

KENT KARAYOLLARINDA KAPASİTENİN BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Nuran BAĞIRGAN¹, İlker ŞAHİNOĞLU²

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43270 Kütahya, nbagirgan@dumlupinar.edu.tr

²Şahinoğlu Elektrik, Güzelce Mah. Yoğurthane Cad. Atatürk Parkı Karşısı, 34910 Büyükçekmece/ İstanbul, ilker_sahinoglu@hotmail.com

Geliş Tarihi: 03.08.2010 Kabul Tarihi: 10.01.2011

ÖZET

Karayolu kapasitesini etkileyen pek çok değişken bulunmaktadır. Bu çalışmada ise, karayolu kapasitesini etkileyen değişkenlerden; şerit genişliği, boyuna eğim ile yol kenarında park eden araç sayısının birlikte karayolu kapasitesine etkilerinin değerlendirildiği bir model elde edilmiştir. Karayolu kapasitesini etkileyen oldukça fazla belirsizliklerin bulunması nedeniyle modelin oluşturulmasında bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Model; iki şeritli, tek yönlü ve çıkış eğimli, B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) gibi iki farklı kent karayolu sınıfı için oluşturulmuştur. B ve C yol sınıfları için ayrı ayrı oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar referans alınan TS12008'deki verilerle karşılaştırıldığında B yol sınıfı için R-Kare dağılımı 0.952, C yol sınıfı için ise 0.936 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bulanık Mantık, Karayolu Kapasitesi, Karayolu Geometrik Standartları*

CAPACITY MODELLING OF URBAN HIGHWAYS BY FUZZY LOGIC

ABSTRACT

There are many variables affecting highway capacity. In this study, a model, in which the effects of the variables such as the lane width, lengthwise declivity and the number of the vehicles parked along the road are evaluated together, has been obtained from the variables affecting highway capacity. Because there are many uncertainties affecting the highway capacity fuzzy logic method was used in the construction of the model. The model was formed for two different urban highway types as one way and ascent pitched, B (main street, no stopping zone and less coequal intersection) and C (street, no waiting and parking zone, the capacity of the cross road is good). When the results taken from the model for the B and C road types was compared the data based on TS12008 R-Square distribution was found as 0.952 for B type road and 0.936 for C type road.

Key Words: *Fuzzy Logic, Highway Capacity, Highway Geometric Standards*

1. GİRİŞ

Karayolu dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli ulaştırma yatırımlarının başında gelmektedir. Bir karayolu ağının uzunluğu, ülke içindeki dağılımı, geometrik standartlarının kalitesi ülke ekonomisinin kalkınması açısından önemli bir yere sahiptir [1]. Ulaştırma yatırımları pahalı yatırımlardır. Bu sebeple ülkeler, karayollarının geometrik standartlarını gereksinimlere göre karşılama yoluna gitmektedirler. Bu sorun gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmakta ve karayollarının geometrik standartları sürekli olarak değişiklik göstermektedir. Karayollarının kapasitesini, en verimli şekilde kullanılabilmesi için yolların geometrik standartlarının kesintisiz uygulanması gerekmektedir. Ancak, ülkemizin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde hem çok yüksek geometrik standartlar kullanıp hem de bunların devamlılığını sağlamak oldukça zordur [2]. Bu nedenlerle karayollarının kapasitesinin en verimli şekilde kullanılması için kapasiteyi etkileyen etkenlerin değerlerinin ne olması gerektiğinin bilinmesi gerekmektedir. Örneğin; şerit

genişliğinin, boyuna eğimin ve yol kenarında park eden araç sayısının farklı değerleri karayolu kapasitesini nasıl etkilemektedir?

Karayolu kapasitesine etki eden çok fazla değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerin pek çoğu da belirsizlikler içermektedir. Bazı değişkenlerin karayolu kapasitesini ne ölçüde etkilediğinin sayısal değerini tanımlamakta oldukça zordur. Örneğin; yayaların etkisi, sürücü davranışları veya hava koşulları gibi... Bu nedenle bu çalışmada birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısalılaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık mantığa dayalı model geliştirilmesinde ise en önemli konu, üyelik işlevlerinin belirlenmesidir. Üyelik işlevlerinin geliştirilmesinde geçmiş çalışmalardan yararlanılmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Karayolu kapasitesine etki eden etkenlerin; karayolu kapasitesine etkilerini birlikte değerlendiren çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Önceki çalışmalar daha çok, bu etkenlerin ayrı ayrı değerlendirildiği çalışmalardır.

