

ULAŞIM AĞLARINDA BİLGİ AKSİYOMU KULLANILARAK GÜZERGAH (ROTA) SEÇİMİ

Y. Şazi MURAT*, Osman KULAK**

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20017/Kınıklı/Denizli

**Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20017/Kınıklı/Denizli

Geliş Tarihi : 22.06.2004

ÖZET

Ulaşım ağlarında rota seçimi büyük kentlerde yaşayanlar için önemli bir karar problemidir. Seçilen rotaya bağlı olarak ulaşım maliyetleri ve sürücü sağlığı önemli oranda etkilenmektedir. Rota seçiminde göz önüne alınması gereken ölçütler seyahat süresi, tıkanma seviyesi, güvenlik ve çevre faktörü olarak sınıflandırılabilirler. Bu çalışma, belirtilen ölçütleri göz önüne alarak sürücüler için en uygun rotanın değerlendirilmesi ve seçilmesinde bilgi aksiyomunu kullanan bir yaklaşımı sunmaktadır. Bilgi aksiyomu, aksiyomlarla tasarım prensiplerinin ikinci aksiyomu olup minimum bilgi içeriğine sahip alternatifin seçilmesini önermektedir. Kesin (crisp) ölçüt değerleri için klasik bilgi aksiyomu yaklaşımını ve bulanık (fuzzy) ölçüt değerleri için bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımını içeren bu yöntem, Denizli kentinde rotaların değerlendirilmesi için uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Bilgi aksiyomu, Çok ölçütlü rota seçimi, Bulanık mantık, Aksiyomlarla tasarım

ROUTE SELECTION IN TRANSPORTATION NETWORKS USING INFORMATION AXIOM

ABSTRACT

Route choice in urban transportation networks is a complex decision making problem for the road users. This decision has resulted in different ways such as increase in transportation cost and negative effects on driver psychology. Travel time, congestion, safety and environmental effects are the important criteria that should be taken in to account in route choice. Selection of the convenient route under determined criteria using the information axiom will be realized in this study. The Information axiom, the second axiom of Axiomatic Design (AD) principles, proposes the selection of the proper alternative that has minimum information content. Axiomatic approach including crisp information axiom for complete information and fuzzy information axiom for incomplete information is used as a tool for the evaluation of alternative routes in Denizli.

Key Words : Information axiom, Multi-attribute route choice, Fuzzy, Axiomatic design

1. GİRİŞ

Kent içi yol ağlarında güzergah (rota) seçim işlemi çok boyutlu ve belirsizlikler içeren bir yapıya sahiptir. Taşıt sürücülerinin en kısa zamanda, en kısa yolu takip ederek ve en güvenli bir biçimde seyahatlerini tamamlamak ve hedef noktaya varmak

istemeleri çok amaçlı bir karar vermeyi gerektirmektedir. Çünkü birden fazla amacın olması ve bunların hepsinin aynı anda gerçekleştirmek istenmesi problemi karmaşık hale getirmektedir. Böyle bir problemde karar verici güzergah alternatifleri ile ilgili olarak beklentilerini en üst düzeyde karşılayabileceği detaylı analize ihtiyaç duyar.

Bir yol ağındaki rota seçim probleminde temel yaklaşım, en düşük maliyetli olanı tercih etmektir. En düşük maliyet kavramı ise; seyahat süresi, tıkanma olasılığı, yol türü, çevresel etkiler (peyzaj ve diğer) ve yol ağının güvenilirliği parametrelerini kapsamaktadır. Söz konusu parametrelerin tamamını dikkate alan bir geliştirilmiş maliyet fonksiyonu geliştirmek ve sağlıklı bir model kurmak oldukça güçtür. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalarda iyi bir modelleme yapabilmek için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlarda, genel olarak rotaların sağladığı faydayı veya maliyetini ifade eden fayda fonksiyonları oluşturulur ve logit veya probit davranış modelleme yöntemlerinden faydalanarak, rotaların seçim oranları belirlenir (Daganzo, 1979; Sheffi, 1985).

Bu kapsamda yapılan çalışmalardan birisi Outram and Thompson (1977) tarafından geliştirilen rota seçim modelidir. Bu model, zaman ve mesafenin kombinasyonundan oluşan bir geliştirilmiş maliyet fonksiyonunu içermektedir. Lo and Lam (2002) tarafından yapılan çalışmada, çoklu (multinomial) logit model bağıntısına ilaveler yapılmıştır. Bu çalışmada rastgele fayda fonksiyonu referans alınmıştır. Hong Kong'da 202 adet sürücüye anket uygulanmış ve geliştirdikleri bağıntının anket sonuçları ile tutarlı olup olmadığı analiz edilmiştir.

Belirtilen yöntemlerin çoğunda kesin değerlere dayalı seçim yapılmaktadır. Bu yöntemlerle gerçekleştirilen değerlendirme süreçlerinde verilerin elde edilmesi önemli bir sorundur. Değerlendirme sürecinde ihmal edilmek zorunda kalınan bu tür veriler için Zadeh'in (1965) bulanık kümeleri kullanılır. Bulanık kümelerin kullanılmasıyla karar modelinde ihmal edilen ölçütler kolaylıkla karar modeline dahil edilebilmektedir. Bu yaklaşımdan faydalanarak, klasik modellemeye alternatif olabilecek bulanık mantık rota seçimi modelleri geliştirilmiştir.

Lotan (1997) tarafından rota seçimi ile ilgili olarak yapılan çalışmada, bulanık mantığa dayalı yaklaşık sonuçlandırma (approximate reasoning) yöntemi ile rastgele fayda modeli karşılaştırılmıştır. Bu modeller rotalara aşına olan ve olmayan iki grubun rota seçim davranışının incelenmesi için kullanılmıştır.

Lee et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada, rota seçiminde sürücülerin algılamalarından kaynaklanan belirsizlikler modellenmiştir. Gizli Sınıflandırılmış Çoklu Logit Model (Latent Class Multinomial Logit Model) ve bir fuzzy model geliştirilmiş ve bunların kombinasyonundan oluşan bir model yapılmıştır.

Rota seçimi için bulanık mantığa dayalı bir model

Henn (2000) tarafından geliştirilmiştir. Modelde rotaların maliyet değerleri bulanık sayılarla ifade edilmiştir. 3 rota seçeneği olan bir yol ağı örneği için, bulanık mantık modeli ile geleneksel logit modeli karşılaştırılmıştır.

