

Bulanık Mantık ve Lojistik Regresyon Yöntemleri ile Ulaşım Ağlarında Geçki Seçim Davranışının Modellenmesi

Y. Şazi MURAT*
Nurcan ULUDAĞ**

ÖZ

Geçki seçim problemi, bir çok parametrenin değerlendirilerek, bireysel faydanın en büyüklmesine yönelik karmaşık bir sorun olup, oluşturulacak modelin doğruluğu, bireysel geçki seçim davranışının gerçekçi olarak temsiline bağlıdır. Bu çalışmanın amacı, Denizli ilinde belirlenmiş olan önemli bir yol ağındaki geçki seçim problemini, yapılan anket çalışması sonucu elde edilen gerçek veriler kullanılarak bulanık olarak modellemektir. Bulanık Mantık modelinde, geçki seçim davranışı üzerinde etkili olan en önemli dört parametre; yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Geçki seçim davranışındaki belirsizlikleri modelleyebilmek amacıyla Bulanık Mantık kabullerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen Bulanık Mantık Geçki Seçim modeli, lojistik regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve gerçek değerlere en yakın sonuçlar BM modeli ile elde edilmiştir.

ABSTRACT

Modeling Route Choice Behaviour in Transportation Networks by Using Fuzzy Logic and Logistic Regression Techniques

Route choice is a complex problem in which the individual benefit is maximized by using many parameters. The effectiveness of a route choice model depends on well-definition of the users' behaviors. The purpose of this study is to model the route choice problem of an important network in Denizli with fuzzy logic using the real data gathered by a survey. Four important parameters; namely travel time, traffic safety, congestion and environmental effects are used in the fuzzy model. The fuzzy logic concepts are especially used to take into account the characteristics of route choice behavior such as imprecision, vagueness and uncertainty. The fuzzy logic model is compared with Logistic Regression Models and the best results are obtained with the Fuzzy Logic Model.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 16.11.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - ysmurat@pau.edu.tr

** Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli - nuludag@pau.edu.tr

1.GİRİŞ

Günlük yaşamın önemli bir parçası olan yolculuk etkinliği, ulaşım türü (mod) ve geçki seçimiyle ilgili olarak verilen kararlar sonucu biçimlenmektedir. Yol kullanıcıları bu aktivitelerinde, mevcut seçenekleri değerlendirerek, en fazla faydayı sağlayacak şekilde bir takım seçimler yapmaktadır. Geçki seçimi ile ilgili birçok çalışma, yol kullanıcısının yaptığı geçki seçiminin, yolculuk masrafı, yolculuk süresi, trafik güvenliği, konfor, alışkanlıklar ile sosyoekonomik ve demografik özelliklere bağlı olduğunu göstermektedir. Bu parametrelerden yolculuk süresi genellikle en önemli etken olmaktadır.[1].

Özellikle, toplu taşıma yerine, özel araç, bisiklet, yaya gibi bireysel yolculukları tercih eden yol kullanıcıları için, yapılan geçki seçimi, yolculuk süresi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Zaman faktörü günümüzde oldukça önemli olduğundan, özellikle trafik yoğunluğunun yüksek olduğu büyük şehirlerde, yol kullanıcılarını geçki seçiminde en uygun kararı vermeye zorlamaktadır. Ancak yolculuk süresi yanında diğer parametreler de dikkate alındığında geçki seçim davranışı değişebilmekte ve geleneksel modeller ile gerçekçi olarak temsil edilememektedir. Geçki seçiminde etkili olan trafik güvenliği, tıkanma olasılığı, konfor ve çevresel etkiler gibi pek çok parametre belirsizlikler içermekte ve geleneksel yaklaşımlar bu belirsizlikleri modellemede yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada, bulanık mantık tekniği kullanılarak, yukarıda ifade edilen diğer parametrelerin de dikkate alındığı bir model önerilmiştir.

İzleyen ikinci bölümde geçki seçim problemi tanımlanmış ve önceki çalışmalar aktarılmıştır. Üçüncü bölümde, kısaca bulanık modelleme tanıtılmış, dördüncü bölümde ise Bulanık Mantık ve Lojistik Regresyon geçki seçim modelleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç ve öneriler beşinci bölümde sunulmuştur.

2. GEÇKİ SEÇİM PROBLEMİ

Geleneksel ulaşım talebi modellemesinin son adımı olan trafik atamasının temelini oluşturan geçki seçimi, bir yol ağındaki başlangıç ve bitiş noktaları arasında yol kullanıcılarının mevcut geçki seçenekleri arasında yaptığı tercihi içermektedir. Geçki seçiminde en genel yaklaşım, yolcuların tüm geçkilerin maliyetlerini genel olarak değerlendirerek, yolculuk maliyetinin en düşük olduğunu algıladığı geçkiyi seçeceği düşüncesidir.

İki nokta arasında geçki seçimi yapılırken etkili olan başlıca parametreler; yolculuk süresi, trafik güvenliği, mesafe, masraf (yakıt ve diğ.), trafik işaretlemeleri, tıkanıklık ve kuyruk durumları, yol tipi, manzara, yol çalışmaları ve alışkanlıklardır. Yol kullanıcıları, bu parametreleri kendi algılayışları ile değerlendirerek, mevcut geçki seçenekleri arasından seçimlerini yaparlar. Bu parametrelerin hepsini, aynı anda bir trafik atama modelinde göstermek pratik olmadığından, geçki seçim çalışmalarında kabuller yapmak kaçınılmaz olmaktadır. Geçki seçiminde yaygın olarak sadece zaman ve masraf faktörleri göz önüne alınmaktadır. Masraf, genellikle yolculuk süresiyle orantılıdır.

2.1. Geçki Seçim Modelleri

Yol ağlarında geçki seçimi konusunda trafik mühendisleri ve ulaşım plancıları tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle sürücülerin geçki tercihindeki davranışları modellenmiştir. Geçki seçim modelleri; sürücü davranışındaki parametrelerin tahmini ve sürücünün tercih davranışının kestirimi gibi amaçlarla kullanılabilir.

