
Şikâyet gelişleri	EXPO(1,55)	EXPO(1,55)
Kök neden bulma için görev atama	0,771*BETA(0,705 , 1,36)	EXPO(0,262)
Kök neden araştırma	EXPO(1,08)	EXPO(1,08)
Kök nedenin uygunluk kararı	0,821*BETA(0,712 , 1,41)	EXPO(0,275)
Ar-Ge çözüm araştırma	GAMM (11 , 11,6)	EXPO(11,9)
Satın alma çözüm araştırma	EXPO (11,4)	EXPO(11,4)
Üretim/Servis çözüm araştırma	WEIB(6,49 , 0,877)	EXPO(6,92)
Kalite çözüm araştırma	LOGN(8,68 , 14,1)	EXPO(7,85)



Şekil 13. Gerçek ve Üstel Dağılımlara Ait Simülasyon Süreleri

Servis süreleri gerçek ve üstel olan dağılımlara ait simülasyon süreleri Şekil 13'te verilmiştir. Gelişler arası ve servis süreleri üstel dağılım alınarak, aynı şartlarda hem simülasyon yöntemi ile hem de matematiksel olarak çözülmüştür. Sonuçlara göre her ikisi üstel olan matematiksel formül ile simülasyon çıktı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Her İki Üstel Dağılım Olan, Matematiksel Model ve Simülasyon Model Sonuçları

Çalışmanın sonuçlarına göre şikayet geliş zamanları ve servis zamanlarını üstel olarak almanın pratikte uygulanabilir olduğu görülmektedir. Endüstride yer alan şirketler tarafından geliş zamanları ve servis zamanları üstel dağılım alınarak ihtiyaç duyulan eleman sayıları hesaplanabilecektir. Optimum eleman kullanımı ile şirketler kendi hedeflerine uygun olarak müşteri memnuniyetini arttıracak ve elemanların verimli kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

SONUÇLAR

Müşteri şikayetlerini çözme ve müşteriye kazanmak için yapılan çalışmalar sadece ülkemizde değil tüm dünyada öncelik gösterilen bir konudur. Liu & Yen (2016) otobüs yolcularında alınan şikayetleri analiz etmiş şikayet proseslerini geliştirerek yeni model önermiştir. Belgin (2019) çalışmasında belli kısıtlar ile üretim hatlarında çalışanların işe atanma optimizasyonunu simülasyon tekniği ile tespit etmiştir. Çalışma sonucunda iş gücü verimliliğinde %4,5 düzeyinde artış, yarı mamulde ise %16,9 düzeyinde azalma olmuştur. Baykoç (2021), bir Fast Food mağazası müşterilerinin kuyrukta fazla beklemesini önlemek için, var olan sistemi incelendikten sonra, mevcut sisteme alternatif olarak önerilen sistemde ele alınan performans ölçütleri olan müşterinin kuyrukta ve sistemde geçirdiği zaman, kuyruktaki müşteri sayısı ve makina kullanım oranında önemli iyileşmeler kaydedilmiştir. Çekici

& Yüregir (2021) tarafından yapılan çalışmada ise, müşteri şikayet değerlendirme sisteminin süreçleri simülasyon metodu ile incelenmiş ve süreçler sadeleştirilerek en verimli sistem belirlenmiştir. Eski sistem sonuçları ile karşılaştırıldığında, yeni sistemin ortalama şikayet kapanma süresi %38,9 oranında kısalmıştır. Kocaer & Kuruca (2023) Servis sektörü için kuyruk modelinin simülasyonunu yapabilen, verimliliğini ölçebilen ve işgücünü optimize edebilen bir simülasyon programı (QS-Sim Tool) oluşturmuştur.