Yine Henn (2002) tarafından yapılan çalışmada, bir bulanık trafik atama modeli geliştirilmiştir. Bu model, yol ağındaki rotaların bulanık maliyetlerinin çıkarılmasını sistematik bir biçimde gerçekleştirmektedir. Hem rota maliyetlerinin sürücüler açısından birbirine benzerlik gösterdiği, hem de tercih etmek ve genel olarak tahmin etmenin belirsizlikler içerdiği ifade edilmiş ve yeni bir trafik atama modeli önerilmiştir.

Rastgele fayda modelini kullanan ve bulanık rota maliyetlerini içeren trafik atama modeli Binetti and De Mitri (2002) tarafından geliştirilmiştir. Model, rota maliyetlerine göre hesaplanan bir tercih katsayısı yardımı ile rotaların tercih olasılıklarını belirlemektedir.

Rota seçiminde bulanık Analitik Hiyerarşi süreci (AHP), Arslan and Khisty (2004) tarafından kullanılmış ve psikometrik yaklaşıma dayalı bir yöntem önerilmiştir. Değerlendirme ölçütleri seyahat süresi, tıkanma ve güvenlik parametrelerini içermektedir.

Değerlendirme sürecinde birden fazla ölçütü göz önüne alan karar modeli yaklaşımlarına çok ölçütlü karar yöntemleri denir. Bu yöntemler karar üzerinde etkin olan hem maliyet esaslı hem de maliyet esaslı olmayan ölçütleri dikkate almaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılanları, puanlama yöntemleri (Nelson, 1986), analitik hiyerarşi süreci (AHP) (Kahraman ve ark., 2004), analitik serim süreci (ANP) (Büyüközkan ve ark., 2004), Fayda modeli (Sloggy, 1984), TOPSIS (Deng et al., 2000) ve outranking yöntemler (De Boer et al., 1998) olarak belirtilebilir. Aksiyomlarla tasarım prensiplerinden olan bilgi aksiyomu, karar verme sürecinde birden çok seçeneğin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır (Suh, 2001). Yol ağlarında rota seçim sürecinde karar vericilere destek sağlaması için bilgi aksiyomu esaslı yöntem bu çalışmayla sunulmaktadır. Belirtilen yöntem, diğer yöntemlerin aksine hem kesin (crisp) hem de bulanık (fuzzy) ölçütleri birlikte değerlendirebilmektedir.

Literatürde son 10 yıl içinde ürün, sistem, organizasyon ve yazılım tasarımı ile ilgili bir çok Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri uygulaması gerçekleştirilmiştir. Suh (1990) ilk olarak Aksiyomlarla Tasarım teorisini ve prensiplerini tanıtmıştır. Suh and Cochran (1998) bir üretim sistemini Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine göre

tasarlamışlardır. Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri aynı zamanda esnek üretim sistemlerinin tasarımında da uygulanmıştır (Babic, 1999). Cochran et al. (2000) karmaşık bir üretim sistemini küçük, esnek ve merkezi olmayan birimlere ayırmıştır. Bu çalışmada yalın üretim prensipleri, kısımlaştırma ve Aksiyomlarla Tasarım Prensipleri birlikte kullanılmıştır. Chen et al. (2000), hücre performansını geliştirmek için bağımsızlık aksiyomunu kullanan bir karar destek sistemi önermiştir. Kulak ve ark., (2004) Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine dayalı olarak geleneksel üretim sistemlerinden hücre sistemine geçmeye hazır olan tasarımcılar için bir yol haritası önermiştir. Kulak ve Kahraman (2004) nakliye şirketlerinin çok ölçütlü olarak seçilmesi için Aksiyomlarla Tasarım ve AHP yöntemlerini uygulamışlardır. Bu çalışmalar Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerinin çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde uygulanabilirliğini göstermektedir.

Bu çalışma, yol ağlarında rota seçimi problemi için hem kesin hem de bulanık ölçütleri içeren çok ölçütlü bilgi aksiyomu yaklaşımını sunmakta ve gerçek bir uygulamayı göstermektedir.

2. ROTA SEÇİMİ PROBLEMİ VE ÖZELİKLERİ

Yol ağlarında rota seçim problemi, ulaşım planlamacıları ve kullanıcılar açısından önem arz eden çok boyutlu bir konudur. Rota seçiminde seyahat süresi, tıkanma seviyesi, çevresel etkiler (peyzaj ve diğer) ve yol ağının güvenliği gibi ölçütler karar vericiyi etkilemektedir.

Bir rotanın alternatiflerine göre daha kısa sürede ulaşım sağlanması bir çok kullanıcı açısından seyahat süresi ölçütünün önemini artırmaktadır. Güvenlik kavramı ile, yol ağındaki tercih edilen rotada kaza yapma olasılığı ifade edilmektedir. Bu ölçütün belirlenmesi amacıyla ilgili rotaların geçmişteki trafik kaza değerlerinden faydalanılabilir. Tıkanma seviyesi ölçütü değeri ise ilgili rotalardaki minimum ve maksimum trafik hacmi değerlerinin kapasiteye oranlanması ile elde edilir. Çevre faktörü veya çevresel etkiler ise özellikle sürücünün rota (güzergah) boyunca kendisini daha rahat hissedebileceği peyzaj durumu, alışveriş imkanı v.b. gibi özellikleri ifade etmektedir. Çevresel faktör ölçütü değeri puanlama yöntemi ile tespit edilir.

3. AKSİYOMLARLA TASARIM PRENSİPLERİ

Aksiyomlarla tasarımda en önemli kavram tasarım aksiyomlarının varlığıdır. İlk tasarım aksiyomu, Bağımsızlık Aksiyomu ikincisi ise Bilgi Aksiyomu olarak bilinmektedir. Bunlar kısaca şöyle açıklanabilir (Suh, 1990):

Aksiyom 1. Bağımsızlık Aksiyomu : Fonksiyonel ihtiyaçların bağımsızlığını sağla

Aksiyom 2. Bilgi Aksiyomu : Bilgi içeriğinin en az olmasını sağla.

Bağımsızlık Aksiyomu, tasarım amaçlarına ulaşmak için gerekli olan fonksiyonel ihtiyaçlar arasında bağımsızlığın sağlanması gerektiğini belirtir (Suh, 1990). Gerçek hayatta mühendisler, karmaşık bir problemi daha küçük alt problemlere ayırmaya ve bu küçük alt problemlere bağımsız çözümler bulmaya eğilimlidirler. Bu aksiyom, mühendislerin bu yöndeki ihtiyaçlarını etkin çözüm getirebilmektedir.