Geçki seçiminde ilk önce kullanıcı dengesi (UE) modelleri geliştirilmiştir. Geçki seçim modelleri konusundaki ilk uygulamalar, yolculuk süreleri ve masrafların deterministik değerler olduğu ve her sürücünün yol ağının bu parametreleri hakkında eksiksiz bilgiye sahip olduğu kabulüne dayanmaktadır; ayrıca, sürücünün karar verirken mevcut seçeneklerden toplam maliyet açısından düşük olanı seçeceği düşüncesini kabul etmektedir [2]; Sürücülerin amaç ve beklentileri ile sezinleyişlerindeki farklılıklar, farklı geçki seçeneklerinin seçim olasılığını doğurmakta; bu farklılıklar, modellemede stokastik bir öge olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanıcı dengesi (UE) modellerindeki kısıtlayıcı kabulleri esnetmek amacıyla, stokastik logit ve probit modeller geliştirilmiştir [3][4]. Bu modeller, fayda kavramına dayanmakta olup, karar vericinin karşı karşıya olduğu seçim kümesi içindeki seçeneklerin özelliklerinin ve kriterlerinin tanımlı değerler olduğunu kabul etmektedir. Bu modellerde sürücüler, faydalarını maksimize eden rasyonel karar vericiler olarak kabul edilmektedir.[5]

Geçki seçim modellemesinde, seçilecek geçkilerin fayda fonksiyonları (utility functions) belirlenmekte ve buna göre logit veya probit modellerden faydalanılmaktadır. Fayda fonksiyonları; seçilecek geçkinin uzunluğu, yolculuk süresi, güvenliği gibi özellikleri içeren doğrusal fonksiyonlardır.

Bir bireyinin, i . seçenekten elde edeceği fayda Denklem 1’de gösterilmiştir.

$$U_i^a = V_i^a + \varepsilon_i^a \quad (1)$$

Burada;

U_i^a : i . geçkinin faydasını,

V_i^a : deterministik kısmı,

ε_i^a : belirsizliği açıklamak için rastgele kısmı

ifade etmektedir.[6]

Her bir geçki için bu fonksiyon yardımı ile geçkinin genel durumu belirlenmiş olur. Bundan sonra logit veya probit modelleri yardımıyla geçkinin seçilme olasılığı hesaplanarak, iki nokta arasında yolculuk edecek trafik hacmi ilgili geçkilere dağıtılır. Denklem 2’de logit modelin genel ifadesi verilmiştir.

$$P_i = \frac{e^{U_i^a}}{\sum_{i=1}^n e^{U_i^a}} \quad (2)$$

Burada,

P_i : i . geçkinin seçilme olasılığı,

U_i^a : i . geçkinin faydası,

olmaktadır.[7]

Geçki seçiminde belirsizlikler mevcuttur. Sürücülerin almış oldukları geçkileri seçmesi veya çeşitli geçki seçenekleri hakkında yeterli olmayan ve öznel bilgilere sahip olmaları nedeniyle modellemede sorunlar olabilmektedir. Örneğin sürücülerin deneyimi veya aynı geçkinin farklı günlerde farklı yolculuk süresinde hizmet verebilmesi gibi belirsizlikler nedeniyle problemin yapısında rasgelelikler oluşmaktadır. Problemin rasgele bileşeni, faydanın en büyüklenmesine (utility maximization) dayanan bazı yöntemler ile modellenmektedir. Ancak bu yöntemlerde kesin değerler ile çalışıldığından, problemin yapısındaki belirsizliğe tam olarak cevap verilememektedir. Dolayısıyla bulanık mantık modelleme ile bu sorunların aşılabilmesi mümkün olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında Bulanık Mantık tekniğinin kullanılması öngörülmüştür.

2.2. Önceki Çalışmalar

Bulanık geçki seçimi konusunda pek çok araştırmacı tarafından çeşitli yaklaşımlar getirilerek, modeller önerilmiştir. Teodorovic ve Kikuchi [8]; ikili bir geçki seçim probleminde, sürücülerin iki geçkinin özelliklerini değerlendirerek seçim yaptıkları, yolculuk süresinin sürücüler arasında değişen bulanık bir parametre olarak ele alındığı bir model geliştirmişlerdir. Akiyama ve Tsuboi [9]; algılanan yolculuk süresi, geçkideki tıkanıklık durumları, ve kaza olma riski parametrelerinin bulanık olarak alındığı çok aşamalı bir model geliştirmişlerdir. Lo ve Lam [10]; teknolojik ilerlemelere bağlı olarak günümüzde oldukça yaygınlaşan Ulaştırma Bilgi Sistemlerinin, Multinomial Logit (MNL) geçki seçim modelinde kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Henn [11]; bir yol ağındaki trafik atamasını modellemek amacıyla, dinamik seçim sürecinde yer alan belirsizlikleri hesaba katan ve geçki seçim işleminin belirli ve rastsal modellere kıyasla daha net tanımlanabileceği yeni bir model geliştirmiştir. Lee ve diğ. [12]; sürücü sezinleyişlerinde aynı anda oluşabilecek rasgelelik ve kesin olmayışın birleştirilmesine yönelik, Latent Class Multinomial Logit (LCML) ve Bulanık Model sonuçlarının birleştirildiği bir model oluşturmuş; LCML modelinin bu şekilde, geçki seçim davranışını daha iyi açıkladığını ortaya koymuştur. Binetti ve De Mitri [13]; bulanık rakamların maliyetleri temsil ettiği ve sürücülerin bu maliyetleri karşılaştırarak geçki seçim kararlarını verdikleri bir model ortaya koymuş, incelenen tüm durumlar için gerçekçi sonuçlar elde etmişlerdir. Henn [14]; bulanık masraf kullanımını benzerlik, tercih, ve belirsizlik başlıkları altında incelemiştir. Sürücülerin gerçek hayattaki davranışlarının, teorik davranışlardan farklı olabileceği ve bu farklılığın değerlendirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Mahmassani ve Srinivasan [15]; geliştirdikleri sezgisel modelinde, gerçek zamanlı bilgiden faydalanan sürücülerin yolculuk süresi algılamaları ile bu algılama sonucu verdikleri kararların belirlenmesi ve sürücülerin farklı bilgi stratejileri altında gerçek zamanlı trafik bilgi kalitesi değerlendirmelerini ortaya koymuştur. Sözkonusu çalışmada, deterministik ve rastsal denge atama modellerine davranışsal yaklaşımların dahil edilmesi gerekliliği

