

## Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi

Nuran BAĞIRGAN\*  
Mustafa KARAŞAHİN\*\*

### ÖZ

Çalışmanın amacı; karayollarının projelendirilmesi, yapımı aşamasında veya şu an hizmete açık kesimlerinde, kaza olabilecek olası kesimleri belirlemek ve gerekli önlemleri önermektir. Karayolu geometrisinin, trafik kazalarının oluşumunda etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, şehirlerarası bölünmemiş karayolunda trafik kazalarının oluşumunda payı olan karayolunun geometrik özellikleri, çevresinin etkisi ve hız gibi etkenler incelenerek değerlendirilmiştir. Trafik kazalarının oluşumunda oldukça fazla belirsizlik bulunmaktadır. Bu nedenle model oluşumunda bulanık mantık (fuzzy logic) yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık mantığa dayalı model geliştirilmesinde en önemli konu üyelik işlevlerinin belirlenmesidir. Üyelik işlevlerinin geliştirilmesinde kaynak araştırmasından yararlanılmıştır. Trafik kazalarına etki eden etmenlerin birden fazlasının birlikte değerlendirildiği bir model geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karayolu Güvenliği, Trafik Güvenliği, Şerit Genişliği, Banket Genişliği

### ABSTRACT

#### Fuzzy Logic Model of Traffic Safety

The aim of this study is to determine the sections with accident risk on highways presently in use or those in construction or project phase and to propose the necessary precautions. It is a well-known fact that the geometry of highways has effect on accident occurrence. In this study geometric properties of highways, effect of their environment, speed and similar factors each of which have a role in occurrence of traffic accidents on rural highways were analyzed and evaluated. There seems to be great ambiguity about the occurrence of traffic accidents. For that reason in model formation fuzzy logic approach was employed. The most important issue in development of a model depending on fuzzy logic is determining the membership functions. For developing the membership functions literature search was benefited. Multiple evaluations of factors that affect traffic accidents is performed.

**Keywords:** Traffic Safety, Highway Safety, lane width, shoulder width

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 26.09.2006 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya - nuranbagirgan@mynet.com

\*\* Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta - mkara@mmf.sdu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Karayolu güvenliği denildiğinde, içerisine birden fazla değişkenin katıldığı karmaşık bir kavram ortaya çıkmaktadır. Bu kavram üzerinde etkili olan değişkenlerin, ne kadar etkisinin olduğunu belirlemek de oldukça zordur. Trafik kazalarının oluşumunda en önemli pay, sürücü hatalarına verilmektedir. Karayolu geometrisinin, karayolu üst yapısının, hava koşullarının, yolun çevresinin vb. kazalarda ne kadar paya sahip olduğunu tam olarak söylemek oldukça zordur. Karayolu güvenliğinde etkili olan değişkenlerin payını sayısal olarak tahmin edebilmek için daha önceki verilerden yararlanılabilir. Örneğin, şehirlerarası bölünmemiş bir karayolu yapımı planlanmaktadır. “Bu karayolunun güvenliği için en etkili değişken ya da değişkenler grubu ne olacaktır?”. “Şerit genişliğini çok geniş, banket genişliğini ise dar almak ya da dik boyuna eğimlerden kaçınmak karayolu güvenliğinde ne kadar etkili olacaktır?”. Tüm bunlar oldukça karmaşık bir durumdur. Üstelik her ülkenin kendi kültürünün de karayolu güvenliğinde etkili olduğu bilinmektedir.

Karayolu güvenliği konusundaki karmaşıklık ve belirsizlikler, bu konunun bulanık mantık ile çözümlenmesinin yarar sağlayacağını düşündürmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada; trafik kazalarına etki eden etmenlerin birden fazlasının birlikte değerlendirildiği FHWA [1] raporu kılavuz alınarak bulanık bir model geliştirilmiştir.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki; incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise; insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir [2].

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Trafik kazalarında önemli bir orana sahip karayolu geometrik standartlarının ve trafik değişkenlerinin karayolu emniyetine etkileri pek çok çalışmadan yararlanılarak değerlendirilmiştir. Bu etkenlerden en önemlisi Trafik hacmidir. Yapılan kaynak araştırmasında görülmektedir ki geometrik tasarım elemanları ve trafik değişkeninin güvenlik ile ilişkisi için yapılmış çalışmaların büyük bir çoğunluğunda bu değişkenler ayrı ayrı ya da bir ikisi birlikte ele alınmaktadır.

Karayolu emniyetinde en etkili değişkenlerden biri karayolunun tipi ve *Trafik hacmidir*. Örneğin Avustralya’da yapılan bir çalışmada hasarlı kazaların % 20’si ve ölümlü kazaların % 33’ünün kırsal alanlarda ve açık karayollarında olduğuna dikkat çekilmektedir [3]. Genel olarak, bölünmüş karayollarındaki kaza oranının, bölünmemiş karayollarına göre az olduğunu söylemek mümkündür. Ancak bazı çalışmaların da gösterdiği gibi; eğer tek-şeritli karayolunda hız çok düşük ise bu durumda toplam kaza oranı, iki-şeritli bir karayolundan daha az olabilmektedir [4]. Karayolu kenarı gelişiminin az olduğu ve aynı zamanda dar banketli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda, trafik hacmi arttıkça kaza oranı da artmaktadır [5]. Ortalama günlük trafiğin yaklaşık 2 000 tş/gün’den az olduğu şehirlerarası bölünmemiş karayollarında; ortalama günlük trafik, kaza oranlarında çok etkili olmamasına karşın, şerit ve banket genişliklerinin etkili olduğu tek-taşitli ve zıt-yönlü çarpışmaların olduğu kazalar görülmektedir [6]. Eğer ortalama günlük trafik, 2 000 - 13 000 tş/gün arasında ise kaza sıklığı da oldukça önemli bir hal almaktadır. Amerika’da yapılan bir çalışmada ortalama günlük trafiğin 4 000 tş/gün’ün altında olduğu iki-şeritli şehirlerarası

bölünmemiş karayolunda kazaları tahmin etmede karayolu uzunluğunun daha etkili olduğu gözlenmiştir [7].