3. 1. Kesin (Crisp) Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı

Bilgi Aksiyomu, Bağımsızlık Aksiyomunu sağlayan tasarımlardan en az bilgi içeriğine sahip tasarımın en iyi tasarım olduğunu belirtmektedir (Suh, 2001). Bilgi, bilgi içeriği I_i şeklinde belirtilmekte ve en basit anlamıyla fonksiyonel ihtiyaçların (FR_i) gerçekleşme olasılığı olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle I_i , başarı olasılığı en büyük olan tasarımın en iyi tasarım olduğunu belirtmektedir. Verilen bir fonksiyonel ihtiyaç (FR_i) için bilgi içeriği I_i şu şekilde ifade edilmektedir:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{P_i} \right) \quad (1)$$

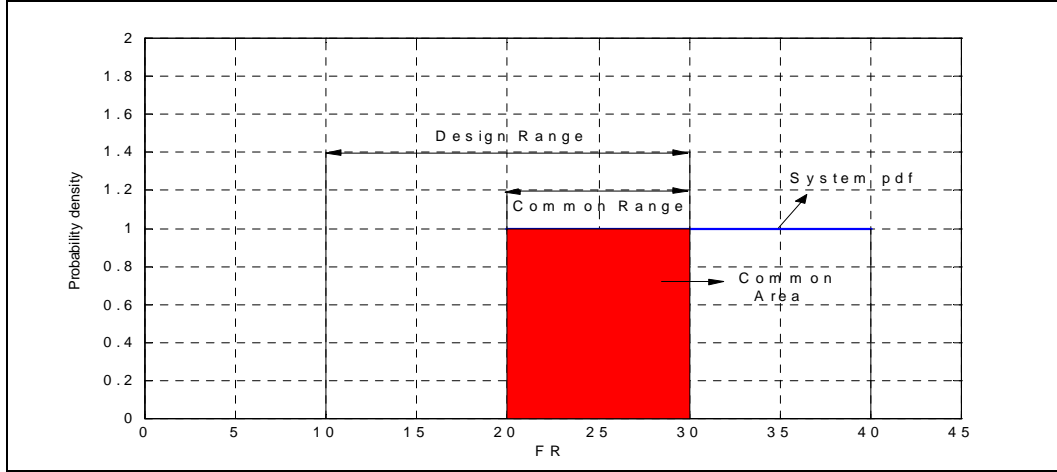
Burada, p_i fonksiyonel ihtiyacın (FR_i) karşılanma olasılığını ve \log da 2 tabanında logaritmik değeri ifade etmektedir. Bu bilgi aksiyomu tanımı, operasyonel farklılıklar olmasına rağmen Shannon tarafından yapılan tanıma uygundur. Sistemde n tane fonksiyonel ihtiyaç (FR_i) varsa, toplam bilgi içeriği tüm olasılıkların toplamına eşit olacaktır. I_i sonsuza giderse, sistem tasarımcının belirlemiş olduğu fonksiyonel ihtiyacı karşılayamayacaktır. Olasılık değeri 1 olduğunda ise bilgi içeriği sıfır olacaktır (Suh et al., 1998).

Herhangi bir tasarımda başarı olasılığı, tasarımcının toleranslar bazında ulaşmak istediği seviye (tasarım aralığı-design range) ve sistem kapasitesine (sistem aralığı-system range) bağlıdır. Şekil 1’de de gösterildiği gibi, tasarımcı tarafından belirlenen “tasarım aralığı” ve sistem yeterliliği olan “sistem aralığı” arasında kalan bölge kabul edilebilir çözüm aralığıdır. Buna bağlı olarak uniform olasılık dağılım fonksiyonu (p_i) aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$P_i = \left(\frac{\text{Ortak Aralık}}{\text{Sistem Aralığı}} \right) \quad (2)$$

Bu durumda, bilgi içeriği aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (3)$$

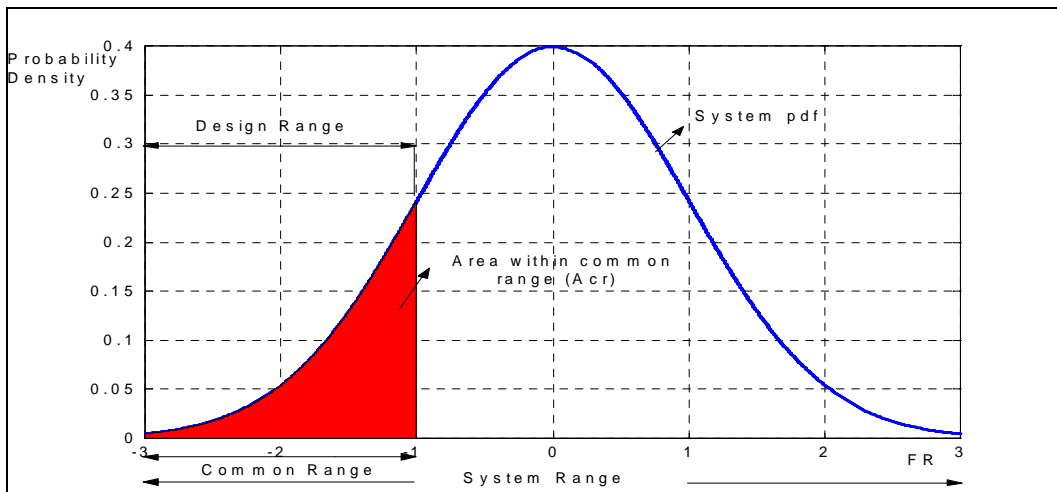


Şekil 1. Fonksiyonel ihtiyaçların tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık

FR_i sürekli rastsal bir değişken olduğunda FR_i 'nin tasarım aralığında karşılanma olasılığı :

$$P_i = \int_{dr^1}^{dr^u} p_s(FR_i).dFR_i \quad (4)$$

$p_s(FR_i)$, FR_i için sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Bu eşitlik, dr^1 alt sınırı ile dr^u üst sınırı arasındaki tasarım aralığında başarıya ulaşma olasılığını sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonu ile birleştirerek vermektedir. Şekil 2’de ortak aralığın (A_{cr}) alanı, başarıya ulaşma olasılığına (P_i) eşittir (Suh, 1990).