vurgulanmıştır. Vythoukcas ve Koutsopoulos [16]; ayrık seçim modellerinde bulanık mantık modeline kural ağırlıklarının dahil edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Kural ağırlıklarının ve üyelik işlevi parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenebilmesi için, Lin ve Lee'nin [17] geliştirdiği bulanık sinir ağı kullanılmış; model sonuçları logit modelle karşılaştırıldığında, özellikle karar sürecinde esneklik sağladığı görülmüştür. Palma ve Picard [18]; geçki seçim davranışını yolculuk süresinin belirsiz olduğu durum için incelemişler, beklenen ve beklenmeyen fayda işlevlerini birlikte içeren bir model ortaya koymuşlardır. Sonuçta, modelin deterministik kısmı için beklenen fayda teorisinin kullanılmasının uygun olduğu ve risk faktörünün eğitim, yolculuk amacı, cinsiyet gibi sosyoekonomik faktörlerle açıklanabileceği ifade edilmiştir. Henn ve Ottomanelli [19]; çalışmalarında trafik atama modellerinde belirsizliğin önemini ve klasik rasgele fayda modellerinin yeterli olmadığını göstermişlerdir. Abdel-Aty ve diğ. [20]; trafik bilgisinin varlığı durumunda, yol kullanıcılarının geçki seçiminin istatistiksel analizi üzerinde çalışmışlardır. Modelin amacı, ATIS (Advanced Traveler Information Systems) sistemlerinin geçki seçimi üzerindeki potansiyel etkisini araştırmaktır. Bu çalışma ile, yolculuk süresinin geçki seçiminde baskın ölçüt olmadığı, ATIS'in en kısa geçki üzerinde bile olsa, yol kullanıcılarına belirsiz geçkilerin kullanımını önermekten kaçınması gerektiği ve ATIS'in güvenilirliğinin geliştirilmesi gerekliliği sonuçlarına varılmıştır.

Bu çalışmada, yol kullanıcılarının geçki seçimi üzerinde en etkili parametreler arasında yer alan yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki parametrelerini kullanan bir bulanık model geliştirilmiştir. Bulanık modellemenin geçki seçim problemindeki, belirsiz, hassas ve kesin olmayan özelliklerini tanımlayabilme özelliği kullanılarak fayda değerleri hesaplanmış, bu fayda değerleri kullanılarak her bir geçkinin seçim olasılığı hesaplanmıştır. Ayrıca, ikili durumların varlığında kullanılması uygun olan lojistik regresyon yöntemi ile sonuçlar istatistiksel olarak test edilmiştir.

3. BULANIK MODELLEME

Temelleri eski Yunan felsefesine dayanan, uygulamada ise yapay zekanın yönlendirici bir unsuru olan bulanık sistemler (Fuzzy Systems), Aristoteles'ten günümüze gelişen klasik küme üyeliğine ve mantığına karşı oluşturulmuş bir seçenektir.

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine seçenek olarak, L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [21]. Bulanık küme teorisinde, üyelikten üye olmamaya geçiş dereceli bir şekilde olmaktadır. Bu durum, belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanı sıra, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsil edilebilmesini sağlamaktadır. Genel olarak mühendislikte incelenen bir olaydaki belirsizlikler için istatistik veya matematik yöntemler kullanılmakta ve çoğunlukla olay ile ilgili kabuller yapılarak model kurulmaktadır [22]; ancak, rasgele olmayan belirsizlik halleri için, istatistik veya matematik yöntemler kullanılması uygun olmamakta ve bu yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu tür rasgele olmayan belirsizlikler bulanık (fuzzy) olarak tanımlanmakta ve bulanık olarak modellenmektedir [23].

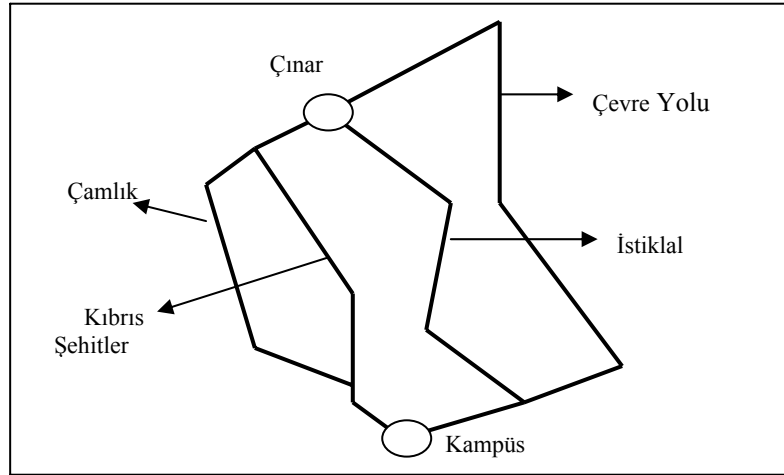
4. BULANIK MANTIK VE LOJİSTİK REGRESYON GEÇKİ SEÇİM MODELLERİ

4.1. Bulanık Model Parametreleri

Geçki seçimi ile ilgili birçok çalışma, yol kullanıcısının yaptığı geçki seçiminin, yolculuk masrafı, yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma durumları, konfor, çevresel etkenler, alışkanlıklar ile sosyoekonomik ve demografik özelliklere bağlı olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan bulanık modelde girdi parametreleri olarak; yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı, çevresel etki dikkate alınmıştır. Söz konusu parametreler ile ilgili veriler anket çalışması yapılarak toplanmıştır [24].

