

Paralel Hizmet Sağlayıcı ve Tek Kuyruklu Sistemlerin Bulanık Kontrolü

Salih Aka¹

Özet

Kuyruk problemleri müşteri ile doğrudan temas kurmak isteyen hizmet işletmelerinin çözmesi gereken en önemli konulardan biridir. Müşteri almak istediği hizmeti mümkün olduğunca beklemeyen ve işlem sırasında hiç vakit kaybetmeden elde etmek istemektedir. Hizmet işletmeleri bu sorunun üstesinden gelebilmek için hizmet sağlayıcı birim sayısını artırabilir ama bu durum da hizmet maliyetini artıracaktır. Hizmet sağlayıcı kapasitesi belirlemek ise problemin stokastik yapısı gereği belirsiz olduğundan dinamik ve sezgisel yöntemlerle etkin çözüm elde etmek oldukça zordur. Bu çalışmada bulanık operatörler kullanılarak paralel hizmet sağlayıcı ve tek kuyruklu bir hizmet işletmesinde hizmet sağlayıcı kapasitesi için farklı senaryolar doğrultusunda en uygun hizmet kapasitesi belirlemeye yönelik alternatif yöntem önerilmektedir. Analiz için sistemdeki müşteri sayısı, hizmet sağlayıcı sayısı, elde tutma maliyeti ve trafik sıklığı bulanık girdi parametreleri sonucu oluşan çıktı parametresi durumu incelenmiştir. Bulanık mantık dilsel değişkenler aracılığıyla parametreler doğrultusunda matematiksel bir çözüm uzayı yaratarak alternatifler içerisindeki uygun çözüme ulaşmayı kolaylaştırmaktadır. Kullanıcı dostu ara yüzü olan Matlab fuzzy toolbox 'dan faydalanılan çalışmanın, bu alanda araştırma yapmak isteyenler için örnek olması amaçlanmaktadır.

1. Giriş

Günümüz hizmet işletmeleri rekabetin ve çeşitliliğin bu derece yoğun olduğu ekonomik ekosistem içerisinde varlığını devam ettirebilmek için hizmet kalitelerini artırmaları gerekmektedir. Mevcut hizmet kalitesi ise hizmet düzeyinin sürekli ve etkin olarak çalışması ile sağlanabilmektedir. Hizmet işletmelerinin talebin yoğun olduğu dönemlerde yeterli hizmet

1 Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, salih.aka@erzincan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6386-8582

birimiyle hizmet sağlayamadığı durumlarda müşterilerin beklmelerinden kaynaklı bir yığılma meydana gelir ki bu durum kuyruk olarak ifade edilmektedir. Müşterinin hizmet kalitesinden beklentisi sırada bekleme zamanının düşürülmesi ve hatta mümkünse sıfırlanması yönündedir.

Hizmet işletmeleri bu beklenti karşısında iki temel paradigma ile karşılaşmaktadır. Kaliteyi artırmak için servis sağlayıcı sayısını artırarak kuyrukta bekleme sürelerini azaltmak ya da müşteri kaybına göz yummak olarak ifade edilecek bu iki yaklaşımın da doğal sonuçları maliyet olarak ortaya çıkmaktadır. İşletmelerin varlık sebebi müşteri kazanmak olduğu için müşteri kaybının önüne geçmek adına hizmet birimini genişletmek en kolay çözüm olarak görülebilir. Bu sayede talebe çevik ve hızlı bir şekilde cevap verebilmek mümkün hale gelmektedir. Fakat talebin düşük olduğu zamanlarda fazladan açılan hizmet biriminin boşta kalması ise etkinlik problemini beraberinde getirmektedir.

Hizmet işletmeleri için talebi zamanında karşılamak önemli olsa da fazladan hizmet birimi açmanın getirdiği maliyet de zorlayıcı olabilmektedir. Bu durum birbiriyle çelişen ve çözüm bekleyen iki amacı olan bir problem haline gelmektedir. Ayrıca talep parametresinin belirsiz olması bu problemleri zorlaştırmakta ve kendi başına ele alınmalarını gerektirmektedir. Kuyruk modelleri belirsiz talep altında en uygun bekleme sürelerinin tespiti üzerine yoğunlaşmaktadır. Bir başka deyişle, kuyruk modelleri hizmet kalitesinden ödün vermeden en az maliyetle en uygun kapasite seviyesini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Kuyruk modelleri kuyruk sistemlerinin davranışlarını tahmin edebilmek için matematiksel araçları kullanır. Bu tahminler, sistemdeki n müşteri sayısı, kuyruk uzunluğunun ortalaması, bekleme zamanlarının ortalaması ve benzer kriterler göz önüne alınarak yapılmaktadır. Böyle bir sistemi modellemek için gerekli olan araçlar, müşterilerin gelişlerini tanımlayan stokastik bir süreç, müşterilerin ayrılış ya da işlemlerini tanımlayan stokastik bir süreç, hizmet veren sayısı, sistem kapasitesi, müşteri popülasyonunun büyüklüğü, kuyruk disiplini (FIFO, LIFO, vb...) gibi parametrelerdir (Zhang, Phillis ve Kouikoglou., 2005, s. 1).

Kuyruk modellerinin üzerinde en çok durulan konularının başında kuyruk kontrolü gelir. Kuyruk sistemlerinin kontrolü üretim, bankacılık, iletişim ağı gibi çok geniş alanda karşımıza çıkmaktadır (Tadj ve Choudhury, 2005, s. 360). Kuyruk modellerinde müşteri gelişleri ve hizmet sıklığı dağılım olarak ifade edilmektedir. Fakat gerçek hayat problemlerinde bu değişkenleri “hızlı, vasat, yavaş” tarzı dilsel değişkenlerle tanımlamak çok daha kullanışlı olabilmektedir. Buradan hareketle gerçek hayat problemlerinin kesin

parametrelerle modellenmesi yerine bulanık kontrol edicilerle modellenmesi çözüme ulaşmayı kolaylaştırmıştır.