Şekil 2. Fonksiyonel ihtiyaçların tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık

Bu durumda bilgi içeriği için aşağıdaki denklem yazılabilmektedir:

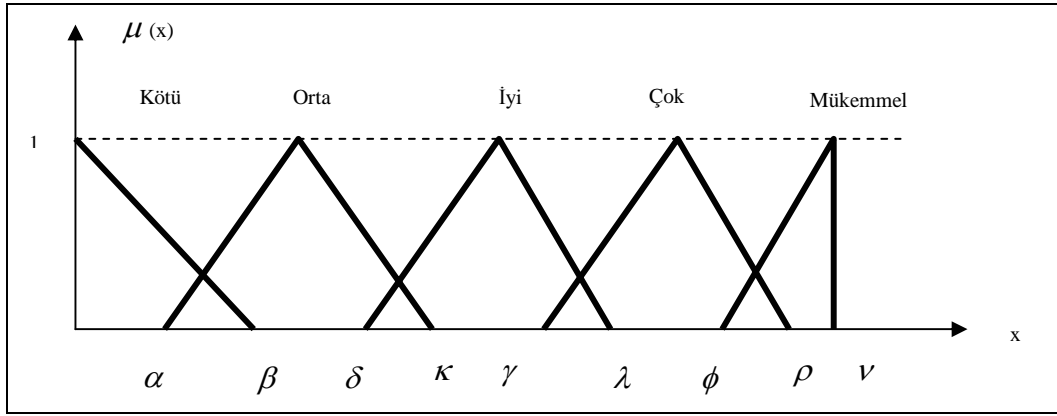
$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{A_{cr}} \right) \quad (5)$$

3. 2. Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı

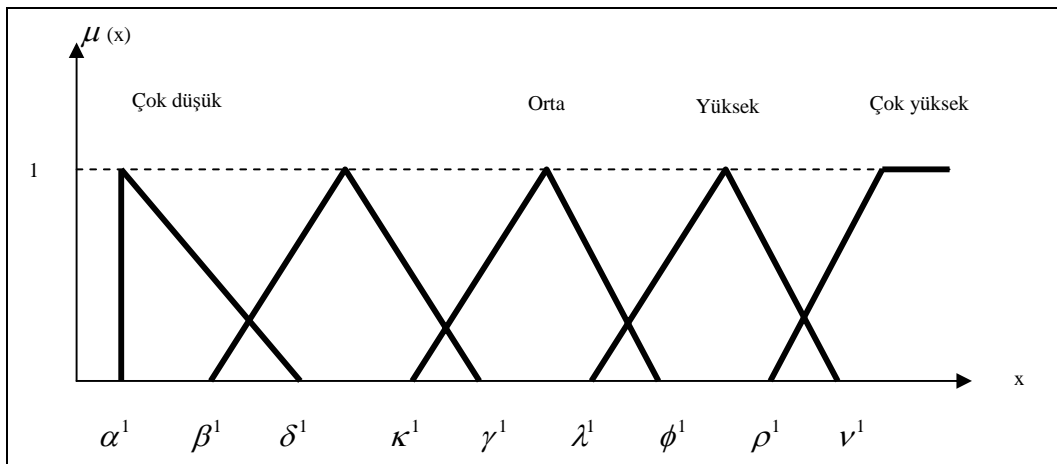
Yukarıda belirtilen çok ölçütlü klasik bilgi aksiyomu yaklaşımı belirlilik altında karar verme problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Karar değişkenlerinin belirli sayılarla tanımlanması belirsizlik durumlarında zor olduğu için klasik bilgi aksiyomu yaklaşımı bu şartlarda kullanılamaz. Bu nedenle, çok ölçütlü bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı geliştirilmiştir (Kulak ve Kahraman

2004). Aynı zamanda, belirli ve belirsiz ölçütleri birlikte içeren bir problem bütünleşik klasik ve bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımıyla çözülebilir. Bu özellik, diğer çok ölçütlü yöntemlerde bulunmayan önemli bir avantajdır. Geliştirilen bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımına yönelik tanımlamalar ve formüller aşağıda verilmiştir.

Belirsizlik altındaki ölçütlerle ilgili veriler bulanık veriler olarak ifade edilebilir. Bulanık veriler, bulanık kümeler, bulanık sayılar veya dilsel şekilde olabilir. Eğer veriler dilsel ise öncelikle bulanık sayılara çevrilmekte ve sonra tüm bulanık sayılar (veya bulanık kümeler) belirli değerlere atanmaktadır. Aşağıda gösterilen Şekil 3 ve Şekil 4, dilsel ifadelerin bulanık sayılara dönüştürülmesini göstermektedir.



Şekil 3. Ölçülemeyen faktörler için sayısal yaklaşım sistemi



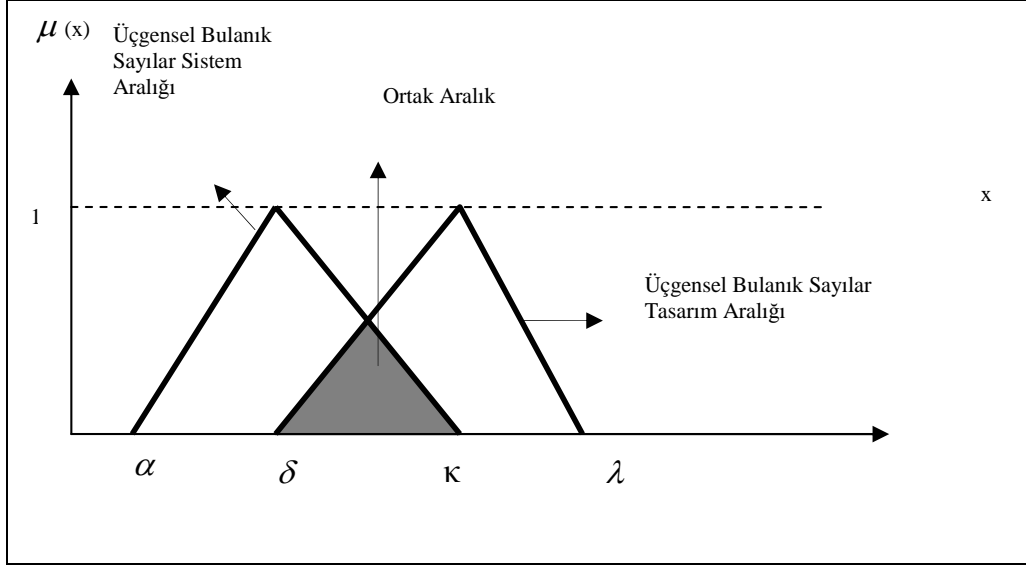
Şekil 4. Ölçülebilir faktörler için sayısal yaklaşım sistemi

Belirsiz veriler için hem sistem hem de tasarım aralıkları hakkında yeterli bilgi mevcut değildir. Belirli bir ölçüt için tasarım ve sistem aralıkları, 'bir

sayıdan fazla', 'bir sayı dolaylarında' veya 'iki sayı arasında' şeklinde belirtilebilir. Üçgensel bulanık sayılar, bu şekilde belirtilebilen ifadelerdendir.