Karayolu kapasitesine etki eden bu etkenlerden en önemlisi şerit genişliğidir. Yolların kapasitesi el kitabında, ideal koşullar altında şerit genişliği 3.65m olarak verilmektedir [4]. Bu ideal genişlikten daha dar şeritler, kesiksiz akım koşulları altında daha az kapasiteye sahiptir. Şeritlerin dar ve geniş olmalarının kapasite üzerindeki etkisi daha çok taşıtların geçme manevraları sırasında meydana gelmektedir. İki şeritli bir karayolunda; kendinden daha düşük hızdaki aracı geçmek isteyen araç, karşı yönden gelen aracın şeridini kullanacağından bu manevrada araçlar, geniş şeritlere göre dar şeritleri daha uzun süre işgal ederler. Çok şeritli karayollarında ise geniş şeritlere göre, dar şeritlerde daha çok sayıda araç, bulunduğu şeridi kullandığı gibi yan şeride de tecavüz ederler. Böylece iki şeridi birden kullanmış olurlar. Bu durum da kapasitenin azalmasına neden olur [5].

Leong (1968) New South Wales'te kırsal alan üzerinde yaptığı çalışmasında 31 bölgede hızları ve kapasiteyi ölçmektedir. Çalışılan bölgelerde şerit ve banket genişlikleri değişkenlik göstermekte, banketler çakıldan oluşmaktadır. Elde edilen veriler çoklu regresyon kullanılarak çözümlenmektedir. Bu çalışma sonucunda; hızın, artan banket genişliği ile arttığı ve özellikle iki şeritli bir karayolunda, şerit genişliği 3.7m'den 2.75m'ye azaldığında, karayolu kapasitesinin de %28 azaldığı sonucu elde edilmektedir [6].

Chandra ve Kumar (2003), tarafından yapılan çalışmada; Hindistan'da şerit genişliğinin karışık trafik koşulları altında, iki şeritli bir karayolunun kapasitesine etkisi araştırılmaktadır. Genişliği 5.5m ile 8.8m arasında değişen iki şeritli karayollarının farklı kesimlerinden elde edilen veriler incelenerek, şerit genişliği için ayarlama faktörü elde edilmektedir. Elde edilen ayarlama faktörlerinin HCM (Highway Capacity Manual) (1994)'te verilenlerden daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Buna neden olarak; karmaşık trafiğin olumsuz etkilerinin dar şeritlerde daha belirgin olduğu gösterilmektedir. Yine bu çalışmada, şerit genişliğini 0.3m artırmanın kapasiteyi yaklaşık %14 arttırdığı, 0.6m olması durumunda ise kapasitenin %24 arttırdığı sonucu verilmektedir [7].

Karayolu kapasitesine etki eden ve modelde kullanılan diğer değişkende yolun boyuna eğimidir. Boyuna eğimin kapasiteye etkisi Yolların Kapasitesi el kitabında şu şekilde değerlendirilmektedir; eğer karayolunda eğimli bir kesim var ise bu yol kesimi her zaman olmasa bile genellikle görüş mesafesini kısıtlar ve bu nedenle iki şeritli yollarda geçme manevralarının güvenli bir şekilde yapılacağı yol uzunluğunun oranını etkiler. Taşıtlar, düz yol kesimlerine göre, eğim yukarı iken daha az, eğim aşağı iken daha fazla fren mesafesine sahiptir. Bu nedenden dolayı taşıtlar arasında, güvenli bir takip mesafesi için inişte daha fazla, çıkışta ise daha az mesafe bulunması gerekir. Ağır taşıtlar, özellikle yüklü kamyonlar, yolların düz kesimlerine göre, dik eğimli kesimlerde çıkışta daha düşük hızlarda hareket ederler. Bu durum otomobiller için belli bir eğime kadar sorun teşkil etmemektedir. Bu sebeple ağır taşıtlar için eğim, yolların kapasitesini etkilemektedir [5]. Şehirlerarası karayollarında yolun çıkış eğimli kesimlerinde kapasitenin azalmasını önlemek amacıyla tırmanma şeritleri uygulanmaktadır. Kent yollarında böyle bir uygulama yoktur ve daha dik boyuna eğimler kullanılmaktadır. Kent yollarında boyuna eğimin kapasiteyi nasıl etkilediği konusunda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak, model için referans alınan değerler her %1'lik çıkış eğimi için kapasitenin %3 azaltılmasıdır [8]. Ya da iniş eğimi olması durumunda kapasite arttırılacaktır.