Kuyruk modelleri servis sağlayıcılar, ve kuyruk sayıları açısından farklı örüntüler baz alınarak modellenmektedir. Pardo ve De La Fuente (2007, s. 272-280) öncelikli kuyruk ve öncelikli olmayan kuyruk şeklindeki iki farklı disiplindeki kuyruk modelini incelemiştir. Aydın ve Apaydın (2008) çok kanallı kuyruk sistemlerinin modellenmesi ve farklı üyelik fonksiyonları kullanarak benzetim yapılması üzerine bir çalışmaları bulunmaktadır. Zhang ve diğerleri (2005) kuyruk parametreleri üzerindeki değişimleri ve sonuçlarını içeren geniş bir derleme sunmaktadır.

Bu çalışmada da tek bir kuyruğa aynı anda hizmet sağlayan birden fazla hizmet biriminin durumu incelenmiş ve en uygun hizmet kapasitesinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Problemin analiz edilmesinde Matlab fuzzy toolbox'dan faydalanılmış problem arayüzlerle modellenerek farklı senaryolar için deneysel çalıştırılmıştır.

2. Kuyruk Sistemleri

2.1. Kuyruğun Modellenmesi

Kuyruk optimizasyonu problemlerinde genel olarak benzer kriterler kullanılmaktadır. Bu tarz problemlerin çözümünde dinamik programlamadan faydalanılabilir fakat dinamik programlama büyük problemlerin çözümü için oldukça zor hale gelebilmektedir. Karmaşık problemlerin çözümünde sezgisel yöntemler de bir çözüm alternatifidir fakat bu yöntemler de daha yargıya dayalı kaldığından çoğu zaman tatminkâr sonuçlar sunamamaktadır. Bulanık mantık mantalitesine dayalı modeller her iki yöntemin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya adaydır. Model tasarlanırken, λ gelişler arası süresinin ortalaması, μ işlemler arası sürenin ortalaması ve K sistem kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Problemin kontrolünü sağlayacak parametreler ise hizmet sağlayıcı sayısının kontrolü, servis sıklığının kontrolü, kuyruk disiplininin kontrolü, müşteri kabullerinin kontrolü gibi kriterler olabilmektedir.

2.2. Kuyruk Modelleri

Kuyruk kontrolleri üretim, iletişim, taşıma, kentsel sistemler ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Amaç sınırlı kaynakları performans ölçütünü optimize edecek şekilde paylaşmaktır. Her bir müşteri bir sonraki istasyona geçebilmek için kuyruk adı verilen kanallarda kendi sırasının gelmesini beklemektedir. Yolcunun durakta gelecek olan aracı beklemesi, bir önceki üretim istasyonunda süreci tamamlanan parçanın rotası gereği bir sonraki

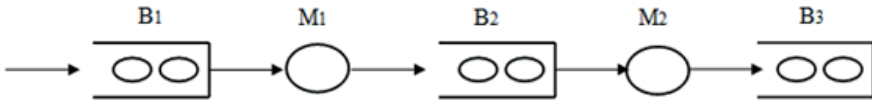
aşamaya geçeceği makinenin hâlihazırda başka bir iş için çalışıyor olmasından dolayı parçanın sırasını beklemesi gibi örnekler birer kuyruk problemidir. Aşağıda kuyruk kontrolüne birkaç örnek bulunmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 13-14). Şekil 1.'de tek hizmet sağlayıcı ve tek kuyruk görülmektedir. Müşterinin kuyruқта bekleme süresi vardır ve bu süre ile hizmet sıklığı belirleyen hizmet sağlayıcıdır.

Tek kuyruk tek hizmet sağlayıcı modeli



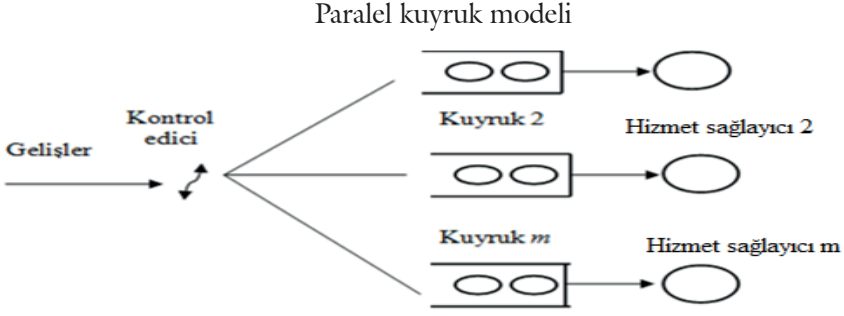
Şekil 1. Tek kuyruk tek hizmet sağlayıcı modeli

Üretim sistemlerinde ise yaygın olarak karşılaşılan kuyruk tipi modeli sıralı makine ve iş şeklinde konumlandırılan seri kuyruklardır. Kontrol ediciler iş parçalarının geliş, makinelerin ise işlem sıklığı doğrultusunda belirlenmektedir. Şekil 2. seri kuyruk sistemini göstermektedir.