Üçgensel bulanık sayıları içeren üyelik fonksiyonu yardımıyla belirsiz veriler için bilgi içeriğini hesaplayabiliriz. Tasarım ve sistem aralıklarının kesişimi olan ortak alan bir fonksiyonel ihtiyacın

(FR_i) karşılanma olasılığının hesaplanmasında kullanılabilir. Tasarım ve Sistem Aralıklarının kesişimi olan ortak alan Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Sistem, tasarım aralıkları, ortak aralık

Bu durumda, bilgi içeriği,

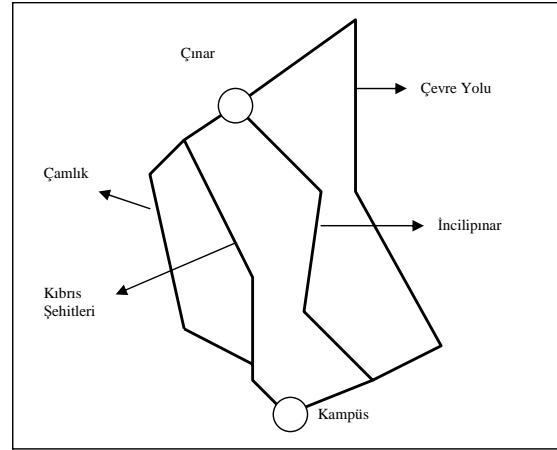
$$I_i = \left(\frac{\text{Üçgen Bulanık Sayılar Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (6)$$

Sonraki bölümde, Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı kullanılarak hem kesin hem de bulanık ölçütleri içeren, birden fazla ölçütün değerlendirildiği ulaşım ağlarında rota (güzergah) seçimine yönelik gerçek bir uygulama gösterilmektedir.

4. UYGULAMA

Geliştirilen yöntem Denizli kentinde üniversite kampüsü ile şehir merkezi (Çınar Meydanı) arasındaki 4 farklı rotanın çok ölçütlü olarak seçilmesi için uygulanmıştır. Değerlendirme için Çamlık, Kıbrıs Şehitleri, İncilipınar ve Çevre yolu rotaları belirlenmiş olup, Şekil 6'da gösterilmektedir. Seçim sürecinde göz önüne alınan ölçütler, seyahat süresi, tıkanma seviyesi, güvenlik ve çevre faktörü olarak sınıflandırılmıştır.

Alternatif rotaların değerlendirilmesinde ölçütlerin kesin veri değerleri için kesin bilgi aksiyomu, belirsiz veri değerleri için bulanık bilgi aksiyomu ve her iki veri değerlerini de içeren model için bütünleşik bilgi aksiyomu yaklaşımı kullanılmıştır.



Şekil 6 Uygulama için seçilen rotalar

4. 1. Kesin Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı

Verilerin kesin olduğu problemlerin çözümünde bu yaklaşım kullanılır. Rotaları kullanan sürücüler için her bir ölçüt sürücü açısından birer fonksiyonel

ihtiyaç (FR) olarak tanımlanmıştır. Sürücülerin belirtilen iki nokta arasında belirtilen fonksiyonel ihtiyaçlar açısından beklentileri (tasarım aralıkları) 150 kişi üzerinde yapılan ve Ek-1’de verilen anketle belirlenmiştir. Bu anket sonuçlarına göre fonksiyonel ihtiyaçların (FR) tasarım aralıkları aşağıda belirtilmiştir :

- FR_{SS} = Seyahat süresi açısından en az 8, en fazla 15 dakika olmalı,
 FR_{TS} = Tıkanma seviyesi açısından en az % 15, en fazla % 30 oranında olmalı,
 FR_G = Güvenlik düzeyi kaza sayısı miktarı en az olan 60-85 aralığında olmalı,

- FR_{ÇF} = Çevre faktörü en az 14, en fazla 18 puan olmalı

Alternatif rotalara ait ölçüt değerleri (sistem özellikleri) Tablo 1’de verilmiştir. Her bir rotanın sağlamış olduğu sistem değerleri en az ve en fazla olarak belirtilmiştir. Yine rotalara ait seyahat süresi ve çevre faktörü değerleri, anket yapılan kişilerin verdiği cevaplardan elde edilmiştir. Tıkanma seviyesi değerleri (Murat, 2001) tarafından yapılan çalışmadan faydalanarak elde edilmiştir. Kaza adedi sayısı ise son 3 yılda ilgili rotada gerçekleşen Denizli Emniyet Müdürlüğü (2004) kaza kayıtlarından tespit edilmiştir.

Tablo 1. Rotalara Ait Sistem Aralıkları İçin Kesin Değerler

| Alternatif Rotalar | Seyahat süresi (dakika) | Tıkanma seviyesi (%) | Güvenlik (Kaza adedi) | Çevre Faktörü (puan) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Çamlık | 9-20 | 14-32 | 82-114 | 16-20 |
| Kıbrıs Şehitler | 7-16 | 15-22 | 81-134 | 14-18 |
| İncili pınar | 8-17 | 16-29 | 77-100 | 12-16 |
| Çevre yolu | 10-22 | 22-45 | 67-78 | 10-15 |

Yukarıda belirtilen tasarım ve sistem aralıkları kullanılarak her bir alternatif rota için 3 numaralı

formül yardımıyla Tablo 2’de verilen bilgi içerikleri hesaplanır.

Tablo 2. Rotalar İçin için Suh’un Bilgi İçeriği Sonuçları

| Alternatif Rotalar | $\sum I_{SS}$ | $\sum I_{TS}$ | $\sum I_G$ | $\sum I_{ÇF}$ | $\sum I$ |
|--------------------|---------------|---------------|------------|---------------|----------|
| Çamlık | 0.874 | 0.900 | 3.415 | 1.000 | 6.189 |
| Kıbrıs Şehitler | 0.363 | 0.000 | 3.728 | 0.000 | 4.091 |
| İncilipınar | 0.363 | 0.000 | 1.524 | 1.000 | 2.887* |
| Çevre yolu | 1.263 | 1.524 | 0.000 | 2.322 | 5.109 |

Tablo 2 sonuçlarına göre en küçük bilgi içeriğine sahip olan İncilipınar rotasının seçilmesine karar verilir. Bilgi içeriği sonuçlarına göre içerik değeri en fazla olan Çamlık rotası en son tercih edilmesi gereken rotadır.