Karayolu kapasitesine etki eden ve modelde kullanılan son değişken de yol kenarında park eden araç sayısıdır. Bu çalışmada kent yollarını esas aldığı için yan açıklık veya yol kenarı engeli yerine, yol kenarındaki araç parkının kapasiteye etkisinin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Yan açıklıklar, kaplama kenarı ile yol kenarında bulunan trafik işaret direği, elektrik direği, istinat duvarı, yol kenarında park eden veya duran taşıtların arasındaki mesafedir [9]. Genel olarak, yol kenarında park etmiş araçların bulunması yol kenarı engeli olarak algılanmakta ve sürücülerin şerit ortalarına doğru kaçmalarına neden olmaktadır. Bu da şerit genişliğinin azalması gibi kapasiteyi azaltmaktadır. Ayrıca, park eden araçların park etmek için ya da park yerinden çıkmak için yaptıkları manevralar da trafik akımından ayrılma ve katılma gibi değerlendirilebilir. Çünkü bu manevralar sırasında, diğer park şeridine komşu şeritteki taşıtlar ya hızlarını azaltacak ya da tamamen durmak durumunda kalacaklardır.

Ensari (1993) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde karayolu geometrik standartlarının karayolu güvenliğine ve kapasiteye etkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmada karayolu kapasitesine etki eden etkenler, karayolu geometrisi ve trafik özellikleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Karayolu platformu ile ilgili geometrik standartlar; şerit genişliği, şerit sayısı, yan açıklık, banketler, yardımcı şeritler ve eğim olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma sonucunda şerit genişliğinin azalması durumunda kapasitenin olumsuz etkilendiği, yanal açıklıkların, yani kaplama kenarı ile karayolu kenarı arasında bulunan engellerin 1.80 m'den daha az mesafede bulunması durumunda kapasiteyi olumsuz etkilemektedir [10].

Yılmaz (2000) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde ise; karayolu geometrik standartları ile karayolu güvenliği ve kapasitesi arasındaki ilişki ele alınmaktadır. Çalışmada karayolu kapasitesine etki eden etmenler tanımlanmakta ve karayolu geometrik standartlarının kapasiteye etkisi araştırılmaktadır. Karayolu güvenliği ile kapasitesinin artırılabilmesi için karayolu geometrik standartların ne olması gerektiği konusunda teorik bilgileri sunmaktadır [1].

Chakroborty ve Kikuchi (1990), kapasite ve hizmet düzeyi çözümlemesinde, bulanık küme teorisinin uygulanabilirliğini tartışarak bir model geliştirmekteler. Geliştirilen bu modelde ideal kapasite, görüş mesafesi, trafik hacmi ve taşıt aralığını girdi değişkenleri, ayarlama faktörü, gerçek kapasite ve hizmet düzeyini de çıkış değişkenleri olarak ele almaktadırlar. Bu çalışmada iki hizmet düzeyi arasındaki geçişin aniden değil de dereceli olarak değişeceği düşünülmektedir. Bu nedenle, hizmet düzeyi ve diğer değişkenleri, birbirine geçişlerin keskin olmadığı (üçgen) bulanık alt kümelerle ayırarak modeli bu şekilde oluşturmaktadırlar. Bu çalışmanın sonucunda, bulanık küme teorisi kullanılarak oluşturulan modelin var olan yöntemden daha kesin ve iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [11].