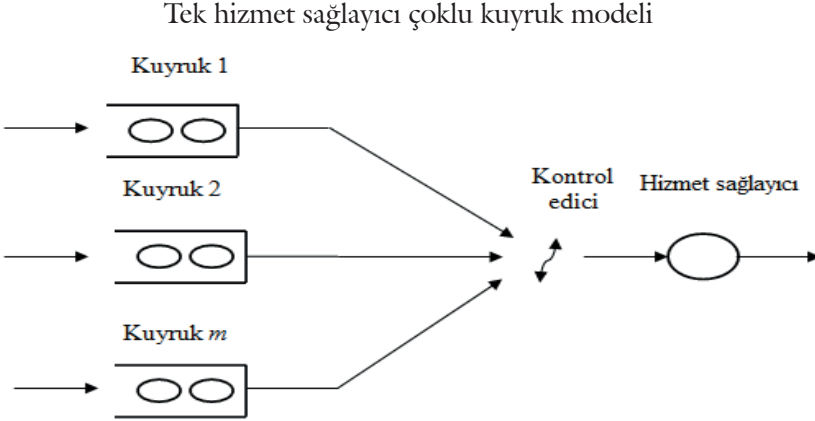
Şekil 2. Seri kuyruk sistemi modeli

Şekil 3.'deki diğer bir sistemde çok sayıda kuyruk ama aynı sayıda hizmet sağlayıcı bulunmaktadır. Hizmet sağlayıcılar farklı hizmet sıklığına sahiptir. Müşterinin hangi hizmet sağlayıcıya gideceğine kontrol edicilerin değerlendirmesi belirlemektedir.



Şekil 3. Paralel kuyruk modeli

Çok sayıda kuyruk ve tek hizmet sağlayıcıdan oluşan sistem de Şekil 4. de gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Tek hizmet sağlayıcı çoklu kuyruk

Şekil 4. Tek hizmet sağlayıcı çoklu kuyruk modeli

3. Bulanık Operatörler ve Bilgi İlişkisi

Bilgi ve bilginin fonksiyonu bulanık kontrolün önemli dayanak noktalarından biridir. Bilgi tabanlı olmayan sistemler matematiksel modeller içerir ve bilgiye ihtiyaç duymaz. Bulanık kontrolde ise aksine sistemin başarısı sağlanan sağlam bilginin kalitesine bağlıdır. Bilgiyi sağlama yolu ise üzerinde çalışılan sistemin yürütücüleri yani operatörleridir. Bir başka deyişle bilgi biraz da bu yürütücülerin tecrübelerine dayanır. Elde edilen bu bilgi de bulanıklaştırılarak sisteme dahil edilir. Bu aşamadan sonra bulanıklaştırılmış bilgi yani veri bulanık kontrol sistemi tarafından işlenir ve bir çıkarım elde

edilmektedir. Eğer bilgi ve çıkarım bulanık ise bu tür sistemlere bulanık bilgiye bağlı kontrol ediciler adı verilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 27-28).

3.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma yapılırken öncelikli girdi değişkenlerinin doğru belirlenmesi ve bu değişkenlerin sınırlarının tam olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bulanık kontrol edicide kullanılacak olan $[0-1]$ sayı uzayı problemin yapısına göre normalize edilebilir (Chude-Olisah, Chude-Okonkwo, Bakar ve Sulong, 2013, s. 359). Gerçekleştireceğimiz çalışmada $[-6-6]$ sayı aralığı alınmıştır. Bulanıklaştırma girdi verilerinin bulanık kontrol sistemince işlem yapılabilir hale getirilmesi olarak ifade edilebilir. Dilsel değişkenler girdi değişkenlerine ait sözel veriyi hesaplanabilir, işlem yapılabilir başka bir deyişle matematiksel formata dökülebilir hale getirmektedir. Bulanık işlemcilerin kendi çalışma mantığından dolayı herhangi bir başka matematiksel modele ihtiyaç duyulmamaktadır.

3.2. Veri ve Kural Tabanları

Veri tabanı dilsel kontrol aracılığıyla alınan verinin bulanıklaştırma ve normalleştirme için bulanık operatörlerin işlem yapabilmesine imkan sağlayacak şekilde görev yapmaktadır. Bu işlem için ilk adımda hem girdi ve hem de çıktı değişkenleri çeşitli üyelik fonksiyonlarına uyarlanmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının seçimi konusunda veri yapısının ve karar vericinin seçimlerinin önemi bulunmaktadır. Veriye uygun veri tabanı seçimi modelin etkin çalışmasına katkı sağlamaktadır. İkinci adımda ise üyelik fonksiyonlarının çalışacağı normalize sayı aralığının belirlenmesi gelmektedir.

Kural tabanı girdi değişkenlerinin sayısından etkilenmekte ve kural tabanı büyüklüğü girdi değişkenlerinin katı olarak hesaplanmaktadır. Çok sayıda girdi değişkeni ele alınırsa problemin yapısı büyümekte ve kural tabanı homojenliğini yitirebilmektedir. Bu durum çözüme ulaşmayı zorlaştırarak çözümün kalitesini düşürmektedir. Kural tabanı, uzmanın belirlediği kontrol hareketlerinin özeti olarak düşünülebilir. Kural tabanı oluşturulurken problemin yapısı için en fazla önem taşıyan az ama kapsayıcı değişkenlerin tespit edilmesi gerekmektedir (Magdalena, 2015, s. 209).

Kuyruk sistemi için tipik girdi değişkenleri; gelişlerin ortalaması, çıkışların ortalaması, kuyruk uzunluğu iken, tipik kontrol ediciler, hizmet sıklığı, hizmet disiplini (önce gelen önce hizmet görür gibi...), hizmet sağlayıcı açıp açmama ve gelen müşterinin hangi hizmet sağlayıcıya yönlendirileceği gibi karar değişkenleri olabilir (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 30).

Girdi değişkenleri belirlendikten sonra bu değişkenlerin ifade edileceği üyelik fonksiyonları ve üyelik fonksiyonlarının sayı aralığının belirlenmesi gerekmektedir. Üyelik fonksiyonları bulanıklaştırma işleminin doğru yapılabilmesi için önem taşımaktadır.