4. 2. Bulanık Bilgi Aksiyomu yaklaşımı

Ölçütlerle ilgili verilerin kesin olarak elde edilemediği durumlarda (Kulak ve Kahraman, 2004) tarafından geliştirilen Bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı önerilmektedir. Rota seçim problemi için 4.1’de kullanılan veriler bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı esas alınmıştır. Her bir fonksiyonel ihtiyaca ait tasarım aralıkları aşağıda tanımlanmıştır.

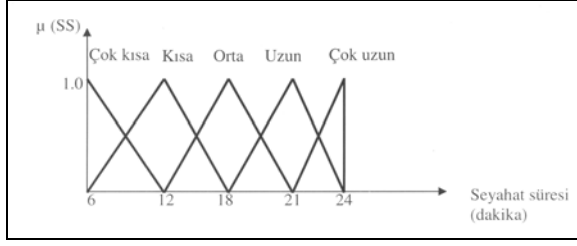
FR_{SS} = Seyahat süresi Orta düzeyde olmalı,

FR_{TS} = Tıkanma seviyesi Çok az olmalı,

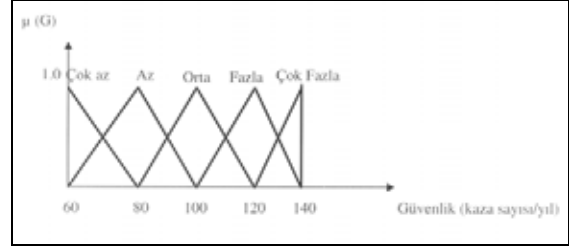
FR_G = Kaza sayısı Az olmalı,

FR_{ÇF} = Çevre faktörü Çok iyi olmalı

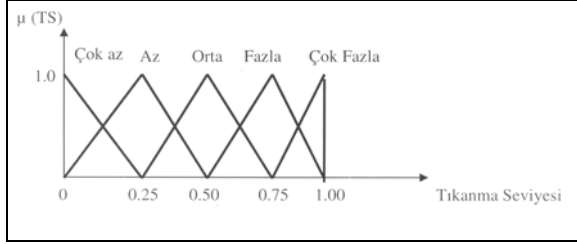
Alternatif rotalara ait ölçütler Şekil 7-10’da gösterildiği gibi bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Örneğin çevre faktörünün ifadelendirilmesi 20 üzerinden (0, 0, 6) aralığında ise “Zayıf”, (4, 7, 10) arasındaysa “Orta”, (8, 11, 14) arasında ise “İyi”, (12, 15, 18) arasında ise “Çok İyi” ve (16, 20, 20) aralığında ise “Mükemmel” olarak tanımlanmıştır.



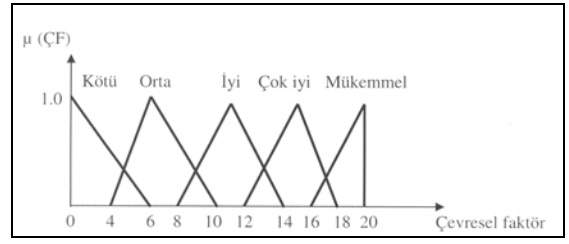
Şekil 7. Seyahat süresinin bulanık sayılarla gösterimi



Şekil 9. Güvenlik düzeyinin bulanık sayılarla gösterimi



Şekil 8. Tıkanma seviyesinin bulanık sayılarla gösterimi



Şekil 10. Çevresel faktörün bulanık sayılarla gösterimi

Tablo 3. Rotalara Ait Sistem Aralıkları İçin Bulanık Değerler

| Alternatif Rotalar | Seyahat Süresi | Tıkanma Seviyesi | Güvenlik | Çevre Faktörü |
|--------------------|----------------|------------------|----------|---------------|
| Çamlık | Kısa | Çok az | Orta | Mükemmel |
| Kıbrıs Şehitler | Kısa | Çok az | Orta | Çok iyi |
| İncilipınar | Orta | Az | Az | Çok iyi |
| Çevre yolu | Orta | Az | Çok az | İyi |

Yukarıda belirtilen tasarım ve sistem aralıkları kullanılarak her bir alternatif rota için 6 numaralı

formül yardımıyla Tablo 4'de verilen bilgi içerikleri hesaplanır.

Tablo 4. Rotalar İçin Suh'un Bilgi İçeriği Sonuçları

| Alternatif Rotalar | $\sum I_{SS}$ | $\sum I_{TS}$ | $\sum I_G$ | $\sum I_{ÇF}$ | $\sum I$ |
|--------------------|---------------|---------------|------------|---------------|----------|
| Çamlık | 2.000 | 0.000 | 2.000 | 2.806 | 6.806 |
| Kıbrıs Şehitler | 2.000 | 0.000 | 2.000 | 0.000 | 4.000 |
| İncili pınar | 0.000 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 2.000* |
| Çevre yolu | 0.000 | 2.000 | 1.000 | 3.170 | 6.170 |

Tablo 4 sonuçları da en küçük bilgi içeriğine sahip olan İncilipınar rotasının seçilmesini önermektedir. Daha önceki yöntemde olduğu gibi, Bulanık yaklaşım sonucunda rota sıralaması değişmemiştir.

4. 3. Bütünleşik (Integrated) Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı

Rota seçim probleminde tüm ölçütlerin kesin yada bulanık verileri içermesi mümkün olmamaktadır. Kesin yada bulanık ölçütleri birlikte içeren bir

problem bütünleşik bilgi aksiyomu yaklaşımıyla çözülebilir (Kulak ve Kahraman, 2004). Bu özellik, diğer çok ölçütlü yöntemlerde bulunmayan önemli bir avantajdır. Denizli kentindeki rota seçim probleminde tıkanma seviyesi ve kaza sayısı ölçütleri kesin değerlerle kolayca belirlenmektedir. Bununla birlikte seyahat süresi ve çevre faktörü ölçütleri bulanık verileri içermektedir. Bu şartlar altındaki problemin bütünleşik yaklaşımla çözümü bu kısımda gerçekleştirilmiştir.