Murat Y.Ş. (2006), tarafından hazırlanan çalışmada, sinyalizasyon kavşaklarının tasarımı ve işletilmesinde etkili parametrelerden birinin taşıt gecikme süreleri olduğu vurgulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında taşıt gecikme sürelerinin modellenmesi ele alınmaktadır. Çalışmada, gecikmenin belirlenmesi için kullanılan geleneksel yaklaşımların genellikle başarılı olduğu ancak buna rağmen özellikle doygun üstü trafik koşullarında veya talebin kapasiteye yaklaştığı ve hatta aştığı durumlarda bu yöntemlerin yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Doygun üstü durumlarda artan gecikmenin yeterince tanımlanamaması, belirsizlikler içermesi ve doğru tahmin edilememesinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Çalışmada, bu eksikliği gidermek amacıyla, trafik hacmi, kırmızı sürenin devre süresine oranı, kuyruktaki ortalama taşıt sayısı parametreleri dikkate alınarak ve bulanık mantık tekniğinden faydalanarak, sinyalli kavşaklardaki taşıt gecikmeleri modellenmektedir. Çalışma sonucu elde edilen bulanık mantığa dayalı model, mevcut gecikme tahmini yaklaşımları ve gerçek değerler ile karşılaştırılmakta ve son derece iyi sonuçlar elde edilmektedir [12].

Uludağ N. (2005), tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde ulaşım ağlarında rota seçim problemi bulanık mantık ile modellenmektedir. Çalışmada Denizli'de belirlenen bir yol ağındaki rota seçim problemini, yapmış olduğu anket çalışması sonucundan elde ettiği gerçek verileri kullanarak bulanık olarak modellemektedir. Bulanık mantık modeli, rota seçim probleminde etkili olan seyahat süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etkiler ile elde edilmektedir. Elde edilen model, lojistik regresyon modelleri ile karşılaştırılmaktadır. Bulanık modelden elde edilen değerlerin, gerçek değerlere daha yakın olduğu sonucuna ulaşılmaktadır[13].

Murat Y.Ş. (2004), bu çalışmada bulanık mantık teknikleri ile bu zamana kadar yapılan ulaştırma mühendisliği problemleri değerlendirilmektedir. Çalışmada, yapılan bir takım ulaştırma problemlerinin bulanık mantık tekniği ile uygulamalarına yer verilmektedir. Trafik sinyal denetimi, seyahat süresi tahmini, sürücü davranışlarının modellenmesi, kapasite ve hizmet düzeyi tahmini, taşıt takip modelleri ve rota seçim davranışının modellenmesi gibi ulaştırma mühendisliği konularında yapılan çalışmalar değerlendirilmektedir [14].

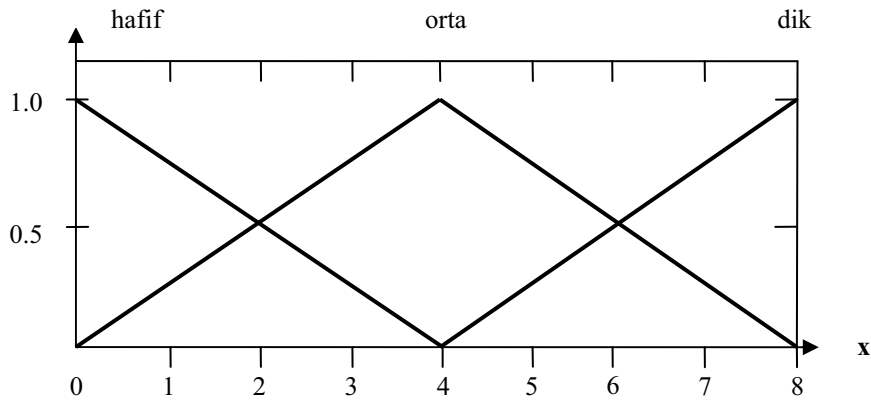
3. YÖNTEM

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik ve kesin düşünce veya kararlar verilemeyeiştten kaynaklanmaktadır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık adı verilmektedir [15]. Trafikte tahminlerin olması, yaklaşık değerlerin alınması ve düzenleme katsayılarının kullanılması gibi kesinlik tanımlamayan hesaplamalar yapılmaktadır. Karayolu kapasitesi hesaplanırken de bu yaklaşımlardan yararlanılmaktadır.