*Boyuna eğimin* tek başına kazalarda etkili olduğu söylenemez. Ancak emniyette etkili diğer parametrelerle bir araya geldiğinde oldukça önemli bir orana sahip olabilmektedir. Boyuna eğimli bir kesim düz bir kesimden, dik eğimli kesimler hafif eğimli kesimlerden ve iniş eğimler ise çıkış eğimlerden daha yüksek kaza oranına sahiptir [8]. Dikkat çekici olan iniş eğimlerin daha tehlikeli olduğudur, burada hız, değerlendirilmesi gereken önemli bir etkidir. Eğimin etkisi değerlendirilirken bu eğimli kesimin uzunluğu da oldukça önem taşımaktadır. Kısa uzunluğa sahip çok dik eğimlerde kaza şiddeti, dik eğimli kesimlerden daha fazladır [9]. Yani, % 6'dan daha az boyuna eğimler kazaların oluşumunda etkili olmamaktadır fakat bundan daha büyük değerlerde kazaların arttığı gözlemlenmiştir [10], [11]. Bu çalışmayla uyuşmayan bir başka çalışmada ise eğimin % 2,5 - % 4 olduğu yerlerde kazaların % 10 - % 20 arttığı belirtilmektedir [12]. Ancak bu çalışmalarda dikkat edilmesi gereken, eğimlerin iniş veya çıkış olarak ya da tırmanma şeritleri ile beraber değerlendirilip değerlendirilmediğidir. Ayrıca eğimli kesimin yatay kurbada olup olmadığı bilinmesi gereken önemli bir durumdur. Kurba ve boyuna eğimin bir arada değerlendirildiği bir çalışmada; boyuna eğimli kurbalarda kaza oranlarının arttığı belirtilmektedir [13]. Eğim faktörü değerlendirilirken tırmanma şeridinin düşünülmesi kaçınılmazdır. Değişik ülkelerdeki benzer çalışmalarda birbirinden tamamen farklı sonuçlar elde edilmektedir. İki-şeritli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda bir km'lik tırmanma şeridinin bulunması kaza oranlarını en aza indirmektedir ve tırmanma şeridinin varlığı ile kazalar % 13 azaltılmaktadır [14], [15]. Bu değer İngiltere'de yapılan çalışma sonucu elde edilmiştir. Yine şehirlerarası bölünmemiş karayolları için yapılan bir başka çalışmada eğer eğim % 3 - % 4 ise kaza oranında % 10 - % 20 azalma, eğim % 5 - % 8 ise % 20 - % 40 azalma olduğu gözlemlenmiştir, toplam kaza oranını ise ortalama % 25 azaltmaktadır [12].

*Hız*; yıllık ortalama günlük trafik, görüş mesafesi, yatay kurba yarıçapı ve kaplama genişliğinin kaza oranına etkisi üzerine ek bir etki getirmektedir. Trafik kazalarında çok etkili olan hız faktörünün emniyete etkisini araştıran çok az çalışma bulunmaktadır. Çok genel anlamda düşük hız sınırının kazaları azalttığını söylemek doğru olacaktır. Tasarım hızı ve işletme hızı arasında büyük farkların olması kaza oranlarına da aynı şekilde yansımaktadır. Amerika ve Avustralya'daki araştırmacıların iki-şeritli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda, tasarım hızı ve işletme hızı arasında ilişki kuran çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmaların sonucuna göre tasarım hızı için, sadece kurbalarda anlamlı olduğu, doğru kesimlerde ise bir anlam kazanmadığını söylemek mümkündür [16]. Hızın azaltılması kaza oranını ne ölçüde etkilemektedir ya da yüksek hız sınırında kazaya karışma oranı nedir, gibi sorular yöneltildiğinde daha önceki çalışmalar çok olmamakla birlikte soruna ışık tutmaktadır. Örneğin; ortalama hızda 1,6 km/sa'lik bir azaltma yapıldığında oluşacak maddi hasarda % 5'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Yani; hız 100 km/sa'den 90 km/sa'e indirildiğinde kazalara % 11 oranında az karışılmaktadır [17].

Emniyet açısından, *Şerit Genişliğinin* değerini net olarak belirlemek oldukça zordur. Farklı ülkelerde şerit genişliğinin emniyete etkisi üzerine yapılmış pek çok çalışma karşılaştırıldığında oldukça farklı sonuçlar dikkat çekmektedir. Burada her ülkenin kendi koşullarının farklı olmasının etkili olduğu düşünülebilir. Çok genel olarak şerit genişliği için şu sonucu söyleyebiliriz; çok dar ve çok geniş şerit genişliği veya kaplamalar kaza oranını artırmaktadır. Illinois'de, şehirlerarası bölünmemiş karayollarında kaplama genişliği

5,5 m'den 6,7 m'ye çıkarılan yaklaşık 395 km uzunluğunda 22 kesim incelenerek kaza oranlarında şerit genişliğinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucuna göre: Kaplama genişliği artırıldığında kaza oranı azalmaktadır (Kaza oranı, 10<sup>6</sup> tş-km başına 1,4 kazadan 0,9 kazaya düşmektedir) [18]. Bu çalışmaya benzer bir çalışma da Kanada'da yapılmıştır. Şehirlerarası bölünmemiş karayolunda yapılan bu çalışma için şerit genişliğinin artırılması ile kaza sıklığının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [19]. Macar karayolları için de aynı sonuç elde edilmiştir [20]. Bir taşıtın minimum sürüş hızı ile geçebilmesi için gerekli şerit genişliğinin 3,3 m olması gerektiği, iki-şeritli karayolları için yapılan bir çalışma sonucunda elde edilmiştir [21]. Farklı çalışmalarda farklı sonuçlara rastlanılmıştır. Örneğin bir çalışmada; şerit genişliği arttıkça kaza oluşumunda küçük artışlar olduğu belirtilirken, diğer bir çalışma da ise şerit genişliği 2,7 m'den 3,7 m'ye çıkarıldığında kazalarda % 32 azalma kaydedildiği dikkat çekicidir [5], [13]. Bununla birlikte, platform genişliğini 4 m'den 7 m'ye artırdığımızda ise kazalarda çok büyük artışlarla karşılaşmaktayız [12]. Birbirine yakın iki şerit genişliği karşılaştırıldığında durum biraz daha farklı olmaktadır. Örneğin; 3,35 m ve 3,65 m şerit genişliği için kaza oranlarının karşılaştırılması, bunlar arasında çok küçük bir fark olduğunu göstermektedir [13]. Trafik miktarı şerit genişliği üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Düşük hacimli karayollarında şerit genişliği incelendiğinde ilginç bir sonuca ulaşılmaktadır. Örneğin düşük hacimli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda şerit genişliğini 3,65 m'den daha az alındığında kazalarda azalma olmaktadır [22]. Hasarlı kaza oranında şerit genişliğinin çok önemli bir değişken olduğu 1988 yılında Afrika'da yapılan çalışmada elde edilmiştir, ayrıca geniş banketlerde aynı yön de çarpışma kaza oranı yüksek olabilmektedir, çünkü banketler taşıt geçmek için kullanılmaktadır [4]. Bu çalışmanın sonucu, Güney Afrika'da sürücü davranışlarının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Şerit genişliği ve banket genişliğinin kaza oranları üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Bu araştırma sonucuna göre de şerit genişliğinin kaza oranları üzerinde banket genişliğinden daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır [23]. Şerit genişliğinin kaza oranında banket genişliğinden daha etkili olmasını destekleyen bir başka çalışma da kaplama ve banket genişliği arasında yapılmıştır. Her iki sonuç da birbiriyile uyumludur. Kaplama genişliğini 0,3 m artırmakla elde edilecek etki banket genişliğini 0,3 m artırarak da elde edilmektedir [24].