FR_{TS} = Tıkanma seviyesi açısından en az %15,
en fazla % 30 oranında olma
FR_{SS} = Seyahat süresi Orta düzeyde olmalı,

FR_G = Güvenlik düzeyi kaza sayısı miktarı en
az olan 60-85 aralığında olmalı,
FR_{ÇF} = Çevre faktörü Çok iyi olmalı

Tablo 5. Rotalara Ait Sistem Aralıkları İçin Bulanık Değerler

| Alternatif Rotalar | Seyahat Süresi | Tıkanma Seviyesi (%) | Güvenlik (Kaza adedi) | Çevre Faktörü |
|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| Çamlık | Kısa | 14-32 | 82-114 | Mükemmel |
| Kıbrıs Şehitler | Kısa | 15-22 | 81-134 | Çok iyi |
| İncilipınar | Orta | 16-29 | 77-100 | Çok iyi |
| Çevre yolu | Orta | 22-45 | 67-78 | İyi |

Yukarıda belirtilen tasarım ve sistem aralıkları kullanılarak her bir alternatif rota için 3 ve 6

numaralı formüller yardımıyla Tablo 6'da verilen bilgi içerikleri hesaplanır.

Tablo 6. Rotalar İçin Suh'un Bilgi İçeriği Sonuçları

| Alternatif Rotalar | $\sum I_{SS}$ | $\sum I_{TS}$ | $\sum I_G$ | $\sum I_{ÇF}$ | $\sum I$ |
|--------------------|---------------|---------------|------------|---------------|----------|
| Çamlık | 2.000 | 0.900 | 3.415 | 2.806 | 9.121 |
| Kıbrıs Şehitler | 2.000 | 0.000 | 3.728 | 0.000 | 5.728 |
| İncilipınar | 0.000 | 0.000 | 1.524 | 0.000 | 1.524* |
| Çevre yolu | 0.000 | 1.524 | 0.000 | 3.170 | 4.694 |

Tablo 6 sonuçlarına göre yine en küçük bilgi içeriğine sahip olan İncilipınar rotası seçilir. Bütünleşik yaklaşım sonucunda ilk ve son tercih edilmesi gereken rotalar aynı olmakla birlikte, rota tercih sıraları değişmiştir.

5. SONUÇ

Belirlilik altında çok ölçütlü karar verme teknikleri, tüm karar verilerinin bilindiği ve belirli sayılarla ifade edildiği durumlarda problemleri çözmeye yarar. Bu yöntemler, veriler bilindiği ölçüde alternatifleri değerlendirmekte iyi sonuçlar vermektedir. Yine bulanık verileri içeren çok ölçütlü karar verme teknikleri bulanık verileri kullandığı için alternatifleri değerlendirmede yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışma, hem kesin hem bulanık ölçütleri ayrı ayrı ve birlikte değerlendiren bilgi aksiyomu yaklaşımlarını gerçek bir uygulama ile sunmaktadır.

Bilgi aksiyomu yaklaşımları farklı rotaların çok ölçütlü olarak değerlendirilmesi ve seçilmesi problemine uygulanmıştır. Denizli kentindeki uygulamada Pamukkale Üniversitesi kampüsü ile kent merkezi arasındaki 4 rota alternatifi ile ilgili

150 kişiye anket çalışması yapılmış ve anket sonuçlarına göre ölçütler için sistem aralıkları belirlenmiştir. Klasik, bulanık ve bütünleşik bilgi aksiyomu yaklaşımlarına göre, kampüs ile kent merkezi arasında dikkate alınan ölçütlere göre en uygun rota İncilipınar rotası olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, öncelikle ankete katılanlar olmak üzere, problemde ele alınan rota seçeneklerini günlük hayatta sıklıkla kullananlara faydalı olabilecektir. Çalışmada ele alınan problemin çözümü, özellikle, özel oto sürücülerini doğrudan etkileyecek ve yol kullanıcılarının davranışları değişerek ağıdaki kullanıcı dengesi değişebilecektir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan yaklaşımlar rota seçim problemi ile ilgili olarak, gelecekte yapılacak çalışmalarda bir çok araştırmacıya fikir verebilecektir.

Problemin değerlendirme sürecinde ölçütlerin toplam üzerindeki ağırlığı eşit düzeyde alınmıştır. Farklı ağırlık değerleri için karar vermeyi sağlayan Bilgi Aksiyomu esaslı yaklaşımlar için Kulak ve Kahraman (2004) tarafından yapılan çalışma önerilmektedir. Yine ileride gerçekleştirilecek rota seçimi analizlerine yeni kriterler (örneğin erişilebilirlik maliyeti gibi) ilavesi ile problemin çözümü için yeni yaklaşımlar getirilebilecektir.

6. EK-1

Güzergah (Rota) Seçim Davranışı Modelleme Çalışması Anket Formu

Bu anket çalışması, aşağıda tanımlanan Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Kampüsü- Delikli Çınar Meydanı arasındaki 4 farklı güzergah alternatifinin yol kullanıcıları (sürücü veya yolcu olarak) tarafından seçimini modellemek amacıyla yapılmaktadır. Lütfen anket sorularını dikkatlice okuyarak, sizin için en makul olan cevabı seçiniz / veriniz. Anketteki eksiklikler hakkında öneri ve görüşlerinizi belirtiniz. Zaman ayırdığınız ve katılımınız için teşekkür ederiz. *Dr. Y. Şazi MURAT ve Dr. Osman KULAK*

Güzergah 1 (Çamlık): Kampus-Mevlana C.-Doğan Demircioğlu C.-Ulus Caddesi- Çamlık Bulv. –Lise C.-Çınar

Güzergah 2 (Kıbrıs Şehitleri): Kampus- Mevlana C.-Doğan Demircioğlu C.-Zübeyde H. C.-Kıbrıs Şehit.C-Lise C.- Çınar

Güzergah 3 (İstiklal): Kampus-Hüseyin Yılmaz C.-Bursa C.-İncilipınar C.-İstiklal C.-Çınar

Güzergah 4 (Çevre Yolu): Kampus- Hüseyin Yılmaz C.-Süleyman Demirel Bul.-Fevzi çakmak Bul.-Atatürk c.- Çınar (Acıpayam yolu ifade edilmektedir, emniyet müdürlüğünden çınar meydanına yönlendirme yapılmıştır.)

Güzergahların hepsinde tüm ulaşım türlerinin var olduğunu kabul ediniz.

7. SORULAR

Soru 1) Yukarıda tanımlanan 4 güzergahtan hangisini tercih edersiniz?

.....

Soru 2) Yaptığınız güzergah tercihinin nedeni aşağıdakilerden hangisi/hangileridir?

a) seyahat süresi b) güvenlik c) Tıkanma d) Çevresel e) Diğer

Soru 3) Bu güzergahların sizce tahmini seyahat süresi nedir (dakika olarak)?

