YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK YÖNTEMİNİN LİMAN PLANLAMASINA UYGULANMASI

İnşaat Mühendisi Mehmet ARSLAN

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Esin ÇEVİK (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER Sayfa

SİMGE LİSTESİ

$\underline{A}$	A kümesinin bulanık gösterimi
α	Üyelik derecesinin değeri
^	Bulanık küme kesişimi
∫	Topluluğu gösteren simge
değ$\underline{R}$	Bulanık bağıntının değer kümesi
$D_{İG}$	Gerçek değer
$D_{İM}$	Model sonucu bulanan değer
Ü	Bulanık küme üyelik
$Ü_{Ç}$	Çıktının üyelik derecesi
Sub	Üyelik değerinin en küçük üst sınırı
R^{-1}	Ters bulanık bağıntı
tan$\underline{R}$	Bulanık bağıntının tanım kümesi
∨	Bulanık küme birleşimi
z*	Durulaştırma değeri

KISALTMA LİSTESİ

BM	Bulanık Mantık
EB	En Büyük Üyelik Derecesi
EE	Elleçleme Ekipmanları
EK	En Küçük Üyelik Derecesi
GA	Genetik Algoritma
GGS	Gelen Gemi Sayısı
İZTO	İzmir Ticaret Odası
L	Gemi Boyu
TEU	Twenty Feet equivalent
TSK	Takagi-Sugeno-Kank Bulanık Sistemi
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER LİSTESİ

ÇİZELGE LİSTESİ

ÖNSÖZ

Liman yanaşma yeri uzunluklarının bulanık mantıkla modellendiği bu yüksek lisan tez çalışmasında İzmir Alsancak Limanının yanaşma yeri uzunluğu değerlendirmesi yapılmıştır. Liman kullanım oranları bulanık modelle bulunarak, gerçek kullanım oranlarıyla karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamın her kademesinde destek veren danışman hocam Sayın PROF. Dr. Esin ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince engin bilgisiyle bizlere yol gösteren hocam Sayın PROF. Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

İzmir Alsancak Limanındaki istatistik bilgileri inceleme fırsatı veren İzmir Alsancak Limanı İşletme Müdürlüğüne yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yanımda olup bilgisayar bilgilerinden yararlandığım Sayın Araş. Gör. Mehmet ÖZGER'e ve Sayın Yılmaz BEKAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Mehmet ARSLAN

Temmuz 2007

ÖZET

Liman planlamasında optimum liman yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesi için çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada da liman büyüklüğünün belirlenmesinde etkili olan yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesi için bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmiştir. Bu model ile yanaşma yeri uzunlukları ve kullanım oranları belirlenmiştir. Bulanık mantık modeli kullanılarak liman yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesinde İzmir Alsancak Limanı konteyner terminalinden alınan 2006 verileri kullanılmıştır. Modelde gemi boyları, elleçleme ekipman kapasiteleri, gelen gemi sayısı kümeleri üç üyelik fonksiyonlu girdi olarak verilmiştir ve yanaşma yeri uzunluğu kümesi dört üyelik fonksiyonlu çıktı olarak belirlenmiştir.

Her ay için İzmir Alsancak Limanında gelen gemi sayısı, elleçleme ekipman kapasiteleri ve gemi boyları kullanılarak bulanık model sonucu yanaşma yeri uzunluğu bulunmuştur ve toplam yanaşma yeri uzunluğuna bölünerek yanaşma yeri kullanım oranı belirlenmiştir.

İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali 2006 yılı aylık gerçek kullanma oranları model sonucu bulunan aylık kullanma oranlarıyla karşılaştırılmıştır.

Yanaşma yeri uzunluğu ile gelen gemi boyları, gelen gemi sayısı ve elleçleme ekipmanları arasında ilişki kurarak modellemede başarılı sonuç alınmıştır.

Anahtar kelimeler; Liman planlaması, Liman yanaşma yeri uzunlukları, Liman yanaşma yeri kullanım oranı, Bulanık mantık.

ABSTRACT

Concerning the plans for the port, a variety of efforts has been made to determine the optimum berth length of the port. In this study has been done by developing and using fuzzy model to determine berth length which is effective to designate the port capacity. In this model has been done to determine berth length and berth utilization. With regards to the Izmir Alsancak Port container terminal in 2006, the size of boats, handling crew capacity, number of boats arriving and how they would be grouped was divided into three functions. The grouping of the berth length was separated into four functions.

The fuzzy model of the Izmir Alsancak Port, which showed berth length, was used every month to calculate the berth utilization by dividing the total berth length.

The real berth utilization monthly in 2006 for the Izmir Alsancak Port Container Terminal was able to be compared with the berth utilization in the fuzzy model every month.

This resulted successfully in calculating the berth length with the size and number of boat's arriving, and handling crew capacity.

Keywords; Port planning, berth length, berth utilization, fuzzy logic.

1. GİRİŞ

Taşıma endüstrisi ülkelerin ekonomik gelişiminde en etkili parametrelerden biridir. Deniz taşımacılığı, büyük taşıma kapasitesi ve ucuzluğu nedeniyle doğru uygulandığında en ekonomik olanıdır ve dünya ticaret hacminde en büyük orana sahiptir. İthal ya da ihraç edilen malların karayolu ya da demiryolu ile taşınması deniz yolu ile karşılaştırıldığında çok pahalıdır. Liman ulaştırma zincirinin bir halkası ve hayati bir bağlantısı olduğundan bölgedeki endüstriyel büyümenin ve ticaretin gelişmesine yardımcı olur (Yüksel ve Çevik, 2006).

Dünya ticaretinin gelişimi ve sürekliliği bakımından deniz taşımacılığının önemi büyüktür. Dünyadaki gelişmeler takip edildiğinde konteyner taşımacılığı her geçen gün daha önemli hala gelmektedir. Dünyada deniz taşımacılığı, özellikle kıtalararası ticaretin gelişmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bugün liman verimliliğinin artması, daha düşük kargo elleçleme ücretleri ve liman hizmetlerinin dünya çapındaki dağıtım ağının diğer unsurlarıyla birleşmesi şeklinde bir işletme tarzını meydana getirmiştir. İşletme performansının göstergeleri, ülkenin liman hizmetleri için arz ve talep arasındaki ilişkiyi belirlemede kullanılmaktadır. Arz ve talep ilişkisini belirleyici olarak kullanmak, iki piyasa faktörünün doğrudan tahmin edilmesindeki zorluklar yüzünden uygun olmayabilir. Arz- talep oranı yerine, liman hizmetlerinin yetersizliğini gösteren iki ölçek şunlardır; yanaşma yerinin meşgul olması ve geminin rıhtımı bekleme süresi. Bu iki etken de limanın tıkanıklık sorununu ifade eder (Onat, 2005).

Geminin yanaşmasının terminal kapasitesiyle sınırlandırıldığı limanda, rıhtımın dolu olmasının kullanım kapasitesiyle doğrudan ilişkisi vardır. Ancak konteyner terminallerindeki diğer bir sorun da, sınırlayıcı bir etken olan konteyner depolama alanlarının kapasitesidir. Bir limanın işletme performansını daha iyi anlatabilmek için yanaşma yeri meşguliyetinin, yanaşma yeri kullanım oranı ile birbirini tamamlaması gerekmektedir. Yanaşma yerinin meşgul olması, gemilerin bekleme süresiyle doğrudan ilişkilidir. Doluluk düşük olduğunda genellikle hiç bekleme olmaz veya minimum bekleme olur. Fakat bazı durumlarda bekleme süresi hızla artar. Ondan sonra da, yanaşma yerinin doluluğundaki küçük bir artış, tıkanıklığa ve gemilerin uzun süre beklemelerine yol açar. Bu iki belirleyici etken, birbirlerine bağlı olmasına karşın liman tıkanıklığını daha anlaşılır bir şekilde belirleyebilmek için her ikisi birden incelenmelidir. Yanaşma yeri meşguliyetinin, kullanımının ve bekleme süresinin artması, rekabet ortamının olmadığının yani rekabet gücünün kapasite altında olduğunun güçlü bir göstergesidir (Onat, 2005).

Limanların yeterliliğinin yükleyiciler, armatürler ve dünya ekonomisi için büyük önemi vardır. Hem gemi hem liman fiyatlarının çok pahalı olmasından dolayı bunlardan maksimum şekilde faydalanılmalıdır. Gemilerin uzun kuyruklar yaratmaksızın liman faaliyetlerinin maksimum kullanımını sağlama oldukça zordur. Yapı yatırımlarında büyük maliyetlerin bileşeni olan yanaşma yeri maliyeti ve gemilerin bekleme maliyeti dikkate alınarak, mevcut ve gelecekteki talep için optimum liman boyutunun belirlenmesi, bazı yöntemler kullanılarak tüm maliyet parametrelerinin dikkate alınmasıyla hassas bir şekilde yapılmalıdır. Çözümü etkileyen temel faktörler; geminin varış oranını belirleyen trafik modeli, gemi büyüklüğü, gemi tarafından taşınan kargonun miktarı, rıhtım uzunluğu, yanaşma yeri sayısı, elleçleme ekipmanları sayısı ve kapasitesi dir (Yüksel ve Çevik, 2006).

Liman planlamasında, optimum liman boyutunu belirleme metodu geliştirmek için günümüze kadar çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar için bir limandaki yıllık yük miktarı, planlama hedefi olarak öncelikle belirlenmelidir. Mevcut ekonomik gelişme planları, trafik akış tahminleri, gemilerin tip ve boyutları, varolan limanlardaki çalışmalar ve yöntemler gözden geçirilmelidir. Ekonomik nedenlerden dolayı limanın boyutu mümkün olduğunca küçük tutulmalı, ancak emniyetli olmalı ve operasyon rahatlıkla yapılabilmelidir. Gemilerin limana yanaşmak için beklemeleri armatör veya gemi kullanıcılarına oldukça büyük maliyetler getirmektedir. İyi bir liman planlamasının amacı gemilerin bekleme süresini minimuma indirmek olmalıdır. En ideal çözüm; bir liman öyle planlanmalıdır ki tüm yanaşma yerleri her zaman dolu olmalı ve hiçbir zaman boş bir yanaşma yeri için bekleyen gemi olmamalıdır (Yüksel ve Çevik, 2006).

Bu çalışmada da liman büyüklüğünün belirlenmesinde etkili olan yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesi için bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmiştir. Bu model ile yanaşma yeri uzunlukları ve kullanım oranları belirlenmiştir.

2. BELİRSİZLİK KAVRAMLARI

2.1 Giriş

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Bugüne kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla bilgi sahibi olunursa, o sistem o derece anlaşılır ve hakkındaki karmaşıklık da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz. Yeterli miktarda veri bulunmazsa incelenen sistemlerin karmaşıklığı, daha da etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir (Şen, 2004).

2.1.1 Yöntem Seçimi

Doğa olaylarında her zaman var olan belirsizlikler, kesin yöntemlerle modellemeyi güçleştirmektedir. Çözümlerinin kesin olduğu sanılan diferansiyel denklemlerin, çözümlerinin asla kesin olmadığı ve kaotik yani belirsiz çözümler içerdiği son 30 yılda anlaşılmıştır. Bu yüzden araştırmacılar daha başka yöntemlerle problemleri yaklaşık olarak modellemeye çalışmışlardır. Yaklaşık sonuç elde etmek için, ya eldeki problem idealleştirilmeli, ya da çok sayıda değişken kullanılmalıdır (Toprak, 2002).

Problemi idealleştirmek için yapılan kabul veya ihmaller, nasıl model veya bağıntının hatasını büyütüyor ise, değişkenlerin sayısını artırmak da hata yapılacak ihmal ve kabullerin sayısını optimize etmeye çalışır. Doğa olaylarını modellerken kullanılan yöntemler çoğu kez, değişken sayısı ile kabul ve ihmal sayısını optimize ederek toplam hatayı küçültmeye olanak vermemektedir. O halde model geliştirilirken, kullanılan yöntem özenle ve çalışmaya en uygun olacak şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan, özellikle mühendislik gibi uygulamalı bilimlerde, güvenli tarafta kalma gerekliliğinden hesaplarda genellikle bir emniyet katsayısı kullanılmalıdır. Bu katsayı aslında, tüm hatalara karşı alınan bir önlemdir. Başka bir ifade ile hataların toplamının etkisini sayısal olarak bir katsayı ile ifade etmektir (Şen, 2000).

Çok karmaşık olan doğa olayları genellikle basit kara kutu kavramı ile sistemin içine girilmeden yaklaşık olarak çözülmektedir. Sistemin içinde ne olup bittiği hakkında hiçbir şey bilinmemektedir. Sistem, girdilere göre çıktı veya çıktılara göre girdi üretir. Bu tür bir yaklaşımda, sistemin içi bilinmemekle birlikte sistemin davranışı, sistem hakkındaki deneyimlerden bilinmektedir. Bu yüzden ne zaman aynı girdiler aynı miktarda sistem içerisine alınırsa sistemin içi bilinmeden de aynı çıktılar tahmin edilebilmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma (GA) gibi yöntemler kara kutu sistemler gibi çalışır. Fizik temelinden yoksundur. Dolayısıyla aynı doğa olayına ait eldeki farklı verilere göre model farklı sonuçlar vermektedir. Bu yüzden, modeli yeni verilere göre eğitmek gerekmektedir. Bu tür modeller gerçek anlamda doğa olaylarını temsil etmemektedir. Bilgisayarların hızlı işlem yapmasından faydalanarak, genellikle en küçük kareler yöntemine göre hatanın en aza indirgenmesi temeline dayanmaktadır. Bu hatalar, ortalama karesel hata, ortalama karekök karesel hata veya her hangi bir hata fonksiyonu kullanılarak hesaplanır.

İstatistik modeller ise yukarıdakilerden farklı olarak, verilerin bazı parametrelerini dikkate almaktadır. Bu tür modellerde, model sonuçlarının ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, çarpıklık katsayısı gibi istatistik parametrelerinin, verilerinkine yakın olması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak istatistik ve olasılık teorisine dayanan modellerde, model sonuçlarının eldeki verilere istatistiksel parametreler açısından benzemesi hedeflenmektedir. Modelin fizik veya neden – sonuç ilişkisine dayandırma çabası yoktur.

Literatürde sıkça rastlanan yöntemlerin başında regresyon analizi gelmektedir. Regresyon analizinin amacı iki ya da daha fazla rasgele değişken arasındaki istatistik ilişkinin biçimini (matematik ifadesini) belirlemek, değişkenlerden birinin (bağımlı değişkenin) değişiminin diğer değişkenlerin (bağımsız değişkenler) değişiminden kaynaklanan yüzdesini hesaplamak ve bağımlı değişkenin değerini, bağımsız değişkenlerin bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmektir. Basit doğrusal regresyon analizi iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi göstermektedir (Toprak, 2002).

2.1.2 Bulanık Mantık

Mantık, insan ile birlikte var olan bir olgudur. Mantığın, bir bilim olarak temellerinin Aristo tarafından atıldığı bilinmektedir. Bir bilim olarak ilk kullanım alanı da felsefe olmuştur. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda (1), kümenin elemanı olmadığı zaman (0) değerini alır. Aristo aklın, dolayısıyla mantığın şu üç prensibinden söz eder:

1) Özdeşlik İlkesi: "Bir şey kendisidir" yani A, A'dır.

2) Çelişmezlik İlkesi: Özdeşlik ilkesi tek başına bir nesneyi tanımlamaya yetmez. İlk prensibe göre nesnenin kendisi olduğu kesindir, fakat başka bir şey olmadığı kesin değildir. Bunun önüne geçmek için Aristo, "Aynı niteliğin, aynı zamanda ve aynı bakımdan aynı özneye hem ait hem de ait olmaması imkansızdır" demekte ve çelişmezlik ilkesini kabul etmektedir. Çelişmezlik ilkesi, nesnelerin birbirinden ayırt edilmesini sağlar.

3) Üçüncü Halin Olanaksızlığı İlkesi: Bir şey ya doğrudur ya da doğru değildir. Aristo mantığına göre eğer bir şey doğru ise, o şeye aynı zamanda "doğru değildir" denemez. Benzer şekilde, bir şey var, ya da yoktur. Bir eleman, bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Örnekler çoğaltılabilir. Bu ilke "bir şey ya A'dır, ya da A değildir" şartını getirmektedir. Yani üçüncü bir alternatif sözkonusu değildir (Şen, 2000).

Bu mantık ilkeleri, yüzyıllar boyu taraftar bulmuştur. Herhangi bir doğa olayını açıklayabilmek için yapılabilecek diğer açıklamaları kesinlikle reddetme ihtiyacı vardı çünkü 19. yüzyılın ortalarına doğru bilim adamlarının arasındaki yaygın kanaate göre bilim kesinlik istiyordu. Daha sonra doğa olaylarının bütün çabalarına rağmen her zaman belirsizliğini koruyabileceği yönünde düşünceler gelişti. Bu bakış açısının değişmesinin ilk aşaması 19. yüzyılın son çeyreğinde fizikçilerin çalışmalarıyla başladı. Bundan sonra bir şeyin ya doğru ya da yanlış olabileceğinin yanında bazı yanlışlıklarla beraber bazı doğruları da içerebileceği düşüncesi doğmaya ve gelişmeye başladı. Buna ışığın " tanecik" ve "dalga" teorileri örnek olarak verilebilir. Yapılan çalışmalar ışığın yerine göre dalga, yerine göre tanecik şeklinde yayıldığını göstermektedir. Oysa Aristo felsefesine göre, eğer ışık bu teorilerden birine göre yayılıyor ise diğerine göre yayılmamalıdır.

Bulanık Mantık (BM) yaklaşımı bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle Zadeh (1965) modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilir. Bu çalışma kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın yankı bulması sadece olasılık teorisine bir alternatif oluşunda değil, ayrıca o güne kadar hemen hemen tüm bilimlere temel olan Aristo mantığına karşı bir alternatif olabileceğinden de kaynaklanmaktaydı. Bu çalışmadan sonra BM'nin Uzak Doğu ve Avrupa'da kısa sürede teknolojik uygulamaları ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde ise başta elektronikte, kontrol sistemlerinde olmak üzere hemen hemen tüm disiplinlerde yerini almış ve konu ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yayınlanmıştır.

Doğada değişen ve gelişen olaylar birbirini etkilemektedir. Dolayısıyla çoğu kez bir olayı etkileyen parametrelerin sayısı zamana ve konuma göre değiştiği gibi bunların olay üzerindeki etkisinin niteliği ve niceliği de her zaman ve her yerde aynı değildir. Bunun yanında, laboratuarlarda deney koşullarını gerçek doğa koşullarına benzetebilmek ve gözlemleri doğada aynı koşullarda tekrarlamak da güçtür. Bunlara ölçüm ve gözlemlerde yapılan hatalar da eklenince belirsizlikler daha da artmaktadır.

Bazı durumlarda, doğa olayı çok iyi kavrandığı ve yorumlandığı halde bu kavram ve yorumların modele yansıtılması problem olur. O halde doğa olaylarının her zaman insanoğlu açısından belirsizlikleri olacaktır. Bu belirsizlikler nedeniyle doğa olaylarını önceden tam olarak tahmin etmek veya modellemek oldukça güçtür. Bu gerçeklerden hareketle denilebilir ki, doğa olaylarının tahmini için hatasız olarak geliştirildiği iddia edilen modellerde nedeni kesin olarak bilinmese de hatalar vardır (Toprak, 2002).

Bu hatalar genel olarak yapılan kabul ve ihmallere, kısaca idealleştirmelere, deney veya gözlemlerde göz önünde tutulan yanlış veya eksik parametrelere, parametrelerin hesaba katılan nitelik ve niceliğine deney veya gözlem koşullarının farklılığına ve ölçüm ile kayıtlarda yapılan hatalara bağlıdır. Bilgisayarlar bu türlü belirsizlikleri gideremedikleri gibi, yorumlamaktan da acizdirler. Ancak sayısal olarak girilen verileri daha hızlı bir şekilde işlemeye yardımcı olurlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın düşünme yeteneğine bağlı olarak yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem ve tanımlama yapabilme ve bu işlem ve tanımlamaları ifade edebilme yeteneği vardır. İnsanın düşünme, tanımlama ve tasvirlerinin büyük bir kısmı hatta hemen hemen hepsi belirsizlik (yaklaşıklık) içerir. Yani insan bulanık düşünür, bulanık tanımlar ve bulanık tasvir eder. Başka bir ifadeyle, insanoğlu çoğu kez sayısal değil sözel düşünür ve ifade eder. Bu belirsizlik kimi zaman yapılan idealleştirmeler, ölçüm ve gözlem hataları, kimi zaman doğa olayları hakkındaki eksik ve yanlış bilgiler nedeniyle bilimde de varlığını sürdürmüştür.

Şen (2000) değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına "bulanık (fuzzy) kaynaklar" adı verildiğini, Zadeh (1971) ise gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. O halde zaten karmaşıklığın ve belirsizliğin var olduğu bir bilim dünyasında "bulanık mantık" felsefesi bir bakıma bu durumun gerçek adını koyarak ve olayları idealleştirmek yerine olduğu gibi kabul ederek çözme anlayışını getiren bir felsefe olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte BM yönteminde fizik kanunları uzman görüşü olarak modele yansıtılmaktadır.

Bulanık mantık matematiksel modeli kesin olarak bilinmeyen veya davranışı yaklaşık olarak tahmin edilebilen sistemlerin modellenmesi ve kontrol edilmesinin yanı sıra eksik ve belirsiz bilgiye dayalı karar verebilir.

Uzman görüşü yanında, eldeki verilerin kullanılması ise daha iyi bir sonucun elde edilmesine olanak vermektedir. Bunun yanında, BM'de uzman görüşü olarak fizik kanunlarını işin içine katmanın beraberinde bazı idealleştirmeleri getirebileceği şeklinde düşünülebilir. Fizik kanunlarının hesaba katılmasına bağlı olarak bazı idealleştirmeler söz konusu olabilir. Ancak, bu idealleştirmeler, diğer yöntemlerde yapılanların yanında çok küçük kalmaktadır (Şen 1999). Bu nedenlerden dolayı BM yöntemi tercih edilmiştir. Literatürde böyle bir çalışmaya rastlanmamasının da bu tercihte etkisi olmuştur.

2.1.3 Bulanık Mantığın Fayda ve Sakıncaları

Bulanık yöntem, doğrusal olmayan, iyi tanımlanmamış ve zamanla değişen sistemler için oldukça uygundur. Özellikle karmaşık sistemlerde geleneksel yöntemlere karşılık belirgin üstünlük göstermektedir. Bulanık yöntem, genellikle daha küçük yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşır. Bunun nedeni bulanık mantıkta işaretlerin bir ön işleme tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlemlerine indirgenmeleridir.

Bulanık mantığın özellikle elektronik ve kontrol sistemlerinde çok başarılı olduğu bilinmektedir. Hemen hemen tüm disiplinlerdeki modellemelerde önemli bir yeri vardır. Görüntülemede, seste ve tıpta görüntülü teşhiste iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Kabul ve ihmallerin az olduğu yöntemlerden biri olduğu için tercih edilmektedir. Ayrıca, diğer istatistiksel yöntemler ile YSA ve benzeri yöntemler gibi fiziksel temellerden yoksun değildir.

Olayın fiziksel nedenleri, uzman kişi tarafından hem üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi, hem de kuralların atanması sırasında modele yansıtılabilmektedir. Başka bir ifade ile sadece eldeki verileri taklit etmesi gibi bir özelliği yoktur. Özellikle çözümleri zor diferansiyel denklemlere gereksinim duyulmadığı için karmaşık ve belirsizlik içeren problemlerin çözümünde büyük faydaları söz konusudur.

Diğer taraftan, bütün gelişmelere rağmen BM'nin bilim ve teknolojide binlerce yıllık klasik mantık ile birlikte aynı şartlarda yer alması için henüz erkendir. Aynı zamanda klasik mantığa göre daha güvenilir ölçüm yöntemlerine sahip değildir. BM özellikle boyutlandırmaya yönelik mühendislik uygulamalarında henüz istenen konumda değildir.

Uygulamalarında sağlıklı verilerin yanında uzman görüşüne de ihtiyaç vardır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde ve kuralların atanmasında henüz uygulayıcıyı deneme-yanılmadan tam anlamıyla kurtaracak mekanizmalar gelişmiş değildir. Bu nedenle, her hangi bir problemin çözümünde BM'yi kullanmaya hemen karar vermek güçtür. Çok uzun programlar yapmaya ihtiyaç vardır. Özellikle deneme-yanılmaya gereksinim duyulduğu takdirde problemi çözecek programları geliştirmek çok zaman alabilir (Toprak, 2002).

2.1.4 Bulanık Mantığın Diğer Yöntemler İçersindeki Yeri

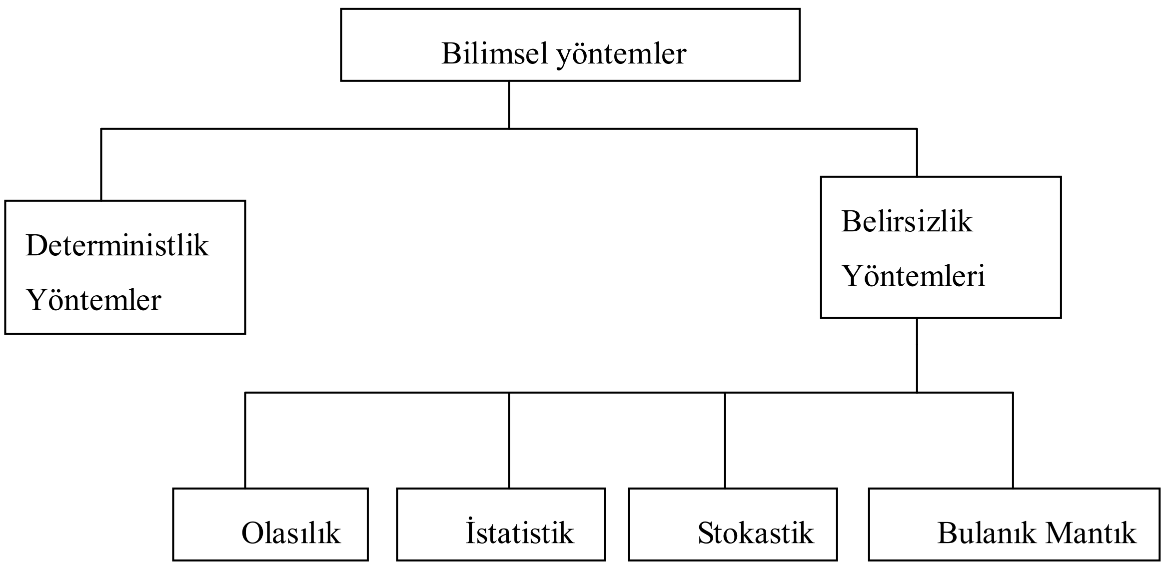
Yukarıda da belirtildiği gibi literatüre geçmiş birçok bilimsel yöntemde belirsizlik vardır. Ancak bu yöntemlerin felsefesinde BM yoktur. Klasik mantık bu yöntemlerde geçerli olmaktadır. Örneğin istatistiksel bir yöntemde, her hangi bir olay için belirlenen bir güven aralığının hemen dışında bir değere yaklaşım nasıl olacaktır?

Klasik mantığa göre bu değer elbette güven aralığının dışında tutulacaktır. Örneğin bir yapı elemanının taşıma gücü, deterministik yöntemle 20 ton olarak hesaplansın. Deneysel olarak belirlenen değer ise 19.4 ton olsun. Bu durumda iki seçenek söz konusudur. Birincisi, 19.4 ton

< 20 ton olduğu için kesiti büyütmek ki, bu klasik mantık yaklaşımıdır. İkincisi, mühendis sorumluluk üstlenip bu küçük farkı gözardı eder ki, bu da kısmen BM anlayışına girmektedir.

Şekil 2.1'de bulanık mantığın diğer bilimsel yöntemler içerisindeki yeri gösterilmektedir. Günümüzde bulanık uzman sistemler, kontrol, örnek tanıma, finans sistemleri, işletme araştırmaları, veri analizleri ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır.

Birçok sistem bulanık uzman sistemler yardımı ile modellenebilir ve hatta kopyalanabilir. Bu yüzden dünya çapında BM'nin çeşitli proje ve araştırmalarla oldukça yaygınlaştığı görülmektedir. BM kontrol sistemleri, yüksek boyutlarda bulanık modelleme, tıbbi görüntülemede örnek tanıma, akıllı otoyol için olay tespit tabanlı BM, BM kontrollü trafik sinyalizasyon çalışmaları, metro ve beyaz eşya teknolojisi buna bir kaç örnektir (Şen, 1999).