*Banket Genişliğinin* güvenlik etkileri araştırıldığında da yaklaşık benzer sonuçlar görülmektedir. Banket genişliğinin artırılması ve kaplamalı banket uygulanması kaza oranlarının azalmasında etkili olmaktadır. Banket tipinin kazalara etkisi araştırıldığında görülmektedir ki, kaplamalı banketler kaplamasız banketlere göre kazaların azalmasında daha etkilidir. Ancak çok düşük trafik hacimli karayollarında banket tipinin kazaları etkilemediği belirtilmektedir [6]. Trafik hacminin büyük olduğu karayolları incelendiğinde ise banket tipi etkili olmaktadır. Yani kaplamalı banketin kaplamasız banketten daha güvenli olduğu gözlemlenmiştir. Banketsiz bir karayoluna kaplamalı banket eklendiğinde emniyet faydası elde edilmektedir, ayrıca iyileştirilen banket tasarımı ıslak-yol ve zıt-yönlü kazaların azalmasında etkilidir [25]. Sürücü etkisinin fazla olduğu Güney Afrika'da geniş şeritli ve geniş kaplamalı iki-şeritli karayollarında toplam kaza oranı ve hasarlı kaza oranı benzerdir, ancak çakıl banketli karayollarından daha fazla bulunmuştur [4]. Araştırmacılar bu durumu ülkelerindeki sürücülerin geniş ve kaplamalı banketi şerit gibi kullanmalarına bağlamaktadırlar. Yine Güney Afrika çalışmasının sonucuna göre; banket genişliği 2,1 m'ye çıkarıldığında kaza oranında önemli oranda azalma görülmektedir. Banket genişliğinin etkili olmasında trafik miktarı da önemli olmaktadır. Örneğin; ortalama günlük

trafiğin 1 000 tş/gün'den fazla olduğu karayollarında banket genişliğinin 1,8 m olması emniyet açısından faydalar getirmektedir [26]. California'da yapılan çalışmada da yıllık ortalama günlük trafik esas alınmış ve 1,8 m banket genişliği olan karayolunda banket genişliği 0,3 – 0,9 m olan karayoluna göre yaklaşık yarı yarıya daha az kaza olduğu tespit edilmiştir [27]. New York'da yapılan çalışmada da sonuç benzerdir. Yıllık ortalama günlük trafiğin 2 000 - 6 000 tş/gün olduğu karayollarında banket genişliğinin artırılması, kazaları azaltmaktadır [28]. Yıllık ortalama günlük trafiğin 2 600 – 4 500 tş/gün arasında olduğu karayollarında banket genişliğinin artırılması ile tüm kaza çeşitlerinde azalma olmaktadır. Banket genişliğinin 2,4 m'nin üzerinde olması halinde bu sonuçlar tersine dönmekte ve kazalar artış göstermektedir [29].

*Yatay kurbalardaki kazalarda*, yatay kurba yarıçapı ve iki kurba arasındaki uzaklık önemli iki değişkendir [30]. Yatay kurba yarıçapı azaldıkça kaza oranı da artmaktadır. Eğer bir karayolunda aliymandan sonra yarıçapı çok küçük yatay kurba gelirse böyle bir karayolu arka arkaya gelen kurbalı bir karayolundan daha tehlikelidir [31], [32]. Karayolunda, kurbaların bulunması da çok uzun aliymanlardan daha güvenli olmaktadır [4]. Burada yatay kurba yarıçapı oldukça önemlidir, aliymanda kullanılan hız ile yatay kurbada kullanılan hız arasında büyük fark bulunmamalıdır. Küçük yarıçaplı bir kurbanın hemen arkasından gelen ters yönlü bir kurbanın bulunması da yine kaza oranı üzerinde çok etkili olabilir. Küçük yarıçaplı yatay kurbaların bulunduğu bir karayolu kesimindeki kaza oranı, doğru bir kesimdekinden yaklaşık üç kat fazla olmaktadır [8]. Yarıçap azaldıkça kaza oranı artmaktadır, Örneğin 200 m'den daha küçük yarıçaplar için kaza oranı, 400 m yarıçaptan yaklaşık iki kat daha fazladır [33], [34]. Karayolu güvenliğini olumsuz etkileyen bazı etmenler (dik eğim, küçük yatay kurb yarıçapı, yetersiz deyer, düşük sürtünme yüzeyi gibi) yatay kurba ile birleştiğinde sonucun tehlikeli olması kaçınılmazdır. Örneğin, yatay kurba, eğim ve düşük sürtünme yüzeyi ile birleştiğinde daha tehlikelidir, özellikle kurbadan sonra iniş boyuna eğiminin bulunması kaza sıklığını artırmaktadır [33], [31].

Karayolu kenarı güvenliğini etkileyen çok fazla unsur bulunmaktadır. Bunlar; kamuya ait direkler, ağaçlar, hendek setleri, işaret direkleri, korkuluk ve çitler, drenaj yapılarıdır. En fazla ölüm oranı karayolu kenarındaki bu sabit unsurlara çarpma sonucu meydana gelmektedir [35], [33], [36]. İki-şeritli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda, taşıtın karayolundan çıkması ile oluşan kazalarda %75 sabit bir cisme çarpma, % 25 ise devrilme görülmektedir. Sabit unsura çarpma kazalarının 3'te 1'i, devrilme kazalarının 5'te 1'i hasarlı ve ölümlü kazalardır [37]. Taşıt-ağaç ve taşıt-kamu direği kazaları, kırsal karayollarında sabit unsura çarpma kazalarının en genel olanlarıdır. 1981 - 1985 yıllarında Michigan'daki kazaların toplamının % 2,8'i ağaca çarpma şeklindedir ve bu kazaların % 11'i ölümlüdür [38]. Illinois de, 1980 - 1985 yıllarında, iki-şeritli şehirlerarası bölünmemiş karayolunda yıllık 23 958 kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların % 25'i tek taşıtlı karayolundan çıkma kazalarıdır ve bunlarında % 46'sı ölümlü ve hasarlı kazalardır [39].

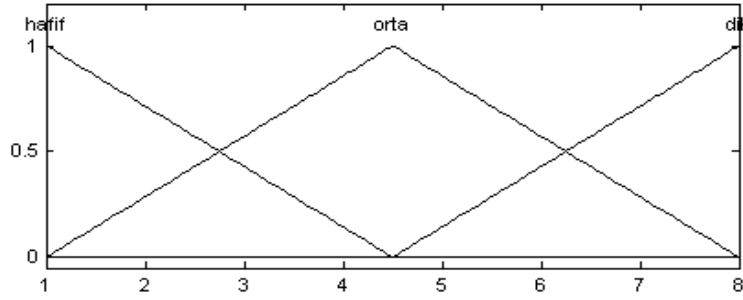
### 3. YÖNTEM

Genel olarak değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık, belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık adı verilir [2]. Ulaştırma alanında çalışılırken, sorunları çözmeye çalıştığımızda karşımıza pek çok belirsizlik çıkmaktadır. Bu belirsizlikleri sayılarla tanımlamak oldukça zordur. Örneğin, karayolu kaplamasındaki cıalanmanın trafik

## Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi

kazalarına etkisi istatistiksel yöntemlerle incelenebilir. Trafik ve ulaştırma problemleri çözümünde deterministik modeller kullanılmıştır. Mühendislikte genellikle, kesinlikten bahsetmemize karşın bağıntılara duyulan güvensizlikten dolayı kullandığımız emniyet katsayıları da yine belirsizlik şüphesindedir. Ayrıca trafikte sıkça karşılaştığımız sözel bilgiler vardır ve bunlar kişisel bilgi içermektedir.