4.2 Anket Çalışması

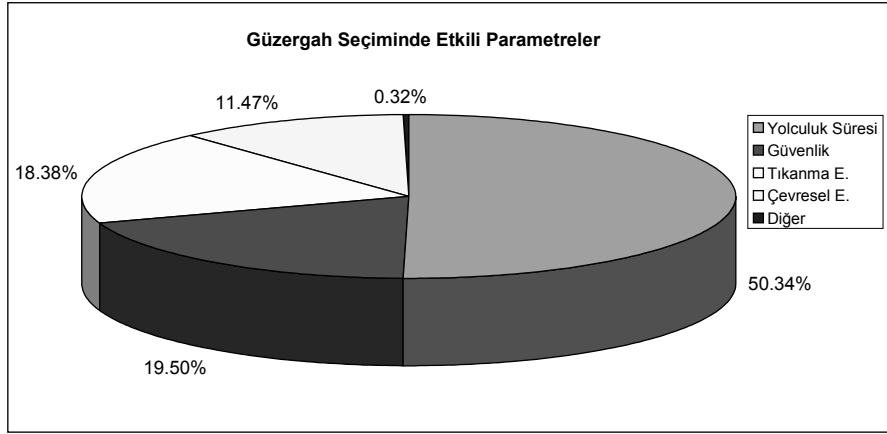
Model çalışması için gerekli olan veriler, Denizli ili geçki seçimi anket çalışması ile elde edilmiştir. Anket çalışması, elden ve internet yoluyla, bu başlangıç-bitiş hattını (O-D'yi) sıklıkla kullanmakta olan 500 kişi arasında düzenlenmiştir. Ankette katılımcı grubu olarak, Pamukkale Üniversitesi öğrencileri ve personeli ile, üniversite dışındaki öğrenciler ve çalışanlar dikkate alınmış ve sosyoekonomik açıdan homojen bir dağılım hedeflenmiştir. Anket çalışması kapsamında, O-D noktaları, Çınar-Kampus ve Kampus-Çınar olarak iki yön için belirlenmiştir. Şekil 1'de çalışmada modellenen yol ağı verilmiştir.



Şekil 1 Çalışmada Modellenen Yol Ağı

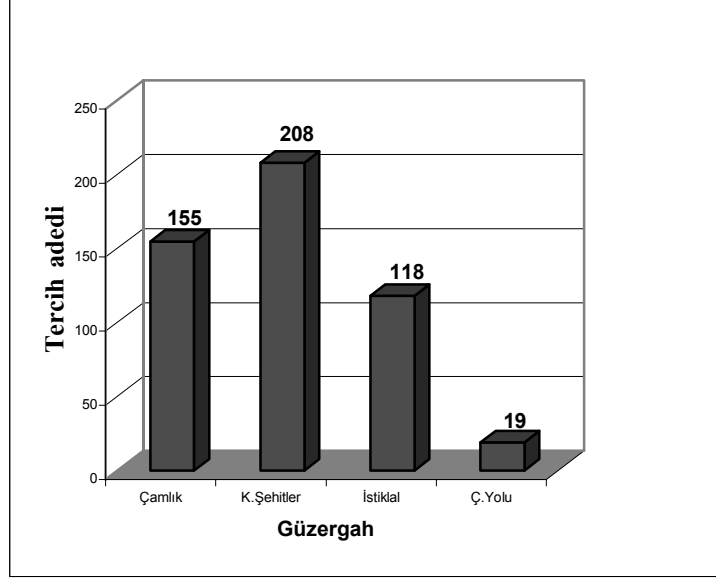
Bu O-D noktaları arasında yer alan 4 ayrı geçkiye yönelik sorular ve puanlandırmalarla, toplu taşıma ve özel araç kullanıcılarının söz konusu geçkiler için, geçki ve ulaşım türü seçim düşünceleri ve kriterleri ortaya konulmuştur. Yol kullanıcılarının farklı geçkiler için algıladıkları yolculuk süreleri ile trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki parametreleri hakkındaki değerlendirmeleri puanlandırma ile belirlenmiştir. Bu parametrelerin yol kullanıcısının geçki seçimi üzerindeki etkileri ile, zirve dışı ve zirve saatler için geçki seçim tercihleri ortaya konulmuştur. Özel araç sahipliği, farklı ulaşım türleri arasından yapılan seçimler ve bu seçimler üzerinde etkili olan parametreler, zirve saatlerde geçki seçimindeki değişimler anket çalışması sonucu elde edilmiştir.

Şekil 2’de anket sonuçlarına göre geçki seçiminde etkili olan parametrelerin yüzdeleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, geçki seçiminde en etkili parametre yolculuk süresi olup, bunu trafik güvenliği, tıkanma etkileri, çevresel etkenler izlemektedir.