Karayolunun kapasitesini sadece karayolu geometrik standartları etkilemez, bunun yanında sürücü davranışları, havanın yağışlı olması, yaya davranışları gibi sayısal olarak tanımlayamadığımız etkilerde bulunmaktadır. Bu nedenle bu değişkenlerin etkileri istatistiksel olarak incelenebilir.

Belirsizlik durumlarında en uygun yöntem küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olmaktadır [16]. Aristo mantığında kesinlik söz konusudur. Yani ele alınan değer 1 üyelik derecesi ile o kümenin elemanıdır veya 0 üyelik derecesi ile o kümenin elemanı değildir. Ancak, bulanık kümelerde birbirine geçişler yumuşak ve sürekli olmaktadır [15]. Yani bir bulanık küme, öğeleri birbirinden farklı üyelik derecelerine sahip elemanlardan meydana gelmektedir. Ayrıca bulanık kümenin herhangi bir öğesi başka bir kümenin de öğesi olabilmektedir [15].

Bulanık mantıkta bir küme değişik bulanık alt kümelere ayrılmaktadır. Örneğin, karayolunun boyuna eğiminin üyelik derecelerini atamak için genel olarak hafif, orta ve dik diye üç tane bulanık alt küme oluşturabiliriz. Karayolu eğiminin bulanık alt kümeleri örneği Şekil 1’de gösterilmektedir [3].



Şekil 1. Karayolu boyuna eğimi bulanık alt kümeleri

4. MODEL OLUŞTURULMASI

Karayolu geometrik standartlarının, karayolu kapasitesini nasıl ve ne kadar etkilediği konusunda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, karayolu kapasitesi konusunda hazırlanmış olan ve ülkemizde de kabul gören Highway Capacity Manual (HCM) rehber kitabı ve TS12008’deki sayısal veriler kullanılarak elde edilen değerler bu çalışma için kılavuz kaynak olarak kullanılmaktadır. Kılavuz kaynaklarda ele alınan değişkenlerin kapasiteyle olan ilişkileri ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Fakat bu çalışmada, karayolunun kapasitesini etkileyen değişkenler birlikte değerlendirilmekte ve değişkenlerin her bir değeri için kapasite değeri

kolay bir şekilde elde edilmektedir. Bu sebeple çalışmada, birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısallaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada amaç; kent karayolu geometrik standartlarının karayolunun kapasitesine etkisinin modellenmesidir. Bu nedenle, model oluşturmada değişken olarak; şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarı araç park sayısı (PAS) seçilmektedir. Bu değişkenlerin seçilmesinin ve sayısının az tutulmasının nedeni; yapılan literatür çalışmasında, seçilen bu değişkenlerle ilgili daha fazla veriye ulaşılmış olmasıdır. Modele gelecekte farklı değişkenler eklenerek (örneğin; şerit sayısı, yüzey koşulları, yoldaki denetim koşulları gibi) model geliştirilebilir.

Bu durumda oluşturulan bulanık model; şerit genişliği (ŞG), boyuna eğim (BE) ve yol kenarı araç park sayısı (PAS) olmak üzere üç girdiden oluşmaktadır. Modelin çıktısı ise pratik kapasite (PK) değeridir. Pratik kapasite: Trafikğin aşırı tıkanmalar ile kazalara sebep olmayacak, ayrıca sürücülerin hız, takip aralığı ve sollama gibi hususlarda taşıt yönetmeliğindeki davranışları normalin üzerinde sınırlandırmaya yol açmayacak bir yoğunlukta bulunması durumunda hakim yol ve trafik koşulları altında yolun bütününden veya bir şeridinden bir saatte geçebilen azami taşıt sayısıdır [9].

Model; iki şeritli, tek yönlü ve çıkış eğimli, B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) gibi iki farklı kent karayolu tipi için oluşturulmaktadır. Her iki yol tipi içinde girdi ve çıktı değişkenleri aynı alınmaktadır. Ancak her iki yol farklı kapasitelere sahip olduğundan, çıktının üyelik işlevleri farklı sınır değerlerine sahip olmaktadır.