Belirsizlik durumlarında en uygun yöntem küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olacaktır [40]. Aristo mantığında bir kesinlik vardır. Örneğin, “trafik hacmi çoktur, değilse az” dır gibi. Bulanık mantık yaklaşımına göre çokluğun dereceleri vardır ve bu durumda trafik hacminin bir tanesi esas alınır, bu değer yakınındaki değerler esas değer kadar kuvvetli olmasa da biraz daha az derece ile çok trafik hacmi kümesinde yer alır. Örneğin, karayolunun boyuna eğiminin üyelik derecelerini atamak için çok genel olarak hafif, orta ve dik diye üç tane bulanık alt küme oluşturabiliriz. Boyuna eğim bulanık alt kümeleri Şekil 1’de gösterilmektedir:



Şekil 1. Karayolunun boyuna eğimi (%) bulanık alt kümeleri

## 4. MODEL OLUŞTURULMASI

### 4.1. Temel Modelin Oluşturulması

Kaynak araştırma çalışması değerlendirilerek trafik ve geometrik değişkenlerinin trafik kazalarına etkileri incelenmiştir. Amaç, birden fazla değişkenin birlikte kullanılması olduğu için, FHWA [1] raporu bu çalışmada kılavuz olarak alınmıştır. Bu raporda, öncelikle temel bir bağıntı kullanılmaktadır (1). Daha sonra ise bu bağıntı geliştirilmiştir. Raporda yer alan temel bağıntı ilişkisi aşağıda verilmektedir.

$$KS = (YOGT)(L)(365)(10^{-6})e^{(0.6409+0.1388.STATE-0.0846.SG-0.0591.BG+0.0668.YKT+0.0084.BYY)} \quad (1)$$

$KS$  = bir karayolu kesiminde bir yılda tahmin edilen kaza sayısı toplamı

$YOGT$  = bir karayolu kesiminde yıllık ortalama günlük trafik hacmi (tş/gün),

$L$  = karayolu kesiminin uzunluğu (mi),

$STATE$  = karayolu kesiminin yeri (Minnesota’da 0, Washington’da 1 dir),

$SG$  = şerit genişliği (ft); iki farklı seyahat yönü için ortalama şerit genişliği,

$BG$  = banket genişliği (ft); iki farklı seyahat yönü için ortalama banket genişliği,

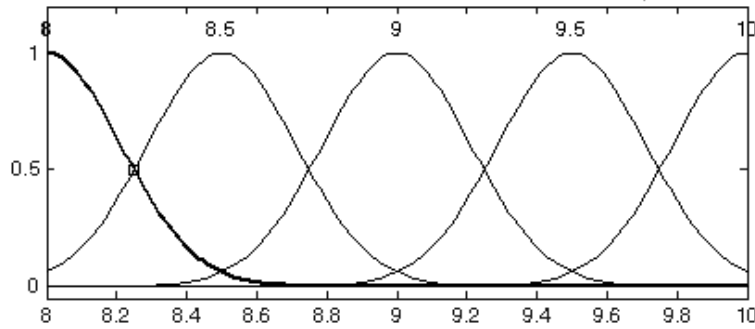
$YKT$  = karayolu kenarı tehlike oranı (1’den 7’ye değer almaktadır),

$BYY$  = karayolu kesiminde bağlantı yollarının yoğunluğu.

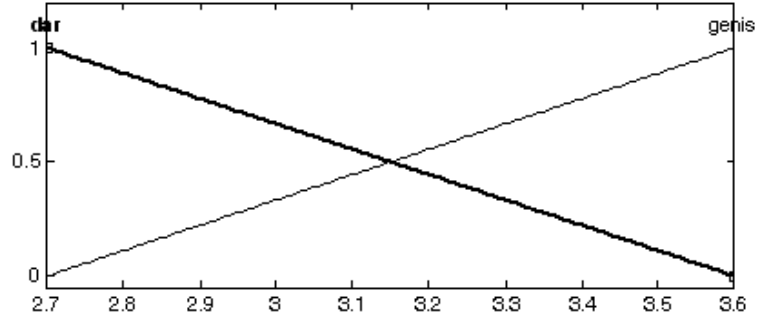
Bulanık temel model oluşturulurken, kılavuz alınan rapordaki veriler, sonucu test edebilmek için aynen alınmıştır. Ayrıca kılavuz modelin çıktılarında da üyelik fonksiyonları belirlenirken yararlanılmıştır. Oluşturulan bu model ülkemiz verileri ile ve ülkemiz koşulları dikkate alınarak tekrar hazırlanmalıdır.

Bulanık mantık kuralları ile oluşturulan temel model (TM), beş girdi ve bir çıktıdan oluşmaktadır. Üyelik işlevleri belirlenirken kullanılan değer ve veriler kılavuz alınan rapordaki değerlerdir. İşlev aralıkları ise deneme çalışmaları ile elde edilen değerlerdir. Temel modeldeki değişkenler iki bulanık alt kümeden oluşmaktadır. Genel olarak önceki çalışmalarda bulanık alt küme sayısının en az 3 alındığı görülmektedir. Bulanık alt küme sayısı arttıkça sonuç hassasiyeti artmaktadır. Ancak, temel modeli test edebilmek için kılavuz modelin verileri ve sonuçları dikkate alınmıştır. Kılavuz modelin sonuçları ile uyum, değişkenlerin iki bulanık alt kümeli olması sonucunda sağlanmıştır.

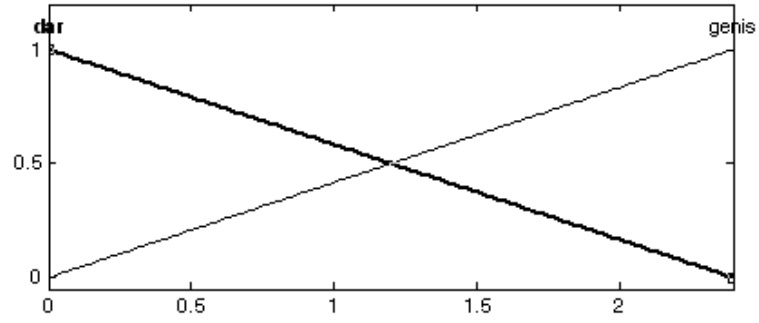
Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT); modelde kullanılan en önemli değişken olduğu için işlev aralığı birden çok değerde alınmıştır. Bulanık kuralların yazım ve gösterim kolaylığı bakımından YOGT, parça aralıklı olarak modelde yer almaktadır (Şekil 2). YOGT'nin bu aralıkları için hazırlanan modelde süreklilik bulunmaktadır. Şerit genişliği (SG), 2,7 m-3,6 m genişlik için değerlendirilmektedir. Şerit genişliği 'dar' ve 'geniş' olmak üzere iki bulanık alt kümeye ayrılmaktadır (Şekil 3). Banket genişliği (BG) de, 0-2,4 m genişlik için yine şerit genişliğinde olduğu gibi 'dar' ve 'geniş' bulanık alt kümelerine ayrılmaktadır (Şekil 4). Karayolu kenarı tehlike oranı (YKT); şehirlerarası bölünmemiş karayollarında karayolunun çevresinin karayolu emniyetine etkisinin 1 (iyi)'den 7 (kötü)'ye kadar derecelendirilmesidir (Şekil 5) [41]. Birim karayolu kesiminde bulunan bağlantı yollarının sayısı (BYY), 'az' ve 'çok' iki bulanık alt kümeye ayrılmaktadır (Şekil 6). Bağlantı yolu yoğunluğu, bir km karayolu kesimi için 1 ile 19 bağlantı yolu sayısı olarak alınmaktadır. Temel modelin kaza sayısı (TM-KS) (bir karayolu kesiminde, 1,5 km'de, bir yılda tahmin edilen toplam kaza sayısı) çıktısı ise Şekil 7'de verilmektedir. Kaza sayısı çıktısı, dokuz bulanık alt kümeye ayrılmaktadır. Bu dokuz bulanık alt kümenin işlev aralıklarının sayısal değerleri, modelin işleyişini denetlemek amacıyla kılavuz alınan FHWA raporundaki sayısal değerlerdir (KM-KS). Alt küme sayısı belirlenirken kişisel tercihler etkili olmaktadır. Ancak, kılavuz modeldeki kaza sayısı değişimine benzemesine dikkat edilmiştir. Temel model için 80 tane bulanık kural yazılmıştır. YOGT'nin  $(8-10) \cdot 10^3$  tş/gün değer aralığının burada kullanımı, sadece örnek vermek içindir.