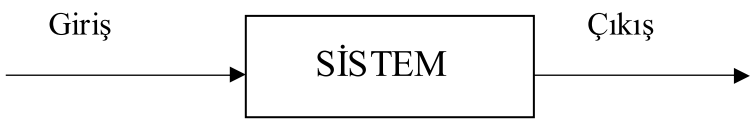


Şekil 2.1 Bulanık mantığın bilimsel yöntemler arasındaki yeri (Şen, 2000)

BM doğa olaylarının modellenmesi çalışmalarında birçok disiplinde kullanılmaya başlanılmıştır. Çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Örneğin 1-, 2-, 3- boyutlu modellemede (Bardossy ve diğ. 1995), sızma (Bardossy ve Disse, 1993), su yapıları (Toprak ve Aytek, 2001), sulama (Toprak ve diğ. 2002), katı madde taşınımı (Dou ve diğ, 1997), hidroloji (Bardossy ve diğ. 1990, Droesen, 1996), mühendislik sistemleri (Bardossy ve

Duckstein, 1995) ve elektrik ve elektronik (Mamdani, 1997) gibi çok sayıda çalışma örnek olarak verilebilir.

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.2'de verilen üç ayrı birimden oluşur (Şen, 1999).



Şekil 2.2 Klasik sistem (Şen, 2000)

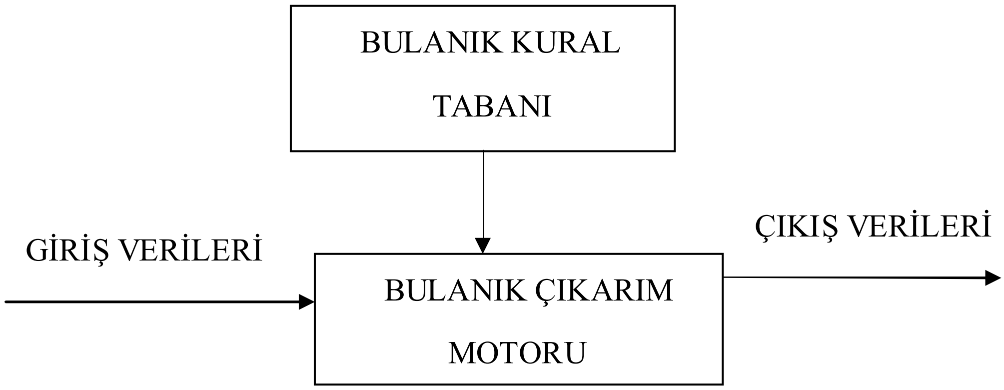
Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanmaları için genel olarak iki nedenleri vardır (Şen, 1999). Bunlar:

1) Çok karmaşık olmaları nedeniyle doğa olaylarının kesin sonuç verebilecek denklemlerle ifade edilememesi ve bunun doğal sonucu olarak da araştırmacının kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere başvurmayı her zaman tercih etmesi,

2) Mühendislikte bütün teori ve denklemlerin, gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade etmesidir.

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farkı sistem davranışı kısmının ikiye ayrılması ve Şekil 2.3'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır (Şen, 1999). Bu birimler:

1) **Genel bilgi tabanı birimi**: Denetimde kullanılacak kuralların ve verilerin işleniş biçiminin yer aldığı kısımdır. İncelenecek olayı etkileyen girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir.



Şekil 2.3 Genel bulanık sistem (Şen, 2000)

2) **Kural tabanı**: Denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları burada bulunur ve çıkarım motoruna buradan aktarılır. Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm bulanık küme bağlantıları düşünülür. Böylece, her türlü kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü bulanık kural tabanını oluşturur.

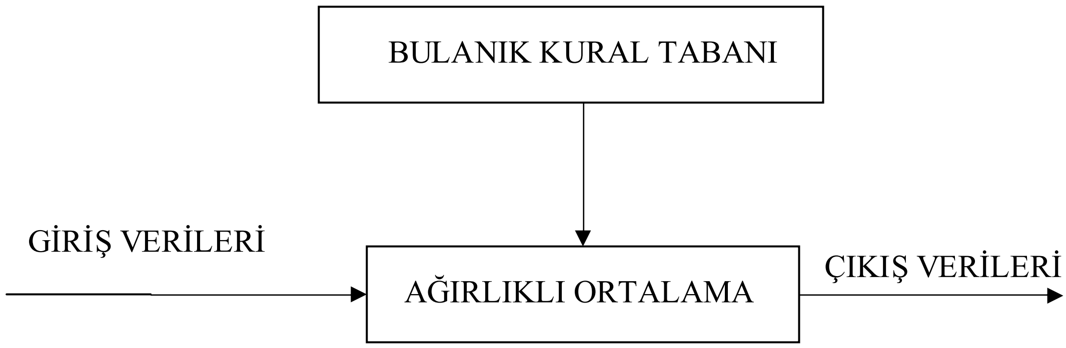
3) **Bulanık çıkarım motoru birimi**: Kurallar üzerinde bulanık mantık yürütülerek ifadeler mantıksal hale dönüştürülür. Diğer bir ifadeyle, verilerin kurallardan faydalanarak değerlendirilmesi ve mantıksal bir sonuca varılmasıdır. Bu birim, bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parçalar halindeki ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin tek çıkışlı davranmasını temin eden işlemlerin tümünü içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğini belirler.

4) **Çıktı birimi**: Yukarıdaki üç birimin desteği ve birbiriyle etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir. Kısaca çıkış da denilebilir. Şekil 2.3 genel bir bulanık sistemi temsil eder. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, veri tabanındaki bilgilerin bulanık girdi şeklinde sisteme girmesi ve çıktıların da bulanık değerler olarak alınmasıdır. Yani Şekil 2.3'deki sistemde, tüm birimler tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli sakıncası, sayısal olan veri tabanının böyle bir genel bulanık

sisteme girememesi ve çıktıların sayısal olmaması, dolayısıyla mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır (Şen, 1999).

Genel bulanık sistemlerin bu eksikliklerini bir derece ortadan kaldırabilmek için, Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kank (1988) tarafından önerilen Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada, veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri İSE'den sonraki kural soncul kısmına, birer doğrusal fonksiyon olarak yansıtılmaktadır.

Bütün kuralların soncul kısımları sanki bir çoklu doğrusal denklemden ibarettir. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistem ve sonculları bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 2.3'de bulanık çıkarım motoru yerine her bir kuralın öncül kısmında hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi (Şen, 2000)

Aslında böyle bir bulanık sistemde çıktı uzayı girdilerin fonksiyonu olarak, her bir alt uzayda geçerli bir kural olmak üzere temsil edilmiştir. TSK bulanık sisteminin en büyük sakıncası İSE kısmından sonra matematiksel bir ilişki bulunduğundan, kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmaması dolayısıyla yazılamamsıdır.

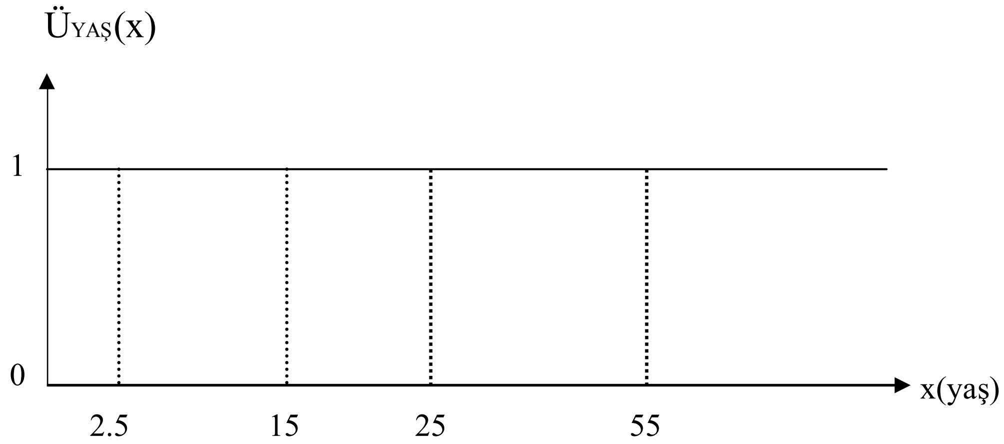
2.2 Üyelik Fonksiyonları

2.2.1 Giriş

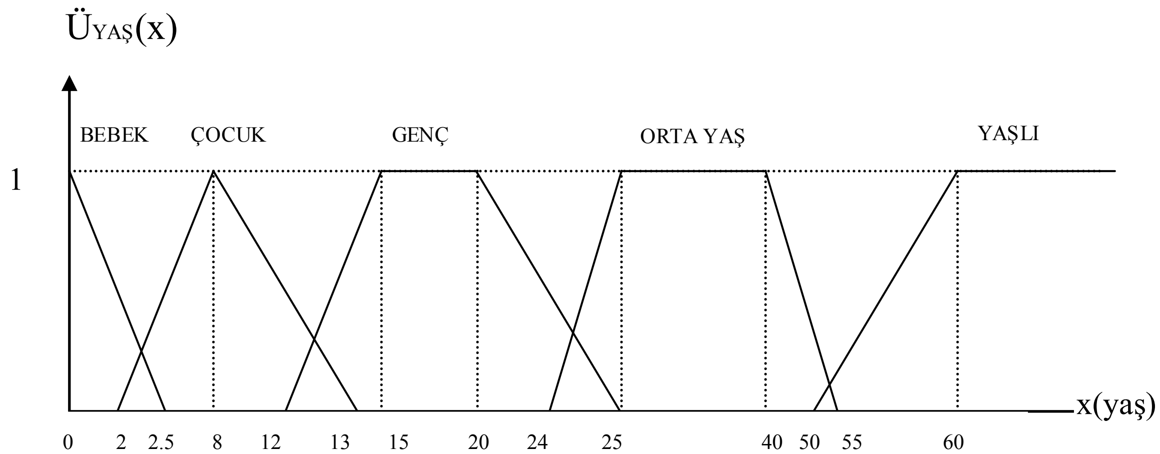
Üyelik fonksiyonları her bir değişken giriş katılım büyüklüğünün grafiksel gösterimleridir. Üyelik fonksiyonları işlenen girişlerin ağırlıklarını birleştirir, girişlerin üst üste gelme durumlarını tanımlar ve en sonunda çıkışı hesaplar. Kurallar, girişlerin en son çıkış sonucunun bulanık çıkış kümesinde ki etkisini, giriş üyelik değerlerini ağırlık faktörü gibi kullanarak hesaplar.

Üyelik Fonksiyonları'nın şekli genelde üçgen ve yamuktur fakat çan eğrisi, exponansiyel v.s kullanılabilinir.

Daha önce, herhangi bir elemanın bulanık bir kümeye üyelik "aitlik" derecesinden söz edilmiştir. Bir x değeri için bir üyelik derecesi atanır kesin veriler için ise yine değerler kümesinin her bir elemanı için ayrı ayrı üyelik derecesi atanır. Eğer değerler kümesi sürekli ise bu durumda üyelik dereceleri de x değerlerine bağlı bir fonksiyon (f(x)) şeklinde alınır. Değişen x değerlerine ve atanan üyelik fonksiyonuna göre üyelik dereceleri de değişmektedir. Örneğin, "yaş" uzayının "bebek", "çocuk", "genç", "orta yaş" ile "yaşlı" alt kümeleri için, önce klasik, daha sonra bulanık mantığa göre birer üyelik fonksiyonu belirlensin, klasik kümelerin üyelik fonksiyonları ya bir nokta veya yatay bir doğru şeklinde iken bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları doğrusal olmayan herhangi bir fonksiyon şeklinde olabilir. Bu seçim uzman tarafından elemanların bulanık kümeye üyelik derecesine göre yapılır. İkili mantığa göre klasik kümelerin üyelik fonksiyonları arasında bir geçiş bölgesi yoktur. Oysa bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ise iç içe geçmektedir (Şekil 2.5 ve 2.6).



Şekil 2.5 Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları (Toprak, 2002)



Şekil 2.6 Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları (Toprak, 2002)

Şekil 2.6'de "yaş" uzayında, "bebek" yaşı sıfırdan başlamakta ve 2.5 yaşına kadar sürmektedir. "Bebek" yaşı en küçük yaş grubudur. O halde en düşük yaş olan sıfır yaş, en büyük üyelik derecesi olan 1 ile "bebek" bulanık kümesine ait olacaktır. Mantık olarak, "sıfır" yaştan uzaklaştıkça bebeklik yaşından uzaklaşma, buna karşın "çocukluk " yaşına yaklaşma söz konusu olacaktır. Nitekim, "bebek" bulanık alt kümesinin üyelik fonksiyonu, gittikçe azalan üyelik derecesi ile en yüksek bebek yaşı olan 2.5 yaşında sıfır olacaktır (Toprak, 2002).

2.2.2 Üyelik Fonksiyonlarının Anlamı ve Gösterimi

Üyelik kavramı bulanık sistemlerde en önemli parametredir. Verilen bir kümede bir elemanının üyeliği ayırt edici ve dereceli olarak tanımlanır. Bu belirsizliğin o anki durum için matematiksel olarak tanımlanmasına yarayan bir sınırlı hareket alanı olarak da düşünülebilir. Bulanık sistemlerde kısmi üyelik bir taraftan insanların iletişim dünyasında konuşma dilinde yaratılan, diğer taraftan ise soyut ve sayısal olarak düzenlenmiş matematik ve mantık dünyasındaki karmaşa arasındaki bir köprüdür.

Üye olarak anlaşılabilen ve gösterilebilen kavramlar birlikte incelenirler. Bulanık yöntemlerin her uygulanışında mevcut probleme ait üyeliğin hangi yorumunun en iyi uyduğunun bilinmesi gerekmektedir (Bayram, 2006).

2.2.2.1 Benzerlik Olarak Üyelik

Objelerin benzerlik derecelerini belirlemek amacı ile özellik uzayı kullanılır. Bir objenin üyeliğinin 0.9 olarak atanması için çok benzer ya da tamamen aynı ifadelerinin sayısal olarak tanımlanabilmeleri gerekmektedir. Karışık renkli bilyelerin renklerine göre gruplandırılması problemi buna örnek verilebilir

2.2.2.2 Olasılık Olarak Üyelik

Üyelik aynı zamanda bir parça ya da bir küme içinde tanımlanmış bir sınıftaki bir objenin olasılığı olarak da yorumlanabilir. Az bir olasılık, çok olası terimleri bu bağlantı ile bulanık küme olarak gösterilebilir.

2.2.2.3 Yoğunluk Olarak Üyelik

Üyeliğin diğer bir yorumu ana küme ile özellik açısından aynı özelliği gösteren eleman anlamında yoğunluktur. Çok parlak, çok koyu gibi kavramlar açısından bakıldığında parlaklık buna ilişkin iyi bir örnek oluşturmaktadır. Yoğunluk temel spektrum özelliği ile örneğin kümenin bir elemanı için parlaklık olarak ifade edildiğinde burada bu elemanın üyeliği ya da üyelik derecesi anlaşılmaktadır.

2.2.2.4 Yaklaşım (approximation) Olarak Üyelik

Bazı uygulamalarda üyelik olarak yaklaşım anlaşılmaktadır. Bu durumda üyeliğe bir kalite ölçütü olarak bakmak gerekmektedir. Yani tanımlanmış bir ölçüte göre bir ölçünün yaklaşımı anlaşılmalıdır.

Üyelik tanımının bu biçimi istatistiksel anlamda belirsizlikten üyeliğe geçiş ve iteratif olarak düzeltme yollarını ya da yordamlarını belirler. Özel bir uygulamada en uygun üyelik fonksiyonunun belirlenmesi deneysel araştırmalarla da mümkündür. Hangi üyelik fonksiyonunun hangi problemde en doğru bir şekilde kullanılabileceği sorusunun yanıtı deneyim ve sezgilere de bağlıdır.

Üyelik fonksiyonlarının elde edilmesi için küme algoritmaları uygulanabilir. Üyelik fonksiyonları çokluk uzayındaki parametrik fonksiyonlar olabilir ve bu diziler üyelik fonksiyonuna yaklaşırlar. Burada sınıflandırılarak tanımlanan geleneksel uzaklık ölçütleri parametrelerin elde edilmesinde yardımcı olabilirler (Bayram, 2006).

2.2.3 Bulanıklaştırma

Matematikte, benzer özellikler gösteren elemanların bir arada gruplandırılmasıyla 'küme' adı verilen kavram oluşturulur. Klasik matematikte bir konunun bir bölümünün o kümeye ait olması gibi bir kavram düşünülmez ve kabul edilmez. Bu sınırlama, problemlerin her zaman uygun bir çözüme kavuşturulabilmesine engel teşkil etmektedir.

Pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Bu durumda, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizliklerin, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir (Şen, 1999).

Bulanıklaştırma sürecinde ele alınan üyelik fonksiyonları, problemin yapısına ve amacına uygun olmalıdır. Genel anlamda üyelik fonksiyonları sezgisel, matematik, geometrik ya da istatistik yaklaşımlara dayandırılabilmektedir.

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir.

Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. Bir kümede bulunan öğelerden en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekmektedir. Bu duruma bulanık kümenin normal olması denir. Üyelik derecesi 1 olan öğeye yakın, sağdaki ve soldaki öğelerinde üyelik dereceleri 1'e yakın olmalıdır. Bu durumda bulanık kümenin monoton olduğu anlaşılır. Üyelik derecesi 1'e eşit öğelerden sağa ve sola eşit mesafede gidildiğinde, buradaki öğelerin de üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekir. Bu duruma da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir (Şen, 2000).

Bulanık küme kuramı, belirsizliğin bir tür formüllendirilmesidir. Bulanık küme kavramı, hassasiyetin arttırılması ya da esneklik açısından klasik kümelerinkine göre daha uygun olan bir yöntem olarak görülebilir. Aslında getirdiği yaklaşım, klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir kenara bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktır (Yen J,1999).

İki değerli mantıkla, iki mutlak sonuç "0" ve "1" olarak gösterilirken, sonsuz değerli mantıkta ise sonuçlar [0.0, 1.0] aralığında tanımlanır. Bu değerlere "üyelik derecesi" denir. "0" mutlak "yanlışlığı", "1" ise mutlak "doğruluğu" gösterir. Bu üyelik derecesi, belirsizliği gidermeye çalışıp, tanımlamaya çalışan bir fonksiyonla ölçülebilir. Bu fonksiyon, bir bulanık kümedeki elemanları [0,1] aralığındaki gerçek bir değere dönüştürebilir.

Örnek: Bir evrensel küme olan (X), 1'den 7'ye kadar sayılardan oluşsun. X={1,2,3,4,5,6,7}. X' in bir alt kümesi olan A kümesini tanımlamaya çalışalım. A kümesi için bu kümenin x elemanlarının 4'ün komşuları olma kuralını koyalım. Bu durumda A kümesinin klasik tanımlanması: A={3,4,5} olur. Burada 3 ve 5 in 4' ün komşuları olduğu apaçık ortadadır. Fakat komşuluk daha çok, çok ya da az sorusunun karşılığı olarak ele alınacak olursa yukarıdaki kümenin bulanık küme olarak tanımı şu şekilde olur:

$$\text{Ü}_{BULANIK} = \left\{ \frac{0{,}6}{1}, \frac{0{,}9}{2}, \frac{1{,}0}{3}, \frac{1{,}0}{4}, \frac{1{,}0}{5}, \frac{0{,}9}{6}, \frac{0{,}6}{7} \right\}$$

2.3 Kümeler

2.3.1 Giriş

Küme kavramı aslında bir tür sınıflandırma kavramıdır. İnsanoğlu ilk çağlardan beri küme kavramını kullanmıştır. İlk zamanlarda insanlar belki "küme"yi kavramlaştırmadan, başka bir ifade ile "küme"yi, "küme" olduğunu bilmeden kullanmıştır. Aynı şekilde iletişim, düşünme, tasvir ve karar için ilk insandan itibaren kümeler kullanılmıştır. Örneğin, "bebekler", "çocuklar", "yetişkinler", "yaşlılar", "kadınlar", "erkekler", "koyunlar", "sığırlar", "vahşi hayvanlar" gibi terimler aslında birer sınıf dolayısıyla birer kümeyi temsil etmektedir. "19 yaşından küçükler giremez" şeklindeki bir ifadeyi, anlamını hiç bozmadan küme bilimi dili ile şu şekilde değiştirmek mümkündür: "19 yaşından küçük insanların kümesine eleman olanlar giremez" veya "yalnızca 19 yaşında veya 19 yaşından büyük insanların kümesine ait elemanlar girebilir".

"Kümeler" temel matematik ve mantık kavramlarının esaslarını teşkil eder. Aslında insan düşüncesinin en temel öğelerini kümeler meydana getirir, fakat insanoğlu onları günlük hayatının her safhasında kullanmasına rağmen küme kavramını bilmeyebilir. Artık düşünce sisteminde sistematik bir şekilde mantık ve matematiğin kullanılması ile küme kavramları da otomatik olarak kullanılır hale gelmiştir. Özellikle günümüzde eğitim sistemlerinde klasik matematiğin yerini modern matematiğe bırakması kümeler teorisinin daha da önem kazanmasına neden olmuştur" (Şen 1999).

2.3.2 Klasik Kümeler

Klasik küme anlayışına göre bir eleman bir kümeye aittir ya da değildir. Başka bir ifade ile "biraz aittir" veya "biraz değildir" denemez. Çünkü klasik küme anlayışında, bir eleman bir kümeye ya 0 ya da 1 üyelik derecesi ile bağlıdır. Bir elemanın bir kümeye 0 ile 1 arasındaki herhangi bir üyelik derecesi ile bağlılığı söz konusu değildir. Bu nedenle her hangi bir kümenin alt kümelerinin sınırları kesindir. Bu durum beraberinde bazı problemleri getirmektedir. Örneğin "sıcaklık" uzayını ve uzayın alt kümeleri olarak; "çok sıcak", "sıcak", "ılık", "serin" ve "soğuk" alt kümelerini düşünelim. "Sıcak" alt kümesi $\mathbf{25\ ^0C \leq T \leq 35\ ^0C}$

olarak kabul edilsin. Bu durumda klasik küme mantığına göre, **35.01 ^{0}C “çok sıcak” ve 24.99 ^{0}C** ise **“ılık”** kabul edilmektedir. Oysa gerçek hayatta her kümenin sınırı ve dolayısıyla bu kümelere ait her elemanın özellikleri o kadar kesin değildir. Dolayısıyla klasik küme anlayışı böyle durumları ifade etmekte yetersiz kalmaktadır (Toprak, 2002).

2.3.3 Bulanık Kümeler

“Küme” ve “klasik küme” kavramlarına değindikten sonra “bulanık küme” kavramına geçilebilir. Bulanık küme kavramının iyice anlaşılabilmesi için “küme” ve “klasik küme” kavramlarını paralel olarak açıklamak, farklılık ve benzerliklerin ortaya çıkması açısından daha doğru olur.

Bulanık kümelerin arasındaki sınırlar klasik küme mantığının aksine çok net ve keskin değildir. Küme sınırları genellikle iç içedir. Örneğin “bebek”, “çocuk”, “genç”, “orta yaşlı” gibi yaş alt kümeleri için kesin yıl sınırları verilemez. İnsanoğlu hiçbir zaman 1 yıl 11 ay 29 günlük bir insana, henüz iki yaşını doldurmadığı için çocuk sayılır demez. Çünkü insanoğlu başka parametreleri de hesaba katarak küme sınırlarını bulanık olarak belirler. Olayın fiziksel büyüklüğüne, zeka seviyesine, davranışlarına vb. parametrelere bakarak o insan hakkında bir küme sınırı belirlenir. Dolayısıyla duruma göre 1 yıl 10 aylık bir insana “çocuk” derken, 2 yıl 2 aylık birine de “bebek” diyebilmektedir. Görüldüğü üzere insanoğlunun belirlediği kümelerin sınırları birbirine geçmektedir. Bu kümeleme mantığı, bulanık küme mantığından başka bir şey değildir. Yukarıda, “insanoğlu ilk çağlardan beri küme ve küme işlemlerini kullanmıştır” şeklinde yazılması daha uygundur. Aynı şekilde iletişim, düşünme, tasvir etme ve karar için ilk insandan itibaren hep bulanık kümeler kullanılmıştır (Toprak, 2002).

Yukarıda da belirtildiği gibi klasik küme anlayışına göre, bir eleman bir kümeye ya aittir (üyelik derecesi 1) ya da değildir (üyelik derecesi 0). Oysa bulanık küme anlayışında bir eleman bir kümeye, 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri ile aittir. Başka bir ifadeyle bir eleman bir kümeye “biraz aittir” veya “biraz ait değildir” denebilir. Aynı zamanda bir elemanın, aynı anda, birbirinin aynısı veya farklı üyelik dereceleri ile farklı iki bulanık kümeye bağlılığı söz konusu olabilir.

Yukarıdaki sıcaklık örneğine dönersek , “sıcaklık” uzayının “çok sıcak”, “sıcak”, “ılık”, “serin” ve “soğuk” bulanık alt kümeleri verilmişti. “Sıcak” alt kümesinin sıcaklık aralığı,

$25\,^0C \le T \le 35\,^0\mathbf{C}$ olarak belirlenmişti. Bu durumda, klasik mantığa göre 35.01 $^0\mathbf{C}$ “çok sıcak” ve 24.99 $^0\mathbf{C}$ ise “ılık” alt kümelerinin elemanları olarak kabul edildiği belirtilmişti. Oysa bulanık küme anlayışına göre 35.01 $^0\mathbf{C}$ hem “sıcak” hem de “ çok sıcak” bulanık alt kümelerinin, 24.99 $^0\mathbf{C}$ gibi sıcaklık değeri ise hem “ılık” hem de “ sıcak” bulanık alt kümelerinin ikisinin birden farklı üyelik dereceleri ile elemanıdır.

Bulanık mantıkta, kümenin sınırları ve elemanlarının özellikleri kesin değildir. Başka bir ifadeyle, bulanık mantık anlayışında, siyah ile beyaz arasında, sonsuz sayıdaki gri tonlara yer vardır. Nitekim gerçek hayatta da her kümenin sınırı ve dolayısıyla her elemanın özellikleri o kadar kesin değildir. Dolayısıyla bulanık küme anlayışı gerçek hayatın ruhuna daha yakındır denebilir.

Klasik kümelerde bir kümeden diğerine geçiş keskin ve aniden değişen üyelik dereceleri ile olmaktadır. Ancak bulanık kümelerde bu geçiş yumuşak ve sürekli bir şekildedir. Bu geçişte belirsizlik, hayal gücü, sezgi gibi faktörler rol oynar. Aslında üyelik fonksiyonu bu tür faktörlerin karışık bir şekilde elemanlara yayılmasını temsil eder. Buradan hareketle bulanık kümenin değişik üyelik derecesinde elemanları olan bir topluluk olduğu söylenebilir. Ortaya çıkan önemli noktalardan biri klasik kümelerde bir elemanın kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1’e eşit olması gerekirken, bulanık kümede elemanların değişik derecelerle kümeye ait olmaları mümkündür. Bununla birlikte, bulanık kümenin bir elemanı başka bir kümeninde aynı veya farklı üyelik dereceleriyle elemanı olabilir şeklinde özetlemektedir (Şen, 1999).

Elemanların üyelik derecelerinden söz edildiğine göre, bulanık küme mantığına göre, bir elemanın bir kümenin elemanı olduğunun bilinmesi o elemanın tanımlanması için yeterli değildir. Aynı zamanda, elemanın hangi üyelik derecesi ile o kümeye ait olduğunun da bilinmesi gerekir.

Örneğin, 40 derecelik bir sıcaklık, ekvator bölgesinde “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “sıcak” bulanık kümesinin 0.91’lik üyelik derecesi ile bir elemanı iken, aynı zamanda “çok sıcak” bulanık kümesinin de 0.2’lik üyelik derecesi ile elemanı olabilir. Oysa aynı sıcaklık derecesi kutuplarda “sıcaklık” uzayının bir alt kümesi olan “çok çok sıcak” bulanık kümesinin 1.0 üyelik derecesi ile elemanı olabilir. O halde, değerlerin bir bulanık kümeye aitlik ölçüsünü gösteren “üyelik derecesi” her zaman her yerde aynı olmayabilir.

Bu daha çok alt kümenin ait olduğu uzaya bağlıdır. Nitekim “çok sıcak” tanımlaması bir insanın zihninde ekvator ve kutup bölgeleri için farklı sıcaklık değerlerini çağrıştırdığı gibi, yaz ve kış mevsimlerinin uzayları için de farklı sıcaklık değerlerini çağrıştırmaktadır (Toprak, 2002).

2.3.4 Bulanık Küme Notasyonu

Gerek bulanık küme işlemleri ve gerekse özelliklerinin tanımlanması ve ifade edilmesi için klasik kümelerde olduğu gibi bazı notasyonlara gereksinim vardır. Bu notasyonlar genel olarak klasik kümelerinkinden pek farklı değildir.