1.Çamlık :.....dakika
2.Kıbrıs Şehitleri :.....dakika
3.İstiklal :.....dakika
4.Çevre Yolu :.....dakika

Soru 4) Bu güzergahları trafik güvenliği açısından (en güvenciden-güvensize doğru) sıralayınız?

.....

Soru 5) Çevresel etkiler bakımından (peyzaj, genel görünüm ve bunun psikolojik etkisi) söz konusu güzergahları puanlama yöntemi ile değerlendiriniz? (0-20 puan aralığında değerlendirme yapınız).

1.Çamlık :.....puan
2.Kıbrıs Şehitleri :.....puan
3.İstiklal :.....puan
4.Çevre Yolu :.....puan

Soru 6) Söz konusu güzergahları, yolun zirve trafik saatlerinde tıkanma olasılığını dikkate alarak iyiden kötüye doğru sıralayınız?

.....

Soru 7) Bu güzergahlarda hangi ulaşım türünü tercih edersiniz?

a) Özel oto b) Otobüs c) Minibüs d)Servis e) yaya f) Diğer

Soru 8) Seçtiğiniz ulaşım türünü seçme nedeniniz aşağıdakilerden hangisi/hangileridir?

a) Ekonomik b) Güvenlik c) Hız d) Konfor e) Erişme kolaylığı f)diğer.....

Soru 9) Söz konusu güzergahlar için aşağıdaki kriterlere göre ulaşım türlerini ayrı ayrı sıralayınız? (1: özel oto, 2: otobüs, 3: minibüs, 4: yaya . Örneğin hız açısından 1, 3, 2, 4 biçiminde sıralama yapınız)

Ekonomik olma...../
Güvenlik...../
Hız..... /
Konfor/
Erişme kolaylığı...../

Not: Bu çalışma yalnızca akademik bir amaç doğrultusunda yapılmaktadır. Toplanan bilgilerin başka amaçlar doğrultusunda kullanılması söz konusu değildir. **Lütfen Anket formunu doldurduktan sonra en fazla 3 gün içinde bölüm sekreterliklerine teslim ediniz.**

8. KAYNAKLAR

Anonim, 2004. Denizli Emniyet Müdürlüğü Kaza Kayıtları, Denizli Emniyet Müdürlüğü.

Arslan, T. and Khisty, C. J. 2004. A Rational Reasoning Method From Fuzzy Perceptions in Route Choice, Fuzzy Sets and Systems (article in press).

- Babic, B. 1999. Axiomatic Design of Flexible Manufacturing Systems, *International Journal Of Production Research*, 37 (5), 1159-1173.
- Binetti, M. and De Mitri, M. 2002. Traffic Assignment Model With Fuzzy Travel cost. Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Uncertainty in Transportation, Bari, Italy, pp. 805-812.
- Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C., Ruan, D., 2004. Determining The Importance Weights for the Design Requirements in the House of Quality Using The Fuzzy Analytic Network Approach, *International Journal of Intelligent Systems*, 19 (5), 443-461.
- Chen, S. J., Chen, L. C. and Lin L. 2000. Knowledge-Based Support for Simulation Analysis of Manufacturing Cells, *Computers in Industry*, 44, 33-49.
- Cochran, D. S., Eversheim, W., Kubin, G. and Sesterhenn, M. L. 2000. The Application of Ad and Lean Management Principles in the Scope of Production System Segmentation, *International Journal of Production Research*, 38 (6), 1159-1173.
- Daganzo, C. 1979. Multinomial Probit: The Theory and its Application to Travel Demand Forecasting, Academic Press, New York.
- De Boer, L., Van Der Wegen, L., Jan Telgen, J. 1998. Outranking Methods in Support of Supplier Selection, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4 (2-3), 109-118.
- Deng, H, Yeh C. H., Willis, R. J. 2000. Inter-Company Comparison Using Modified Topsis With Objective Weights, *Computers & Operations Research*, 27, 963-973.
- Henn, V. 2000. Fuzzy Route Choice Model for Traffic Assignment, *Fuzzy Sets and Systems*, Elsevier Sciences, 116, pp. 77-101.
- Henn, V. 2002. What is the Meaning of Fuzzy Costs in Fuzzy Traffic Assignment Models. Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Uncertainty in Transportation, Bari, Italy, pp. 231-239.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D. 2004. Multi-Attribute Comparison Of catering Service Companies Using Fuzzy Ahp: The Case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, 87, 171-184.
- Kulak, O. and Kahraman, C. 2004. Fuzzy Multi-Attribute Transportation Company Selection Among The Alternatives Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process. *Information Science*, Accepted Paper, (In Progress For Publishing).
- Kulak, O., Durmuşoğlu, M.B. and Tüfekçi, S. 2004. A Complete Cellular Manufacturing Systems Design Methodology Based On Axiomatic Design Principles. *Computers & Industrial Engineering*, Accepted Paper, (In Progress For Publishing).
- Lee, B., Fujiwara, A., Yoriyasu, S. and Moon, N. 2002. Route Choice Behavior Model Considering Randomness and Vagueness Uncertainty. Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Uncertainty in Transportation, Bari, Italy, pp. 64-70.
- Lo, H. P. and Lam, W. S. P. 2002. A Modified Multinomial Logit Model of Route Choice for Drivers Using the Transportation Information System. Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Uncertainty in Transportation, Bari, Italy, pp. 295-299.
- Lotan, T. 1997. Effects of Familiarity on Route Choice Behavior in the Presence of Information. *Transportation Research Part C*, V 5, No: 3-4, pp. 225-243.
- Murat, Y. Ş. 2001. Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli. Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, 190 s.
- Nelson, C. A. 1986. A Scoring Model For Flexible Manufacturing Systems Project Selection, *European Journal of Operations Research*, (24), 346-359.
- Outram, V. E. and Thompson, E. 1977. Driver Route Choice- Behavioral and Motivational Studies. Proceedings 5th PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, July 1977, England.
- Sheffi, Y. 1985. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis With Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-939729-9 01, 399 p.
- Sloggy, J. E. 1984. How to Justify the Cost of An Fms, *Tooling and Production*, 50, 72-75.
- Suh, N. P. 1990. *The Principles of Design* (Oxford University Press, New York).
- Suh, N. P. 2001. *Axiomatic Design: Advances and Applications* (Oxford University Press, New York).
- Suh, N. P. 2001. *Axiomatic Design: Advances And Applications* (Oxford University Press, New York).
- Suh, N. P., Cochran, D.S. and Paulo C. L. 1998. Manufacturing System Design, *Annals of the Cirp*, 47 (2), 627-639.
- Zadeh, L. 1965. Fuzzy Sets, *Information Control*, 8, 338-353.