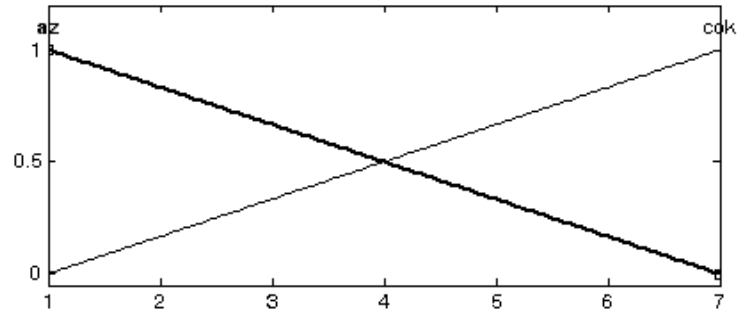
Şekil 2. YOGT ( $10^3$  tş/gün)-girdi 1



Şekil 3. Şerit genişliği (m)-girdi 2

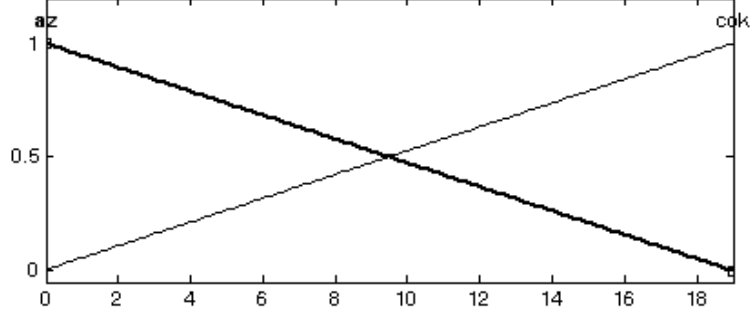


Şekil 4. Banket genişliği (m)-girdi 3

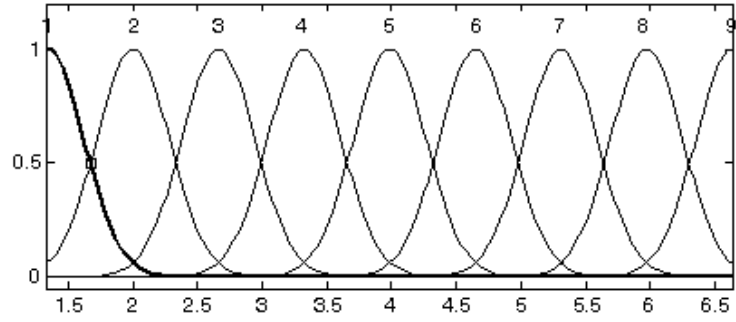


Şekil 5. Karayolu kenarı tehlikeleri-girdi 4

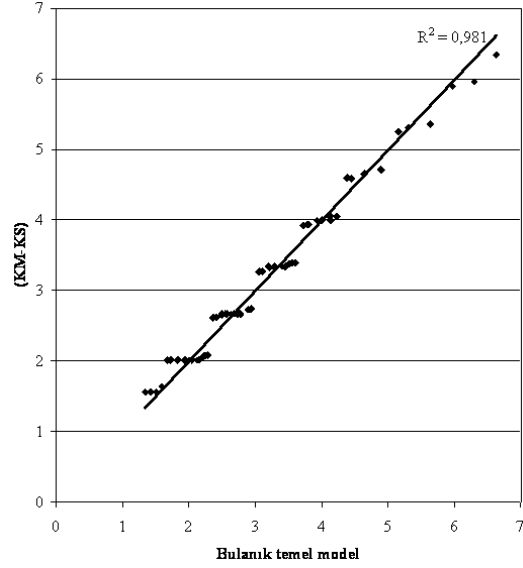




Şekil 6. Bağlantı yolu yoğunluğu-girdi 5



Şekil 7. Kaza sayısı-çıktı



Şekil 8. Model sonuçlarının karşılaştırılması - korelasyon katsayısı

## *Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi*

Kılavuz alınan rapordaki modelin sonuçları (KM-KS) ile bulanık temel modelin (TM-KS) sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı Şekil 8’de değerlendirilmektedir. Şekil 8’de 80 tane bulanık kuralın verileri ve bulanık modelde kullanılan değişkenler kullanılarak kılavuz modelden elde edilen veriler karşılaştırılmaktadır.

### **4.2. Geliştirilen Temel Model**

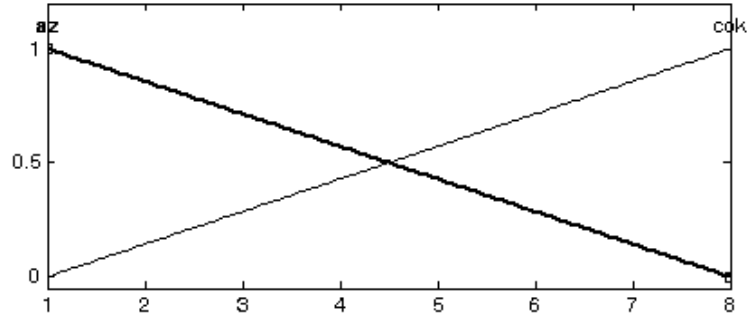
Temel modelden elde edilen sonuçların, daha önceden geliştirilmiş FHWA [1] raporundaki modelle uyumlu olduğu görüldükten sonra modele diğer değişkenler ilave edilmiştir. Bundan sonra, modele istenildiği kadar trafik değişkeni katılabilir ve model geliştirilebilir. Bu çalışmada modele katılan yeni değişkenler, şehirlerarası bölünmemiş karayollarında kazalara etkisi olduğu düşünülen trafik değişkenleridir. Bunlar; karayolunun boyuna eğimi (EG), tırmanma şeridi (TS), hız (HIZ), yatay kurba yarıçapı (YKY)’ dir. Önceki değişkenler gibi bu değişkenlerin de trafik kazalarına etkisini net olarak söylemek olası değildir. Bu nedenle modele katılan değişkenlerin, şehirlerarası bölünmemiş karayollarında trafik kazalarına etkilerinin değeri belirlenirken daha önce yapılan çalışma sonuçları kılavuz kabul edilmiştir. Modele katılan her değişkenin kazalara etkisi için bir oran kabul edilmiştir (bu oranlar, daha önceki çalışma sonuçları ve kişisel tercihlerle belirlenmiştir). Bulanık mantık felsefesinde kesinlik olmadığı ve kişilerin yaklaşık kabulleri esas olduğu için, kabul edilen bu oranlar da kişilere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin, hız 90 km/sa’ın üzerinde olduğunda temel modeldeki kaza sayısı %10 artırıldı. Aynı anda; hız çok fazla, eğim çok dik, yatay kurba yarıçapı çok küçük ve bunun yanında tırmanma şeridi olmaması durumunda temel modeldeki kaza sayısı %30 oranında artırıldı.