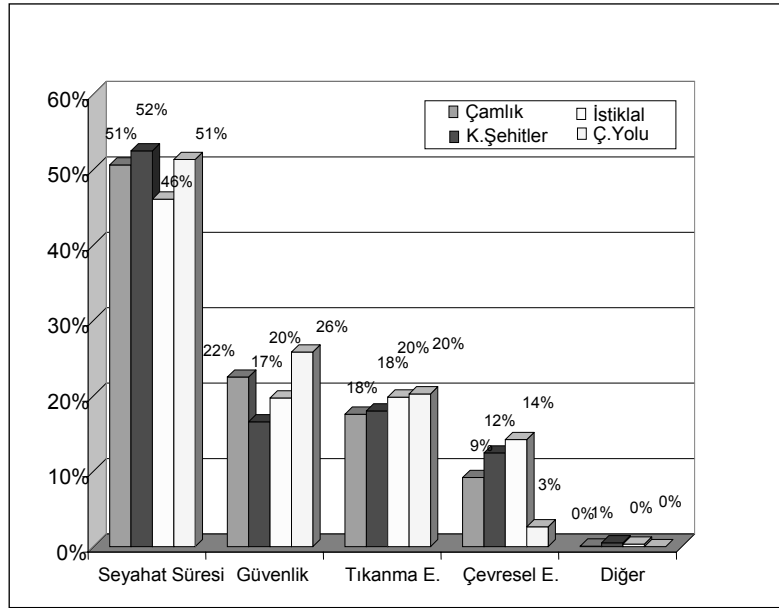


Şekil 2 Geçki Seçiminde Etkili Parametrelerin Oranları

Şekil 3’te ankete katılan 500 kişinin Başlangıç-Bitiş noktaları arasında, Kampus-Çınar doğrultusunda yer alan 4 geçki için yaptıkları seçimler görülmektedir. Şekil 4’te ise yol kullanıcılarının, Çınar-Kampus doğrultusunda yer alan geçkiler arasından seçim yaparken göz önüne aldıkları yolculuk süresi, güvenlik, tıkanma etkileri ve çevresel etki parametrelerinin önem yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 3 Kampüs'ten Çınar'a Geçki Tercih Sayıları

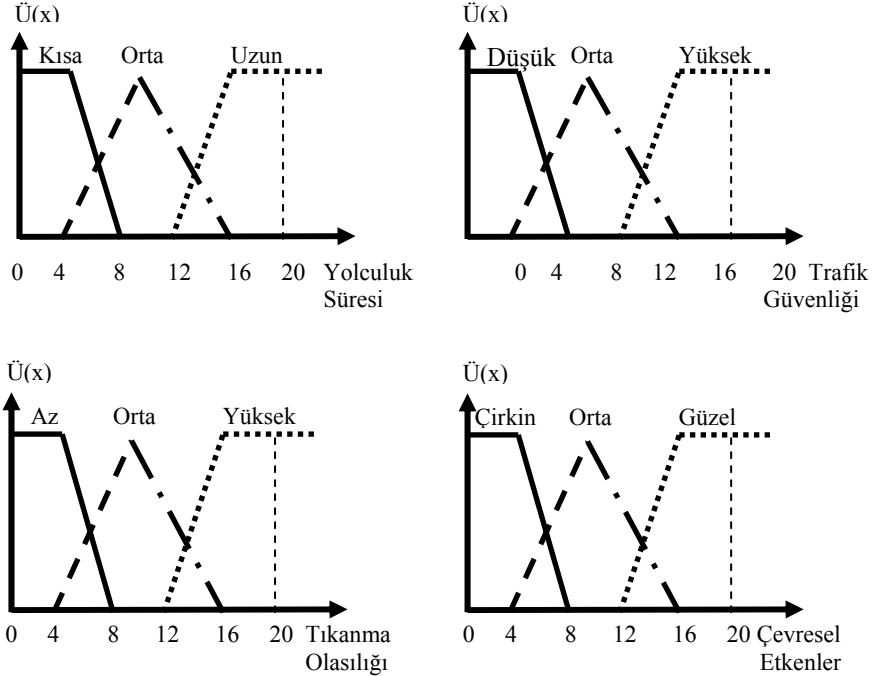


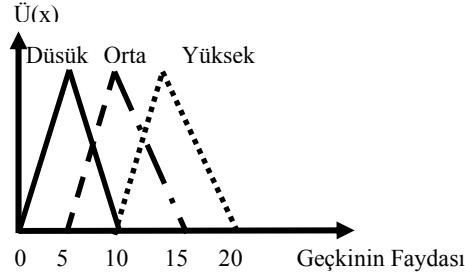
Şekil 4. Çınar'dan Kampüs'e Parametrelere Bağlı Geçki Tercih Oranları

4.3. Bulanık Model Yapısı

Giriş ve çıkış parametrelerinin üyelik işlevleri, anket sonuçları incelenerek ve bir uzmanın bilgi ve tecrübelerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki parametreleri için üçgen ve trapez üyelik işlevleri kullanılmıştır. Çıkış büyüklüğü olan geçki fayda değeri için ise, üçgen üyelik işlevi kullanılmıştır. Şekil 5’de, oluşturulan BM model parametrelerinin üyelik işlevleri verilmiştir.

Anket sonuçları, söz konusu girdi ve çıktı parametreleri için istatistiksel olarak incelenerek, mantık ve tecrübe çerçevesinde, 81 kuraldan meydana gelen bulanık kural tabanı düzenlenmiştir. Sistemin çıkarımının elde edilebilmesi için IF-THEN (EĞER-İSE) ifadeleri kullanılarak oluşturulan kurallar VE operatörü ile harmanlanmıştır. Model çıktısına, bu şekilde oluşturulan tüm kuralların katkısıyla ulaşılmıştır. Burada Mamdani çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Ankette her bir katılımcıdan alınan cevaplar Şekil 5’deki üyelik işlevleri yardımıyla bulanık hale dönüştürülmüş ve Çizelge 1’de örnekleri verilen kural tabanı yardımıyla her bir geçkinin bulanık fayda değeri belirlenmiştir. Daha sonra fayda değerleri tekrar durulaştırılmış ve sayısal değere dönüştürülmüştür. Bu fayda değerlerine bağlı olarak Denklem 2’de verilen logit bağıntısı ile her bir geçkinin seçim olasılıkları hesaplanmıştır. Şekil 6’da bulanık mantığın genel çıkarım ve durulaştırma işlemi gösterilmiştir. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her bir kurala ait çıkarım toplanır ve elde edilen şeklin ağırlık merkezi bulunarak durulaştırma yapılır.