Literatürdeki çalışmalar genellikle tek yöntem ile örneğin ya simülasyon yöntemi ya da matematiksel model kullanarak problemlere çözüm aramaya çalışmıştır. Bu çalışmada ise hem simülasyon hem de matematiksel model yaklaşımı ile müşteri şikayetlerini çözme süresi ve maliyeti araştırılmıştır. Çalışmada, müşteri şikayetlerini değerlendirmek ve beklenen seviyede çözmek için süreçler belirlenmiş ve bu süreçlerin zamanları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ana süreçlerin zaman dağılımlarını kullanarak simülasyon modeli kurulmuştur. Şikâyet kapanma maliyetini minimum yapabilmek için sistemdeki optimum kişi sayısı simülasyon optimizasyon metodu ile tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca şikâyet değerlendirme sistemine ait şikâyet giderme zamanının maliyeti formüllerle matematiksel ifadelerle dönüştürülmüş ve çözüm üretilmiştir. Bu kapsamda, geliş süreleri ve servis süreleri üstel dağılım olarak alınmış olup sonrasında, hesaplanan sonuçlar aynı şartlardaki simülasyon bulguları ile mukayese edilmiştir. Karşılaştırma sonucunda simülasyon ve matematiksel model sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Servis süreleri üstel dağılımlı olan matematiksel model ve servis süreleri üstel dağılım olan simülasyon model çözümleri arasındaki şikayet kapatma süresi farkı sadece % 0,381 olmuştur. Ayrıca, servis süreleri üstel dağılım kabul edildiğinde elde edilen şikayet kapanma süresinin değeri, servis süreleri gerçek dağılıma sahip olan şikayet kapanma süresinden %6,749 daha düşük çıkmıştır. Şirketler geliş sürelerini ve servis sürelerini üstel dağılım olarak matematiksel model yöntemini kullanabilir ve şikayet kapatma süresini, kullanılacak eleman sayısını ve şikayet kapatma maliyetini hesaplayabilir. Geliştirilen modeller, şikayetlerin varışından tamamlanışına kadar olan evreleri ve hangi süreçte ne kadar zaman harcandığını ve optimum eleman sayısını belirlemektedir. Bu modellerden faydalanarak elemanların sayısının artırılması/azaltılması durumunda hangi süreçlerde darboğaz yaşanacağı da belirlenmektedir. Çalışmada uygulanan yöntemler sadece müşteri şikayetleri için değil ayrıca üretim hatlarında, lojistik zinciri uygulamalarında ve diğer sektörlerde hayata geçirilebilir. Modele ilave süreç ve eleman eklenerek/çıkarılarak yeni uygulamalar yapılabilir. Bu model, endüstride hem servis hem de üretim sektörü gibi birçok alanda uygulanabilme özelliğine sahiptir. Farklı şirketler kendi süreçlerini bu yöntemle uyarlayabilir ve sonuçlar elde edebilir. Gelecekte yapılabilir çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir.

- i. Çalışmamız üretim ve servis sağlayan firmalar için şikâyetleri ele alma proseslerini kapsamaktadır. Fakat farklı sektörlerde ve farklı servis süreçlere ait veriler ile yeni uygulamalar yapılabilir.
- ii. Müşteri şikâyet sisteminin simülasyonu için Arena yazılımından faydalanılmıştır. Genetik algoritma, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi farklı yöntemler kullanarak çözümler bulmaya çalışılabilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmayı MMF2011D1 numaralı proje ile destekleyen Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, H.A. & Tatar, B. (2009). Hava limanında Kuyruk Simülasyonu: İzmir-Gaziemir Adnan Menderes Havalimanı Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi; 11(3): 03-12.
- Akın, H.K, Ordu M. (2022). A Novel Simulation-Based Two Stage Optimization Approaches For Nurse Planning, International Journal of Simulation Modelling, 21(4): 591-601.
- Altrok, T., & Melamed, B. (2007). Simulation Modelling and Analysis With Arena. Academic Press, Elsevier, USA, 440s.
- Armaneri, Ö. (2005). Bir Montaj Hattı Üretim Sisteminde Optimal İşgücü Dağılımının Arena Proses Analyzer (PAN) ve OptQuest Kullanılarak Belirlenmesi. Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Dergisi, 11(1), 1-16.
- Atalan, A. (2022). A cost analysis with the discrete-event simulation application in nurse and doctor employment management. Journal of Nursing Management, 30(3), 733-741.
- Atalan, A., Şahin, H., & Atalan, Y. A. (2022, September). Integration of Machine Learning Algorithms and Discrete-Event Simulation for the Cost of Healthcare Resources. In Healthcare (Vol. 10, No. 10, p. 1920). MDPI