Son aşama girdi değişkenleri ve çıktı değişkenleri dikkate alınarak “eğer-o zaman” şeklindeki sebep sonuç ilişkisine benzer kural setlerinin oluşturulmasıdır (Chude-Olisah ve diğerleri, 2013, s. 360). Kural tabanı uygulayıcının kararları ile belirlenebileceği gibi daha önce yapılmış benzer bir çalışmadan da elde edilebilir. Kuyruk modeline ait değişken setleri modellenebilir durumda ise kural tabanı matematiksel modeller aracılığıyla da elde edilebilmektedir.

3.3. Çıkarım Makinesi

Çıkarım makinesi kural tabanında oluşturulmuş sebep sonuç ilişkilerine dayalı kuralları çıktı elde edebilmek için birleştirme işlemi yapan operatördür. Bulanık operatörler için çıkarım işleminde genellikle Mamdani çıkarımı kullanılmaktadır. Çıkarım makinası tüm kuralları tek bir bulanık ilişki halinde toplar. Daha sonra bulanıklaştırılmış girdi ile bulanık ilişki tek bir bulanık kontrol çıktısı elde etmek için birleştirilir. Maks-min ilişkisi yardımı ile her bir kural tek tek ele alınır ve çıktısı tutulur. Bunu Mamdani çıkarımı yardımı ile kurarak sağlamaktadır (Mohammad, Mostafa, Abbas ve Farouq, 2015, s. 25).

3.4. Normalleştirme

Değişkenlerinden elde edilen veriler bulanık operatörlerce işlenebilmek için öncelikle bulanıklaştırılması gerekmektedir. Bulanık operatörlerden elde edilen sonuçlar ise gerçek hayatta kullanılabilir formatta değildir. Bulanık mantık işlemleri sonrası çıktı değişkenlerine ait bulanık değerlerin anlamlandırılabilmesi için durulama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Mamdani çıkarım mekanizması sonrası durulama işlemi yapabilmek için çeşitli teknikler bulunmaktadır. Ağırlık merkezi, ilk maksimum, en geniş alanın merkezi ve maksimumun merkezi gibi çeşitli normalleştirme yöntemlerinin yanı sıra yükseklik metodu kuyruk modelleri için kullanışlı bir yöntemdir. Yükseklik metodunda her durumun üyelik fonksiyonundaki uç noktası ve buna karşılık gelen üyelik derecesi hesaba alınır. e_i , u_i durumunun tepe noktası, f_i üyelik derecesi olsun (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 34);

$$u_c = \frac{\sum_{i=1}^k e_i f_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad (1)$$

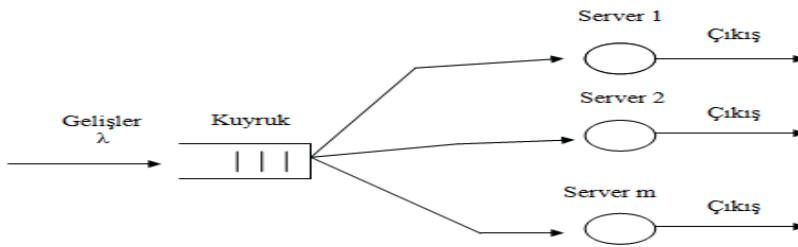
formülasyonunu kullanan yüksekli metodu hesaplaması kolay ve bulanık sistemler için oldukça uygundur. (Pham ve Castellani, 2002, s. 758).

4. Uygulama

4.1. Kuyruk Modeli

Çalışmada Şekil 5.'de görülen çoklu ve paralel hizmet sağlayıcılar ile sınırsız kapasiteli tek bir kuyruktan oluşan model incelenmiştir. Hizmet sağlayıcı sayısı $1'$ den m' e kadar giderken her bir hizmet sağlayıcının açık ya da kapalı olma durumu vardır. Poisson dağılımına uyan müşteri gelişleri λ parametresi ile sembolize edilmiştir. Hizmet sağlayıcıların hizmet sıklığı da μ ile ifade edilmiştir. Kuyruğun azaltılması ve sistemin tıkanmaması için bu iki parametre arası ilişkinin $\lambda > \mu$ olması gerekmektedir. Modelde üç tip maliyet kalemi oluşmaktadır: Birim zamandaki hizmet gören müşteri için hizmet maliyeti rK , hizmet sağlayıcı açma kapama maliyeti R ve sistemdeki birim müşteri için elde tutma maliyeti h (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 47).

Tek hizmet sağlayıcı çoklu kuyruk modeli



Şekil 5. Uygulama kuyruk modeli

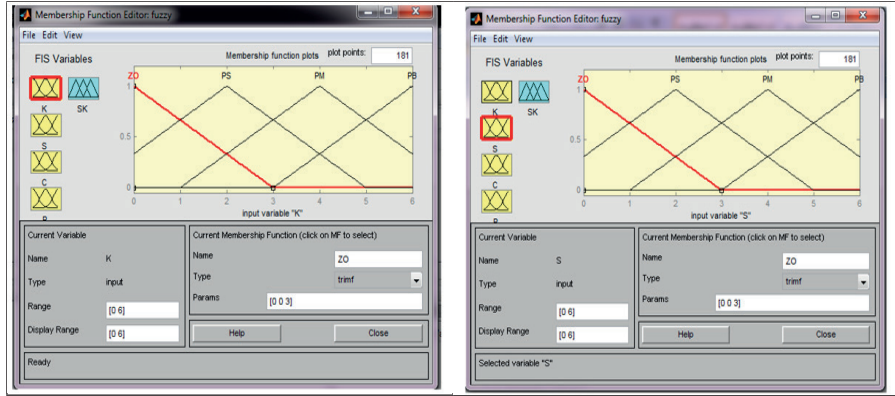
4.2. Parametreler

Sistemin maliyet kalemlerinden hareketle temelde 3 parametre ile modeli ifade etmek mümkündür. Sistemdeki i anındaki müşteri sayısı s_i , hizmet sağlayıcı sayısı K ve elde tutma maliyeti c ile gösterilsin. Bu durumda verimli bir sistem için elde tutma maliyetine dair eşitlik aşağıdaki gibidir (Zhang ve diğerleri, 2005, s. 48):

$$c = h \sum_{i=1}^n (s_i - K) \quad (2)$$

Sistemin çalışmasına etki eden diğer bir girdi parametresi p ile gösterilen trafik sıklığıdır. $p = \lambda / \mu$ oranı ile sistem kapasitesi ifade edilmektedir.