Bu bölümde klasik kümelerle karışmaması için, notasyon olarak bulanık kümeler, büyük harflerin altında bir çizgi işaretinin konulması ile gösterilecektir. Örneğin, A kümesinin bulanık kümedeki karşılığı $\underline{A}$’ dır. x $\in$ $\underline{A}$ ise x’in üyelik derecesi $\ddot{U}_{\underline{A}}(x)$ ile gösterilir. X klasik kümesi X ={x_1,x_2,x_3 …} şeklinde gösterilir. Bunun bulanık küme gösterimi ise $\underline{X}$=

$$\left\{ \frac{\ddot{u}_x(x_1)}{x_1} + \frac{\ddot{u}_x(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\ddot{u}_x(x_i)}{x_i} \right. \text{ olur.}$$

Bulanık kümenin sürekli olması durumunda ise

$$\underline{X} = \left\{ \int \frac{\ddot{u}_x(x)}{x} \right.$$

şeklini alır.

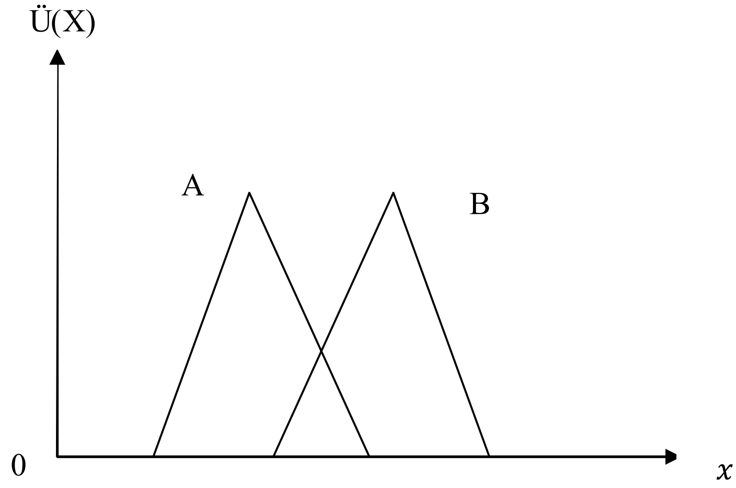
Bulanık küme gösteriminin yukarıdaki iki halinde de, bölüm işareti asla bölmeyi göstermez, küme elemanları ile o elemanların üyelik derecesini birbirinden ayırmak için kullanılır. Bu denklemlerdeki + işareti de toplama işareti değil, küme elemanlarının topluluğunu ifade eden bir işarettir. Benzer şekilde integral işareti de bilinen integral anlamına gelmez, topluluğu gösteren bir işaret olarak kullanılmaktadır. Örneğin, “sıcaklık” uzayının iki farklı bulanık kümesi, elemanları ile birlikte

$\underline{A}$={0.2/40+0.4/45+0.6/50+0.8/55+1/60}

ve

$\underline{B}$={0.2/20+0.4/25+0.6/30+0.8/35+1/40} şeklinde gösterilebilir.

Herhangi iki bulanık kümenin klasik küme Venn diyagramına karşı gelen gösterimi ise Şekil 2.7'de verilmiştir. Diğer notasyonlar ise tıpkı klasik küme anlayışındaki gibidir. Farklı olan, kesişim ($\cap$) ve bileşim ($\cup$) işaretleri yerine "VE" ve "VEYA" kelimelerini ifade eden kesişim (^) ve bileşim (V) sembollerinin gelmesidir. $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ gibi iki bulanık kümenin bileşimi, $\underline{A}$' da VEYA $\underline{B}$' de kesişimi ise $\underline{A}$ ve $\underline{B}$' de olan elemanların kümesi anlamına gelir. Sırasıyla, $\underline{A}\vee\underline{B}$ ve $\underline{A}\wedge\underline{B}$ şeklinde gösterilir. Birleşim veya kesişimin tanımlanması üyelik derecesi ile birlikte yapıldığı için $\underline{A} \vee \underline{B} = Ü_{\underline{A}}(x) \vee Ü_{\underline{B}}(x)$, benzer şekilde ve $A \wedge B = Ü_{\underline{A}}(x) \wedge Ü_{\underline{B}}(x)$ şeklinde gösterilir.



Şekil 2.7 İki bulanık kümenin Venn diyagramı

2.3.5 Bulanık Küme İşlemleri

Geleneksel kümelerde kesişim, birleşim ve tümleme şeklinde üç temel işlem vardır. A ve B ile gösterilen geleneksel kümelerin aynı evrensel kümede tanımlı olduğu kabul edilsin. A ve B kümelerine göre kesişim, birleşim ve tümleme işlemleri bulanık kümelerde de uygulanabilir. Bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve tümleme işlemlerini gerçekleştirmek için sırasıyla minimum, maksimum ve değilleme işlemcileri sıklıkla kullanılır. Bu işlemler bulanık kümede aşağıdaki gibi tanımlanır.

A ve B bulanık kümelerin $\ddot{U}_{\underline{A}}(x)$ ve $\ddot{U}_{\underline{B}}(x)$ üyelik fonksiyonları cinsinden birleşimlerinin üyelik fonksiyonu

$$\ddot{U}_{\underline{A}\vee\underline{B}}(x) = \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \vee \ddot{U}_{\underline{B}}(x) \qquad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Bu işlemde ortak olmayan elemanların tümü ve ortak elemanlardan ise sadece üyelik derecesi en büyük (EB) olanlar alınır. İki bulanık kümenin birleşimi şematik olarak Şekil 2.8'deki gibi gösterilmektedir.

Benzer şekilde iki bulanık kümenin kesişimlerinin üyelik fonksiyonu

$$\ddot{U}_{\underline{A}\wedge\underline{B}}(x) = \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \wedge \ddot{U}_{\underline{B}}(x) \qquad (2.2)$$

şeklinde gösterilir. Bu işlemde iki bulanık kümenin sadece ortak elemanlarından üyelik derecesi en küçük (EK) olanlar işin içine girer (Şekil 2.9).

Tamlama işlemi ise

$$\ddot{U}_{\overline{\underline{A}}}(x) = 1 - \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \qquad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Ayrıca

$$\underline{A} \subseteq X \Rightarrow \ddot{U}_{\underline{A}}(x) \leq \ddot{U}_{x}(x) \qquad (2.4)$$

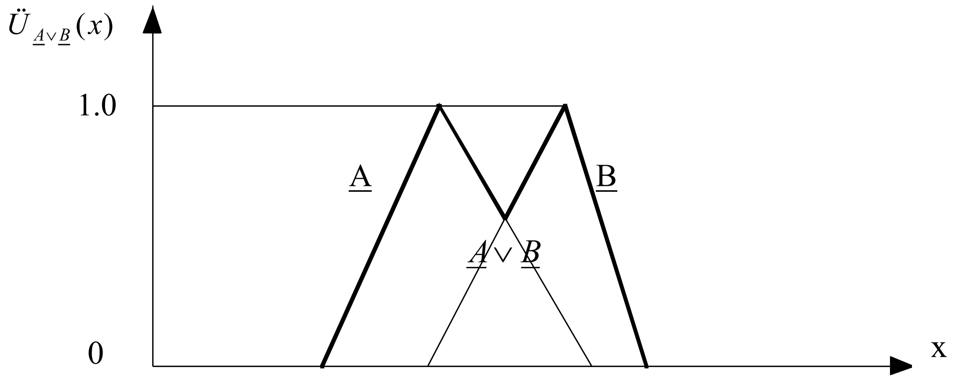
yazılabilir. Tüm x değerleri için de

$$x \in X, \ddot{U}_{\phi}(x) = 0 \qquad (2.5)$$

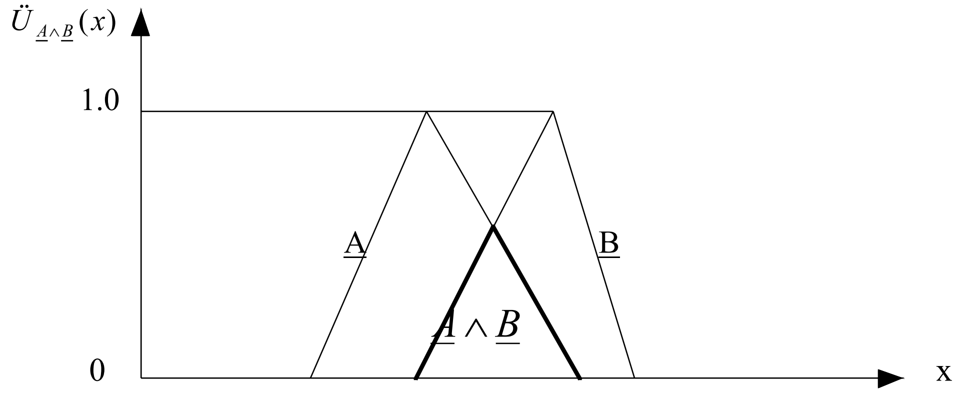
ve

$$x \in X, \ddot{U}_{x}(x) = 1 \qquad (2.6)$$

dir.



Şekil 2.8 A ve B bulanık kümelerinin birleşimi (Şen, 2004)



Şekil 2.9 A ve B bulanık kümelerinin kesişimi (Şen, 2004)

Ayrıca klasik kümeler için geçerli olan De Morgan kuralı bulanık kümeler için de benzer olarak aşağıdaki ifadeler aracılığı ile geçerlidir.

$$\overline{\underline{A} \wedge \underline{B}} = \overline{\underline{A}} \vee \overline{\underline{B}} \tag{2.7}$$

$$\overline{\underline{A} \vee \underline{B}} = \overline{\underline{A}} \wedge \overline{\underline{B}} \tag{2.8}$$

Klasik ve bulanık kümelerin birleşim ve kesişim işlemlerine bir örnek vererek karşılaştıralım (Toprak, 2002).

$$A = \{a, b, c, e, h, i\} \tag{2.9}$$

ve

$$B = \{1, a, 3, z, b, x\} \tag{2.10}$$

kümelerinin birleşimi sonucunda

$$A \cup B = \{a, 1, 3, b, c, e, h, i, z, x\} \tag{2.11}$$

olacağını VEYA $(\cup)$ kelimesinin anlamından görmek mümkündür. Bulanık kümelerin elemanları ile verilmesine örnek teşkil etmek üzere yukarıda verilen A ve B klasik kümelerinin elemanlarını esas alan $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümeleri

$$\underline{A} = \{0.1/a + 0.3/b + 0.9/c + 1.0/e + 0.6/h + 0.2/i\} \tag{2.12}$$

$$\underline{B} = \{1.0/1 + 0.8/a + 0.6/3 + 0.4/z + 0.2/b + 0.1/x\} \tag{2.13}$$

olsun. Bunların birleşimi

$$\underline{A} \vee \underline{B} = \{0.8/a + 1.0/1 + 0.6/3 + 0.3/b + 0.9/c + \ldots \tag{2.14}$$

$$\ldots 1.0/e + 0.6/h + 0.2/i + 0.4/z + 0.1/x\}$$

olur. Burada herhangi bir eleman sadece $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümelerinden birinde bulunuyorsa üyelik derecesi bulunduğu alt kümeden olduğu gibi alınır. Örneğin, c, e, h, i, 1, 3, z ve x elemanları $\underline{A}$ ve $\underline{B}$'de bulunduğundan üyelik dereceleri doğrudan alınır. Oysa a ve b elemanları hem $\underline{A}$ hem de $\underline{B}$'de bulunduğundan kümelerin birleşimi için üyelik derecesi iki bulanık kümedeki üyelik derecelerinin en büyüğü (EB) alınarak belirlenir. Buna göre a elemanının üyelik derecesi

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(a) = EB[0.1, 0.8] = 0.8 \tag{2.15}$$

ve b elemanının üyelik derecesi ise

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(b) = EB[0.3, 0.2] = 0.3 \tag{2.16}$$

olur. Sonuçta, $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık alt kümelerinde ortak bulunan bir elemanın birleşiminin üyelik derecesi

$$\ddot{U}_{\underline{A} \vee \underline{B}}(x) = EB\left[\ddot{U}_{\underline{A}}(x), \ddot{U}_{\underline{B}}(x)\right] \tag{2.17}$$

şeklinde yazılır. Bir de iki bulanık alt küme "VE" ifadesi ile bir araya getirilebilir. Burada "VE" ifadesinden göz önünde tutulan iki veya daha fazla bulanık alt kümede bulunan ortak elemanların meydana getirdikleri küme anlaşılır. “VE” ile bir araya getirilen iki bulanık kümeden daha dar kapsamlı bir alt kümenin elde edileceği açıktır.

$\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık alt kümelerinin kesişiminde, klasik kümelerin kesişiminden farklı olarak birbirinin aynı olan elemanlardan üyelik derecesi en küçük olanlar alınır. Buna üyelik derecelerinin en küçüklenmesi (EK) de denir. Bunun doğal sonucu olarak a ve b elemanlarının üyelik dereceleri sırası ile

$$\ddot{U}_{\underline{A}\wedge\underline{B}}(a) = EK[0.1,0.8] = 0.1 \tag{2.18}$$

ve

$$\ddot{U}_{\underline{A}\wedge\underline{B}}(b) = EK[0.3,0.2] = 0.2 \tag{2.19}$$

olarak bulunduğundan, sonuç bulanık kesişim kümesi

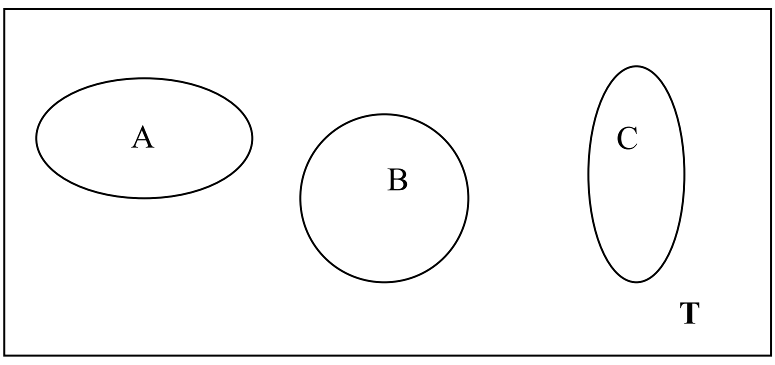
$$\underline{A}\wedge\underline{B} = \{0.1/a + 0.2/b\} \tag{2.20}$$

dir. Genel olarak A ve B bulanık alt kümelerinin ikisinde de bulunan bir elemanın kesişiminin üyelik derecesi

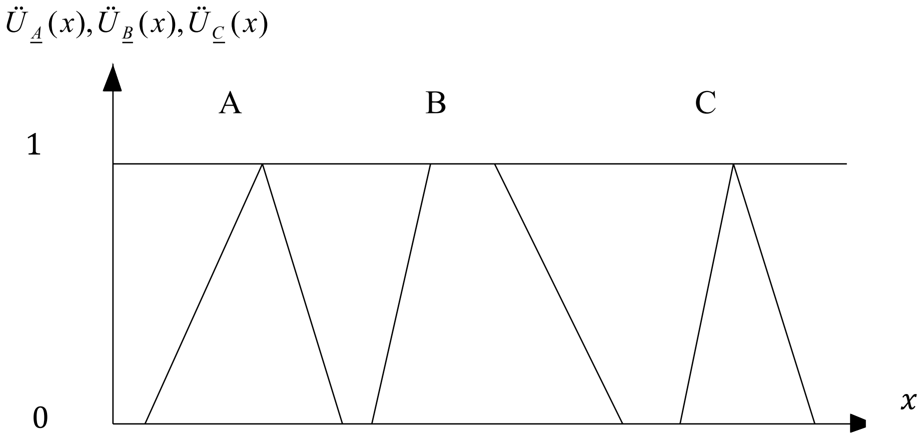
$$\ddot{U}_{\underline{A}\wedge\underline{B}}(x) = EK\left[\ddot{U}_{\underline{A}}(x), \ddot{U}_{\underline{B}}(x)\right] \tag{2.21}$$

şeklinde yazılır.

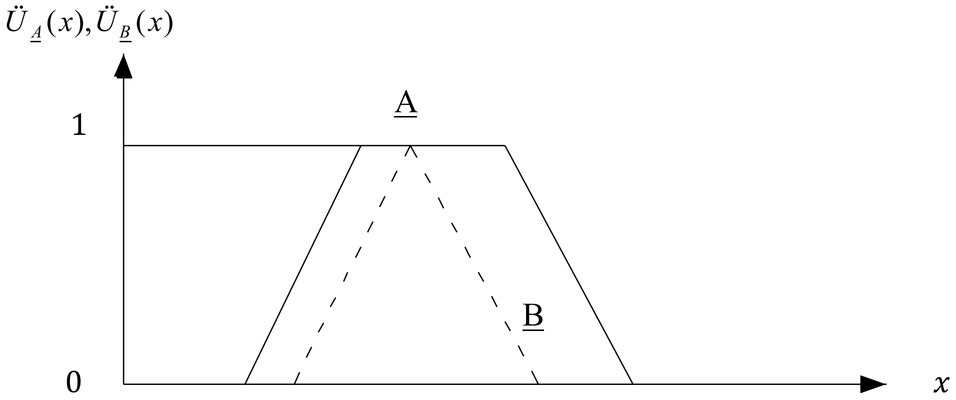
İki veya daha fazla kümenin hiç ortak elemanının bulunmaması halinde bunlara bağdaşmayan alt kümeler denir. Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12’de bağdaşmayan klasik ve bağdaşmayan bulanık kümeler ile içerilen bir bulanık küme gösterilmiştir (Şen, 2000).



Şekil 2.10 Bağdaşmayan klasik kümeler (Şen, 2000)



Şekil 2.11 Bağdaşmayan bulanık kümeler (Şen, 2004)



Şekil 2.12 İçerilen bulanık B Kümesi (Şen, 2004)

Bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve tümleme işlemlerine örnekler vererek açıklayalım.

Örnek 2.1 (Özkan, 2003);

Üniversitelerin akademik durumunu belirlemek için öğrenci ve akademik personelin katıldığı bir anket düzenlenmiştir. Bu ankette, deneklere üniversitenin akademik durumunu nitelemeleri için dört adet seçenek sunulmuştur. Üniversitelerin akademik durumunu nitelendirmek için her bir denek mükemmel, iyi, zayıf ve kötü seçeneklerini tercih edebilir. Burada evrensel küme incelenen üniversiteleri gösterecek biçimde, U={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10} olarak tanımlanmıştır. Anket sonuçlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulan bulanık kümelerin aşağıdaki gibi olduğu kabul edilsin .

$Ü_{mükemmel}$ = $Ü_{\underline{m}}$= 0.2/8 +0.6/9+1/10

$Ü_{iyi}$ = $Ü_{\underline{i}}$= 0.1/6+0.5/7+0.9/8+1/9+1/10

$Ü_{zayıf}$ = $Ü_{\underline{z}}$= 0.3/2+0.6/3+0.9/4+1/5+0.9/6+0.5/7

$Ü_{kötü}$ = $Ü_{k}$ =1/1+0.7/2+0.4/3+0.1/4

Burada, ankete katılanlara göre, örneğin 8 nolu üniversite 0.2 üyelik derecesi ile mükemmel bir akademik durum içindedir. Ayrıca, bu üniversitenin akademik durumu 0.9 üyelik derecesiyle ile iyi olarak nitelendirilmiştir. Üyelik fonksiyonlarındaki diğer rakamlar da benzer şekilde yorumlanabilir. Bulanık kümelerde kesişim, birleşim ve tümleme işlemlerinin yeni bir bulanık küme ile sonuçlanacağı açıktır. Daha önce açıklandığı gibi, bulanık kümelerde üyelik derecesi sıfır olan bulanık teknikler üyelik fonksiyonlarında genellikle gösterilmez. Hesaplama kolaylığı sağlamak için, sıfır üyelik dereceli elemanları da dikkate alarak M, İ, K ve Z kümelerini şöyle yazabiliriz.

$Ü_{\underline{M}}$ = 0/1+0/2+0/3+0/4+0/5+0/6+0.2/8 +0.6/9+1/10

$Ü_{\underline{İ}}$ =0/1+0/2+0/3+0/4+0/5+0.1/6+0.5/7+0.9/8+1/9+1/10

$Ü_{\underline{Z}}$ =0/1+0.3/2+0.6/3+0.9/4+1/5+0.9/6+0.5/7+0/8+0/9+0/10

$Ü_{\underline{K}}$ =1/1+0.7/2+0.4/3+.1/4+0/5+0/6+0/7+0/8+0/9+0/10

Burada,evrensel küme U={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10}'dır. Buna göre, akademik durumu iyi fakat mükemmel olmayan üniversiteler kümesi ile akademik durumu zayıf veya kötü olan üniversiteler kümesini minimum, maksimum ve değilleme işlemcilerini kullanarak belirleyelim. Sırasıyla $Ü_{\underline{İ} \wedge \underline{M}}$ ve $Ü_{\underline{Z} \vee \underline{K}}$ üyelik fonksiyonlarıyla ile nitelenen kesişim ve birleşim kümesini belirlemek için ağıdaki tabloyu hazırlayabiliriz.

Çizelge 2.1 Bulanık kesişim ve bulanık birleşim kümesi

X	$Ü_{\underline{M}}$	$Ü_{\overline{M}}$	$Ü_{\underline{İ}}$	$Ü_{\underline{Z}}$	$Ü_{\underline{K}}$	$Ü_{\underline{İ}\wedge\overline{M}}$	$Ü_{\underline{Z}\vee\underline{K}}$
1	0	1-0=1	0	0	1	Min(0,1)=0	Max(0,1)=1
2	0	1-0=1	0	0.3	0.7	Min(0,1)=0	Max(0.3,0.7)=0.7
3	0	1-0=1	0	0.6	0.4	Min(0,1)=0	Max(0.6,0.4)=0.6
4	0	1-0=1	0	0.9	0.1	Min(0,1)=0	Max(0.9,0.1)=0.9
5	0	1-0=1	0	1	0	Min(0,1)=0	Max(1,0)=1
6	0	1-0=1	0.1	0.9	0	Min(0.1,1)=0.1	Max(0.9,0.1)=0,9
7	0	1-0=1	0.5	0.5	0	Min(0.5,1)=0.5	Max(0.5,0)=0.5
8	0.2	1-0.2=0.8	0.9	0	0	Min(0.9,0.8)=0.8	Max(0,0)=0
9	0.6	1-0.6=0.4	1	0	0	Min(1,0.4)=0.4	Max(0,0)=0
10	1	1-1=0	1	0	0	Min(1,0)=0	Max(0,0)=0

Akademik durumu iyi fakat mükemmel olmayan üniversiteler kümesine ilişkin üyelik fonksiyonunun

$Ü_{\underline{İ}\wedge\overline{M}}$ = 0.1/6+0.5/7+0.8/8+0.4/ 9 olduğu yukarıda verilen tablodan görülebilir. Benzer olarak, akademik durumu zayıf veya kötü üniversiteler kümesini niteleyen üyelik fonksiyonunu ise

$Ü_{\underline{Z}\vee\underline{K}}$= 1/1+0.7/2+0.6/3+0.9/4+1/5+0.9/6+0.5/7 ile gösterilebilir. Burada, sıfır üyelik dereceli bulanık teklikler kesişim ve birleşim kümesinde gösterilmemiştir.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları arasında $\underline{A} \subseteq X \Rightarrow Ü_{\underline{A}}(x) \leq Ü_{x}(x)$ $\forall$ x$\in$U ilişkisi varsa, $\underline{A}$ kümesinin $\underline{B}$ kümesinin bir alt kümesi olduğu veya $\underline{B}$ kümesinin $\underline{A}$ kümesini kapsadığı söylenir.

2.4 Bulanık Bağıntılar

2.4.1 Giriş

Bir önermenin doğruluk değeri geleneksel mantıkta {0,1} doğruluk evreniyle eşlenirken, bulanık mantıkta [0,1] doğruluk evreniyle (0 ve 1 arasındaki gerçek sayılar) eşlenir. Bulanık mantığın temelini bulanık önermeler oluşturur. Doğru, yanlış, kısmen doğru veya kısmen yanlış olduğu söylenen ve hüküm bildiren bir ifade, bulanık bir önerme olarak tanımlanabilir. Buna göre bulanık bir önermenin doğruluk değeri bir derecelendirme konusu haline gelir. Örneğin "Bay A keldir ve çok uzun değildir" cümlesi bulanık bir önermedir. Bu cümlede, kellik ve uzunluk kavramları bulanık kümelerle temsil edilir. Çünkü kellik ve uzunluk için "bir kişinin nereden itibaren kel veya uzun olarak nitelendirilebilir" sorusu kesin bir şekilde yanıtlanamaz. "Bay A keldir ve uzun değildir" önermesinde, ilgili kişiyi niteleyen kellik ve uzunluk kavramları farklı evrensel kümelerde tanımlı olan bulanık kümelerdir. Bu nedenle, söz konusu önermenin kartezyen çarpım uzayında tanımlı olan bulanık bir bağıntı olarak ele alınması gerekir. Bulanık bağıntılar, bulanık önermeler şeklinde yorumlandığı için, bunların üyelik fonksiyonları matematiksel olarak belirlenebilir. Örneğin, bulanık "eğer", "bu durumda" kuralları veya bulanık algoritmalar, matematiksel olarak bulanık bağıntılara denktir. Bulanık "eğer", "bu durumda" kurallarını kullanarak, bulanık akıl yürütme süreci (bulanık ortamda çıkarım yapma) ise, matematiksel olarak bileşke işlemine denktir (Özkan, 2003).

Bu bölümde, geleneksel bağıntılardan bulanık bağıntılara geçiş süreci, bulanık bağıntılara ilişkin temel kavramlar, bulanık bağıntılarda kesişim, birleşim ve tümleme gibi küme teorik işlemler, bulanık bağıntı türleri ve bulanık bağıntısal eşitliklerin çözümünün elde edilmesinde kullanılan bileşke işlemleri ele alınacaktır.

Geleneksel bir küme, tek boyutlu nesneler topluluğu şeklinde tanımlanabilir. Örneğin, "uzun boylu insanlar" ifadesi ile oluşturulan bir küme, tek boyutlu geleneksel bir kümede bir araya getirilir. Bu kümenin elemanı olabilmek için aranan tek ölçüt kişilerin boyudur. Bununla birlikte, "uzun boylu ve zayıf insanlar" nitelemesi ile oluşturulan geleneksel bir küme, sıralı çiftlerden oluşan bir kümedir. Diğer bir deyişle, bu küme iki boyutlu geleneksel bir bağıntıdır. Bu bağıntı (boy, kilogram) şeklindeki sıralı çiftlerle ifade edilir. Buradan hareketle, yüksek boyutlu evrensel kümeler üzerinde tanımlı olan sıralı nesneler topluluğuna bağıntı denir.

Geleneksel bir bağıntı, iki veya daha fazla nesne arasında gözlenen veya belirlenen bir ilişki olarak da ifade edilebilir. Geleneksel bağıntılarda ele alınan nesneler birbiriyle ya tamamen ilişkili ya da tamamen ilişkisizdir.

A ve B kümesinin elemanları x ve y değişkenleri ile gösterilerek, bu kümelerin sırasıyla U ve V evrenlerinde tanımlı olduğu kabul edilsin. Bu durumda x ve y arasındaki ilişkiyi gösteren R(x,y) bağıntısı kartezyen çarpım uzayı UxV üzerinde aşağıda verildiği şekilde ifade edilir (Terano ve Sugeno, 1992).

$$R(x,y) = U \times V \rightarrow Ü_R\,(x,y) \qquad (2.22)$$

Bu bağıntının üyelik fonksiyonu ise aşağıda verildiği gibi tanımlanır.

$$Ü_R\,(x,y) = \begin{cases} 1 & ; \quad (x,y) \in R(x,y) \\ 0 & ; \quad (x,y) \notin R(x,y) \end{cases} \qquad (2.23)$$

Örnek 2.2 ;

A ve B kümesinin elemanları sırasıyla x ve y değişkenleriyle gösterilsin. Ayrıca, bu kümeler sırasıyla U ve V evreninde aşağıdaki gibi tanımlansın.

$A = \{ 1,2 \}$; $U = \{ 1, 2, 3 \}$

$B = \{ a \}$; $V = \{ a, b \}$

Bu kümeler arasındaki geleneksel bağıntıların ve söz konusu bağıntıların üyelik fonksiyonları oluşturulsun. A ve B kümeleri arasındaki bağıntılar R(x,y) ve R(y,x) ile gösterilsin. Şimdi, bu bağıntıların tanımlı oldukları evrensel kümelerin kartezyen çarpımı uzaylarının belirlenmesi gerekir. Şöyle ki,

$UxV = \{(1,a),(1,b),(2,a),(2,b),(3,a),(3,b)\}$

$VxU = \{(a,1),(a,2),(a,3),(b,1),(b,2),(b,3)\}$

Burada $R(x,y) \subseteq UxV$ ve $R(y,x) \subseteq VxU$ olduğu için R(x,y) ve R(y,x) bağıntılarının sırayla UxV ve VxU kartezyen çarpım uzaylarının alt kümeleri olduğu açıktır. Burada A ve B kümesinde yer alan elemanlar dikkate alınırsa, R(x,y) ve R(y,x) bağıntıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

R(x,y) = {(1,a),(2,a)}

R(y,x) = {(a,1),(a,2)}

Buradan da görülebileceği üzere, bağıntılar elemanlar arasındaki sıralamanın önemli olduğu kümelerdir. Bu bağıntıların üyelik fonksiyonları eşitlik (2.23) oluşturulabilir. Şöyle ki

$$Ü_R(x,y) = \begin{cases} 1 & ;\ (x,y) = (1,a) \text{ ve } (2,a) \text{ ise} \\ 0 & ;\ \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$Ü_R(y,x) = \begin{cases} 1 & ;\ (y,x) = (a,1) \text{ ve } (a,2) \text{ ise} \\ 0 & ;\ \text{aksi halde} \end{cases}$$

Genelleştirmeye gidilirse; n adet geleneksel küme A_1, A_2,……….A_n arasındaki geleneksel bir bağıntının, U_1 x U_2 x…………….x U_n kartezyen çarpım uzayında tanımlı olan n boyutlu bir küme olduğu söylenebilir. Bu küme R(x_1 , x_2 , ……….. x_n) ile gösterilebilir. Burada, A_n evrensel küme U_n 'de tanımlıdır.