Modelde birinci girdi şerit genişliği (ŞG) değişkenidir. İdeal koşullar için şerit genişliği 3.65 m olarak verilmektedir [4]. Bu nedenle şerit genişliğinin bu değerden yani 3.65m'den daha az olması durumunda kapasite azalacaktır. Şerit genişliğinin kapasiteye etkisi hakkında daha önce yapılmış çalışmalara dayanarak; şerit genişliği 3.65'den 2.75m'ye düştüğünde, kapasitenin de yaklaşık %30 azalacağını söylemek mümkündür.

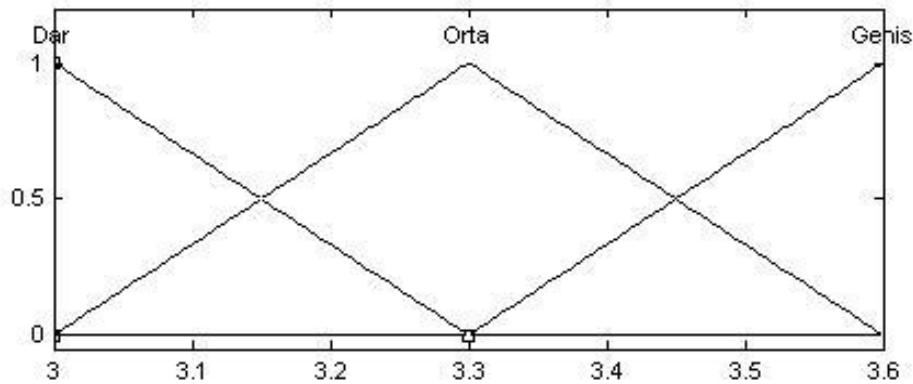
Kılavuz olarak alınan 2 şeritli tek yönlü kent içi yollarda pratik kapasite (oto/sa) değerleri Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 1'deki B (ana cadde, durma yasağı var ve eşdüzey kesişmeler az) ve C (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi) yol tipi durumlarının referans alınmasının nedeni ise, pratik kapasitede gerekli azaltmalar için, değişkenlerin bu modelde ayrıca girdi olarak verilmesidir.

Çizelge 1. Tek yönlü kentiçi yollarda pratik kapasite değerleri (oto/sa) [8]

Yol cinsi	Yol genişliği (m)								
	2 Şerit			3 Şerit			4 Şerit		
	6	6,5	7	9	10	11	12	13,5	14,5
A) Şehiriçi otoyol (ekspres yol, eşdüzey kesişme yok)			3000			4500			6000
B) Çok amaçlı yol (ana cadde, durma yasağı var, eşdüzey kesişmeler az)	2000	2200	2400	3000	3300	3600	4000	4400	4800

C) Çok amaçlı yol (cadde, bekleme ve park yasağı var, kavşakların kapasitesi iyi)	1300	1450	1600	2150	2400	2650	3000	3350	3700
D) 3. Derece yol (cadde, kapasiteyi azaltıcı park ve kavşak etkileri fazla)	800	950	1100	1650	1900	2150	2500	2800	3200

Bulanık modelde birinci girdi olarak alınan şerit genişliği (ŞG); dar, orta ve geniş olmak üzere üç bulanık alt küme ayrılmalıdır. Şekil 2 şerit genişliği bulanık alt kümesini göstermektedir. Şekil 2’de üyelik işlevi 1 olarak alınan 3m şerit genişliği bulanık ‘Dar’ alt kümesini, üyelik işlevi 1 olarak alınan 3.3m şerit genişliği bulanık ‘Orta’ alt kümesini ve üyelik işlevi 1 olarak alınan 3.6m şerit genişliği ise bulanık ‘Geniş’ alt kümesini oluşturmaktadır. Şerit genişliği bulanık alt kümelerinin üçgen ve birbirlerine eşit aralıklı alınmasının nedeni; literatüre dayanarak kılavuz alınan değerlere benzeyen sonuçlar elde etmeye çalışmak ve kişisel tercihlerin kullanılmasıdır.