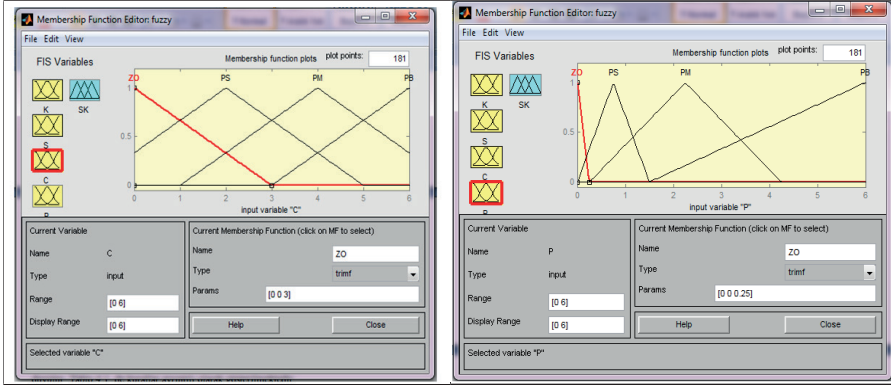
Yapılan çalışmanın sonucu bulunan “SK” modelin çıktısıdır. Bu çıktı normalleştirme işleminden sonra i durumu için gerekli hizmet sağlayıcı

Şekil 7. K ve s üyelik fonksiyonları

K ve s parametreleri birbiri ile alakalı ve doğrudan hizmet sağlayıcı sayısından etkilenen üyelik fonksiyonlarına sahiptir. Benzer tepkilere sahip olduklarından üyelik fonksiyonları benzer yapıdadır. Matlab fuzzy toolbox'da üyelik fonksiyonları tanımlanırken normalleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 7.'de s parametresi üyelik fonksiyonu sunulmaktadır.

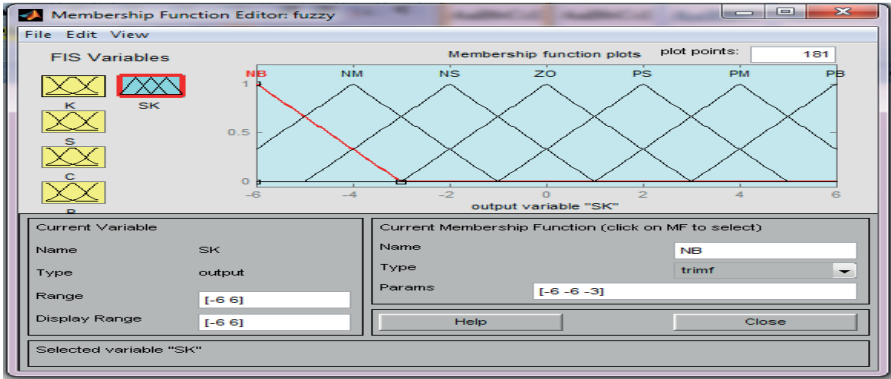
Bir sonraki üyelik fonksiyonu birikmiş elde tutma maliyetini ifade eden c üyelik fonksiyonudur. Birikmiş elde tutma maliyeti müşteri gelişlerinden etkilenmekte ve açma kapama maliyeti R tarafından yönlendirilmektedir. Bu iki parametre arasında $C \geq R$ durumu gerçekleşirse yeni bir hizmet sağlayıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 8. c üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

Girdi değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarının sonucusu yine Şekil 8.'de görülen p ye ait üyelik fonksiyonudur. Trafik sıklığını ifade eden p üyelik fonksiyonu diğerlerinden farklılık göstermektedir. Yapı olarak trafik sıklığı ve elde tutma maliyeti birbirine benzemektedir çünkü her ikisi de müşteri gelişlerinden etkilenmektedir. b , sistemdeki müşteri sayısı ile beraber birikmiş elde tutma maliyetini oluşturmaktadır. Dolayısıyla c ve b arasında bir ilişki söz konusudur. Müşteri gelişleri olan λ sistemdeki müşteri sayısı olarak ifade edilen n 'den etkilenir ve bu etki doğrudan p 'ye yansır.



Şekil 8. c ve p üyelik fonksiyonları

Çıktı değişkenine ait olan SK üyelik fonksiyonunun diğerlerine göre farkı aralığı ve kullandığı fazladan dilsel değişkendir. Şekil 9. SK üyelik fonksiyonunu içermektedir. Bütün girdi değişkenlerinin değerlendirilmesine imkan veren çıktı değişkeni, diğerlerinin aksine $[-6, 6]$ aralığında normalize edilmektedir. Bu sebeple negatif dilsel değişkenlerden de faydalanmaktadır.