Bir bağıntı küme olarak ele alınabildiği için, geleneksel bağıntılar bulanık kümeler durumuna genişletilebilir. Buna göre, iki veya daha fazla evrensel küme (kartezyen çarpım kümesi) üzerinde tanımlanan bulanık bir kümeye bulanık bağıntı denir (Özkan, 2003).

Belirlenen bir başlangıç değeriyle bir sınıftaki uzun boylu insanlar topluluğu, tek boyutlu geleneksel küme ile gösterilebilmesine rağmen, “ oldukça uzun boylu insanlar ” nitelemesi doğal olarak tek boyutlu bulanık bir küme ile gösterilir. Burada, söz konusu bulanık kümenin elemanı olabilmek için aranan tek ölçütün insanların boyu olduğu açıktır. Bununla birlikte, “oldukça uzun boylu ve hemen hemen zayıf insanlar” nitelemesi ile oluşturulan bulanık bir küme, iki boyutlu bulanık bir bağıntıdır. Bu bağıntı [(boy, kilogram), (üyelik derecesi)] şeklinde sıralı çiftlerle ifade edilebilir. Bu nedenle, bulanık bağıntılar yüksek boyutlu evrensel kümeler (kartezyen çarpım uzayları) üzerinde tanımlı olan sıralı nesneler topluluğu olarak ele alınır.

A ve B kümelerindeki elemanları sırasıyla x ve y değişkenleri ile nitelensin. Ayrıca A ve B kümelerinin sırasıyla U ve V evrenlerinde tanımlı olduğunu kabul edilsin. Yani x Є A, y Є B ve A Є U, B Є U olsun. Bu durumda x ve y değişkenleri arasındaki bulanık bir bağıntı, kartezyen çarpım uzayı UxV üzerinde aşağıdaki gibi ifade edilir (Özkan, 2003).

$$\underline{R}(x,y) : U \times V \rightarrow Ü_{\underline{R}}(x,y) \tag{2.25}$$

Bulanık bir bağıntı, kartezyen çarpım uzayındaki her bir sıralı çiftin [0,1] aralığındaki bir sayı ile eşlendiği üyelik fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Ü_{\underline{R}}(x,y) \rightarrow [0,1] \tag{2.26}$$

Bulanık bağıntılarda (x,y) nesnesinin üyelik derecesi, 0 ve 1 arasındaki bir sayı ile açıklanır. Burada, 0 sayısı x ve y nesneleri arasında ilişki olmadığını, 1 sayısı x ve y nesneleri arasında tam bir ilişki olduğunu ifade eder. Bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise, x ve y nesneleri arasında kısmi bir ilişki olduğunu gösterir. Bulanık bir bağıntı, (x,y) nesnesi ile bu nesnenin bulanık bağıntıya üyelik derecesini gösteren sıralı çiftlerle (bulanık tekliklerle) gösterilir. Yani

$$\left[\,(x,y),\, Ü_{\underline{R}}(x,y)\right] \qquad \textit{veya} \qquad \frac{Ü_{\underline{R}}(x,y)}{(x,y)} \tag{2.27}$$

Evrensel kümenin sonlu olması halinde bulanık bir bağıntı aşağıda verildiği gibi de ifade edilir.

$$\underline{R}(x,y) = \sum \frac{Ü_{\underline{R}}(x,y)}{(x,y)} \quad ; \quad (x,y) \in UxV \tag{2.28}$$

Evrensel kümenin sonsuz olması halinde ise bulanık bir bağıntı aşağıdaki gibi de ifade edilir.

$$\underline{R}(x,y) = \int_{UxV} \frac{Ü_{\underline{R}}(x,y)}{(x,y)} \tag{2.29}$$

$\underline{A}$ ve $\underline{B}$ kümeleri sırasıyla $Ü_{\underline{A}}(x)$ ve $Ü_{\underline{B}}(x)$ üyelik fonksiyonlarıyla nitelensin. Bu kümelerin tanımlı oldukları evrensel kümelerin (sırasıyla U ve V) gerçel sayı doğrusunun bir alt kümesi olması koşuluyla $\underline{R}(x,y)$ bağıntısı $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ kümeleri arasındaki bulanık bir bağıntı olarak tanımlanır.

$$Ü_{\underline{R}}(x,y) \leq Ü_{\underline{A}}(x) \quad ; V\,(x,y) \in UxV \tag{2.30}$$

$$Ü_{\underline{R}}(x,y) \leq Ü_{\underline{B}}(x) \quad ; V\,(x,y) \in UxV$$

$\underline{R}(x,y)$ bağıntısının üyelik fonksiyonu $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonundan aşağıda verilen ifade ile belirlenir.

$$Ü_{\underline{R}}(x,y) = Ü_{\underline{A}X\underline{B}}(x,y) = \min\left[\, Ü_{\underline{A}}(x), Ü_{\underline{B}}(x) \,\right] \tag{2.31}$$

X ve y değişkenleri arasındaki $\underline{R}(x,y)$ bağıntısının tanımlı olduğu kartezyen çarpım uzayı sonlu ise, bu bağıntı bir matris şeklinde gösterilebilir. $\underline{A}$ kümesinin x_1, x_2, x_3, x_4 elemanlarından, $\underline{B}$ kümesinin y_1, y_2, y_3, y_4 elemanlarından oluştuğu kabul edilsin. Bu durumda, $\underline{R}(x,y)$ bağıntısının 4x4 boyutlu bir matris olarak gösterilebilir.

$$\underline{R}\; x,y) = \begin{pmatrix} Ü_{\underline{R}}(x_1,y_1) & Ü_{\underline{R}}(x_1,y_2) & Ü_{\underline{R}}(x_1,y_3) & Ü_{\underline{R}}(x_1,y_4) \\ Ü_{\underline{R}}(x_2,y_1) & Ü_{\underline{R}}(x_2,y_2) & Ü_{\underline{R}}(x_2,y_3) & Ü_{\underline{R}}(x_2,y_4) \\ Ü_{\underline{R}}(x_3,y_1) & Ü_{\underline{R}}(x_3,y_2) & Ü_{\underline{R}}(x_3,y_3) & Ü_{\underline{R}}(x_3,y_4) \\ Ü_{\underline{R}}(x_4,y_1) & Ü_{\underline{R}}(x_4,y_2) & Ü_{\underline{R}}(x_4,y_3) & Ü_{\underline{R}}(x_4,y_4) \end{pmatrix} \tag{2.32}$$

Örnek 2.3 ;

“ x, y’ ye benzer” ifadesini gösteren $\underline{R}(x,y)$ bağıntısı aşağıdaki gibi olsun.

$$\underline{R}(x,y) = \sum \frac{U_{\underline{R}}(x,y)}{(x,y)} = \frac{1}{(x_1,y_1)} + \frac{0.8}{(x_1,y_2)} + \frac{0.6}{(x_1,y_3)} + \frac{0.1}{(x_2,y_1)} + \frac{0.5}{(x_2,y_2)} + \frac{1}{(x_3,y_3)} + \frac{0.2}{(x_3,y_1)} + \frac{0,3}{(x_3,y_2)} + \frac{0,5}{(x_3,y_3)}$$

Bu bağıntı bir matris olarak ifade edilsin. Şöyle ki;

$$\underline{R}(x,y)= \begin{array}{c|ccc} & y_1 & y_2 & y_3 \\ \hline x_1 & 1 & 0.8 & 0.6 \\ x_2 & 0.1 & 0.5 & 1 \\ x_3 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \end{array}$$

Burada, örneğin $\ddot{U}_{\underline{R}}$ $(x_3,y_1) = 0.2$ üyelik derecesi " x_3, y_1'e benzer " önermesine ilişkin doğruluk derecesinin 0.20 olduğu anlamına gelir. Matrisin diğer elemanları da benzer şekilde yorumlanabilir.

Bulanık bağıntılar aynı kartezyen çarpım uzayında tanımlı değilse, bağıntılar üzerindeki temel küme işlemleri genellikle anlamlı sonuçlar vermez. Böyle bir durumda, bileşke işlemlerine başvurulur.

2.4.2 Bulanık Bağıntılarla İlgili Temel Kavramlar

Bulanık bağıntılar kartezyen çarpım uzayında tanımlı olan bulanık kümeler olarak ele alınır. Bu nedenle bulanık kümelerdeki özellik, kavram ve kuralları bulanık bağıntılarla genişletilebilirler. Bunlar; eşitlik, kapsama, yükseklik, normallik, bileşenlere ayırma kuralı ve betimleme teoremi olarak özetlenebilir. Şimdi sözü edilen kavramlara ilave olarak ters bulanık bağıntı, tanım kümesi, değer kümesi, izdüşümü ve silindirik uzantı kavramlarını açıklamaya çalışalım.

2.4.2.1 Eşitlik ve Kapsama Kavramları

$\underline{R}(x,y)$ ve $\underline{Q}(x,y)$ gibi iki bağıntının eşitliğinden söz edebilmek için, bu bağıntıların aynı kartezyen çarpım uzayında tanımlı olması gerekir. Böyle bir durumda, $\underline{R}(x,y)$ ve $\underline{Q}(x,y)$ bağıntılarının üyelik fonksiyonları, kartezyen çarpım uzayındaki her bir eleman için aynı üyelik derecesini alıyorsa, söz konusu iki bağıntının birbirine eşit olduğu söylenir. İki bulanık bağıntının eşitliği, matematiksel olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir.

$$\ddot{U}_{\underline{R}}(x,y) = \ddot{U}_{\underline{Q}}(x,y) \quad ; \quad \forall (x,y) \in UxV \quad \gg \quad \underline{R}(x,y) = \underline{Q}(x,y)$$

$\underline{R}(x,y)$ ve $\underline{Q}(x,y)$ bağıntılarının üyelik fonksiyonları arasında,

$$\ddot{U}_{\underline{R}}(x,y) \leq \ddot{U}_{\underline{Q}}(x,y) \quad ; \quad \forall (x,y) \in UxV$$

ilişkisi varsa, $\underline{Q}$(x,y) bağıntısının $\underline{R}$(x,y) bağıntısını kapsadığı söylenir. Bu durum, matematiksel olarak $\underline{R}(x,y) \subseteq \underline{Q}(x,y)$ ile gösterilir.

2.4.2.2 Tanım Kümesi ve Değer Kümesi

$\underline{A}$ ve $\underline{B}$ kümelerindeki elemanları sırasıyla x ve y değişkenleri ile niteleyelim. Ayrıca U ve V evrenlerinde tanımlı olan bu kümelerin üyelik fonksiyonları sırasıyla ü$_{\underline{A}}$(x) ve ü$_{\underline{B}}$(x) olsun. Bu durumda $\underline{R}$(x,y) bağıntısının tanım kümesi tan$\underline{R}$(x) bulanık kümesi ile gösterilir ve bu kümenin üyelik fonksiyonu aşağıda verildiği gibi tanımlanır (Kosko,1992).

tan$\underline{R}$(x) = E.B (En Büyük) Ü$_{\underline{R}}$(x,y) V x Є U

$\underline{R}$(x,y) bağıntısının değer kümesi ise, değ$\underline{R}$(y) ile gösterilen bulanık bir kümedir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

değ$\underline{R}$(y) = E.B (En Büyük) Ü$_{\underline{R}}$(x,y) V y Є U

2.4.2.3 Yükseklik ve Normallik Kavramları

Bulanık bir kümenin yüksekliğine benzer bir şekilde, $\underline{R}$(x,y) bağıntısının üyelik fonksiyonundaki en büyük üyelik derecesi, bu bağıntının yüksekliğini gösterir. Yükseklik, matematiksel olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

yükseklik $\underline{R}$(x,y) = E.B (En Büyük) Ü$_{\underline{R}}$(x,y)

Yükseklik $\underline{R}$(x,y) = 1 olduğunda, $\underline{R}$(x,y) bağıntısına normal bulanık bağıntı,

Yükseklik $\underline{R}$(x,y) < 1 olduğunda, $\underline{R}$(x,y) bağıntısına normal altı bulanık bağıntı denir.

$\underline{R}$(x,y) bağıntısı sonlu bir evrensel kümede tanımlı ise, tan$\underline{R}$(x), değ$\underline{R}$(y) ve yükseklik $\underline{R}$(x,y) ifadelerinde en küçük üst sınırı gösteren terim yerine maksimum terimi kullanılır. tan$\underline{R}$(x), değ$\underline{R}$(y) ve yükseklik $\underline{R}$(x,y) kavramları daha sonra ele alınacak olan izdüşümü ve silindirik uzantı kavramlarıyla ilişkilidir.

Örnek 2.4;

$$\underline{R}(x,y) = \begin{array}{c|ccc} & y_1 & y_2 & y_3 \\ \hline x_1 & 1 & 0.8 & 0.5 \\ x_2 & 0.4 & 0.6 & 1 \\ x_3 & 0.3 & 0.4 & 0.5 \end{array}$$

Bu bağıntının tanım kümesini, değer kümesini ve yüksekliğini belirleyelim. $\underline{R}(x,y)$ bağıntısının tanım kümesini hesaplarken, bağıntıdaki her bir x elemanı için en yüksek üyelik derecesini buluruz. Benzer olarak, bağıntıdaki her bir y elemanı için en yüksek üyelik derecesini belirlersek, $\underline{R}(x,y)$ bağıntısının değer kümesini oluştururuz. $\underline{R}(x,y)$ bağıntısındaki en büyük üyelik derecesinin belirlenmesi ise, bu bağıntının yüksekliğini verir. Yani

$$\tan R(x) = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{0.5}{X_3}$$

$$\text{değ}R(y) = \frac{1}{Y_1} + \frac{0.8}{Y_2} + \frac{1}{Y_3}$$

yükseklik $\underline{R}(x,y) = 1$

2.4.2.4 Ters Bulanık Bağıntı

$\underline{R}(x,y)$ bağıntısının tersi $\underline{R}^{-1}(y,x)$ ile gösterilir. Ters bulanık bağıntı, $\underline{R}(x,y)$ bağıntısını gösteren matrisin tersi alınarak bulunur. Burada $\underline{R}(x,y)$ bağıntısını gösteren matrisin sütunları satır, satırları ise sütun haline getirilir. Bu bağıntı matematiksel olarak

$\underline{R}^{-1}\{(x,y)|(x,y)€ UxV\}$ ile gösterilir ve aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile tanımlanır.

$U_{\underline{R}^{-1}}(y,x)= U_{\underline{R}}(x,y)$

2.4.2.5 Birleşenlere Ayırma Kuralı ve Betimleme Teoremi

Bulanık bağıntı $\underline{R}(x,y)$ bileşenlere ayırma kuralını kullanarak $\underline{R}_{\alpha}(x,y)$ bağıntılarının bir dizisi olarak kısımlara ayrıştırılabilir. $\underline{R}(x,y)$ bağıntısı için bileşenlere ayırma kuralı aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$\ddot{U}_{\underline{R}}(x,y) = \underset{\alpha \in (0,1]}{E.K}\left[\alpha \wedge \ddot{U}_{\underline{R}_{\alpha}}(x,y)\right]; \qquad \forall (x,y) \in U \times V$$

Burada, $\ddot{U}_{\underline{R}}$ (x,y) ifadesi aşağıda verilen üyelik fonksiyonuyla tanımlanır.

$$\ddot{U}_{\underline{R}}'(x,y) = \begin{cases} 1 \; ; & (x,y) \in R_{\alpha}(x,y) \\ 0 \; ; & (x,y) \notin R_{\alpha}(x,y) \end{cases}$$

Bulanık bağıntılar betimleme teoreminin yardımıyla aşağıda verildiği gibi ifade edilir (Zahed,1985).

$$\underline{R}(x,y) = \int \alpha \times R_{\alpha}(x,y)$$

2.4.2.6 İzdüşümü ve Silindirik uzantı Kavramları

Kartezyen çarpım uzaylarının tamamen farklı olduğu bulanık kümeler (ve / veya bağıntılar) için, temel küme işlemleri ve bileşkeye dayanan hesaplamalar yapılamaz. Farklı boyutlardaki bulanık bağıntılar arasında işlem yapabilmek için, bağıntıları temsil eden matrislerin boyutlarının ayarlanması gerekebilir. Bulanık bağıntılar arasındaki boyut sorununu gidermek için silindirik uzantı ve izdüşüm kavramları kullanılır. Silindirik uzantı ve izdüşüm kavramları ile bulanık bir küme veya bağıntının boyutlarını düzenlemek mümkündür. Bu kavramlar, küme bağıntı ve bağıntı bağıntı durumları için bileşke hesaplarının yapılmasını olanaklı hale getirir. Bileşke işlemleri, bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık "eğer / bu durumda" kuralları ile çıkarım yapmak için kullanılır.

Bulanık bağıntılarda izdüşüm kavramı R(x,y) bağıntısının boyutunu indirgemek için kullanılır. Böylece, bulanık bir bağıntıya ilişkin özet bilgiye ulaşılır. İzdüşüm kavramı birinci, ikinci ve toplam izdüşüm olarak üçe ayrılır. Bir bağıntının x ve y değişkeni üzerine izdüşümlerine sırasıyla birinci ve ikinci izdüşümü denir. R(x,y) bağıntısının birinci ve ikinci izdüşümü, bağıntının tanımlı olduğu kartezyen çarpım uzayının sırasıyla U ve V evrenini yok eder. Toplam izdüşüm ise, bulanık bir bağıntının üyelik derecesi anlamında tepe noktasını veya yüksekliğini belirler. R(x,y) bağıntısı, kartezyen çarpım uzayı UxV' de tanımlı ise izdüşümleri çeşitli şekilde ifade edilir (Zimmermann, 1991).

2.5 Durulaştırma

2.5.1 Giriş

Bulanık kontrol, giriş ve çıkış parametrelerinden bir kısmı veya tamamı bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan kural tabanlı bir kontrol sistemidir. Böyle bir kontrol sisteminin önemli özellikleri, kuralların sözel değişkenlerle ifade edilebilir olması, uzman bilgisinin tam olarak kontrol kurallarına yansıtılabilmesi ve kesin olmayan bilgiler üzerinden çıkarım yapabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca çıkışta elde edilen bulanık değerleri bulanık olmayan bir değere dönüştüren durulaştırıcı mevcuttur.

Pratik uygulamalarda, özellikle mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. Çalışmalarındaki bulanık değişken, küme, mantık ve sistemlerin bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden durulaştırma işlemleri adı verilir.

2.5.2 α – Kesimleri Kavramı

Verilen bir $\underline{A}$ bulanık kümesinin, α, 0 ile 1 arasında olmak üzere üyelik derecesinin belirli bir değerinde kesilmesi düşünülürse bunun sonucunda 0 veya 1 olan bir klasik küme ortaya çıkar. α - kesimleri sonucu elde edilen kümeler klasiktir. Verilen bir bulanık küme sonsuz sayıda α seviyesinde kesilebileceğine göre bir bulanık kümeden sonsuz tane klasik küme çıkarılabilir.

Bulanık bir bağıntının α-kesimi, üyelik fonksiyon değeri α' ya eşit veya daha büyük olan elemanların yer aldığı geleneksel bir bağıntıdır. Seçilen her bir α değeri ile farklı bir α-kesim kümesi oluşturulur. α Є (0,1) koşuluyla $\underline{R}(x,y)$ bağıntısının α-kesim kümeleri, n boyutlu geleneksel kümeler veya geleneksel bağıntılar olarak aşağıda verildiği gibi tanımlanır.

$$\underline{R}_{\alpha}(x,y) = \{(x,y) \in U \times V \mid \ddot{U}_{\underline{R}}(x,y) \geq \alpha\} \quad ; \alpha \in (0,1) \tag{2.33}$$

Örnek 2.5 (Özkan, 2003) ;

$\underline{R}(x,y)$ bağıntısı aşağıda verildiği gibi olsun. Bu bağıntının α= 0.1, α= 0.4, α= 0.7 ve α= 0.9 değerleri için α-kesim kümelerini hesaplayalım.

$$\underline{R}(x,y) = \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0.3 \\ 0.3 & 0.5 & 0.8 \\ 0.8 & 0.3 & 1 \end{pmatrix}$$

Seçilen α değeri için eşitlik (2.33)' de verilen formülü kullanırsak, aşağıda verilen geleneksel bağıntıları elde ederiz. Burada $\underline{R}(x,y)$ bağıntısında üyelik derecesi α değerine eşit veya daha büyük olan (x,y) nesnelerinin 1 üyelik derecesi almaktadırlar.

$$\alpha = 0.1 \rightarrow \quad \underline{R}_{0.1}(x,y) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad \alpha = 0.4 \rightarrow \quad \underline{R}_{0.4}(x,y) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\alpha = 0.7 \rightarrow \quad \underline{R}_{0.7}(x,y) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad \alpha = 0.9 \rightarrow \quad \underline{R}_{0.9}(x,y) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Örnek 2.6;

Aşağıdaki bulanık küme verilmiş olsun: $\underline{A} = \left\{ \frac{0.3}{2}, \frac{0.5}{3}, \frac{0.8}{4}, \frac{0.8}{5} \right\}$

α-Alt kümeleri $A_{0.3}$, $A_{0.5}$ ve $A_{0.8}$ aşağıdaki gibi verilmiş olsunlar:

$\underline{A}_{0.3}=\{2,3,4,5\}$

$\underline{A}_{0.5}=\{3,4,5\}$

$\underline{A}_{0.8}=\{4,5\}$

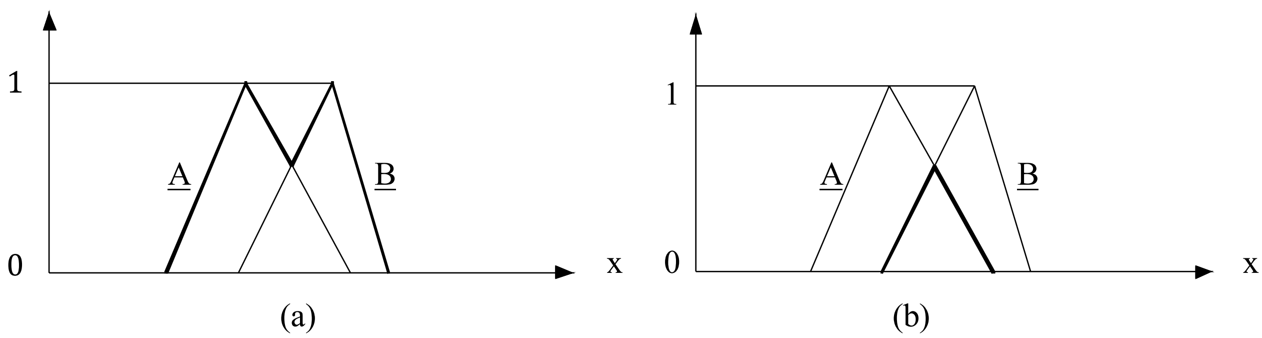
Böylelikle $\underline{A}$ bulanık kümesi üç adet α-alt kümesine $\underline{A}_{0.3}$, $\underline{A}_{0.5}$ ve $\underline{A}_{0.8}$ ayrıştırılmış oldu. Çizelge 2.2 $\underline{A}$ bulanık kümesinin α-alt kümelerini göstermektedir.

Çizelge 2.2 Bir bulanık kümenin kendi α-alt kümeleri (Bayram, 2006).

A	Aα	α-alt kümeleri
0.3	{1/2, 1/3, 1/4, 1/5}	{0.3/2, 0.3/3, 0.3/4, 0.3/5}
0.5	{1/3, 1/4, 1/5}	{0.5/3, 0.5/4, 0.5/5}
0.8	{1/4, 1/5}	{0.8/4, 0.8/5}
A kümesinin tüm α- alt kümelerinin birleşimi		A={0.3/2; 0.5/3; 0.8/4; 0.8/5}

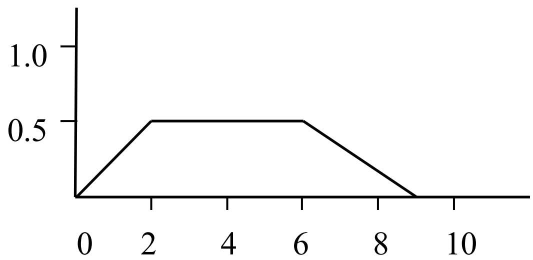
2.5.3 Durulaştırma İşlemleri

Daha önce de belirtildiği gibi bir bulanık küme işlemi sonucundaki bulanık kümenin tek sayı haline dönüştürülmesi gereklidir. Bu bulanıklaştırma işleminin aksi olan durulaştırma işlemi ile yapılır. Tabi olarak Şekil 2.13 de iki bulanık kümenin birleşimi ve kesişimi sonucunda elde edilen bulanık çıkarımlar gösterilmiştir. Oysa değişik şekilleri olan çıkarımların iki veya daha fazla sayıdaki temel bulanık kümelerden çıkması mümkündür. Aşağıda beş tane durulaştırma işleminin esasları verilecektir. Bunların hangilerinin kullanılacağına araştırma veya tasarım yapan mühendisin, elindeki sorunun türüne göre karar vermesi gereklidir. Aşağıdaki çıkarım bulanık kümesinin Z, öğelerin z durulaştırılmış değerin ise z* ile gösterildiklerine dikkat edilmelidir (Şen, 2000).

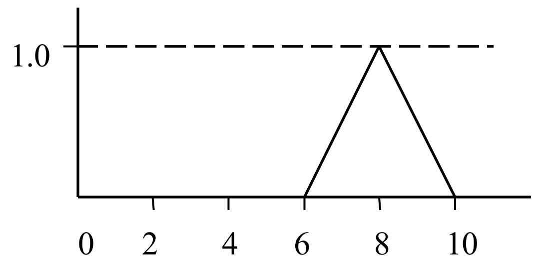


Şekil 2.33 İki bulanık kümenin a) Birleşimi, b) Kesişimi

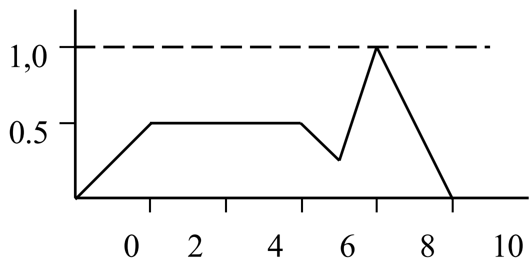
Yapılan işlemler sonrasında bulanık kümelerden bir tanesi yamuk, diğerinin ise üçgen şeklinde olduğunu düşünelim. Bunların ikisinin birleşimi ile yapılan son işlem sonrası Şekil 2.14'deki bulanık çıkarım kümeleri elde edilir. Şimdi bu dış bükey olmayan bulanık kümeden tek sayılı bir tasarım büyüklüğünün çıkartılması düşünülsün. İşte bunun için durulaştırma işleminin yapılması gerekecektir.



a) Bulanık girdi ilk kısım



b) Bulanık girdi ikinci kısım

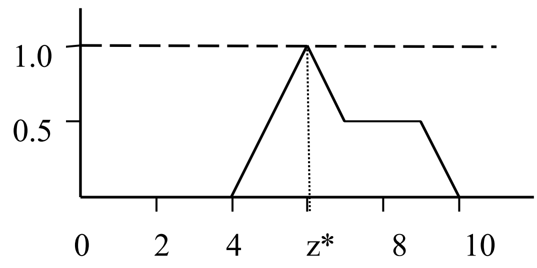


c) İkisinin birleşimi

Şekil 2.14 Tipik bulanık küme çıktısı

1. En Büyük Üyelik İlkesi: Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 2.15'de gösterilen bu durulaştırma işleminin aritmetik notasyon şeklinde gösterimi

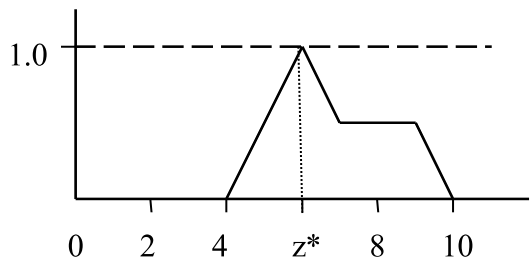
$\ddot{u}_{ç}(z^*) \geq \ddot{u}_{ç}(z)$ tüm $z \in Z$ olur.