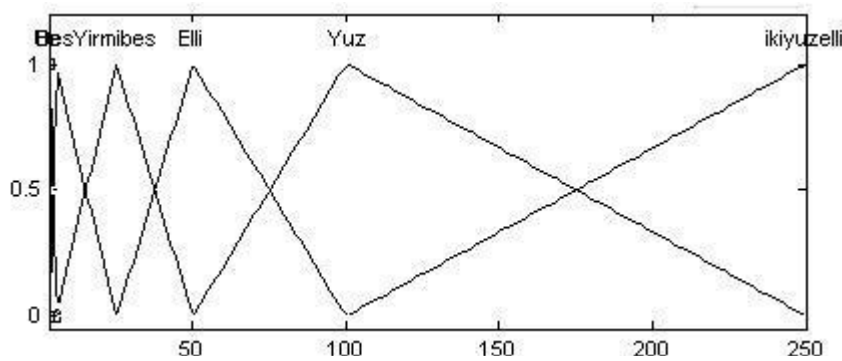
Şekil 2. Şerit genişliği (m)- 1.girdi

Modelde ikinci girdi yol kenarında park eden araç sayısı (PAS)'dır. Yapılan literatür çalışmasında yol kenarı engellerinin kapasiteye etkisi üzerinde verilere ulaşılmaktadır. Ancak, bu çalışma kentçi yolları esas aldığı için yan açıklık veya yol kenarı engeli yerine, yol kenarındaki araç parkının kapasiteye etkisinin değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu nedenle, yol kenarında park eden araçların kapasiteyi nasıl etkilediğini gösteren araştırmalar değerlendirilmektedir. Genel olarak, yol kenarında park etmiş araçların bulunması yol kenarı engeli olarak algılanmakta ve sürücülerin şerit ortalarına doğru kaçmalarına neden olmaktadır. Bu da şerit genişliğinin azalması gibi kapasiteyi azaltmaktadır. Ayrıca, park eden araçların park etmek için ya da park yerinden çıkmak için yaptıkları manevralar da trafik akımından ayrılma ve katılma gibi değerlendirilebilir. Çünkü bu manevralar sırasında, diğer park şeridine komşu şeritteki taşıtlar ya hızlarını azaltacak ya da tamamen durmak durumunda kalacaklardır. Çizelge 2’de 1.5km’lik karayolu boyunca, yol kenarında park eden araçların kapasiteyi ne kadar azalttığı görülmektedir. Oluşturulan modelde, park eden araç sayısının kapasiteye etkisi değerlendirilirken Çizelge 2 referans olarak alınmaktadır. Fakat oluşturulan modelde yol tipi tek yönlü olduğundan ve park sadece tek yönde olduğundan Çizelge 2’de verilen park halindeki araç sayısının yarısı dolayısıyla kapasitedeki azaltma miktarının da yarısı alınarak kılavuz değerler elde edilmektedir.

Çizelge 2. Yol kenarında park eden araç sayısı ve kapasite azalması arasındaki ilişki [8]

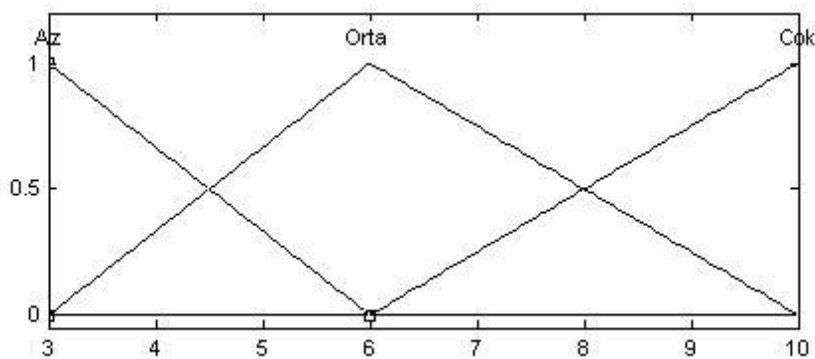
1.5km yol kesiminde iki yönde park eden araç sayısı (adet)	5	10	50	100	200	500
Kapasite azalması (oto/sa)	200	275	475	575	675	800

Çizelge 2 incelendiğinde, 1.5 km'lik yol boyunca park eden araç sayısı 3 olduğunda, kapasitede yaklaşık 100 oto/sa azalma olmaktadır. Park eden araç sayısı arttıkça, kapasitedeki azalma aynı oranda olmamaktadır. Bu nedenle, park eden araç sayısı referans alınan Çizelge 2'deki değerlere benzetmek için altı bulanık alt kümeye (Üç, Beş, Yirmibeş, Elli, Yüz, İkiyüzeli) ayrılmaktadır (Şekil 3). Bulanık alt kümelerin sözel adlandırmaları, kişisel tercihtir ve referans alınan değerlere benzetmek amacıyla benzer seçilmiştir.