Şekil 5. BM Geçki Seçim Modeli Parametreleri ve Üyelik İşlevleri

Çizelge 1 Bulanık Mantık Geçki Seçim Modeli Kural Tabanından Örnekler

1. Eğer YS Kısa ve TG Yüksek ve TO Az ve ÇE Güzel ise GF Yüksek
2. Eğer YS Kısa ve TG Orta ve TO Az ve ÇE Güzel ise GF Yüksek
42. Eğer YS Kısa ve TG Orta ve TO Orta ve ÇE Orta ise GF Orta
43. Eğer YS Uzun ve TG Orta ve TO Az ve ÇE Orta ise GF Orta
44. Eğer YS Orta ve TG Yüksek ve TO Az ve ÇE Orta ise GF Orta
81. Eğer YS Uzun ve TG Düşük ve TO Yüksek ve ÇE Orta ise GF Düşük

4.4. Lojistik Regresyon Modeli

Anket verileri, ikili durumların söz konusu olduğu istatistiksel analizlerde kullanılan lojistik regresyon ile de analiz edilmiştir [25]. Anket verilerinden, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı, yolculuk süresi ve çevresel etki parametreleri ile geçkilerin tercih durumları incelenmiştir. Her geçki için bağımsız olarak oluşturulan lojistik regresyon modelinde, geçkinin bir yolcu tarafından seçilme durumu 1; seçilmeme durumu 0 ile tanımlanarak; 500 anket katılımcısının söz konusu 4 parametre için verdikleri puanlar ile lojistik regresyon seçim fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Lojistik regresyon seçim olasılığı genel bağıntısı 3 numaralı denklemde verilmiştir.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4)}} \quad (3)$$

olup burada;

- P : Seçim olasılığı,
 x_j : Trafik güvenliği,

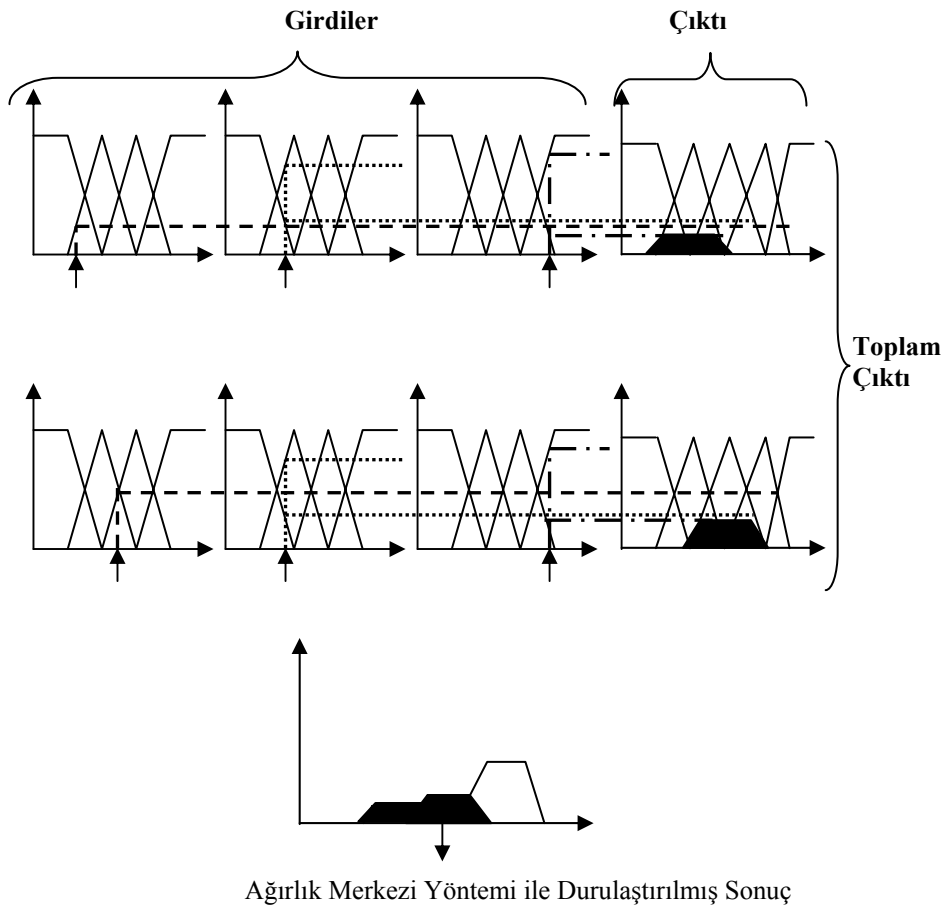
x_2 : Tıkanma olasılığı,

x_3 : Yolculuk süresi,

x_4 : Çevresel etkenler

olarak temsil edilmiştir. Denklemdaki b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 ise regresyon katsayılarıdır.

Dört geçki seçeneği için anketten elde edilen veriler düzenlenmiş ve lojistik regresyon analizi sonucunda Çizelge 2’de verilen katsayılar belirlenmiştir.



Şekil 6 BM Geçki Seçim Modeli Çıkarım ve Durulaştırma İşlemi

Çizelge 2. Lojistik Regresyon Denklemi Katsayıları

Kampüs-Çınar İstikameti					
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
ÇAMLIK	-9,746	0,625	-0,264	-0,157	0,273
K.ŞEHİTLER	-0,386	0,398	-0,331	-0,586	0,342
İSTİKLAL	-0,778	0,589	-0,621	-0,606	0,589
Ç.YOLU	-5,401	1,286	-0,857	-0,833	-0,046
Çınar-Kampüs İstikameti					
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
ÇAMLIK	-9,58	0,58	-0,297	-0,0948	0,270
K.ŞEHİTLER	-2,05	0,369	-0,317	-0,430	0,359
İSTİKLAL	-0,835	0,567	-0,615	-0,478	0,474
Ç.YOLU	-3,734	0,843	-0,290	-0,690	0,0826

4.5. Bulanık Model ile Lojistik Regresyon Modelinin Karşılaştırılması

Bulanık olarak modellenen anket verileri, ikili durumların söz konusu olduğu istatistiksel analizlerde kullanılmakta olan lojistik regresyon ile analiz edilerek, Bulanık Model sonuçları, Lojistik Regresyon modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bulanık çıktıların durulaştırılması işlemi sonucu, her geçkiye ait fayda değeri sayısal olarak elde edilmiştir. Bu fayda değerleri kullanılarak elde edilen geçki seçim olasılıkları ile gerçek anket sonuçlarının gösterdiği seçim olasılıkları belirlenmiştir. Çizelge 3 ve 4'de bu olasılık değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3 Kampüs'ten Çınar'a Geçkilerin Seçilme Olasılıkları