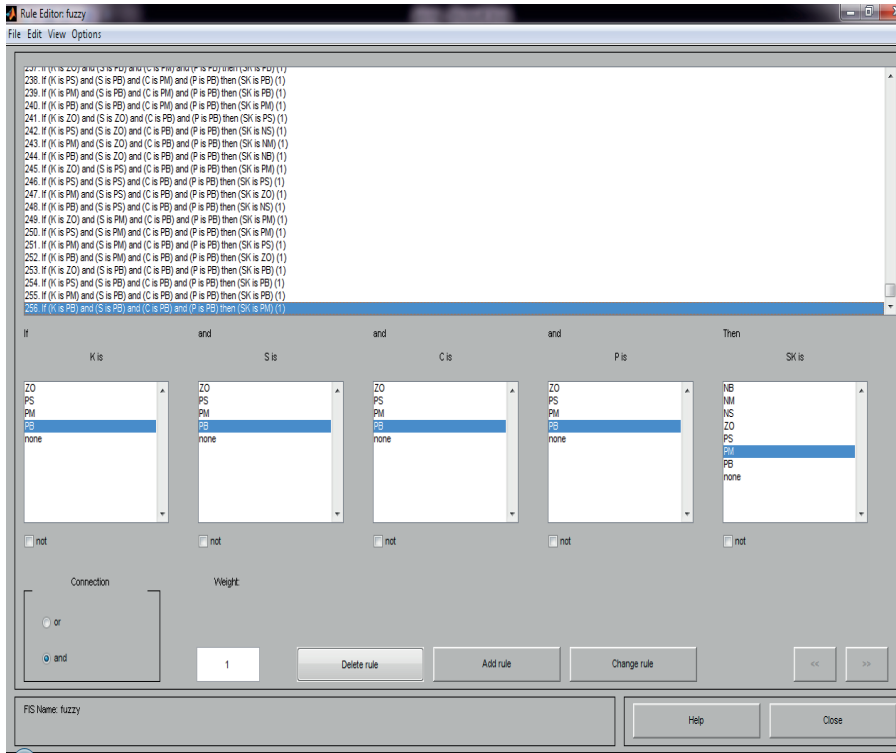
Şekil 9. SK üyelik fonksiyonu

4.4. Kural Tabanı ve Çıkarım Arayüzü

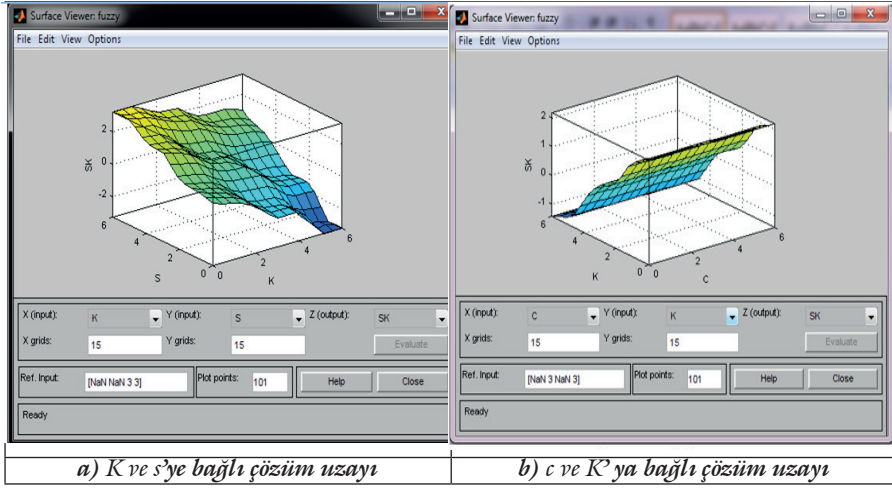
Kural tabanı girdiler arasında mantıksal işlem yapıлып çıktı elde edilmesi için gerekli olan kontrol edicidir. Yapmış olduğumuz çalışmada 4 değişken vardır ve her bir değişkenin kendi arasındaki mantıksal karşılaştırmaları göz önüne alındığında $4^4=256$ adet kurala ihtiyaç duyulur. Kural tabanında ihtiyaç duyulan sebep sonuç ilişkileri için hazır setlerden faydalanılmıştır

(Zhang ve diğerleri, 2005, s. 51). Bunun yanında Şekil 10. kural tabanının matlab ile modellenmesini içermektedir.

Tüm girdi değişkenleri ve kural tabanı girildikten sonra çözüm uzayı çıkarım ara yüzü modülü ile gösterilir. Yapılacak olan tüm bulanık işlemler bu çözüm uzayı içerisinde olmaktadır. Şekil 11.'de değişkenler için çıkarım ara yüzü gösterimleri yer almaktadır.

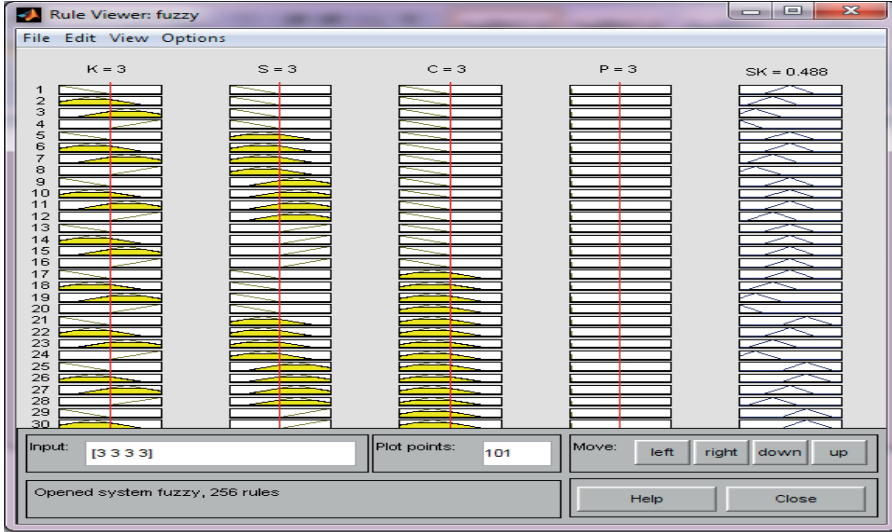


Şekil 10. Kural tabanı modeli



Şekil 11. Değişkenler arası çıkarım ara yüzü örnekleri

Şekil 12.'de çıkarım mekanizması gösterilmektedir. Çıkarım mekanizmasına değişken değerlerinin üyelik fonksiyonundaki skala değeri girilmekte ve yine çıktıya ait üyelik fonksiyonunda bir skala değeri elde edilmektedir. Bilindiği gibi bu değer birden fazla üyelik fonksiyonu derecesi verebilmektedir. Bunun sonucunda elde edilen değerler normalleştirme işlemine tabi tutulur.