Şekil 2.15 En büyük üyelik derecesi durulaştırılması

2. Sentroid Yöntemi: Bunun diğer bir adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, belki de en yaygın olarak kullanılan işlem budur. Şekil 2.16'da gösterilmiş olan bu durulaştırmanın matematik işlemi aşağıdaki denklem aracılığıyla yapılır (Şen,1999).

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_{ç}(z)xzdz}{\int \ddot{u}_{ç}(z)xdz} \tag{2.34}$$



Şekil 2.16 Sentroid yöntemi ile durulaştırılma

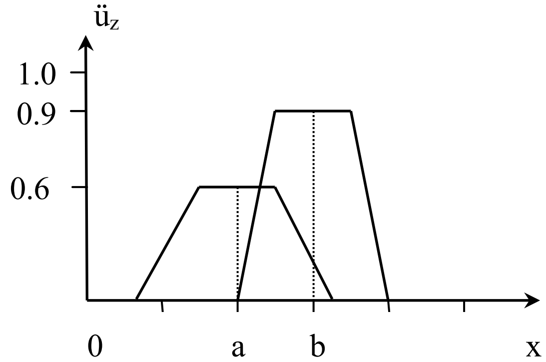
3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bunun kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gereklidir. İşlemler matematik olarak

$$z^* = \frac{\Sigma \ddot{u}_{ç}(\bar{z})\bar{z}}{\ddot{u}_{ç}(\bar{z})} \tag{2.35}$$

şeklinde yapılır. Burada Σ işareti cebir anlamında toplamayı gösterir. Bu durulaştırma işlemi Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Böylece çıkışı oluşturan bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlıklı ortalamaları alınır. Bu durulaştırma işlemi sadece simetrik olan üyelik fonksiyonları için geçerli olduğundan, a ve b değerleri temsil ettikleri şekillerin ortalamalarıdır (Şen, 2000).

Örnek: Şekil 2.17'deki iki bulanık kümenin ağırlıklı ortalama durulaştırma değeri şu şekilde bulunur.

$$z^* = \frac{a(0.6) + b(0.9)}{0.6 + 0.9}$$

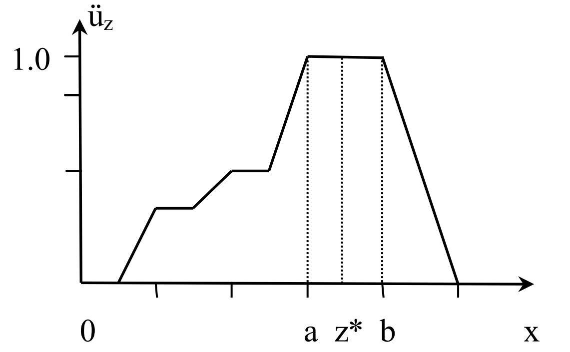


Şekil 2.17 Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması

4. Ortalama En Büyük Üyelik: Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortası diye de bilinir. Bu bakımdan birinci durulaştırma ilkesine çok yakındır. Ancak, en büyük üyelik konumu tekil olmayabilir. Bunun anlamı üyelik fonksiyonlarında en büyük üyelik derecesine sahip olan, $ü_A(z) = 1$, bir nokta yerine plato gibi düzlük kısmı da bulunabilir. Şekil 2.18'de durulaştırma işlemi gösterilmiş olan bu yönteme göre durulaştırılmış değer

$$z^* = \frac{a+b}{2} \tag{2.36}$$

olarak bulunur. Buradaki a ve b değerleri Şekil 2.18'de gösterilmiştir.

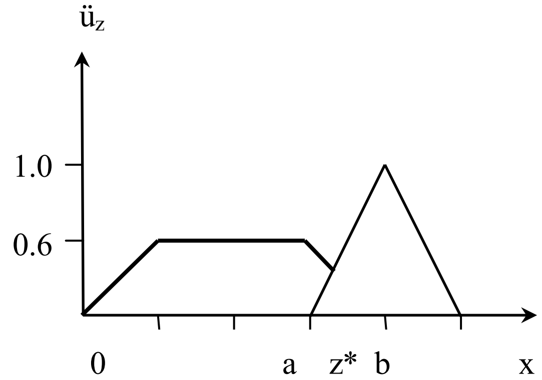


Şekil 2.18 Ortalama en büyük üyelik durulaştırılması (Şen, 2000)

5. En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi: Bu yöntemde tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır. Hesaplamaların vereceği z* için aşağıdaki denklemler geçerlidir. Önce bulanık küme çıkarımı, B, bileşiminde en büyük yükseklik, y_{eb}, belirlenir.

$$y_{eb}(B) = EB\,[ü_B(z)] \tag{2.37}$$

Bundan sonra birinci en büyük değer, z*, bulunur. Bu yöntemin bir diğer seçeneği ise ilk yerine son en büyük bulanık küme değerinin, z*, bulunmasıdır. Bu durum Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.19 ilk ve son üyelik dereceleriyle durulaştırma

2.6 Bulanık Kurallar ve Sistemler

2.6.1 Giriş

Bir bulanık modelin temelini kural çözümleyici, bilgi tabanı ve kural tabanından oluşan kural tabanlı sistem oluşturur. Burada uzman sistemlerde olduğu gibi kural tabanında EĞER-İSE yapısında oluşturulan kurallar, veri tabanında ise kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipleri ve sınır değerleri tutulur.

Bir bulanık kural tabanlı sistemde, farklı çözümleme yöntemleri uygulanabilir. Bunlardan en önemlileri Mamdani ve Sugeno modelidir. Ayrıca birleştiricide birden fazla kural arasında oluşturulacak olan ilişkilerde uygulanan farklı çıkarım yöntemleri mevcuttur. Bulanık sistemde farklı durulaştırma yöntemleri de vardır. Kullanılan durulaştırma yöntemi bulanık sistemin performansını önemli ölçüde etkiler.

Bulanık modelde bulanık giriş ve çıkış parametrelerinin sayısı, kullanılan üyelik fonksiyonlarının tipi ve adedi, kural tabanını oluşturan kurallar, kural çözümleme yöntemi, birleştirme operatörleri, durulaştırma yöntemi belirlenmesi gereken en önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin belirlenmesinde bazı sayısal yaklaşımlar var ise de çoğunlukla bu parametreler bir uzman tarafından veya deneme yanılma yöntemi ile test edilerek oluşturulur.

2.6.2 Bulanık Kuralların Harmanlanması

Bir sistemin modellenmesinde birden fazla kural tabanlı bulanık ifadelere gerek vardır. Tüm sistem için bir sonuca varabilmek her bir kuralın çıkarım kısmında yani "**İSE**" kelimesi sonrasında ortaya çıkan sonuçların bir şekilde harmanlanarak hepsinin katkısı olan bir genel çıkarıma gitmek mümkündür. İşte fazlaca olan kural tabanlı çıkarımların harmanlanması için iki yaklaşım vardır. Bunlardan ilki kuralların 've' bağlacı ile bağlanması sonucunda elde edilir. Burada sistemi temsil eden ve gerçekleşen kuralların tümü 've' bağlacı ile birleştirilir. Yani kümeler teorisine göre bunların kesişimleri alınır. Bu taktirde, harmanlanmış çıkarım,y, tekil bulanık çıkarımların, y^i, (i= 1,2,3…….,r) kesişimi olarak elde edilir. Yani

$y=y^1$ ve y^2 ve y^3 ve……..ve y^r

veya

$y = y^1 \cap y^2 \cap y^3 \cap \ldots\ldots\ldots \cap y^r$

şeklinde yazılır. Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$ü_Y(y) = EK[ü_y 1(y), ü_y 2(y), \ldots\ldots\ldots ü_y r(y)]$

olarak yapılır.

İkinci bir harmanlama usulü ise kural tabanlı tekil çıkarımların birleşimleri şeklinde yapılır. Böyle bir harmanlanmanın yapılması için kural tabanlı tekil çıkarımlardan en azından bir tanesinin doğru olması gereklidir.

$y = y^1$ veya y^2 veya y^3 veya……..veya y^r

veya

$y = y^1 \cup y^2 \cup y^3 \cup \ldots\ldots\ldots \cup y^r$

şeklinde yazılır. Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım

$ü_Y(y) = EB[ü_y 1(y), ü_y 2(y), \ldots\ldots\ldots ü_y r(y)]$

bulunur (Şen, 1999).

2.6.3 Kural Tabanlı Sistemler

Makineler tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işleme için değişik yollardan bir tanesi de aşağıdaki gibi bilgiyi sanki insan diline benzer bir ifade ile temsil etmektir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede **EĞER-İSE (İF-THEN)** kelimeleriyle ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan **EĞER** ile **İSE** kelimeleri arasında bulunan kısma öncül veya ön şartlar, **İSE** kelimesinden sonraki kısma ise soncul veya çıkarım adı verilir. Genel bir kural olarak **EĞER** öncül **İSE** çıkarım şeklinde yazılır. İşte bu türlü yapısı olan ifadelere **EĞER-İSE** kural tabanlı biçim adı verilir.

Bu ifade bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile bunların ışığı altında faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir. Bu türlü bilgilere **sığ bilgiler** adı verilir çünkü bunlar insanın kendisinin kişisel deneyim ve tecrübelerinden hareketle çıkardıkları bilgilerdir ve yerine göre çok nesnel (objektif) değildir. Oysa **derin bilgiler** ise daha ziyade sezgi, yapı, fonksiyon ve eşyalar arasındaki davranış biçimlerine göre elde edilir. Derin bilgilerin, sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün değildir. Buna bir örnek olarak Kepler yasaları veya Newton kuralları verilebilir. Bu bilgilerin gelişerek oluşmasında yılların gözlem, deney ve birikimleri vardır. Kural tabanlı bilgilerin uzmanlar tarafından verilen bilgilerden farklı tarafı, kural tabanlı olanların uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilmesidir. Kural tabanlı olan bilgilerin gerek öncül gerekse çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemler yapılır (Şen, 1999).

2.6.4 Grafik Çıkarım Teknikleri

Burada çıkarım usullerini anlatabilmek için, iki tane öncül bir tanede çıkarımı olan **EĞER-İSE** kural tabanlı sistemleri düşünelim. Bu, genel olarak sistem modellenmesinde iki girdisi ve bir çıktısı olan sistemleri gösterir. Burada gösterilen usuller birden fazla öncül ve bir çıkarımı olan bulanık kural tabanlı sistemlere de uygulanabilir. Bulanık bir sistem, x_1 ve x_2 gibi iki öncül ve y gibi bir tane çıkarımı olan r tane kural tabanlı **EĞER-İSE** ifadesiyle modellenebilir. Bu bulanık kurallar sistemi kısaca

EĞER x_1 $\mathbf{A_1^k}$ ve x^2 $\mathbf{A_2^k}$ İSE y $^{\mathbf{k}}$ $\mathbf{B^k}$ dır (k=1,2,……….,r)

şeklinde yazılabilir. Burada $A_1^{\mathbf{k}}$ ve $A_2^{\mathbf{k}}$ k-ıncı öncül kısmın bulanık kümelerini, $B^{\mathbf{k}}$ ise k-ıncı çıkarımı temsil eden başka bir bulanık kümedir. Aşağıda birbirinden biraz farklı olan üç çıkarım işleminden söz edilecektir (Şen, 1999).

1. Girdi değişkenlerinin (x_1, x_2) sayı olması: kural tabanlı bir sistem **EĞER-İSE** şeklinde verilen bir ifade ile belirlenir. Sayısal olan girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekilde Dirac delta fonksiyonu olarak verilir.

$$\ddot{u}(x_1) = \delta[x_1 - giriş(i)] = \begin{cases} 1, & x_1 = \text{giriş(i)} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \tag{2.38}$$

$$\ddot{u}(x_2) = \delta[x_2 - giriş(i)] = \begin{cases} 1, & x_2 = \text{giriş(j)} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \tag{2.39}$$

iki tane olan bulanık kural tabanlı ifadenin '**veya**' bağlacıyla birleştirildiği varsayılarak bunların harmanlanmasında kümelerin birleşimi işleminden yararlanarak Mamdani (1974) tarafından verilmiş olan **EB-EK** harmanlama çıkarım formülleri kullanılabilir.

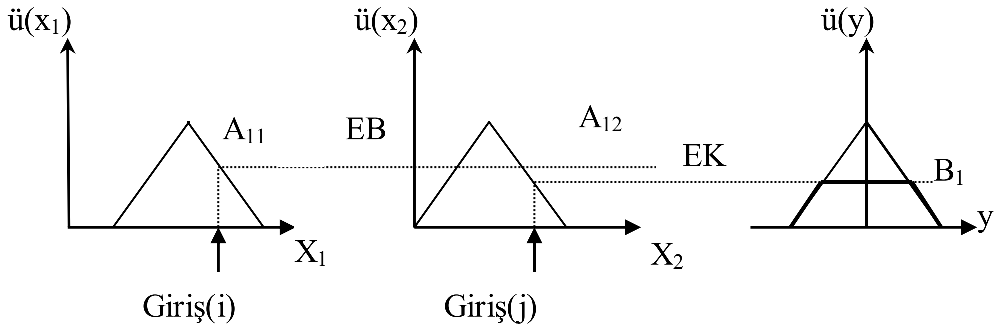
$$\ddot{u}_{B^k} = EB\{EK\{\ddot{u}_{A_1^k}[giriş(i)], _{A_2^k}[giriş(j)]\}\} k = 1,2,....r \tag{2.40}$$

Bu denklemin ifade ettiği işlemlerin grafik gösterilimi şekil 2.20'de verilmiştir. Burada A_{11} ve A_{12}, ilk kural tabanlı ifadenin öncül kısmındaki bulanık kümeleri, B_1 ise bu kurala ait çıkarımı gösterir (Şen, 2000).

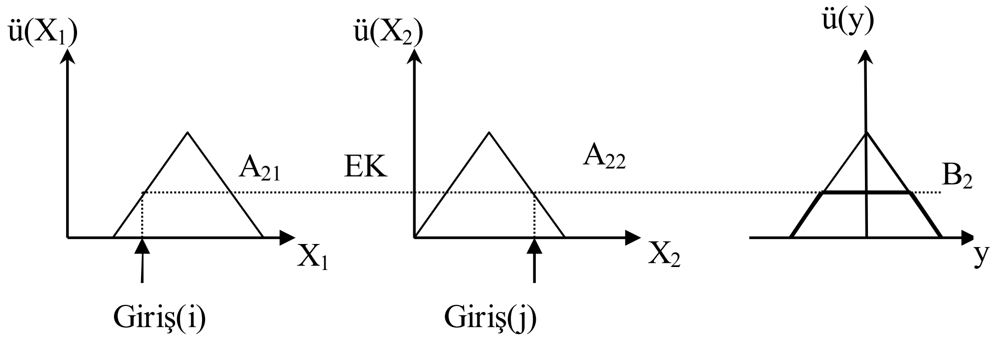
Benzer şekilde A_{21} ve A_{22} ise ikinci kuralın öncül kısmının bulanık alt kümelerini, B_2' de aynı kural tabanının çıkarım kısmındaki bulanık alt kümeyi gösterir. Kuralların kendi öncül kısımlarında kararın **EK** şeklinde olmasının sebebi, iki bulanık alt kümenin (örneğin A_{11} ve A_{12}) birbirine 've' bağlacı ile bağlantılı olmasındandır. Böylece girdi değerleri ile öncül kısım bulanık kümelerinden bulunan üyelik derecelerinin en küçüğü olduğu gibi aynı kuralın soncul kısmına taşınarak oradaki çıkarım alt kümesi bu seviyeden kesilerek çıkarım olarak kesilmiş bulanık alt küme kısmı göz önünde tutulur. Her bir kural tabanlı **EĞER-İSE** ifadesinde, bu türlü ayrı ayrı çıkarımlar yapılır. Sistemin tümünü temsil edebilmek için bu çıkarım üyelik fonksiyonlarının 'veya' bağlacı ile birleştirildiği düşünülürse harmanlanmış çıkarım için kümelerin birleşim işleminin kullanılmasıyla iki kesik bulanık kümenin örtüştüğü yani ortak olduğu kısımlardan meydana gelen bir karışık bulanık alt küme ortaya çıkar. İşte göz önünde tutulan kural tabanlı ifadelerde modellenen sistemin girdiler sonucunda vereceği tüm bilgiler, bu harmanlanmış bulanık kümede toplanmıştır. Buradan, harmanlanmış bulanık kümenin ne normal ne de dış bükey olması beklenemez. Kural tabanlarının 'veya' bağlacı kullanılması sonucunda EB işlemiyle birleştirilmesinden bahsedilmiştir. Eğer sistem için bir tek sayısal değerin elde edilmesi gerekir ise, daha önce bahsedilen durulaştırma işleminden en uygun olanı duruma göre seçilerek sonuca varılır.

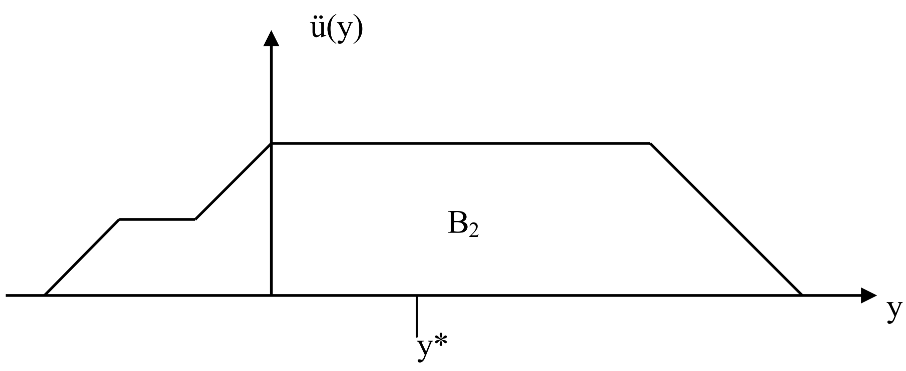
2.Yukarıdaki harmanlama esnasında EB-EK işleminden yararlanılmıştır ancak pratik uygulamalarda oldukça sık kullanılan bir başka harmanlama kuralıda EB-Çarpım işleminin yapılmasıdır. Burada da kural tabanlarının 'veya' bağlacı ile birleştirildiği düşünülerek harmanlama formülü

Kural 1



Kural 2





Şekil 2.20 EB-EK çıkarımı (Şen, 2000).

$$\ddot{u}_{B^k} = EB\left\{\ddot{u}_{A1}^{\,k}\left[giri\c{s}(i)\right], \ddot{u}_{A_2^k}\left[giri\c{s}(j)\right]\right\} k = 1,2,.....,r \tag{2.41}$$

şeklini alır. Bunun grafik gösterimi ise Şekil 2.21'de verilmiştir. Burada sayısal verilerin girilmesi ile elde edilen iki üyelik derecesinin çarpılması sonucunda bulunan değer olduğu gibi İSE kısmının sonrasındaki çıkarım bulanık kümesine taşınarak, aynı kümenin tüm üyelik derecelerinin bu değerle çarpılması sonucunda kesik bulanık çıkarım kümesi yerine küçültülmüş benzer bir bulanık çıkarım kümesi elde edilir (Şen, 2000).

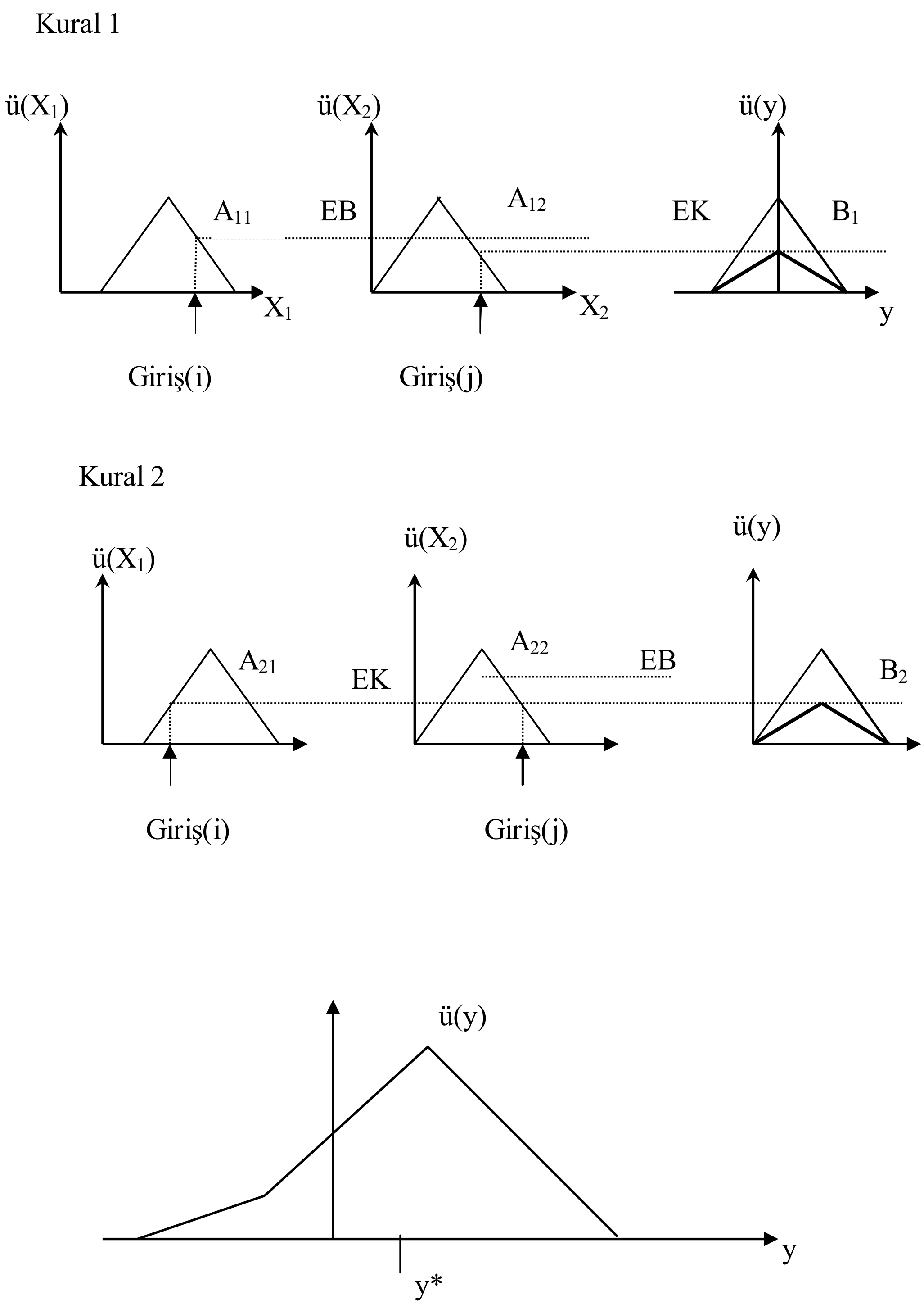
Böylece, önceki çıkarımlardaki kesik bulanık kümeler yerine ölçekli olarak küçültülmüş çıkarım kümeleri elde edilir. Örneğin Şekil 2.21'de bulanık kümeler üçgen olduğu için ölçeklendirilmiş kümelerde üçgen şeklinde ortaya çıkar. Aynı şekilde 'veya' bağlacının kullanılması ile yapılan harmanlama sonucunda elde edilen birleşim çıkarım kümesi, kural tabanındaki üçgen çıkarım kümelerinin örtüşmesiyle elde edilir. Buradan da istenildiği taktirde önceden izah edilen uygun durulaştırma ile sayısal değer elde edilir.

3.Yukarıdaki iki grafik çıkarım yaklaşımında da girdilerin sayısal yani bulanık olmayan büyüklükler olduğu varsayılmıştır. Oysa bir çok sistem modellenmesinde girdilerde bulanıklık olması söz konusudur. Böyle bir durumda, yine **EĞER-İSE** kurallarının her birinin birbirine 'veya' bağlacıyla bağlanmış olduğu düşünülerek harmanlanmış çıkarım formülü Mamdani kuralına göre

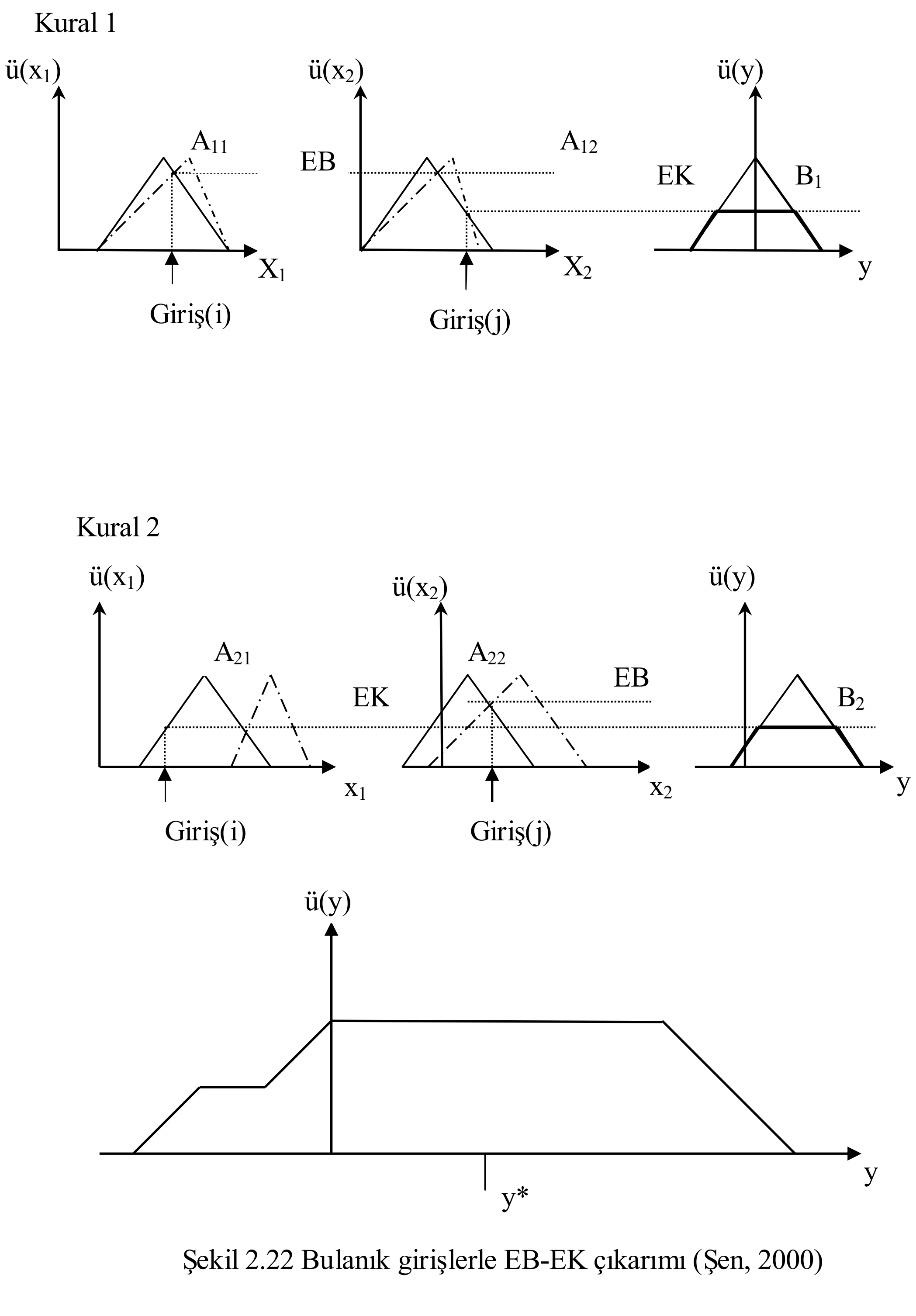
$$\ddot{u}_{B^k}(y) = EB\left\{EK\left\{EB\left\{\ddot{u}_{A_1^k}(x) \wedge \ddot{u}(x_1)\right\} EB\left\{\ddot{u}_{A_2^k}(x) \wedge \ddot{u}(x_2)\right\}\right\}\right\} \tag{2.42}$$

şeklinde olur. Bu denklemin basit olarak grafik gösterimi Şekil 2.22'de verilmiştir. Bu şekilde, giriş (i) ve giriş (j)' ler birer üçgen bulanık alt küme halinde gösterilmiştir. Bu üçgenlerin öncül kısmındaki bulanık alt kümelerle kesim noktalarındaki üyelik dereceleri okunur ve bunların EK değeri aynen olduğu gibi **EĞER-İSE** kuralının çıkarım kısmına taşınarak orada, yukarıda açıklanan birinci yola benzer kesik olan yamuk bulanık alt kümeler bulunur.

Bunların birleşiminin alınması ile harmanlama yapılarak en son sistem çıkarımına varılır. Burada dikkat edilmesi gerekli nokta hiçbir grafik çıkarım sonucunda ne kural tabanlarının kendi çıkarımları, ne de harmanlanmış bulanık küme çıkarımları normal ve dış bükey bulanık küme olmalarının gerekmediğidir (Şen,2000).