Geliştirilen model için seçilen değişkenler ile temel model oluşturulurken seçilen kılavuz modeldeki değişkenler bu aşamadan sonra farklılık göstermektedir. Bu nedenle, geliştirilen modelin sonuçlarını kılavuz modelin sonuçları ile karşılaştırmak bu aşamada doğru sonuç vermeyecektir. Geliştirilen modelin test edilebilmesi için verilere gereksinim vardır ve modelin ülkemiz verileri ile test edilebilmesi için gerekli çalışmalar devam etmektedir.

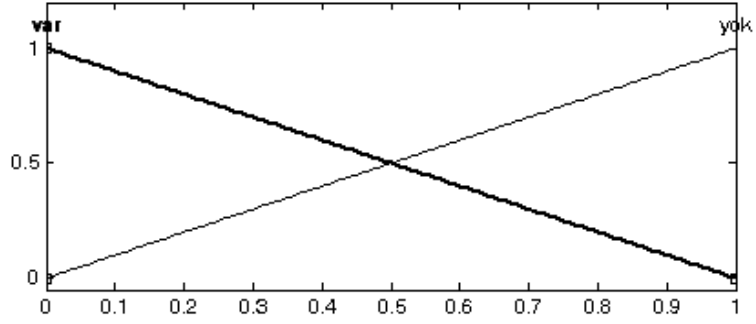
Temel modele katılan değişkenler iki bulanık alt kümeden oluşmaktadır. Bu bulanık kümeler, sözel kavramlar ile tanımlanmaktadır. Temel modele katılan dört yeni değişkenden biri, karayolunun boyuna eğimidir (%1-%8) (Şekil 9). Tırmanma şeridi bulanık düşünülmemeyeceği için ‘var’ ya da ‘yok’ olarak değerlendirilmektedir (Şekil 10). Modeldeki en bulanık değişken hızdır. Ülkemizde şehirlerarası bölünmemiş karayollarında, daha fazlası kazalara neden olduğu için yasal olarak hız sınırı 90 km/sa’dır. Bu nedenle, modeldeki hız değişkeni 40-100 km/s hız aralığında değerlendirilmektedir (Şekil 11). Son değişken, yatay kurba yarıçapı olarak düşünülmektedir. Yarıçapı 100 - 1 000 m olan yatay kurbalar değerlendirmeye katılmaktadır (Şekil 12). Modelde kullanılan değişkenlerin bulanık alt kümeleri oluşturulurken; küme sayıları artırılmış ve çok farklı küme takımları kullanılmıştır. Ancak, deneme yanılma yöntemi ile yapılan bu değerlendirmeler sonucu en uygun küme takımlarının, modelde kullanılanlar olduğu sonucuna varılmıştır. Üyelik fonksiyon sayısının iki olarak elde edilmesi, kılavuz modele benzetmek amacı ile yapılmıştır. Oluşturulan modelde kurallar ‘ve’ bağlacı ile bağlanmaktadır.

Geliştirilen modelde, YOGT 10 gruba ayrılmıştır. Her YOGT grubu için 9 bulanık alt kümeli kaza sayısı çıktısı hazırlanmıştır. Her grup için, 768 bulanık “EĞER-İSE” kural

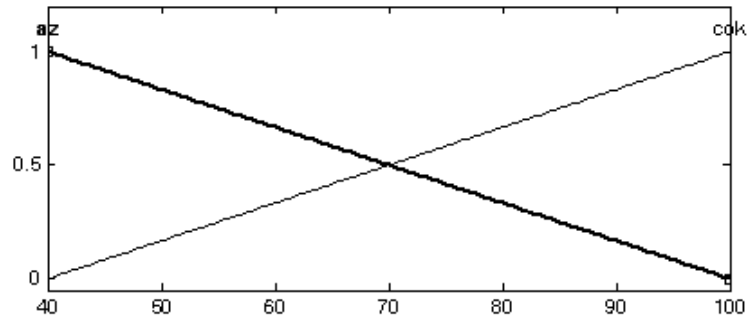
yazılmıştır. Bu bulanık kurallar yazılırken söz konusu olasılıkların mantıklı olması sağlanmış ve kuralların çakışmasına izin verilmemiştir.



Şekil 9. Karayolunun boyuna eğimi (%), girdi 6

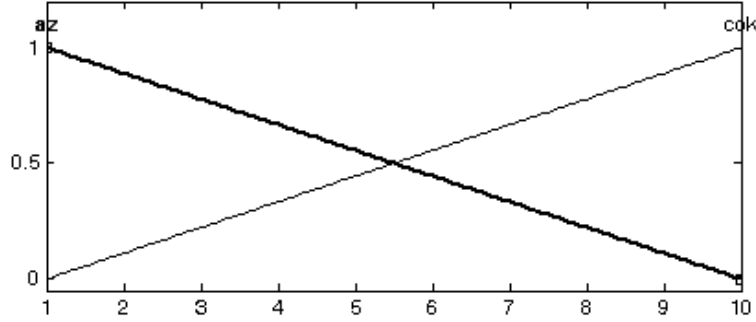


Şekil 10. Tırmanma şeridinin varlığı, girdi 7



Şekil 11. Hız (km/sa), girdi 8

*Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi*



Şekil 12. Yatay Kurb Yarıçapı\*100 (m), girdi 9

Modeldeki her bir kuralı, yüzlerce sayısal örnekle göstermek ve kaza sayısının her bir değişkene karşı duyarlılığını göstermek mümkündür. Burada, bütün değişkenleri sabit alıp, tek bir değişkenin değerini değiştirerek, bu değişkenin kaza sayısı etkisini genel olarak göstermek amacı ile bir örnek verilmektedir. Oluşturulan bu örnekte, *YOGT* değeri 9 000 tş/gün olarak alınmaktadır. Modeldeki değişkenlerin farklı değerlerde sabit alınarak, farklı şerit genişlikleri için kaza sayısı değerlerinin değişimleri Çizelge 1, 2 ve 3’de verilmektedir ve Şekil 13’te de karşılaştırması yapılmaktadır.