Şekil 12. Çıkarım mekanizması

4.5. Sayısal Analiz

Analizi yapılmak üzere M/M/4 sistemi ele alınmış, müşterilerin kuyruğa gelişlerinin ortalama 30 sn.' de bir olduğu ve yine hizmet sıklıklarının ortalama 40 sn.' de bir yani bir müşterinin hizmet sağlayıcı önünde aldığı hizmet süresinin 40 sn. olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle müşteri gelişleri $\lambda = 1/30$, hizmet sıklığı $\mu = 1/40$ olarak alınır. Yine bir müşteriyi elde tutma maliyetinin 0.04 br maliyet ve hizmet sağlayıcı açma-kapama maliyetinin 20 br maliyet olduğu belirlenmiştir.

Daha önce anlatıldığı gibi bulanık kuyruk parametreleri genel olarak müşteri gelişleri, hizmet sıklıkları, açma- kapama maliyeti gibi girdi verileri yoluyla belirlenmektedir. Dolayısıyla:

$$p = \lambda / m\mu = 0.34$$

$$c = 1 / mR = 0.0125$$

$$K = s = 1 / m = 0.25$$

Bu değerlerin hepsinin kullanabilmesi için bulanıklaştırılması gerekir. Bunun için çözüm uzayı $[-1, 1]$ aralığından $[-6, 6]$ aralığına dönüştürülür ve değerler 6 ile çarpılır. Bu durumda başlangıçta $p=2$, $c=0.075$, $K=s=1.5$ olarak alınır. Örneğin, sistemde 1 müşteri olduğunu ve hizmet sağlayıcılardan hiçbirinin açık olmadığı durumu ele alalım. Değişkenlerin alacağı skala değeri ve dilsel değişken değerleri ile çıktı değeri olan SK^2 nın değerleri Tablo 1.' de verilmiştir.

Tablo 1. Koşul 1. için SK değeri

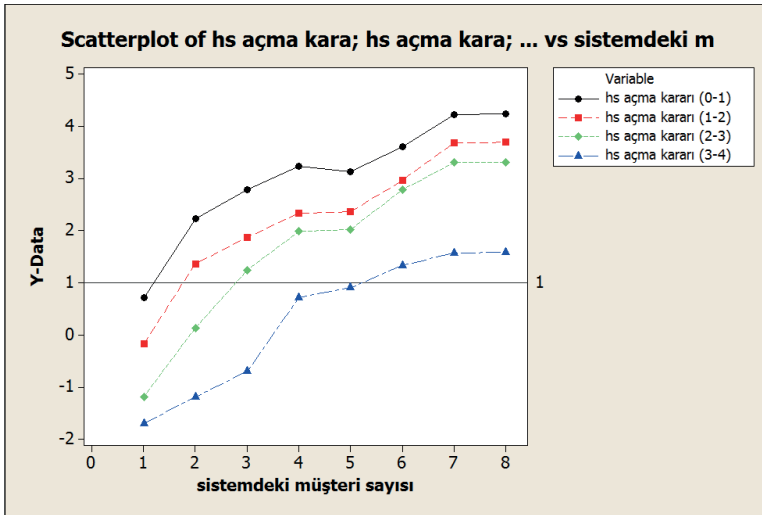
KOŞUL 1: $m=4, c=1, k=0, s=1$							
p scala Değeri	Dilsel Değişken Değeri	c scala Değeri	Dilsel Değişken Değeri	K scala Değeri	Dilsel Değişken Değeri	s scala Değeri	Dilsel Değişken Değeri
2	PM	0,075	ZO	0	ZO	1,5	PS
2	PM	0,075	ZO	0	ZO	1,5	PM
2	PM	0,075	ZO	0	ZO	1,5	ZO
2	PM	0,075	PS	0	ZO	1,5	PS
2	PM	0,075	PS	0	ZO	1,5	PM
2	PM	0,075	PS	0	ZO	1,5	ZO
2	PB	0,075	ZO	0	ZO	1,5	PS
2	PB	0,075	ZO	0	ZO	1,5	PM
2	PB	0,075	ZO	0	ZO	1,5	ZO
2	PB	0,075	PS	0	ZO	1,5	PS
2	PB	0,075	PS	0	ZO	1,5	PM
2	PB	0,075	PS	0	ZO	1,5	ZO
				Değişken	Skala değeri	Üyelik Derecesi	Değer
				SK	0,714	0,762	ZO
				SK	0,714	0,571	PS
				SK	0,714	0,095	NS

Koşul 2' de sistemdeki müşteri sayısı 1 iken hizmet sağlayıcı sayısını 1 den 2 ye çıkartıp çıkartmama kararı analiz edilmiş ve sonuç -0,17 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla hizmet sağlayıcı açma kararı şu aşamada fazlasıyla maliyet getirmektedir. Ardışık yapılan denemeler sonucunda sistemde 1 müşteri olmasına rağmen daha fazla hizmet sağlayıcı açma kararı çözümü daha da kötüye götürmektedir. Koşul 1 de hiç hizmet sağlayıcı açık değil iken hizmet sağlayıcı açma kararı sonucunda elde edilen SK çıktı değeri 0,714 dür. Bu durumda hizmet sağlayıcı açılabilir. Aksi durumda hizmet sağlayıcı açma-kapama maliyeti artmaktadır. Bu işlem sitemdeki müşteri sayısı 8 olana kadar tekrarlanmıştır.