Şekil 2.41 EB-Çarpım çıkarımı (Şen, 2000).



Şekil 2.22 Bulanık girişlerle EB-EK çıkarımı (Şen, 2000)

3. İZMİR ALSANCAK LİMAN İŞLETMESİ

3.1 Giriş

İzmir, Ege Denizi'nin doğu kıyısında konuşlanmakta olup, nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük şehri ve iş merkezidir. İzmir Alsancak Limanı ülkemizin en önemli limanlarından biridir. İzmir'in 9 Eylül 1922'de düşmandan kurtuluşundan sonra millileştirilen İzmir Alsancak Limanı konum itibarıyla Ege bölgesi üretiminin dünyaya açılan kapısı durumundadır. İzmir Alsancak Limanı geniş tarımsal ve endüstriyel hinterlanda sahiptir. Doğal limanı ile bölgede avantajlı bir konuma sahip İzmir Alsancak Limanı geleneksel olarak Ege Bölgesi'nin zengin ham ya da işlenmiş tarım ürünlerini ihraç etmekteydi. Ancak liman günümüzde Ege Bölgesi'nin gelişen sanayisine de hizmet vermekte ve hammaddenin ithalatının artması, ihraç edilen sanayi ürünlerinin çeşitlenmesiyle İzmir Alsancak Limanı iki yönlü diş ticaret için önemli bir kapı haline gelmiştir. İzmir'in Ege'deki tarihi ve turistik yerlere çok yakın olmasından dolayı, liman yolcu terminali önemli ölçüde trafiğe sahiptir. Limanda her türlü yüke hizmet verilmekte olup, liman genişleme çalışmaları sürmektedir. Liman demiryolu ve karayolu şebekesi ile bağlantılıdır. Liman 8 saatten 3 vardiya toplam 24 saat kesintisiz hizmet vermektedir. Limana giren ve çıkan gemiler için kılavuz almak zorunludur. Pilotaj ve Römorkaj hizmetleri, 24 saat boyunca verilmektedir (İZTO, 2007).

Şekil 3.1 Liman yerleşim planı (TCDD İzmir Liman İşletmesi Müdürlüğü, 2007)

Limanda mevcut araç ve ekipmanlar ise; 13-14-15 no’ lu rıhtımlarda 35 ton elleçleme kapasiteli 2 adet ve 50 ton kapasiteli 1 adet gentry kren mevcut olup saatte küçükler 25 adet konteyner elleçleme kapasitesine büyük olan ise 30 adet konteyner elleçleme kapasitesine sahiptirler. 17-18-19 no’ lu rıhtımlarda 35 ton kapasiteli 2 adet gentry kren mevcut olup saatte 25 adet konteyner elleçleme kapasitesine sahiptirler. Ayrıca özel bir firmaya ait 2 adet MHC (Mobil Harbour kren) mevcut olup küçük olan saatte 12 adet konteyner elleçlemekte, büyük olan ise 23 adet elleçlemektedir. 40 tonluk 19 adet lastik tekerlekli transteyner, 25-42 tonluk 20 adet dolu ve 8-10 tonluk 20 adet boş konteyner forklifti de bulunmaktadır. Bunun yanında 3-25 tonluk 7 adet rıhtım vinci, 5-25 tonluk 12 adet mobil vinç, 20 adet kısa mastlı forklift bulunmaktadır. Konteyner yıkama tesisinin kapasitesi günlük 20 TEU'dur (TCDD İzmir Liman İşletmesi Müdürlüğü, 2007).

Şekil 3.2 İzmir Alsancak limanına ait genel görünüm (TCDD İzmir Liman İşletmesi)

Limanda kargo, ro-ro, dökme katı ve dökme sıvı yük gemilerine hizmet veren 3400 m uzunluğunda 24 adet rıhtım mevcuttur. Limandaki 3400 m rıhtım uzunluğunun 1050 metrelik kısmı, 13 ile 19 nolu rıhtımlar arası konteyner gemilerine aittir ve çalışmaktadır. 20-22 no’lu rıhtımları da konteyner terminalidir ancak ihraç otomobillerin depolama alanı olarak kullanılmaktadır. Limandaki açık saha 85 000m^2, konteyner açık saha 295 000 m^2, toplam beton açık saha 380 000 m^2, kapalı saha 29 205 m^2, kapalı ambarlama saha hacmi 171 012 m^3

ve rıhtım derinlikleri ise (-7 m) ile (-10 m) arasındadır (TCDD İzmir Liman İşletmesi Müdürlüğü, 2007).

Çizelge 3.1 İzmir Alsancak Limanı rıhtım uzunluk ve su derinlikleri (TCDD İzmir Liman İşletmesi Müdürlüğü, 2007).

RIHTIM NO	UZUNLUK (m)	DERİNLİK (m)
1	140	7
2	190	8.5
3	130	10.5
4	120	10.5
5	150	10.5
6	75	10.5
7	130	9.5
8	120	9.5
9	122	9.5
10	126	6
11	97	7
12	125	8
13	150	9.5
14	144	10
15	144	10
16	162	10
17	150	10
18	150	10
19	150	10
20	130	10.2
21	150	10.2
22	120	10
23	220	10
24	205	10

3.2 İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali İstatistikleri

İzmir Alsancak Limanı'nın toplam liman alanı 901 000 m², konteyner alanı 295 000 m², vagon sahası ise 17 000 m² dir. Buna karşılık atıl vaziyette bulunup gerekli düzenlemelerle kazanılabilecek alan 500 000 m² dir. Bu rakamlar mevcut sahanın da verimli kullanılmadığını göstermektedir. Gemilere yükleme-boşaltma operasyonu yapılırken genel kabul gören oran, ortalama saatte 20 hareket iken, bu süre İzmir Alsancak Limanı'nda beşe inmektedir (İZTO, 2007). Genel standardın dörtte birine denk gelen bir çalışma kapasitesi, İzmir Alsancak Limanı'nı etkin verim alınamaz hale getirmektedir. İzmir Alsancak Limanı, kamu idaresinde bulunup kâr eden ve kârını her geçen yıl katlayan ender kuruluşlardan birisidir.

Bu çalışmada esas alınan sadece konteyner terminalidir. Limanın konteyner trafiği her yıl artan oranlarda yükselmektedir. Atıl sahaları liman hizmetlerine ayırmak ve gerekli yatırımları yapmak yerine örneğin 20, 21 ve 22 no.lu konteyner rıhtımlarına ihraç otomobillerin park yeri olarak kullanılması gibi uygulamalarla limanın etkin kullanımını azaltmaktadır. Bu uygulamayla hem bu rıhtımlara konteyner gemilerinin yanaşması engellenmekte, hem de en azından 3000 konteynerlik bir istif alanından yoksun bırakılmaktadır. İzmir Alsancak Liman Müdürlüğü'nün 2006 yılı verilerine göre, yılda toplam 1708 konteyner gemisi limanı ziyaret etmiştir ve bir yıl içinde 609 152 TEU dolu, 238 774 TEU boş konteyner hareketi olmuştur (İZTO, 2007). Çizelge 3.2' de 15 yıllık verilere bakılarak limanda personel sayısının azalmasına rağmen iş kapasitesinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 3.2 Son 15 yıla ait liman personel sayısı ve iş kapasitesi değişim grafiği (TCDD İzmir Liman İşletmesi Müdürlüğü, 2007)

Yıllar	**Personel Durumu**	**Yükleme - Boşaltma (Ton)**	**Yükleme-Boşaltma Konteyner (TEU)**
1991	971	3 192 221	146 352
1992	961	4 243129	164 170
1993	940	5 056 223	214 341
1994	869	4 623 143	275 432
1995	815	4 831 344	300 794
1996	773	5 527 375	345 924
1997	740	5 923 787	391 696
1998	746	6 321 957	400 194
1999	830	7 184 413	435 970
2000	938	8 164 470	464 455
2001	885	8 426 069	491 277
2002	823	9 652 714	573 231
2003	774	11 109 599	700 795
2004	762	12 500 265	804 565
2005	733	11 811 459	784 377
2006	703	12 269 933	847 926

Çizelge 3.3 2006 yılında İzmir Alsancak Limanında konteyner hareketi (TCDD İzmir Alsancak Liman İşletmesi)

AYLAR	YÜKLENEN KONTEYNER ADEDİ				BOŞALAN KONTEYNER ADEDİ				TOPLAM(ADET)			
	DOLU		BOŞ		DOLU		BOŞ		DOLU		BOŞ	
	TEU	**Ton**	**TEU**	**Ton**	**TEU**	**Ton**	**TEU**	**Ton**	**TEU**	**Ton**	**TEU**	**Ton**
OCAK	25 569	361 733	1 325	2 815	16 039	181 305	14 702	30 769	41 608	543 038	16 027	33 584
ŞUBAT	31 466	421 947	2 255	4 621	14 941	171 158	17 804	37 153	46 407	593 105	20 059	41 774
MART	35 557	476 981	2 678	5 552	17 495	197 159	19 695	41 059	53 052	674 140	22 373	46 611
NİSAN	32 892	429 636	1 234	2 545	16 821	184 116	18 179	38 129	49 713	613 752	19 413	40 674
MAYIS	32 631	445 356	1 122	2 363	17 771	192 483	17 492	36 746	50 402	637 839	18 614	39 019
HAZİRAN	33 020	471 605	2 764	5 618	20 397	224 303	15 399	32 466	53 417	695 908	18 163	38 084
TEMMUZ	29 746	420 880	2 120	4 358	17 481	204 404	15 207	32 158	47 227	625 284	17 327	36 516
AĞUSTOS	36 713	478 011	1 708	3 510	17 080	196 521	17 450	36 450	53 793	674 532	19 158	39 960
EYLÜL	34 593	475 299	1 323	2 721	17 252	195 295	22 108	46 152	51 845	670 594	23 431	48 873
EKİM	37 572	485 251	2 017	4 133	17 572	204 540	21 726	45 278	55 144	689 791	23 743	49 411
KASIM	36 424	473 660	1 670	3 382	14 828	174 303	18 099	37 700	51 252	647 963	19 769	41 082
ARALIK	36 871	503 943	1 202	2 453	18 421	205 538	19 495	40 484	55 292	709 481	20 697	42 937
TOPLAM	**403 054**	**5 444 302**	**21 418**	**44 071**	**206 098**	**2 331 1025**	**217 356**	**454 544**	**609 152**	**7 775 427**	**238 774**	**498 615**

3.3 Yanaşma Yeri Kullanım Oranları

Oluştulan bulanık mantık yanaşma yeri kullanım oranı modelinin sonucunda bulunan yanaşma yeri kullanım oranı verilerinin doğruluğunun kontrol edilebilmesi için İzmir Alsancak Liman Müdürlüğü'nden alınan gemi kayıt listesine göre (2006 yılına ait) hesaplanan gerçek yanaşma yeri kullanım oranları kullanılmıştır. Bartan, (2007) yaptığı çalışmasında gerçek yanaşma yeri kullanım oranlarından 13-19 rıhtımlarının aylık yanaşma yeri ortalama kullanım oranları alınmıştır ve bulanık modelle bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaları yapılmıştır. Yanaşma ile ayrılmaları arasındaki zaman farkı geminin yanaştığı rıhtımın işgal süresini vermektedir. Konteyner gemisinin uzunluğu ile babalara bağlanma mesafelerinin toplamı rıhtımda kapladığı toplam uzunluğu vermektedir. Babalara bağlanma mesafesi her iki taraftan 15 m olarak alınmıştır. Toplam hizmet süresi yılda 365 gün 24 saat 3 vardiya olarak gerçekleştiğinden 365x24 = 8 760 saat olarak alınmıştır.

4. KONTEYNER TERMİNALİ YANAŞMA YERİ UZUNLUĞUNUN MODELLENMESİ

4.1 Bulanık Model

Mühendislik çalışmalarında sosyal ve doğal olayları deterministik ve analitik modeller ile birlikte işlemek çoğu zaman mümkün değildir. Bunların modellenmesi için belirsizlik teknikleri gereklidir. Bugüne kadar analitik, olasılık, istatistik, stokastik, dinamik modelleme teknikleri gibi bütün bilimsel metodolojiler genelde iki unsur gerektirmiştir. Bunlardan birisi yapılan kabuller, diğeri ise sayısal verilerdir. Kabuller incelenen olayı mevcut bilgi ve metodolojilerle insanın kavrayabileceği en basit seviyeye indirmek içindir. Böylece kabuller temel bilgilerin, bazı önemli belirsiz bölümlerinin kaybolabilmesine neden olacak bir çeşit filtrasyon etkisi gösterirler. Bu yüzden bu gibi sistemlerin modellenmesinde bulanık mantık ve sistem yaklaşımı daha önemli hale gelmektedir (Özger, 1999).

İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali için geliştirilen bu modelde Mamdani yönteminin kullanılmasının daha başaralı olacağı belirlenmiştir. Bunun nedeni kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modellemesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmasındandır. Bu çalışmada bulanık mantık yöntemiyle liman büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılacak yanaşma yeri uzunluğu bulunmaya çalışılacak ve kullanım oranları belirlenecektir.

Bulanık çıkarım, verilen girdi kümesinden çıktı kümesine bulanık kurallar yardımıyla bir ilişki kurar. Burada modellemenin esasını bulanık kurallar oluşturmaktır. Bulanık sistemi kullanarak başarılı bir model oluşturmak için sırasıyla aşağıdaki adımlar gereklidir.

Uzun, orta, düşük, eğri, hafif, sıcak, büyük, küçük v.b. gibi sözel alt kümelerle girdi ve çıktı değişkenlerini bulanıklaştırmak.

Uzman bilgisinden veya mevcut literatürden yararlanılarak kural tabanı oluşturulur. Kurallar; girdi değişkenlerinin sözel alt kümelerini uygun çıktı alt kümelerinin sözel alt kümelerine bağlar. Herhangi bir bulanık kural "EĞER.....İSE" gibi iki bölümden oluşur. EĞER ile başlayan İSE'den önceki bölüm öncül kısım olarak adlandırılır. Bu bölüm girdi değişkenlerin alt kümelerini uyumlu bir şekilde eşleştirir ve sonra İSE bölümü çıkarım kısmı olarak karşımıza çıkar. Bu bölüm, öncül kısma bağlı olarak uygun çıktı alt kümelerinden oluşur. Öncül kısımdaki girdi kümeleri genelde mantıksal “ve” bağlacı ile bunun yanında kurallar ise mantıksal “veya” ifadesi ile birbirine bağlanır.

Öncül kısmı temel alınarak çıkarım kısmının şekillendirilmesi yapılır.

Sonuçlar bulanık kümeler halinde çıkar ve mühendis veya yöneticiye gerekli olan değerin elde edilmesi için çıktı kümesinin durulaştırılması gerekir. Bu çalışmada ortalama en büyük üyelik durulaştırma yöntemi uygulanmıştır. Bunun nedeni modelin çıktılarının gerçek verilerle en çok bu yöntemle uyum göstermesidir.

4.2 Üyelik Fonksiyonları ve Kurallar

Aynı özelliğe sahip nesnelerin bir arada toplanması ile kümeler oluşur. Keskin kümelerde bir nesne ya o kümeye aittir ya da ait değildir. Pratikte, bir nesnenin bir kümeye ait olma derecesi 1 olarak ve kümenin dışında ise 0 olarak kodlanır. Keskin kümelerde nesnenin kümeye ait olması veya olmaması açısından bir belirsizlik yoktur. Diğer yandan, günlük hayatta insanlar farklı özellikleri ile birbirine benzeyen nesneler ile karşılaşırlar ve bu yüzden bunların 0 ve 1 üyelik dereceleri ile belli bir kümeye ait olmalarında belirsizlik ortaya çıkar. Bazı benzer nesneler kısmi olarak aynı kümeye ait olabilirler ama karar aşamasına gelindiğinde ait olma veya olmama konusunda belirsizlik ortaya çıkar. Böyle durumları ortadan kaldırmak için Zadeh (1968) keskin küme üyelik derecelerini 0 ile1 arasında değişen değerlere göre genelleştirmiştir. Bulanık kümeler geleneksel küme teorisinin genelleştirilmiş halidir. Üyelik derecesi 1 olan bir nesne kümeye hiçbir şüphe olamayacak şekilde dahildir, 0 üyelik derecesine sahip nesneler ise kümenin dışında kalırken 0 ile 1 arasında üyelik dercesine sahip olan nesneler kısmi olarak kümeye ait olacaklardır. Nesnelerin üyelik dereceleri arttıkça kümeye aitlikleri artacaktır. Bu tarzda herhangi bir bulanık sözel ifade bir bulanık küme olarak ifade edilebilir (Özger, 1999).

Tüm değişkenlerin bulanık alt kümeleri belirlendikten sonra, uygulamada 3 tane birbirinden bağımsız adım ortaya çıkar.

4.2.1 Bulanıklaştırma

Gelen gemi sayısı, gemi boyları ve elleçleme ekipmanlarının kapasitesi belirsiz karakterler içermektedirler. Bu yüzden gelen gemi sayısı, gemi boyları ve elleçleme ekipmanları alt kümelere bölünmüştür bu adım tüm değişkenlere uygulanmıştır.

4.2.2 Çıkarım

Bu adım, problemin amacına bağlı olarak çözümde yer alan değişkenleri sistematik olarak birbirine bağlar. Aslında bu bölüm, problemi modellemek için bir çok bulanık ifadeler içermektedir. Üç tane girdi değişkeni; gelen gemi sayısı, gemi boyları, elleçleme ekipmanları ve tek çıktı olan liman yanaşma yeri uzunluğu birbiri ile alakalı ise, girdi değişkenlerinin alt kümesi çıktı değişkenleri alt kümesine bağlanabilir. Şartlı ifadeler, aşağıdaki şekilde klasik yaklaşımların tersine hiçbir eşitlik kullanmadan mantıksal olarak bağımlılığı ifade eder.

4.2.3 Durulaştırma

Bir önceki adımdan çıkan sonuç bulanık ifade şeklindedir. Çıktının kesin değerini hesaplayabilmek için durulaştırma yöntemlerinden biri uygulanmalıdır

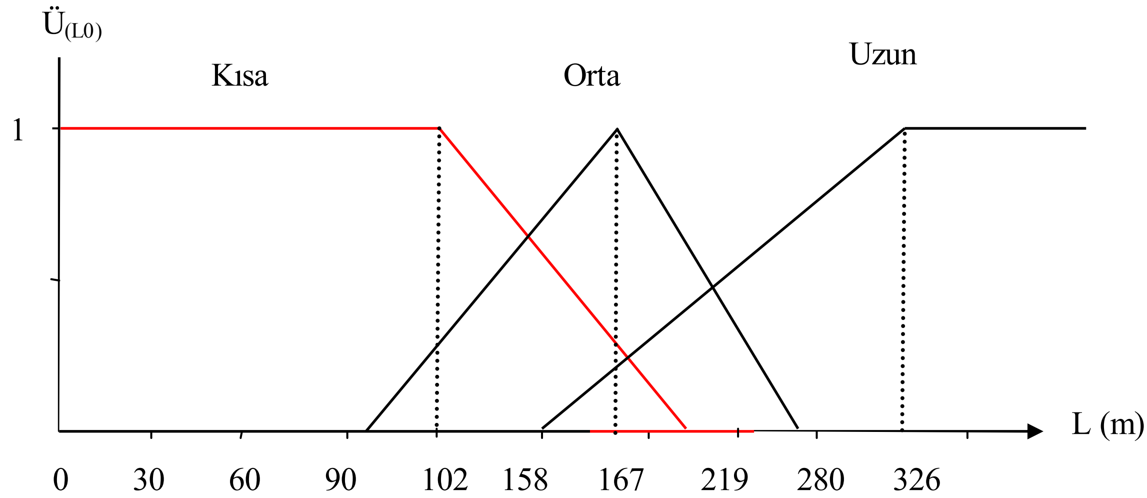
$$\ddot{U} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \ddot{U}_i}{m}$$

bu sözel ifade şeklinde olan Ü bulanık kümesinin belirli bir değeridir. $\ddot{U}_i$ üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik derecesine ulaştığı destek değeri ve m ise bu destek elemanlarının sayısıdır (Özger, 1999). Bu çalışmada ortalama en büyük durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

4.3 Veriler

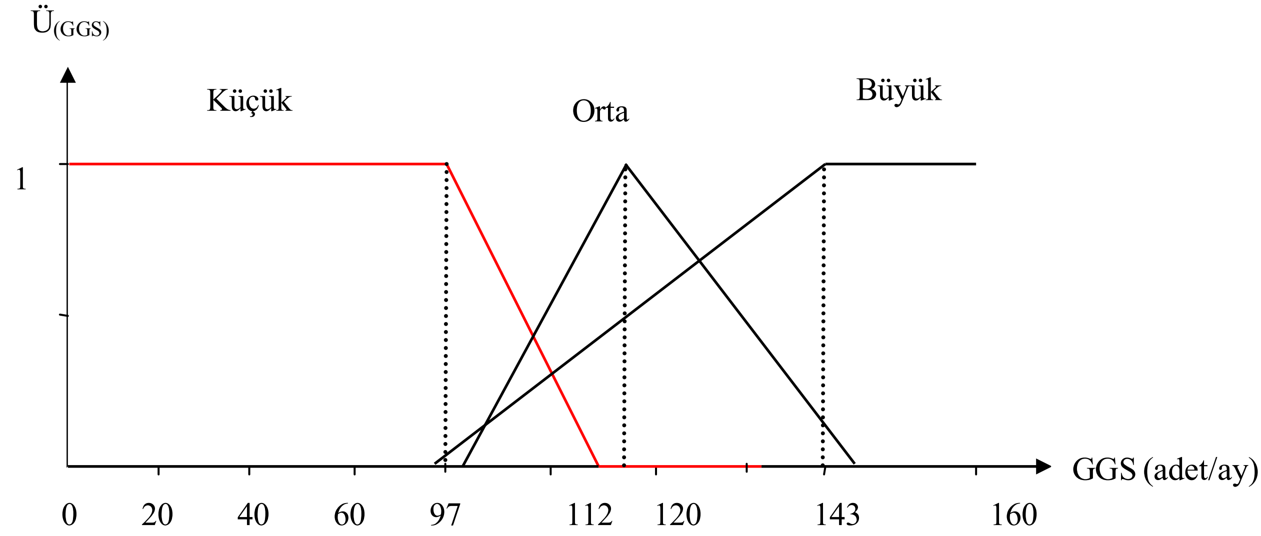
Liman yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesinde en önemli parametreler gelen gemi sayısı, gemi boyları ve elleçleme ekipmanlarının özellikleridir. Liman yanaşma yeri uzunluğu limana gelen gemi sayısı, boyları, geminin doluluk oranı, yükün nasıl yüklendiği, gemiye operasyon yapabilen kren sayısı ve elleçleme ekipmanlarının özelliklerine göre değişmektedir. Bu çalışmada liman yanaşma yeri uzunluğunun kullanım oranları ile belirlenmesi için İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali 2006 yılı verilerinden yararlanılmıştır.

Gemi yanaşma yeri uzunluğunu etkiyen faktörlerden biri gemi boylarıdır. Böyle bir değişkeni genelleştirmek için 2006 yılı İzmir Alsancak Limanı Konteyner terminaline gelen gemi boyları gözlemlenmiştir. Gemi boyları Şekil 4.1'de gösterilen üyelik fonksiyonlarına sahiptir. 102 m ile 326 m arasında tanımlanan bu büyüklük 3 bulanık alt kümeye bölünmüştür. Bunlar, 'kısa', 'orta', 'uzun' alt kümeleridir.



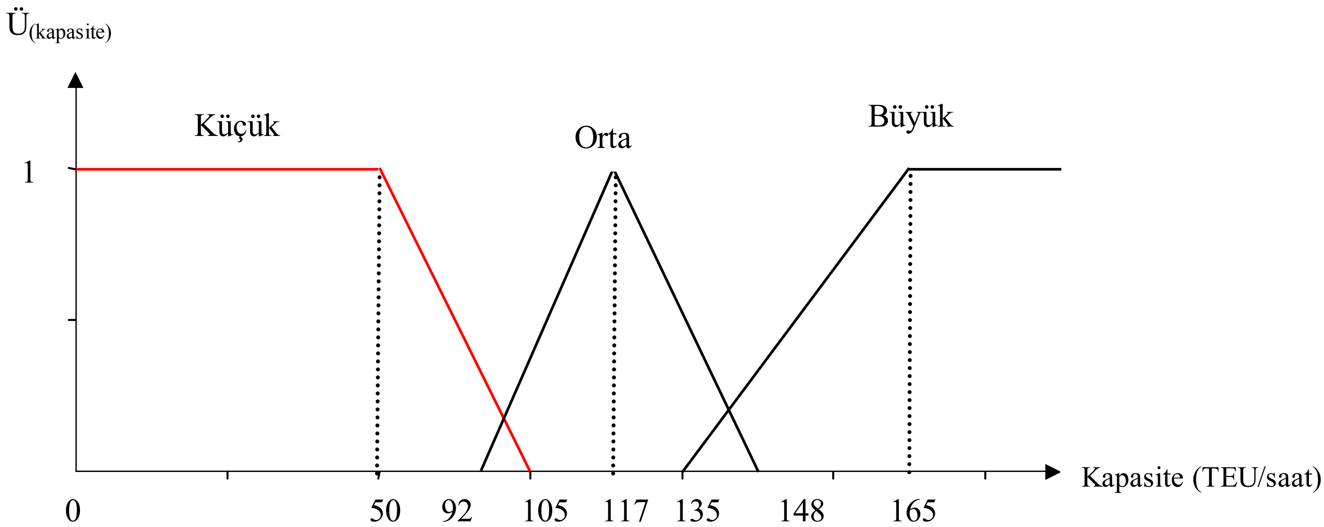
Şekil 4.1 Gemi boyları (m) üyelik fonksiyonu

Gemi yanaşma yeri uzunluğunu etkiyen faktörlerden bir diğeri ise limana gelen gemi sayısıdır. Aylık limana gelen gemi sayısı 'küçük', 'orta', 'büyük' olmak üzere 3 bulanık alt kümeye ayrılmıştır. Bu değişkenin üyelik fonksiyonları Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Gelen gemi sayısı (GGS) 97 ay/adet < GGS< 143 adet/ay arasında değişmektedir.



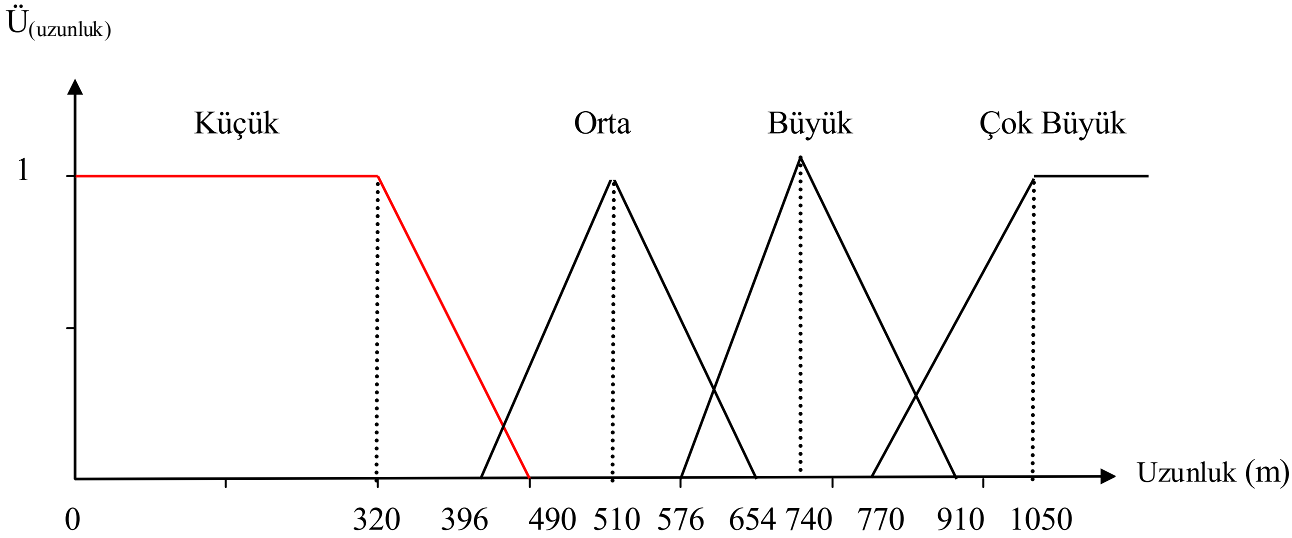
Şekil 4.2 Gelen gemi sayısı (adet/ay) üyelik fonksiyonu

Gemi yanaşma yeri büyüklüğünü etkiyen üçüncü faktör ise elleçleme ekipmanlarının özellikleridir. İzmir Alsancak Limanında konteyner terminalinde kullanılan konteyner elleçleme ekipmanlarının özellikleri gözlenerek belirlenmiştir. Saatlik konteyner elleçleme kapasitesi ‘ küçük’, ‘orta’, ‘büyük’, olmak üzere 3 bulanık alt kümeye ayrılmıştır. Bu değişkenin üyelik fonksiyonları Şekil 4.3’ de gösterilmiştir. Elleçleme ekipmanlarının kapasiteleri (EE) 50 TEU/saat < EE < 165 TEU/saat arasında değişim göstermektedir. 2006 yılında gözlenen TEU elleçleme kapasiteleri saatlik ortalama olarak alınmıştır.