	Anket Seçilme Olasılığı (%)	BM Seçim Olasılığı (%)
ÇAMLIK	31,00	30,20
K.ŞEHİTLER	41,60	44,70
İSTİKLAL	23,60	21,70
Ç.YOLU	3,80	3,50

Çizelge 4. Çınar'dan Kampüs'e Geçkilerin Seçilme Olasılıkları

	Anket Seçilme Olasılığı (%)	BM Seçim Olasılığı (%)
ÇAMLIK	29,80	30,00
K.ŞEHİTLER	41,80	44,70
İSTİKLAL	24,00	21,60
Ç.YOLU	4,40	3,70

Çizelge 3 ve 4'te anketlere ve bulanık mantık modeline göre geçkilerin genel seçim olasılıkları özetlenmiştir. Ayrıca, 500 anket katılımcısı için Lojistik Regresyon ve Bulanık model ile elde edilen sonuçların gerçek anket sonuçlarıyla uyumluluğu, modellerin doğruluk değeri olarak hesaplanmıştır. Lojistik regresyon ile hesaplanan seçim olasılığı değerleri içerisinde en yüksek seçim olasılığına sahip geçkinin, anket katılımcısının yaptığı geçki seçimi ile tutarlılığının ölçüsü, 500 anket katılımcısı için hesaplanmış ve bu şekilde lojistik regresyon sonuçlarının doğruluk derecesi hesaplanmıştır. Aynı şekilde, BM ile elde edilen seçim olasılıkları arasından en yüksek değere sahip geçki ile anket katılımcısının seçimi arasındaki tutarlılık hesaplanmıştır. Bu amaçla 4 numaralı denklem kullanılmıştır.

$$\text{doğruluk\%} = \frac{\sum y_n}{N_i} 100 \quad (4)$$

Bağıntıda yer alan N_i , i . geçkiye bağlı tercih sayısını ifade etmektedir. y_n değeri, n . bireyin ankette belirttiği geçki seçimi ile modelden elde edilen geçki seçim sonucunun aynı olması durumu için 1; diğer durumlar için 0 olarak alınmıştır. i indisi ise geçkileri göstermektedir.

Bulanık model ve lojistik regresyon modeli ile elde edilen sonuçların doğruluk derecelerinin karşılaştırılması, Kampüs-Çınar doğrultusu için Çizelge 5'te, Çınar-Kampüs doğrultusu için Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Kampüs'ten Çınar'a Geçkiler için Model Doğruluk Dereceleri

	Lojistik Regresyon Modeli Doğruluk Oranı (%)	Bulanık Mantık Modeli Doğruluk Oranı (%)
ÇAMLIK	87,74	88,39
K.ŞEHİTLER	98,56	96,15
İSTİKLAL	94,92	99,15
Ç.YOLU	94,44	94,74

Çizelge 5'te görüldüğü üzere, Kampüs'ten Çınar'a, Çamlık, İstiklal ve Çevre Yolu geçkileri için Bulanık Model, lojistik regresyon modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelge 6'da ise, Çamlık, K.Şehitler, İstiklal geçkileri için Bulanık Model daha iyi sonuçlar vermiştir. Çizelgelerdeki hesaplanan doğruluk oranlarına göre, BM model sonuçları ile lojistik regresyon sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu, ancak geçki seçim davranışındaki belirsizlikleri modelleyebilme özelliği nedeni ile BM modelinin daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 6. Çınar'dan Kampüs'e Geçkiler için Model Doğruluk Dereceleri

	Lojistik Regresyon Modeli Doğruluk Oranı (%)	Bulanık Mantık Modeli Doğruluk Oranı (%)
ÇAMLIK	81,21	88,39
K.ŞEHİTLER	93,78	96,15
İSTİKLAL	93,33	99,15
Ç.YOLU	95,45	94,74

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bulanık Mantık Geçki seçim davranışının modellendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Anket sonuçlarına göre, yol kullanıcılarının öncelikli olarak tercih ettikleri geçki, Kıbrıs Şehitleri geçkisidir. Bunu Çamlık, İstiklal ve Çevre Yolu geçkileri izlemektedir. Aynı sıralama, Bulanık Mantık Modeli ile de elde edilmiştir. Dolayısıyla, BM modeli ile yol kullanıcılarının geçki seçim davranışı gerçekçi biçimde modellenmiştir. Bu sonuçlar, O-D hattının her iki yönü için değişmemiştir.
- Bulanık mantık tekniğinin, geçki seçim problemindeki belirsizliği modelleyebilme özelliğinden dolayı, bulanık mantık modeli ile mevcut matematiksel modellere kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bulanık mantık modeli için hesaplanan doğruluk oranları, lojistik regresyon yöntemi için hesaplanan oranlardan daha yüksektir. Bulanık mantık modelinin tüm geçki seçenekleri için Kampüs-Çınar doğrultusundaki ortalama doğruluk oranı %94.60 iken lojistik regresyon modelinin değeri %93.91'dir. Ters istikamet için ise, yine BM modelinin değeri aynı iken, lojistik regresyon modelinin değeri %90.94 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, sözkonusu problem için BM tekniği kullanılarak, en az lojistik regresyon yöntemi kadar doğru tahmin yapılabileceği anlaşılmıştır.
- Anket sonuçlarına göre, yolculuk süresinin en kısa ve en uzun olduğu geçkilerin başlangıç ve bitiş noktaları arasında her iki yön için kullanıcılar tarafından aynı biçimde algılandığı belirlenmiştir.
- Yol kullanıcılarının anketteki cevaplarına göre, geçkilerin seçiminde etkili olan parametreler; yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma etkileri ve çevresel etkiler olarak sıralanmıştır. Bu parametreler arasında, öncelikli olarak yolculuk süresinin geldiği ve yol kullanıcılarının tercihini doğrudan etkileyerek diğer parametreleri göz ardı etmelerine neden olduğu anlaşılmıştır. Anket sonuçlarına göre, pek çok yol kullanıcısının, yolculuk süresi dışındaki parametrelere verdiği puanlamaya dayanarak farklı geçki tercihi yapabileceği düşünülürken, son kararını yolculuk süresi yönünde kullanarak tercihini bu yönde yaptığı belirlenmiştir.
- Trafik tıkanıklığının görüldüğü zirve saatlerde dahi yol kullanıcılarının geçkilerini değiştirmedeği belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