Tablo 2. Koşul 32 için SK değeri

KOŞUL32: $m=4, c=7, k=3, s=7$			
p scala değeri	c scala değeri	k scala değeri	s scala değeri
6	0,6	4,5	6
Değişken	Scala değeri	Dilsel değişken	
SK	1,58	ZO	
SK	1,58	PM	
SK	1,58	PS	

Farklı 32 koşul üzerinde yapılan analiz sonucunda 8 müşteriden sonraki koşullarda sistemin benzer **SK** çıktı değerleri verdiği belirlenmiştir. Hizmet sağlayıcı açıp açmama kararını verebilmek için $SK \geq 1$ şartının sağlanması gerekir. Bunun dışında elde edilen çıktı değerlerinin büyüklüğü hizmet sağlayıcı açma isteğini arttırmaktadır. Aşağıdaki Şekil 13.'de farklı müşteri sayısında hizmet sağlayıcı açma sıklıkları gösterilmiştir.



Şekil 13. Hizmet sağlayıcı açma sıklığı

Doğruların hareketinden de anlaşılacağı üzere sistemdeki müşteri sayısı 5'i geçmedikten sonra hizmet sağlayıcıyı 3'den 4'e çıkarmamak gerekmektedir. Aynı mantık diğer şartlar için de kurulabilmektedir.

5. SONUÇ

Kuyruk, matematiksel programlaması zor, girdi ve çıktı değişkenlerinin belirsiz doğası nedeniyle hesaplaması zor modellerdir. Çoğu araştırmada sezgisel yöntemler ve stokastik modeller tercih edilmektedir. Bölümde sunulan modelin bulanık operatörlerce ifade edilip modellenmesi ise söz konusu diğer yöntemlere göre girdi ve çıktı değişkenlerinin gerçek hayat probleminin matematiksel olarak daha ideal modellenmesini mümkün kılmaktadır. Bulanık mantığın literatürde en çok araştırma yapılan konulardan biri üzerinde bu denli tatminkâr sonuçlar vermesi, onun üretim, hizmet, iletişim vb. gibi çok farklı alanlarda rahatlıkla uygulanabileceğini göstermektedir. Ayrıca bulanık mantık sayısal modellere ihtiyaç duymadığından gerçek hayat problemlerine kolayca uygulanabilmektedir. Kullanılan dilsel değişkenler adaptasyonu kolaylaştırmaktadır. Üyelik fonksiyonları yardımıyla değişkenler sisteme tanıtılabilmekte ve çıkarım mekanizmalarıyla sonuçlar üretilebilmektedir.

Çalışmada kuyruk sisteminin bir kolu olan paralel hizmet sağlayıcı tek kuyruk sistemi ele alınmış ve sistemdeki farklı müşteri sayılarında, hizmet sağlayıcı açma kararları karşılaştırılmıştır. Analizde girdi değişkenleri olarak, sistemdeki anlık müşteri sayısı, hizmet sağlayıcı sayısı, elde tutma maliyeti ve trafik sıklığı parametreleri kullanılmıştır. Bulanık işlemler ve simülasyon sonrasında çözümü çok zor olan bir konu üzerinde bulanık mantığın zaman, kaynak kullanımı vs. gibi maliyet olabilecek her türlü değişkenden tasarruf sağlayarak problemi çözebildiği görülmüştür. Uygulama metodolojisi ile literatürde farklı çözüm teknikleri kullanılarak çözülmeye çalışılan bir problem için etkin bir çözüm alternatifi önerilmiştir.

Çalışma, kullanılan matlab fuzzy toolbox ara yüzü sayesinde herhangi bir yazılım altyapısına ihtiyaç duymadan analizi gerçekleştirme fırsatı sunmaktadır. Kullanıcı dostu olarak ifade edilen bu tip çözücüler zor problemler için yardımcı araçlardır. Bu çalışma ile kuyruk problemi gibi zor bir alan için kullanışlı bir uygulama aracından nasıl faydalanılabileceği de sistematik olarak görülmektedir.

Kaynakça

- Aydin, Ö. ve Apaydin, A. (2008). Multi-channel fuzzy queuing systems and membership functions of related fuzzy services and fuzzy inter-arrival times. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 25(05), 697-713.
- Chude-Olisah, C. C., Chude-Onkonkwo, U. A., Bakar, K. A. ve Sulong, G. (2013). Fuzzy-based dynamic distributed queue scheduling for packet switched networks. *Journal of Computer Science and Technology*, 28, 357-365.
- Magdalena, L. (2015). Fuzzy rule-based systems. J. Kacprzyk, W Pedrycz (Eds.), Springer handbook of computational intelligence (203-218), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mohammad, R., Mostafa, A., Abbas, M. ve Farouq, H. M. (2015). Prediction of representative deformation modulus of longwall panel roof rock strata using Mamdani fuzzy system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(1), 23-30.
- Pardo, M. J. ve De La Fuente, D. (2007). Optimizing a priority-discipline queuing model using fuzzy set theory. *Computers & Mathematics with Applications*, 54(2), 267-281.
- Pham, D. T. ve Castellani, M. (2002). Action aggregation and defuzzification in Mamdani-type fuzzy systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 216(7), 747-759.
- Tadj, L. ve Choudhury, G. (2005). Optimal design and control of queues. *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa Top*, 13, 359-412.
- Zhang, R., Phillis, Y. A. ve Kouikoglou, V. S. (2005). *Fuzzy control of queuing systems*. Springer Science & Business Media, USA.