Şekil 4.3 Elleçleme ekipmanlarının toplam kapasite (TEU/saat) üyelik fonksiyonu

Bu modelin çıktısı olan liman yanaşma yeri uzunluğu ise 'küçük', 'orta', 'büyük', 'çok büyük' olmak üzere 4 adet bulanık alt kümeye bölünmüştür. Burada 13-19 nolu rıhtımları arası sürekli rıhtım kabulü yapılmıştır ama 13-14-15-16 rıhtımları ve 17-18-19 rıhtımları ayrı rıhtımlardır. Alt kümeler belirlenirken 13-19 no' lu rıhtımlarına yanaşan en büyük gemi uzunluğu küçük alt kümesinin sınır şartını vermektedir (320 m), çok büyük alt kümesinin sınır şartını ise 13-19 terminal uzunluğu (1050 m) vermektedir. Bu değişkenin üyelik fonksiyonları Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Yanaşma yeri uzunluğu (m) üyelik fonksiyonu

4.4 Model Sonuçları

Bütün girdiler birlikte düşünüldüğünde toplam 3x3x3x4= 108 adet kural ortaya çıkmaktadır. Ama bu kuralların hepsi olayı temsil etmemektedir. Bazı girdilerde kuralların hiçbiri tetiklenmemektedir. Model eğitilirken gerçek verilere daha yakın sonuç veren kurallar üzerinde durulmuştur ve 12 tane kural yazılmıştır (Çizelge 4.1). Kural tablosunda birinci, ikinci ve üçüncü kolonlar girdi değişkenleri arasındaki kombinasyonları içermektedir. 4. kolon ise ona karşılık gelen bulanık çıkarımlara karşılık gelmektedir. Birinci, ikinci ve üçüncü kolonların arasında “ve” bağlacı vardır ve bu kolonlar “EĞER” deyiminden sonra “İSE” deyiminden önce gelmektedir. 4. kolon ise “İSE” deyiminden sonra gelmektedir.

Çizelge 4.1 Kural tabanı

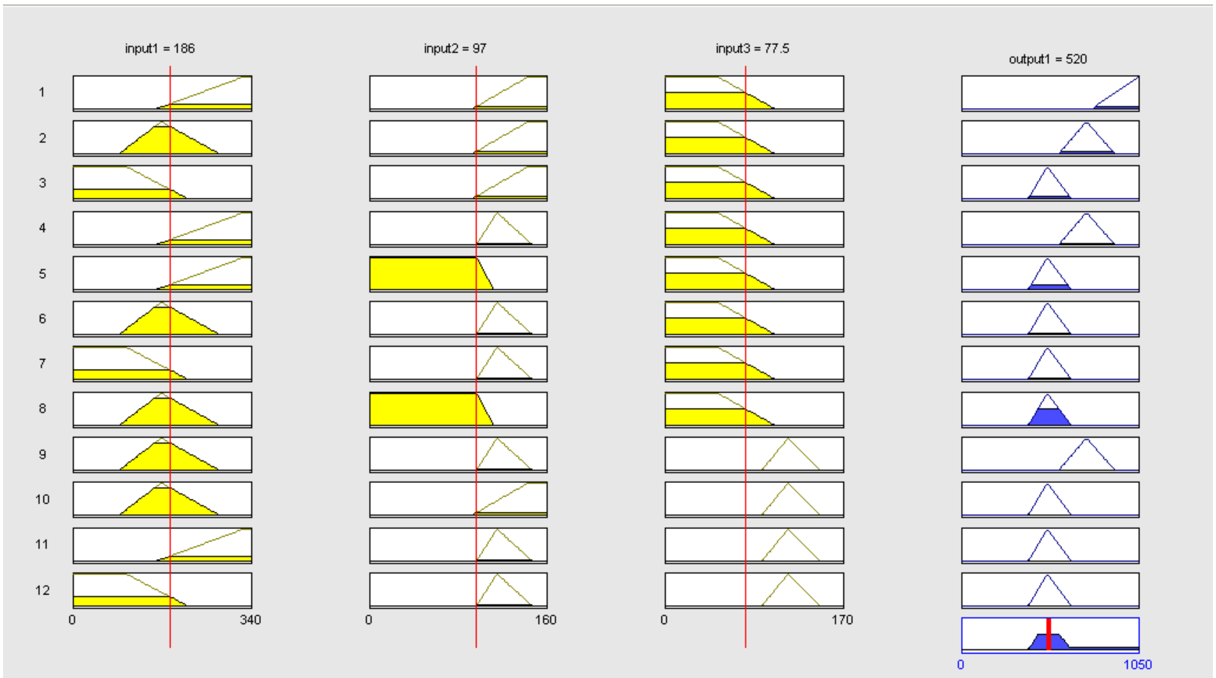
GEMİ BOYLARI	GELEN GEMİ SAYISI	ELLEÇLEME EKİPMANLARI	TERMİNAL YANAŞMA YERİ UZUNLUĞU
Büyük	Büyük	Küçük	Çok Büyük
Orta	Büyük	Küçük	Büyük
Küçük	Büyük	Küçük	Orta
Büyük	Orta	Küçük	Orta
Büyük	Küçük	Küçük	Orta
Orta	Orta	Küçük	Orta
Küçük	Orta	Küçük	Orta
Orta	Küçük	Küçük	Orta
Orta	Orta	Orta	Orta
Orta	Büyük	Orta	Orta
Büyük	Orta	Orta	Orta
Küçük	Orta	Orta	Orta

13-14-15-16 ve 17-18-19 nolu konteyner terminalleri için oluşturulan bulanık mantık modelinin sonuçlarının İzmir Alsancak Limanında gerçek (Bartan, 2007) aylık ortalama kullanım oranlarıyla karşılaştırılması için, aylık gelen gemilerin ortalama uzunluğu (m), aylık gelen gemi sayısı (adet/ay), saatlik ortalama elleçlenen TEU sayısı (TEU/saat) her ay için belirlenerek aylık kullanılan liman yanaşma yeri uzunlukları bulunmuştur. Yanaşma yeri aylık ortalama kullanım oranı bulanık modelde 4.1 ifadesinde verildiği şekilde belirlenmiştir.

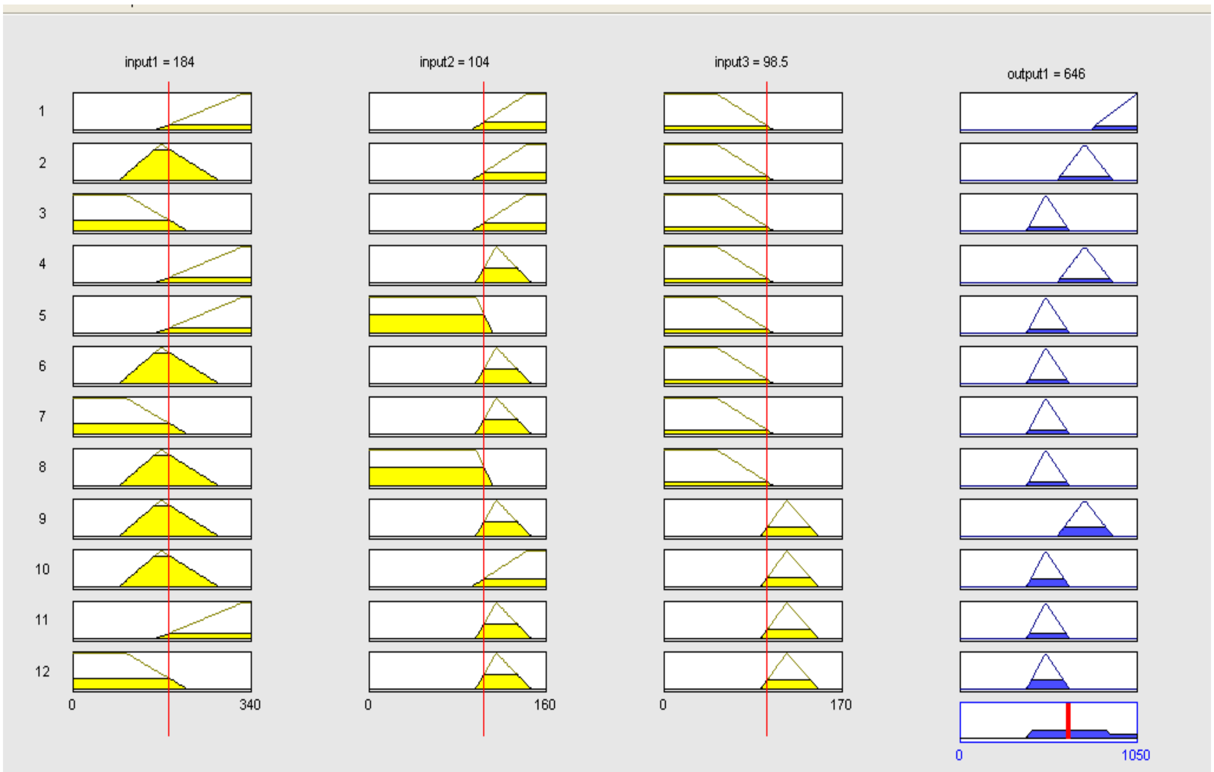
$$\text{Aylık Yanaşma Yeri Kullanım Oranı} = \frac{\text{Aylık Ortalama Kullanılan Yanaşma Yeri Uzunluğu}}{\text{Aylık Toplam Yanaşma Yeri Uzunluğu}} \quad (4.1)$$

Şekil (4.5-4.16) 2006 yılına ait 12 aylık ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunlukları MATLAB7 programının fuzzy modülünden yararlanılarak bulunmuştur. Bulanık mantık yöntemiyle kurulan modelle bulunan değerler aylık olarak gerçek aylık ortalama liman yanaşma yeri kullanım oranlarıyla karşılaştırılmıştır.

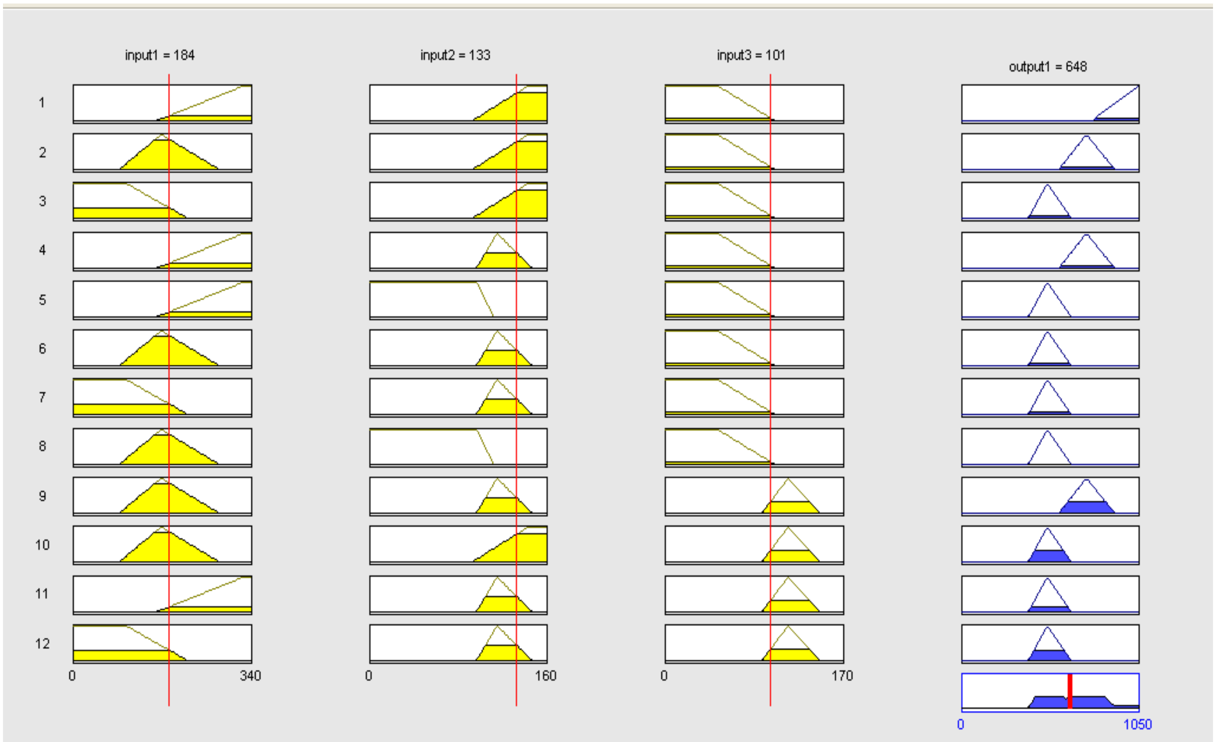
Burada birinci girdi aylık ortalama gemi boyları (m), İkinci girdi aylık gelen gemi sayısı (adet/ay), üçüncü girdi ise her ay için limanda elleçlenen saatlik TEU sayısı (TEU/saat) ve sistemin çıktısı ise aylık kullanılan yanaşma yeri uzunluğudur (m).



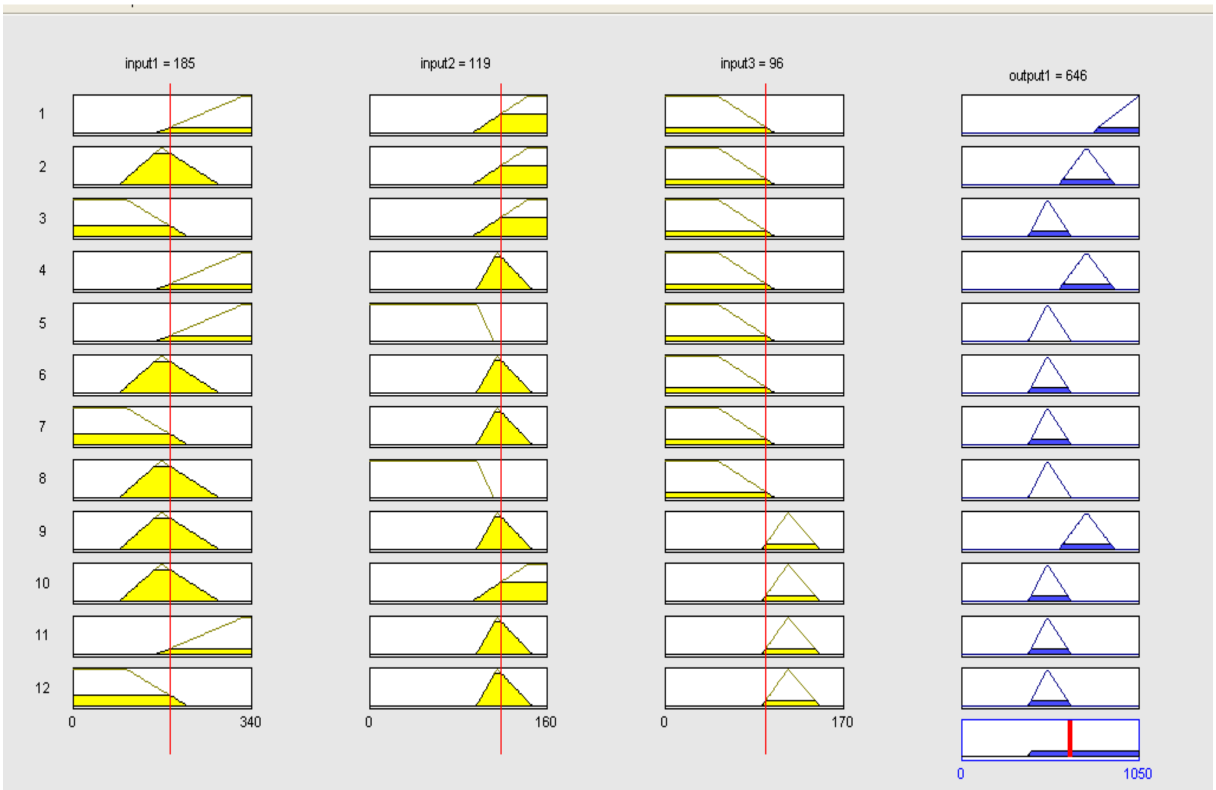
Şekil 4.5 Ocak ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



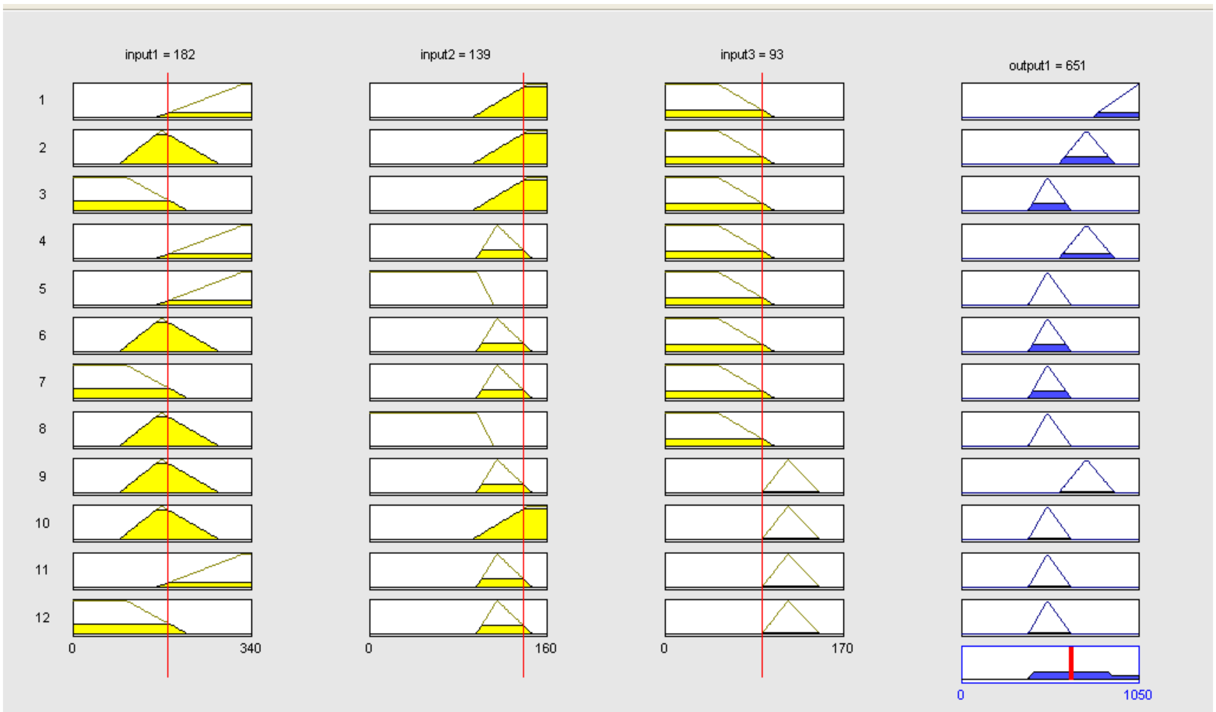
Şekil 4.6 Şubat ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



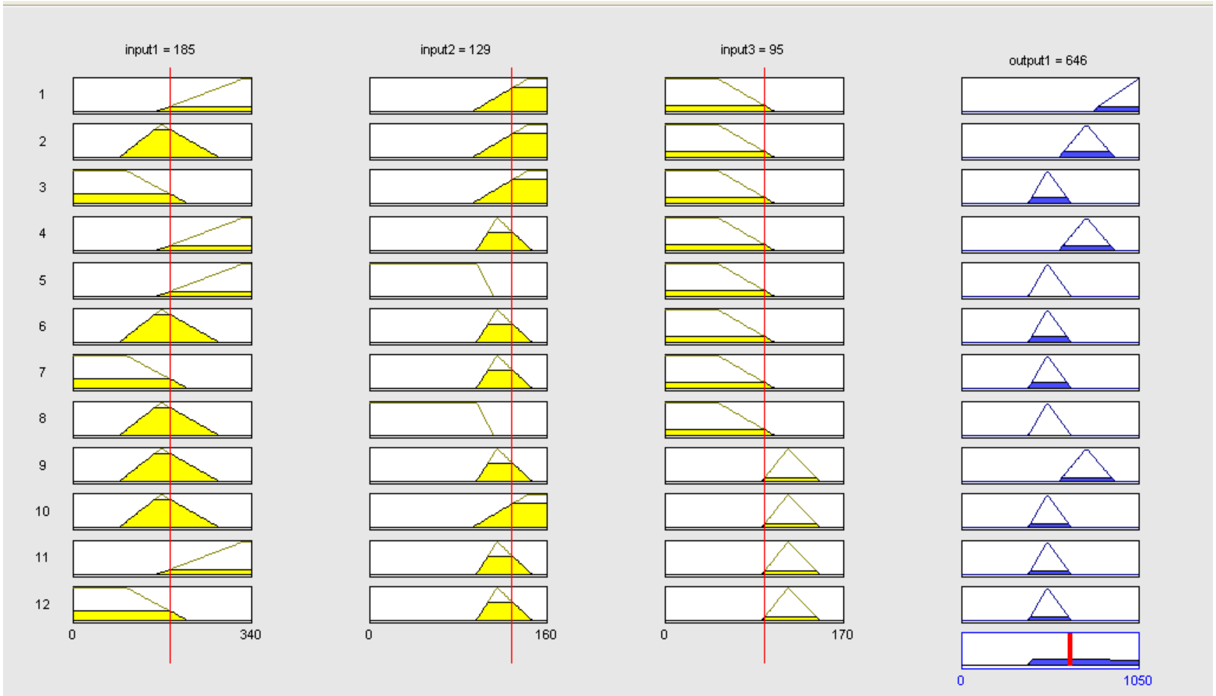
Şekil 4.7 Mart ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



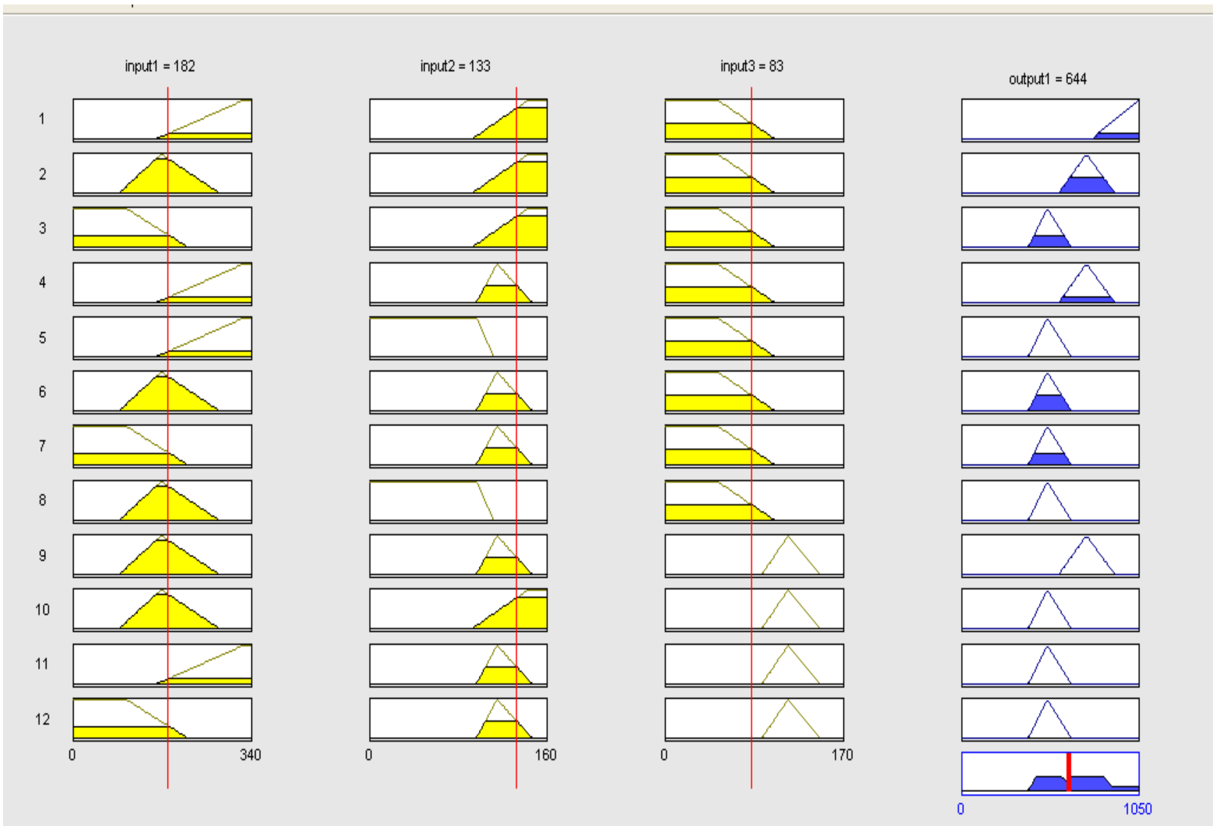
Şekil 4.8 Nisan ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



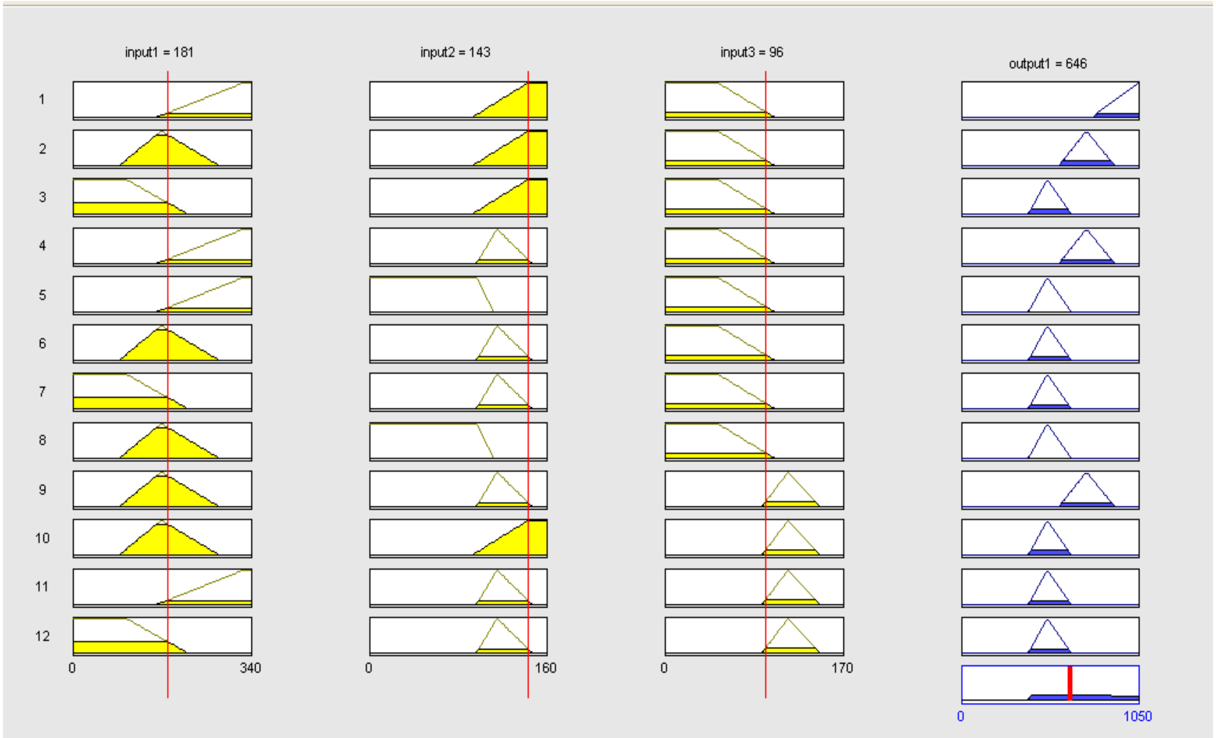
Şekil 4.9 Mayıs ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