- Atalan, A., & Dönmez, C.C. (2020), "Optimizing experimental simulation design for the emergency departments", *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 17(4). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2020.02>
- Atalan, A., & Donmez, C. C. (2019). Employment of emergency advanced nurses of Turkey: A discrete-event simulation application. *Processes*, 7(1), 48.
- Bahari, A., & Asadi, F. (2020). A Simulation Optimization Approach for Resource Allocation in an Emergency Department Healthcare Unit. *Global Heart*, 15(1): 14. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.528>
- Baş, İ., Tosun Ö., & Bayram, V. (2021). Robot yer seçimi ve işçi-istasyon ataması düşünceleri altında hat dengeleme optimizasyonu. Bir bulaşık makinesi fabrikası vaka analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 495-503.
- Baykoç, Ö.F., Abacı, S., & Duyar, M. (2002). Tam Zamanında Üretim Sisteminin Servis Sistemlerine Uygulanabilirliği. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 17(4), 139-155.
- Belgin Ö. (2019). Hybrid approach in a production line for multi-objective simulation optimization. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4): 1847-1859.
- Carson, Y., & Maria, A. (1997). Simulation Optimization. Methods & Applications. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference* ed.
- Çekici, V., & Yüregir O.H., (2021). Process optimization of the customer complaints handling system and a new customer oriented model proposal, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36:2, 855-869.
- Çekici, V., & Yüregir O.H., (2020). Investigation and Analysis of Customer Complaints Handling System of the Companies in Turkey, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 35 (3), 753-768.
- Çekici, V (2013). A Conceptual Model For Customer Complaint Handling Processes And Evaluation With Simulation Optimisation Method, *Cukurova University, Faculty of Engineering and Architecture, Industrial Engineering Doctoral Thesis*, Adana p247.
- Davidow, M. (2003). Organisational Responses to Costomer Complaints. What Works and What Doesn't. *Journal of Service Research*, 5(3), 225-250.
- Düzgit, Z., Toy, A.Ö, Çoban, S., Alibaşoğlu, Z., Tok, Ö., Özkeskin, Ö.T., Karakaya, M., & Bayrak, Y. (2019). Hizmet lojistiğinde iş atama ve rotalama politikaları tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(9), 1071-1079.
- Estelami, H. (2000). The Profit Impact of Consumer Complaint Solicitation Across Market Conditions. *Journal of Professional Services Marketing*, 20 (1): 165- 195.
- Faed, A., Chang, E., Saberki, M., Hussain, O.K., & Azadeh, A. (2016). Intelligent Customer Complaint Handling Utilising Principal Component and Data Envelopment Analysis (PDA). *Applied Soft Computing*, 47 (1), 614-630.
- Fornell. C., & Wernerfelt, B. (1998). A Model for Customer Complaint Management Source. *Marketing Science*, Published by INFORMS, 7(3), 287-298.
- Greasley, A., & Barlow, S. (1998). Using simulation modelling for BPR: resource allocation in a police custody process. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(9/10), 978-988.
- Güleryüz, S.S., Koyuncu M. (2023). Simulation of Intensive Care Bed Capacity Based On Mixture Distribution. *International Journal of Simulation modelling*, 22(2), 221-232.
- Hamad, W. A., & Arisha, A. (2013). Simulation-based framework to improve patient experience in an emergency department. *European Journal of Operational Research*, 224, 154-166.
- Hillier, F.S., & Lieberman, G.J. (2010). *Introduction to Operations Research* Ninth Edition, The McGraw-Hill Companies, page: 1075.
- İbiş, S., Kızıldemir, Ö., & Çöp, S. (2019). Evaluation of comments and e-complaints for five star hotel enterprises in Afyonkarahisar, *Electronic Journal of Social*, 18 (71), 1315-1324.
- Kim, C., Kim, S., Im, S., & Shin, C. (2003). The effect of attitude and perception on consumer complaint intentions. *Journal of Consumer Marketing*, 20 (4), 352-371.

- Koruca, H.İ., & Kocaer, E.R.(2024). Simulation software development and workforce optimization for service systems: QSSim software. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(1), 77-89.
- Lin, S.Y., & Horng, S.C. (2006). Ordinal Optimization Approach To Stochastic Simulation Optimization Problems And Applications. *Proceeding of the 15th Lasted International Conference. Applied Simülation and Modeling*. 26-28.
- Liu, W.K., & Yen, C.C. (2016). Optimizing Bus Passenger, Complaint Service through Big Data Analysis. *Systematized Analysis for Improved Public Sector Management. Sustainability*, 8 (12), 1-21.
- Mattila, A.S., & Mount, D.J. (2003). The impact of selected customer characteristics and response time on E-complaint satisfaction and return intent. *Hospitality Management*, 22, 135–145.
- Mutlu, Ö., Karagül, K., & Şahin, Y. (2022). Ulaştırma probleminin başlangıç uygun çözümünün belirlenmesi için en büyük maliyetten kaçınma yöntemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(4), 569-576.
- Ordu, M. (2022). A Simulation-Based Decision-Making Approach to Evaluate the Returns on Investments. *International Journal of Simulation Modelling*, 2022, 21(3), 441-452. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM21-3-609>.
- Ordu, M. & Korhan, E. (2022). Simülasyon Destekli Tesis Yerleşim Tasarımı ve İyileştirme Çalışmaları: Bir Tekstil Firması Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(Özel Sayı), 26-39. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1034177>
- Ordu, M., Eren, D., TOFALLIS, C. (2020). Simulation-Based Outpatient Clinic Capacity Management Integrated With Population Growth Projection, *Journal of Industrial Engineering* 31(3), 411-429.
- Rossetti, M.D. (2010). *Simulation Modeling and Arena*. Editor: Repasky, N. And Ruel, C, John Wiley & Sons, Inc., Danvers, USA, 573.
- Şenses, S., Gölbaşı, O., & Bakal, İ.S. (2022). Madencilikte bir yedek parça envanter optimizasyonu çalışması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 128-138.
- Tian, X., Vertommen, I., Tsiami, L., Thienen, P., & Paraskevopoulos, S. (2022). Automated Customer Complaint Processing for Water Utilities Based on Natural Language Processing. *Case Study of a Dutch Water Utility Water*, 14, 674.
- Timur, M.N., & Sarıyer, N. (2004). Kayseri'deki Otomobil Bayilerinde Müşteri Tatmin Aracı Olarak Şikâyet Toplama Yöntemlerine İlişkin Bir Uygulama. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1 (17) , 9-32.
- Uncu, & Koyuncu, M. (2023). An improved emergency medical service system simulation-optimization model with Poisson mixture distribution, *Journal of Engineering Research*, 11(3), 100-111.