Çizelge 1. *YOGT=9 000 tş/gün, KS-HIZ (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi*

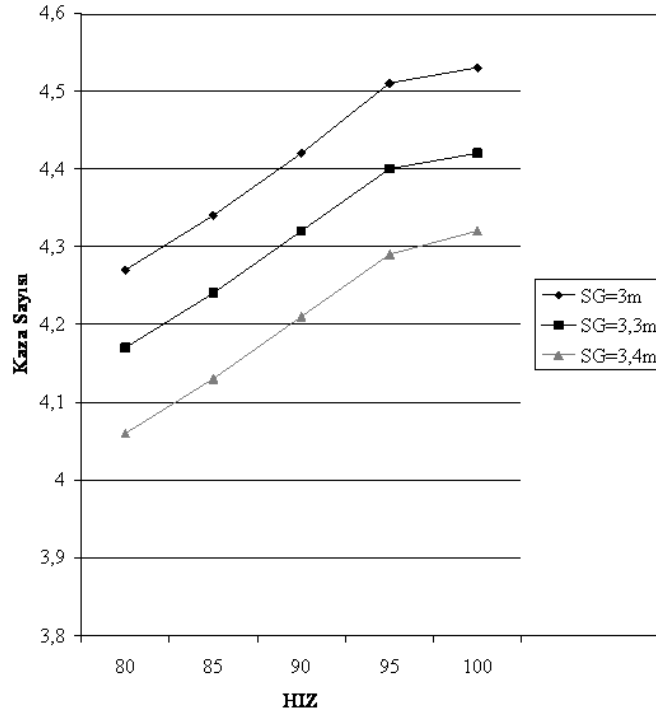
<u>SG</u>	<u>BG</u>	<u>YKT</u>	<u>BYY</u>	<u>EG</u>	<u>TS</u>	<u>HIZ</u>	<u>YKY</u>	<u>KS</u>								
3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	80	ve	400	ise	4,27
3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	85	ve	400	ise	4,34
3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	90	ve	400	ise	4,42
3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	95	ve	400	ise	4,51
3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	100	ve	400	ise	4,53

Çizelge 2. *YOGT=9 000 tş/gün, KS-HIZ (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi*

<u>SG</u>	<u>BG</u>	<u>YKT</u>	<u>BYY</u>	<u>EG</u>	<u>TS</u>	<u>HIZ</u>	<u>YKY</u>	<u>KS</u>								
3,3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	80	ve	400	ise	4,17
3,3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	85	ve	400	ise	4,24
3,3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	90	ve	400	ise	4,32
3,3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	95	ve	400	ise	4,40
3,3	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	100	ve	400	ise	4,42

Çizelge 3. YOGT=9 000 tş/gün, KS-HIZ (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

<u>SG</u>	<u>BG</u>	<u>YKT</u>	<u>BYT</u>	<u>EG</u>	<u>TS</u>	<u>HIZ</u>	<u>YKY</u>	<u>KS</u>								
3,4	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	80	ve	400	ise	4,06
3,4	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	85	ve	400	ise	4,13
3,4	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	90	ve	400	ise	4,21
3,4	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	95	ve	400	ise	4,29
3,4	ve	0	ve	3	ve	3	ve	3	ve	yok	ve	100	ve	400	ise	4,32



Şekil 13. Farklı SG için, hız-kaza sayısı karşılaştırması

(SG=3m, BG=0m, YKT=3, BYT=3, EG=3, TS=yok, YKY=400m)

(SG=3,3m, BG=0m, YKT=3, BYT=3, EG=3, TS=yok, YKY=400m)

(SG=3,4m, BG=0m, YKT=3, BYT=3, EG=3, TS=yok, YKY=400m)

## 5. SONUÇ

Daha önceki çalışma sonuçlarına dayanarak şehirlerarası bölünmemiş karayollarında, karayolu güvenliğini etkileyen en önemli değişkenin o karayolundaki trafik hacmi olduğunu söyleyebiliriz. *YOGT*'nin az olması (2 000 tş/gün'e kadar) durumunda şehirlerarası bölünmemiş karayollarında, karayolu güvenliğinde önemli bir değişiklik oluşmamaktadır. Bu değer 5 000 tş/gün'ün üzerine çıktığında ise etkisi çok fazladır.

Şerit genişliğinin çok dar tutulması da trafik kazalarının oluşumunda oldukça etkilidir. Şerit genişliğini artırarak kazaların oluşumu büyük ölçüde engellenebilir. Banket genişliğinin hiç alınmaması, şehirlerarası bölünmemiş karayollarında kazaların oluşmasında etkilidir. Şerit genişliği çok fazla olsa da eğer banket yok ise bu durum kazaların oluşumunda etkili olmaktadır.

Daha önceki çalışmalar karayolunun boyuna eğiminin tek başına karayolu güvenliğinde çok etkili olmadığını göstermektedir. Dikkat çeken nokta, çok dik çıkış eğimlerinde kazaların pek olmadığı yönündedir. Fakat tam tersi çok dik iniş eğimlerde kazalara çok sık rastlanmaktadır. Böyle bir durumda karayolunun boyuna eğiminin, karayolu güvenliğinde etkili olmadığı söylenemez. Burada önem kazanan değişken hız ve yatay kurba yarıçapıdır. Bunun gibi diğer değişkenler de tek başlarına değerlendirildiğinde karayolu güvenliğinde çok etkili olmadıkları izlenimi veriyorlar. Ancak, bu değişkenler birlikte düşünüldüğünde çok değişkenli olasılıklar ortaya çıkmaktadır. Şehirlerarası karayollarının güvenliğinde oldukça etkili olan diğer değişkenler ise karayolu kenarı tehlike oranı ve özellikle de bağlantı yollarının yoğunluğudur. Modelde, bulanık olan trafik değişkenleri, EĞER-İSE kuralları oluşturularak çözümlenmektedir.

Bu model, ABD verileri ile oluşturulmuştur. Ancak, ülkemiz koşullarına uyarlanması ve ülkemiz verileri ile kullanılması için çalışmalar devam etmektedir. Üyelik fonksiyonu sayılarının iki olması, kılavuz alınan modelin sonuçları ile uyumlu olması için seçilmiştir. Değişkenlerin üyelik fonksiyon sayısının artırılması, modelin hassasiyetini artıracaktır.

Modelin getirdiği yararlar:

- Karayolu güvenliğinde etkili olan ve kesin rakamlarla tanımlayamadığımız değişkenler birlikte değerlendirilmektedir.
- Trafik kazaları sonucu kaybedilen, maddi olarak değer biçemediğimiz insan hayatlarının kazanılmasına katkı yapması beklenilmektedir.
- Karayolu güvenliğinde, sayısal değerleri kullanmadan sadece bulanık kavramları kullanarak sorunlara çözüm getirilmektedir.
- Kullanılmakta olan bir karayolunun geometrik değişkenleri karayolu güvenliği açısından değerlendirilebilir. Karayolu kesiminde, soruna neden olan değişken kolaylıkla bulunur ve iyileştirmesi yapılabilir.
- Eğer yeni bir karayolu yapımı planlanıyor ise, karayolu güvenliği tasarım aşamasında değerlendirileceği için ülke yararına kaynak kazancı elde edilecektir.

Ayrıca, şehirlerarası karayollarında trafik kazalarının önlenmesine katkı sağlayacağı için maddi kayıplar azaltılarak da bir kaynak kazancı sağlamak olasıdır.