Gelecekte yapılabilecek araştırmalarda, Bulanık Model üyelik işlevlerinin sınırları, bazı yeni yöntemlerle (YSA, Genetik Algoritmalar) yeniden belirlenerek, daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bulanık kural tabanında oluşturulan kuralların ağırlıkları değiştirilerek, farklı denemelerle daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, geçki seçim modeli, ulaşım türü (mod) seçim modeli ile birleştirilerek yeni bir bulanık model oluşturulabilir. Bu şekilde, mevcut bir yol ağının geçki ve ulaşım türü seçimi tek bir bulanık model ile ortaya konulabilir.

Geçki seçim davranışlarının Akıllı Ulaşım Sistemleri ile bütünleştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Geçki seçimi için geliştirilecek modeller, özellikle ulaşım planlamasında ve trafik yönetiminde kullanılacaktır. Ayrıca geliştirilen model ile belirlenen seçim olasılığı, trafik atama modellerinde kullanılabilir veya yeni trafik atama modelleri geliştirilebilir. Bundan sonraki çalışmalarda, BM geçki seçim modeli, Bulanık Mantık trafik atama modeli ile birleştirilebilir veya yeni bir bütünleşik model geliştirilerek çeşitli senaryolar için test edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Bovi, P.H.L. and Stern E., Route Choice:Wayfinding in Transport Networks, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 1990.
- [2] Oppenheim, N., Urban Travel Demand, John Wiley & Sons Inc., 1995.
- [3] Burrell, J., Multipath route assignment and its application to capacity restraint, Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Road and Traffic Flow, 1968.
- [4] Dial, R., A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration, Transportation Research, 5, 1971.
- [5] Arslan, T., Hybrid Rational Route Choice Approaches: Using Concepts From Fuzzy Logic and the Analytic Hierarchy Process, Ph.D Thesis, in Civil Engineering in the Graduate College of the Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, 2003.
- [6] Ben-Akiva, M. and S.R. Lerman. Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. Cambridge, MA: The MIT Press, 1985
- [7] Sheffi, Y., Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, ISBN: 0-13-939729-9, 1985.
- [8] Teodorovic D., Kikuchi S., Transportation Route Choice Model using fuzzy inference technique, Proceedings of ISUMA '90, The First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis, 140-145s., 1990.
- [9] Akiyama, T., Tsuboi, H., Description of Route Choice Behavior by Multi-Stage Fuzzy Reasoning, Paper presented at the Highways to the Next Century Conference, Hong Kong, 1996b.
- [10] Lo H. and Lam W.S.P., A Modified Multinomial Logit Model of Route Choice for Drivers Using the Transportation Information System, 295-299s., Proceedings of 9th Mini-EURO Conference, 1997.
- [11] Henn V., Fuzzy Route Choice Model for Traffic Assignment, Proceedings of the 9th mini EURO Conference Fuzzy Sets in Traffic and Transportation Systems, Budva, 1997
- [12] Lee B., Fujiwara A., Sugie Y., Namgung M., Route Choice Behaviour Considering Randomness and Vagueness Uncertainty, Proceedings of the 13th Mini EURO

- Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, Bari, 2002.
- [13] Binetti, M and De Mitri, M., Traffic Assignment Model with Fuzzy Travel Cost, 805-812 s., Proceedings of the 13th Mini EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, Bari, 2002.
- [14] Henn V., What is the Meaning of Fuzzy Costs in Fuzzy Traffic Assignment Models, 231-239s., Proceedings of the 13th Mini EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, Bari, 2002.
- [15] Mahmassani, H.S., Srinivasan K., Perception and Judgment Processes in Traveller Decisions Under Real-Time Traffic Information, 266-268s., Proceedings of the 13th Mini EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, Bari, 2002.
- [16] Vythoulkas, P.C., Koutsopoulos H.N., Modelling Discrete Choice Behaviour Using Concepts from Fuzzy Set Theory, Approximate Reasoning and Neural Networks, Transportation Research Part C11, 51-73s., 2003.
- [17] Lin, C.-T., Lee, C.S., 1991, Neural-network –based fuzzy logic control and decision system. IEEE Transactions on Computers 40., 1320-1336s., 1991.
- [18] Palma A., Picard N., Route Choice Decision under Uncertainty, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, 2003.
- [19] Henn V., Ottomanelli M., Handling Uncertainty in Route Choice Models: From probabilistic to Possibilistic Approaches, European Journal of Operational Research, 2005.
- [20] Abdel-Aty, M.A., Kitamura R., Jovanis P.P., Using Stated Preference Data for Studying the Effect of Advanced Traffic Information on Drivers' Route Choice, Transportation Research-C, Vol. 5, No. 1, 39-50s, 1997.
- [21] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets. Information and Control, 1965
- [22] Murat Y.Ş., Gedizlioğlu E., A Fuzzy Logic Multi-phased Signal Control Model for Isolated Junctions, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 13, 19-36s., 2005.
- [23] Şen, Z., Fuzzy Algorithm for Estimation of Solar Irradiation from Sunshine Duration, Solar Energy, 63, 1, 39-49, 1998.
- [24] Uludağ N., Ulaşım Ağlarında Geçki Seçim Probleminin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, 90s., Y. Lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2005.
- [25] Menard, S., Applied Logistic Regression Analysis, Sage Publications, 128 p., 2001.