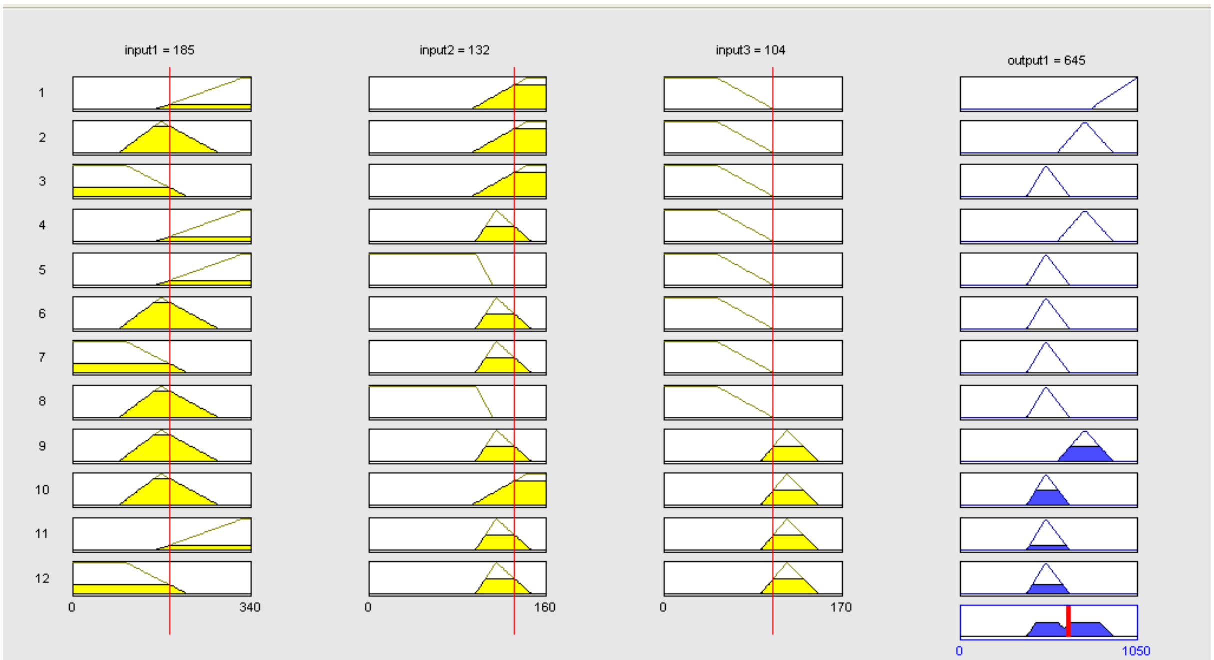
Şekil 4.10 Haziran ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



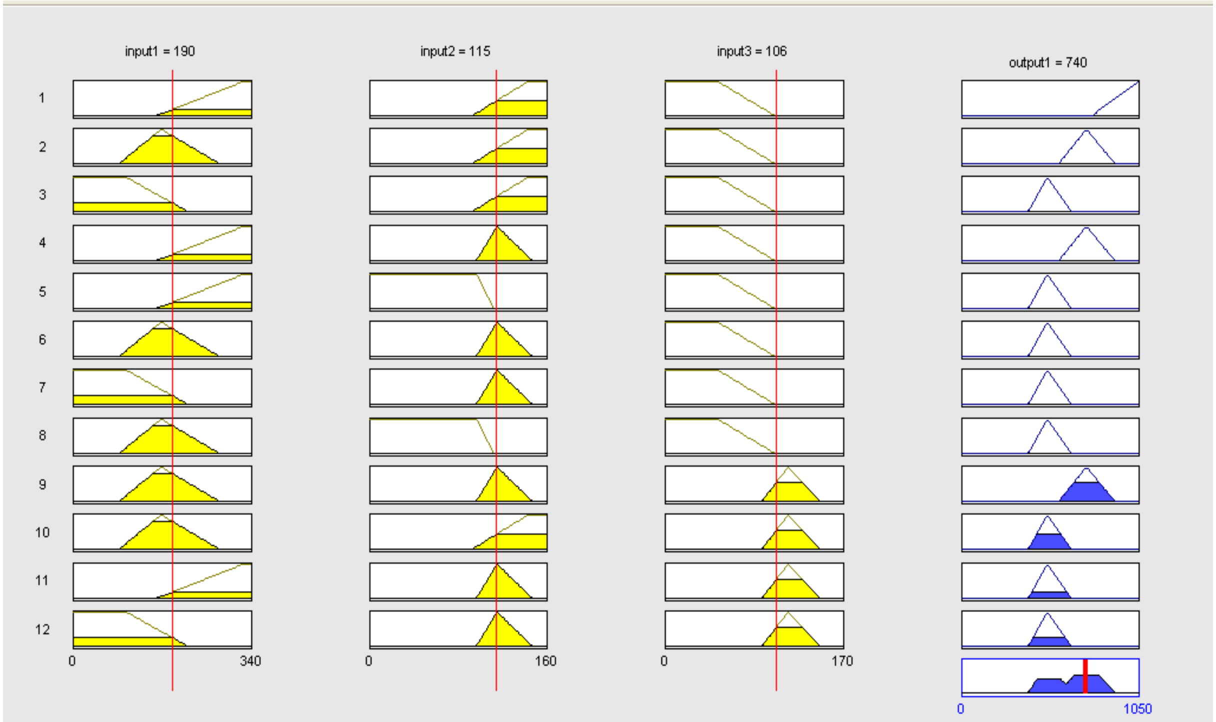
Şekil 4.11 Temmuz ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



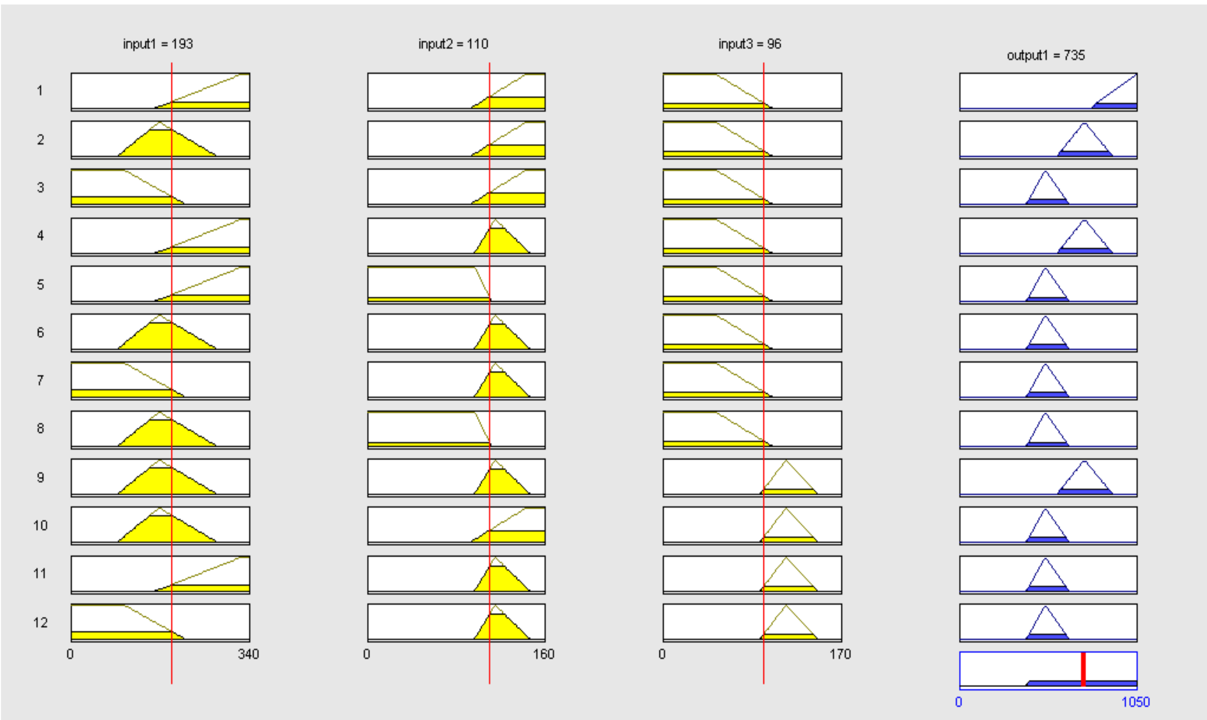
Şekil 4.12 Ağustos ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



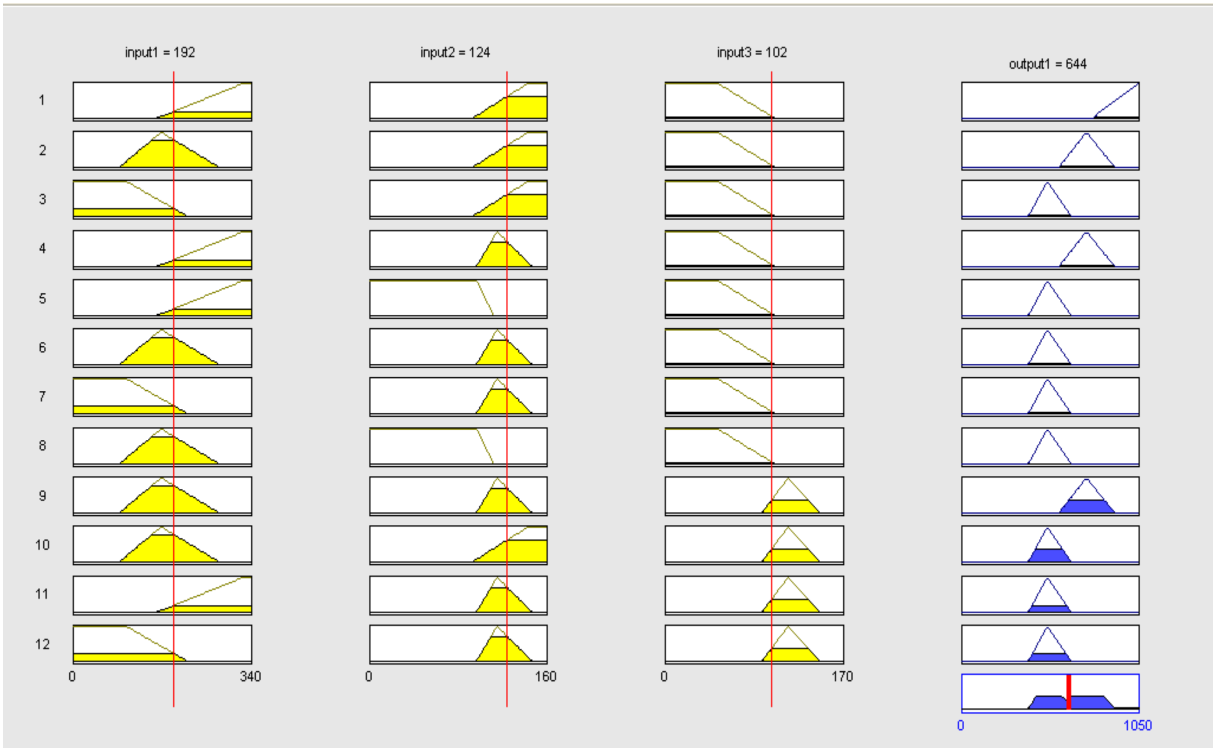
Şekil 4.13 Eylül ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



Şekil 4.14 Ekim ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



Şekil 4.15 Kasım ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu



Şekil 4.16 Aralık ayı ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunluğu

Kurulan bulanık modelle bulunan aylık ortalama kullanılan yanaşma yeri uzunlukları liman yanaşma yeri uzunluğuna bölünerek aylık ortalama kullanım oranları elde edilmiştir ve gerçek kullanım oranları ile Çizelge 4.2'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2 Gerçek ve model sonucu bulunan kullanım oranlarının karşılaştırılması.

AY	Ortalama Gemi Boyu (m)	Gelen Gemi Sayısı (adet/ay)	Ortalama Elleçleme Kapasitesi (TEU/saat)	Kullanılan Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Gerçek Ortalama Kullanım Oranı	Model Sonucu Ortalama Kullanım Oranı
Ocak	186	97	77.5	520	0.471	0.495
Şubat	184	104	98.5	646	0.6115	0.615
Mart	184	133	101	648	0.683	0.617
Nisan	185	119	96	646	0.6005	0.615
Mayıs	182	139	93	651	0.6305	0.620
Haziran	185	129	95	646	0.718	0.615
Temmuz	182	133	83	644	0.6115	0.613
Ağustos	181	143	96	646	0.697	0.615
Eylül	185	132	104	645	0.7275	0.613
Ekim	190	115	106	740	0.732	0.705
Kasım	193	110	96	735	0.721	0.700
Aralık	192	124	102	644	0.6995	0.613

Herhangi bir doğa olayını temsil edecek olan bir model veya bağıntının, doğa olayının tahmininde kullanıldığında, elde edilen sonuçların gerçek ortamdan alınmış verilere benzemesi gerekmektedir. Bu benzerlik aslında elde edilen sonuçların sayısal olarak eldeki verilere benzerliği anlamına gelmektedir. Tek tek sayısal değerlerin bire bir benzerliği aranmamaktadır. Birebir benzerlik modelin doğa olayını % 100 tahmini anlamına gelmektedir ki, bu çoğu kez yapılan ihmal ve kabuller veya model ölçümlerin diğer hataları nedeniyle mümkün olmamaktadır ama modelin hatasının mümkün olduğunca en aza indirgenmesi gerekmektedir.

Model sonuçlarının istatistiksel parametreleri eldeki verilere sayısal olarak ne kadar benziyorsa ve hesaplanan hatalar sayısal olarak ne kadar küçük ise model o denli başarılı sayılmaktadır. Çalışmada karşılaştırma kriterleri olarak en çok kullanılan ortalama mutlak rölatif hata ile ortalama karekök karesel hata kullanılmıştır. Ortalama karekök karesel hata, model sonucu bulunan değerden gerçek değer çıkartıldıktan sonra gerçek değere bölünerek hesaplanır.

$$\text{Ortalama mutlak rölatif hata} = \frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{|D_{iM} - D_{iG}|}{D_{iG}}\right|\right] \tag{4.2}$$

Burada negatif değerler söz konusu olduğunda, ortalama yanıltıcı olabileceği için mutlak rölatif hata hesaplanmaktadır. Mutlak rölatif hataların toplamının, veri sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak rölatif hata hesaplanmaktadır. Oluşturulan modelde ortalama mutlak rölatif hata % 6.7 olarak belirlenmiştir. Çizelge (4.3)

$$\text{Otalama karekök karesel hata} = \frac{1}{N}\left[\sum_{İ=1}^{N}(D_{iG} - D_{iM})^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{4.3}$$

Burada $D_{İG}$ gerçek değeri göstermektedir. $D_{İM}$ ise model sonucu bulanan değeri göstermektedir.

Pozitif ve negatif farklar bir arada olduğunda, bu farkların ortalaması yanıltıcı olacağından bu nedenle, aşağıdaki matematiksel ifadede verilen “ortalama karekök karesel hata” hesaplanmıştır. Oluşturulan modelde ortalama karekök karesel hata % 4.61 olarak belirlenmiştir. Çizelge (4.3)

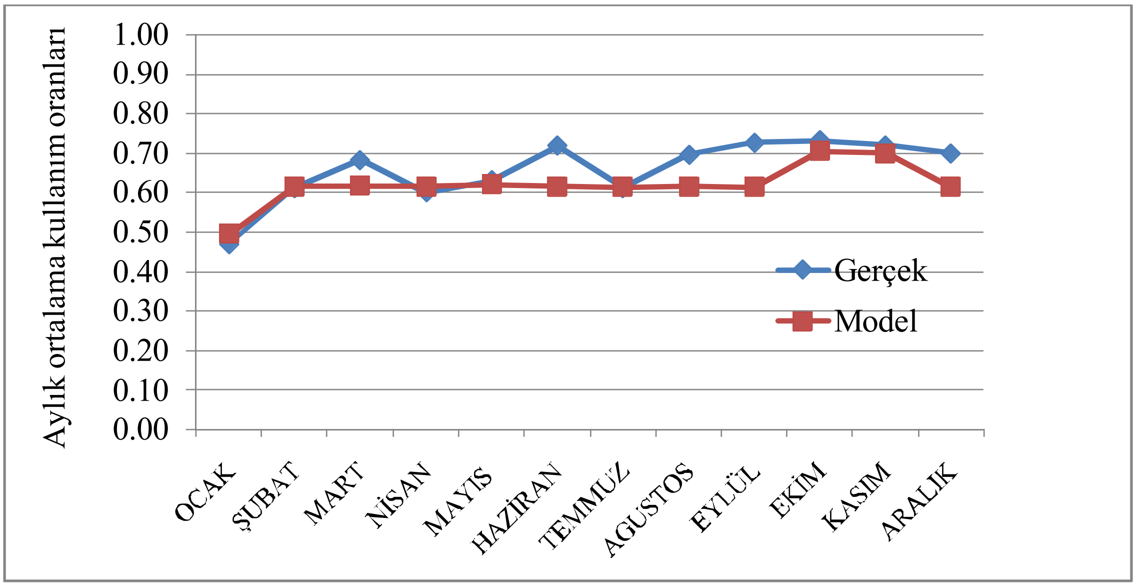
Çizelge 4.3 Mutlak rölatif hata ve karekök karesel hata

AY	Gerçek ortalama kullanım oranı D_{iG}	Model sonucu ortalama kullanım oran D_{im}	Mutlak rölatif hata (%)	Karekök karesel hata (%)
Ocak	0.471	0.495	5.146	2.42
Şubat	0.611	0.615	0.611	0.37
Mart	0.683	0.617	9.642	6.58
Nisan	0.600	0.615	2.454	1.47
Mayıs	0.630	0.62	1.665	1.05
Haziran	0.718	0.615	14.312	10.27
Temmuz	0.611	0.613	0.299	0.18
Ağustos	0.697	0.615	11.730	8.17
Eylül	0.727	0.613	15.693	11.41
Ekim	0.732	0.704	3.721	2.72
Kasım	0.721	0.7	2.912	2.1
Aralık	0.699	0.613	12.318	8.61
Ortalama			**6.708**	**4.61**

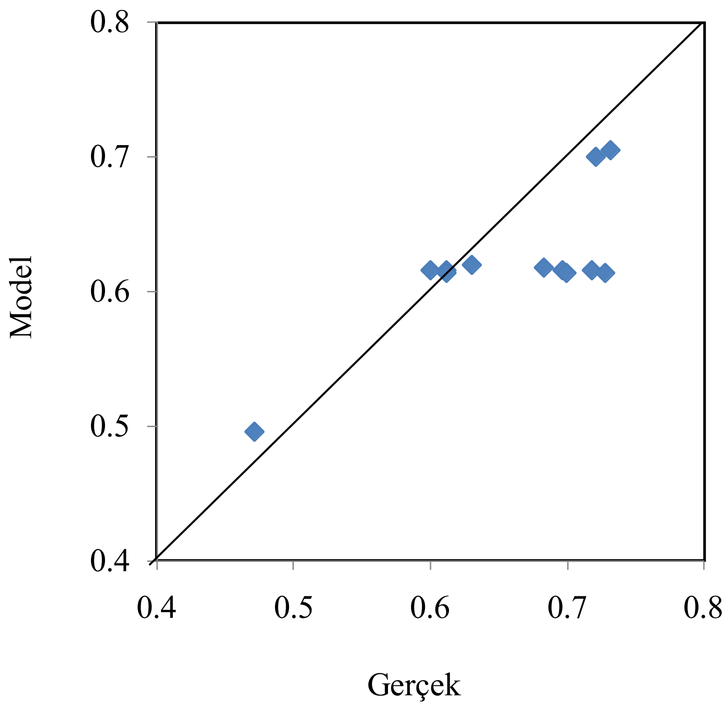
Çizelge 4.3'de aylara göre kullanım oranlarının gerçek ve model değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Haziran ve Eylül aylarının rölatif hatalarının ve karekök karesel hatalarının fazla çıkması modelde dikkate alınmayan gemiye operasyon yapabilecek kren sayısı, ekipman verimi, yükün nasıl elleçlendiği, insan kaynağı ve geminin doluk oranı gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Gemiye operasyon yapabilen kren sayısı, ekipman verimi, yükün nasıl elleçlendiği ve geminin doluluk oranı gibi parametrelerin dikkate alınmasıyla modelin geliştirilmesi mümkündür.

Yanaşma yeri uzunluğu ile gelen gemi boyları, gelen gemi sayısı ve elleçleme ekipmanları arasında ilişki kurularak ve herhangi bir kabul yapılmaksızın, çok değişken olayları modellemede başarılı bir sonuç alınmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen bulanık model pratik açısından da oldukça kullanışlıdır. Geliştirilen bulanık modelde, sonuçlar çok hızlı alınmakta ve oluşabilecek hatalar hata kriterine göre yorumlanabilmektedir.



Şekil 4.17 Aylara göre kullanım oranlarının gerçek ve model değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.18 Aylara göre kullanım oranlarının gerçek ve model değerlerinin saçılma diyagramı

Şekil 4.18'de aylara göre kullanım oranlarının gerçek ve model saçılma diyagramı bulanık mantık model sonuçlarının gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu belirtmek için çizilmiştir. Burada 45^0 çizgisi gerçek ve model değerlerinin % 100 aynı olduğu anlamına gelmektedir. Model sonucu bulunan aylık ortalama kullanım oranları 45^0 çizgisinin altında ve üstünde bulunmaktadır. Bu şekildeki saçılım modelin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modelinde kullanılan üyelik fonksiyonları gözlemlere dayanarak deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Uygulanan bulanık modelde 3 ve 4 üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık modelin farklı üyelik fonksiyonlarına sahip modellere kıyasla iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Oluşturulan bulanık modelde yanaşma yeri kullanım oranları 13-19 rıhtımları için bulunmuştur. 13 -16 ve 16-19 rıhtımları için ayrı birden fazla yanaşma yerinin denetimini sağlayan kordine bir sistem için bulanık bir model geliştirilmesi, sonuçların gerçek verilerle karşılaştırılmasında daha etkili sonuçlar verecektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, liman büyüklüğünün belirlenmesinde etkili olan yanaşma yeri uzunluğu için bulanık bir model geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesinde İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali verileri kullanılmıştır.

Bulanık mantık modelinde liman yanaşma yeri uzunluğunun belirlenmesinde İzmir Alsancak Limanı konteyner terminalinden alınan 2006 verileri; gemi boyları, elleçleme ekipman kapasiteleri, gelen gemi sayısı kümeleri üç üyelik fonksiyonlu girdi olarak verilmiştir ve yanaşma yeri uzunluğu kümesi dört üyelik fonksiyonlu çıktı olarak belirlenmiştir.

Her ay için İzmir Alsancak Limanında bulanık model sonucu kullanılan yanaşma yeri uzunluğu bulunmuştur ve toplam yanaşma yeri uzunluğuna bölünerek yanaşma yeri kullanım oranı belirlenmiştir.

İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali 2006 yılı aylık gerçek kullanım oranları Bartan'ın (2007) yaptığı çalışmadan alınarak model sonucu bulunan aylık kullanım oranlarıyla karşılaştırılmıştır.

Yanaşma yeri uzunluğu ile gelen gemi boyları, gelen gemi sayısı ve elleçleme ekipmanları arasında ilişki kurularak ve herhangi bir kabul yapılmaksızın, çok değişken olayları modellemede başarılı bir sonuç alınmıştır.

Oluşturulan bulanık modelde yanaşma yeri kullanım oranları 13-19 rıhtımları için bulunmuştur. 13 -16 ve 16-19 rıhtımları için ayrı birden fazla yanaşma yerinin denetimini sağlayan kordine bir sistem için bulanık bir model geliştirilmesi, sonuçların gerçek verilerle karşılaştırılmasında daha etkili sonuçlar verecektir.

Bu çalışmada geliştirilen bulanık model pratik açısından da oldukça kullanışlıdır. Geliştirilen bulanık modelde, sonuçlar çok hızlı alınmakta ve oluşabilecek hatalar hata kriterine göre yorumlanabilmektedir.

Uygulanan bulanık modelde uygulama sonucunun 3 ve 4 üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık modelin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir ama her küme için üyelik sayısının optimize edilebilmesi için genelleme yapmak zordur.

Yanaşma yeri kullanım oranının belirlenmesi için geliştirilen bulanık mantığa dayalı model gerçek kullanım oranlarına % 6.7 ortalama mutlak rölatif hata ve % 4.61 ortalana karesel karekök hata ile iyi sonuçla yaklaşmıştır.

İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali için geliştirilen bu modelde Mamdani modelinin kullanılmasının daha başarılı olacağı belirlenmiştir. Bunun nedeni kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modellemesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmasındandır.

Çok daha fazla veri kullanılarak (10 yıllık), sınır şartları daha geniş tutulup model tekrar denenebilir, model algoritmasının daha fazla girdi ile geliştirilmesi mümkündür.

Bu çalışmada sürekli liman yanaşma yeri için bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Sürekli olmayan liman yanaşma yeri için bulanık mantığa dayalı bir denetim modeli geliştirilmesi ilginç sonuçlar elde edilmesi açısından mümkündür.

Çalışmada sadece İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali verileri kullanılarak bulanık bir model geliştirilmiştir. Daha fazla limanın eşgüdümlü denetimini sağlayan bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmesi de mümkündür.

Geliştirilen bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonları gözlemlere dayanarak deneme-yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının sayısını artırmak modelin performansını artırabilecektir.

Modelde dikkate alınmayan diğer öğeler ise gemiye operasyon yapabilecek kren sayısı, ekipman verimi, yükün nasıl elleçlendiği ve geminin doluk oranıdır. Yeni geliştirilecek bir modelde gemiye operasyon yapabilen kren sayısı, ekipman verimi, yükün nasıl elleçlendiği ve geminin doluluk oranı dikkate alınmasıyla modelin geliştirilmesi bakımından daha iyi sonuçlar verebilecektir.

Modelleme İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminalinin 24 saat çalışma esasına göre yapılmıştır. Yeni geliştirilecek bulanık modelde çalışma saati liman çalışma saatine göre tekrar düzenlenebilinir.

Bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modelinde kullanılan üyelik fonksiyonları gözlemlere dayanarak deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için yeni bir yazılım geliştirilmesi modelin performansını artırabilecektir.

Bundan sonraki çalışmalarda;

Oluşturulan bulanık modelin birden fazla limanda denenmesi, modelin yapısının geçerliliğinin desteklenmesi bakımdan gereklidir. Oluşturulan modelin, liman yanaşma büyüklüğü bulanık mantık modeli performansı hakkında uygulanabilirliği açısından başlangıç noktası oluşturması amacıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık model hakkında atılabilecek en önemli adım daha fazla geliştirilerek genel bir model oluşturulmasıdır.

KAYNAKLAR

Bartan, D., (2007) " Limanda Performans Değerlendirilmesi ve İzmir Alsancak Limanı Konteyner Terminali Örneği" Yüksek Lisans Tezi, YTÜ

Bayram, B (2006) "Bulanık Mantık Ders Notları", YTÜ

Kosko, B (1992) " Neural Network and Fuzzy systems", Prentice Hall, New Jersey

TCDD İzmir Liman İşletme Müdürlüğü, (2007) " 2006 yılına ait istatistikler"

Mamdani, E.H., (1974) "An experiment in Linguistic synthesis with a Fuzzy Logic Controller", İnternational journal of Man-Machine Studies 7(1), 1-13

Onat., M., (2005) "Dünya Limanlarında Rekabet ve Düzenleme; Marmara bölgesi Konteyner Terminallerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ

Özger, M., (1999) "Taşkın Debilerinin Tahmini Üzerine Bulanık Model Çalışması" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 51-54

Özürk, A., (2002) " Yöneylem Araştırması", Ekin yayınları, Bursa

Özkan, M., (2003) "Bulanık Hedef Programlama",Ekin yayınları, İstanbul

Sugeno, M., Kang, T., Tanaka, K., (1988) "Structure İdentification Of Fuzzy Model. Fuzzy sets and system, 28:15-33, Nort- Holland

Şen, Z., (2004) " Mühendislikte Bulanık Mantık İle Modelleme Prensipleri", Su Vakfı Yayınları, İstanbul

Şen, Z., (2000) Olasılık ilkeleri ders notları, İTÜ

Şen, Z., (1999) "Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri", Bilge kültür sanat yayınları, İstanbul

Toprak, F., (2002) "Boyuna dispersiyon katsayısının bulanık mantıkla modellenmesi", Doktora Tezi, İTU

Yen, j., (1999) "Industrial Aplications of Fuzzy Logic and Inteligent System", IEEE press, New York

Yüksel,Y., Çevik, E., (2006), "Liman Planlama ve Tasarım", Arıkan yayınları, İstanbul

Zahed, L.A., (1965) " Fuzzy Sets and Control" 8,pp.338-353

Zahed, L.A., (1968) “ Fuzzy Algorithms. Informat and Control. 12, no. 2,pp. 94-102

Terano, T., Sugeno, M., (1992) “Fuzzy Systems and Theory”, Acedemic Publishers, Boston

Zahed, L.A., (1971) “Towards a Theory of Fuzzy System. İn Aspects of Network and System Theory, eds. R. E. Kalman and N. Declaris

Zimmermann, H., (1991) “Fuzzy Set Theory and Its aplications”, Kluwer Acedemic Publishers, Boston

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.izto.org.tr

[2] www.tcdd.gov.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	1.11.1982	
Doğum Yeri	Gümüşhane	
Lise	1997-2000	Bahçelievler Özel Meltem Lisesi
Lisans	2000-2004	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman Müh. Programı

Çalıştığı Kurumlar

2004-2005	HEKTAŞ İNŞ.TAAH.AŞ
2007-2007	Dumankaya İNŞ. A.Ş