Son olarak ise, model üniversal bir model olup, değişken sayısı sürekli artırılabilir. Örneğin; karayolu üst yapısının durumu, banketin kaplama türü, düşey kurbanın bulunması, havanın yağış durumu, gece ya da gündüz olması, sürücü davranışları gibi değişkenler ile model geliştirilebilir.

Trafik güvenliğinde çoğunlukla regresyon modelleri kullanılmaktadır. Değişken sayısının fazla olması durumunda eğer-ise kurallarını oluşturmak büyük zaman alsa da: Bulanık mantık modeli ile; karmaşıklık, belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgiler karışık matematik işlemler gerektirmeden çözümlenmektedir. Bu nedenle kullanılmakta olan diğer modellere bir alternatiftir.

### Kaynaklar

- [1] Harwood, D.W. vd., Prediction of the Expected Safety Performance of Rural of Two-lane Highways. Report No. FHWA-RD-99-207, Federal Highway Administration, 2000.
- [2] Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.
- [3] Armour, M., Cinquegrana, C., Victorian Study of Single Vehicle Rural Accidents, Proc 15th Australian Road Research Board Conference 15, 7, 79-91, 1990.
- [4] Christo, J. B., Joster, A. M., The Effect of Rural Road Geometry on Safety in Southern Africa, 1st International Symposium on Highway Geometric Design, Boston, 1995.
- [5] Hearne, R., Selected Geometric Elements and Accident Densities on the National Network, Environmental Research Unit, Dublin, 1976.
- [6] Zegeer, C. V., vd., Accident Relationship of Roadway Width on Low-Volume Roads, Paper. 940864 Presented at the 73rd Annual Meeting, National Research Council, Washington, D. C., 1994.
- [7] Cleveland, D. E., vd., Geometric Design Element Groups and High-Volume Two-Lane Rural Highway Safety, In Transportation Research Record 960, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1984.
- [8] Glennon, J. C., vd., Relationship Between Saffety and Key Highway Features, A Synthesis of Prior Research. State of the Art Report 6, Transport Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1987.
- [9] Simpson, D., Kerman, J. A., The Research and Development Background to Highway Link Design, Traffic Engineering and Control 23 (9), 1982.
- [10] Krebs, H. G., Kloeckner, J. H., Investigation of the Effects of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areas on Accident Rates, Techinal Journal: Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Vol. 223, 1977.
- [11] Chouveiri, E.M., Lamm, R., Kloeckner, J.H., Mailoender, T., Safety Aspects of Individual Design Elements and Their Interactions on Two-Lane Highways: International Perspective, Transportation Research Record 1445, pp. 34-46, 1994.

*Bulanık Mantık ile Trafik Güvenliği Modellemesi*

- [12] Hedman, K. O., Proceedings of Strategic Highway Research Program and Traffic Safety and Two Continents, Road Design and Safety, Gothenburg, 1989. VTI Report 315A, 1990.
- [13] Transportation Research Board (TRB), Cost and Safety Effectiveness of Highway Design Elements, NCH RPT 197, 1978.
- [14] Martin ve Voorthees Associates, Crawler Lane Study: An Economic Evaluation. Department of the Environment, London, 1978.
- [15] Grime, G., Handbook of Road Safety Research, Butterworths, London, 1987.
- [16] Kanellaidis, G., Aspects of Highway Superelevation Design, Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 6, November/December, s. 624-632, 1991.
- [17] Finch, D. J., vd., Speed, Speed Limits and Accidents, PR58, Transportation Research Laboratory, Crowthorne, 1994.
- [18] Cope, A. J., Traffic Accident Experience-Before and After Pavement Widening, Traffic Engineering, s. 114-15, 1955.
- [19] Winch, D. M., The Economics of Highway Planning, Canadian Studies in Economics, Toronto, Ontario, Canada, 1963.
- [20] Silyanov, V. V., Comparison of the Pattern of Accident Rates on Roads of Different Countries, Traffic Engineering and Control, Vol. 14, s. 432-435, 1973.
- [21] Yager, M., Van Aerde, R., Geometric and Environmental Effects on Speeds of 2-Lane Highways, Transportation Research, Vol. 17A, No 4, 1983.
- [22] Hughes, W. E., Safety and Human Factors: Worldwide Review, International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Transportation Research Board, Boston, 1995.
- [23] Zegeer, C. V., Deacon, J. A., Effect of Lane Width, Shoulder Width and Shoulder Type on Highway Safety In State of the Art Report 6, TRB, National Research Council, Washington, D. C., s. 1-21, 1987.
- [24] Maierle, M. J., Wolfgram, M. J., Rural Two-lane Highway Accidents and Geometrics: A Statistical Analysis, Presented at 67th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1988.
- [25] Armour, M., Mclean, J. R., The Effect of Shoulder Width and Type on Rural Traffic Safety and Operations, Australian Road Research 13, 4, 259-270, 1983.
- [26] Cirillo, J. A., Council, F. M., Transportation Research Circular 1068: Highway Safety: Twenty Years Later, TRB. National Research Council, Washington, D. C., s. 90-95, 1986.
- [27] Belmont, D. M., Effect of Shoulder Width on Accidents on Two-lane Tangents, HRB, Bull. 91, s. 20-32, 1954.
- [28] Stohner, W. A., Relation of Highway Accidents to Shoulder Width on Two-lane Rural



- [29] Blensley, R. C., Head, J. A., Statistical Determination of Effect of Paved Shoulder Width on Traffic Accident Frequency, HRB, Bull. 240, s. 1-23, 1960.
- [30] Brenac, T., Annex TX (E), Curves on Two-lane Roads, Safety Effects of Road Design Standards, SWOV, Leidschendam The Netherlands, 1994.
- [31] Srinivasan, S., Effect of Roadway Elements and Environment on Road Safety, Institution of Engineers, Vol. 63, 1982.
- [32] Brenac, T., Speed, Safety and Highway Design, Recherche Transports Securite, English Issue, No:5, 1990.
- [33] Perchonok, K. vd., Hazardous Effects of Highway Features and Roadside Objects, Vol. 1-2, Reports FHWA- D-78-201 and FHWA-RD-78-202, FHWA, U. S. Department of Transportation, 1978.
- [34] Department of Transport, Highway Link Design, Advice Note TA43/84, HMSO, London, 1984.
- [35] Foody, T. J., Long, M. D., The Identification of Relationships Between Safety and Roadway Obstructions, Ohio Department of Transportation, Columbus, 1974.
- [36] Tignor, S. C., vd., Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements, Vol. 1, Report FHWA-TS-82-232, FHWA, U. S. Department of Transportation, 1982.
- [37] Cleveland, D. E., Kitmura, R., Macroscopic Modeling of Two-lane Rural Roadside Accidents, In Transportation Research Record 681, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1978.
- [38] Zeigler, A. J., Risk of Vehicle-Tree Accidents and Management of Roadside Trees, In Transportation Research Record 1127, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1987.
- [39] Boyce, D. E., vd., Cost-Effective 3R Roadside Safety Policy for Two-lane Rural Highways, Illinois Department of Transportation, Springfield, 1988.
- [40] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, Vol.8, s.338-353, 1965.
- [41] Zegeer, C.V. vd, Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads, Transportation Research Record 1195, Transportation Research Board, 1988.