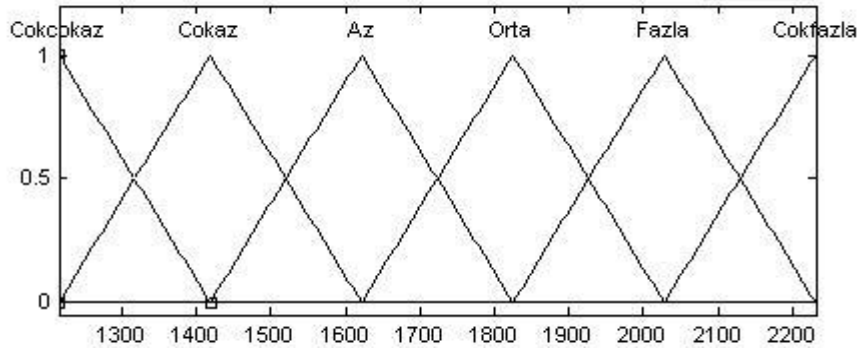
Şekil 3. Park eden araç sayısı (araç/1.5km) – 2.girdi

Modeldeki üçüncü ve son girdi yolun boyuna eğimidir (BE). Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, genel olarak; karayolunun çıkış eğimli olmasının kapasiteyi olumsuz etkilediği görülmektedir. Şehirlerarası karayollarında yolun çıkış eğimli kesimlerinde kapasitenin azalmasını önlemek amacıyla tırmanma şeritleri uygulanmaktadır. Kent yollarında böyle bir uygulama yoktur. Kentiçi karayollarında daha dik boyuna eğimler kullanılmaktadır. Kentiçi karayollarında boyuna eğimin kapasiteyi nasıl etkilediği konusunda yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak, model için referans alınan değerler her %1'lik çıkış eğimi için kapasitenin %3 azaltılmasıdır [8]. Ya da iniş eğimi olması durumunda kapasite arttırılacaktır. Şekil 4' de boyuna eğim üç tane bulanık alt kümeye ayrılmaktadır. 'Az' bulanık alt kümesinde %3, 'Orta' bulanık alt kümesinde %6, 'Çok' bulanık alt kümesinde ise %10 çıkış eğimi için üyelik işlevi 1 alınmaktadır.

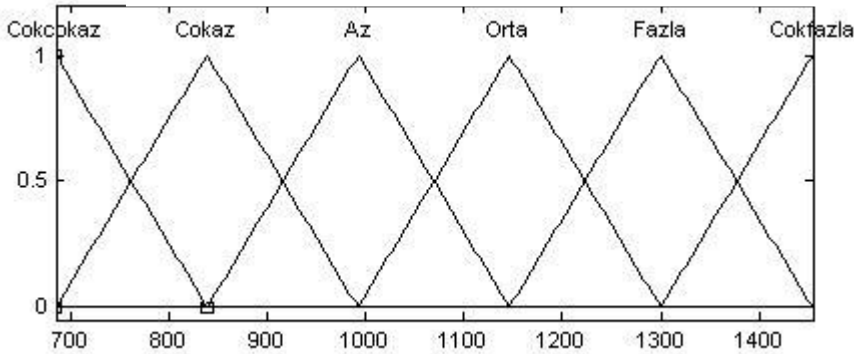


Şekil 4. Boyuna eğim(%) – 3.girdi

Her iki yol tipi içinde oluşturulan modelin çıktısı pratik kapasitedir (PK) (Şekil 5 ve Şekil 6). Sadece yol tiplerinin farklı kapasitelere sahip olmaları nedeniyle üyelik işlevlerinin sınır değerleri farklıdır.



Şekil 5. B yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı



Şekil 6. C yol tipi için pratik kapasite (oto/sa) – çıktı

Çıktıda pratik kapasite altı bulanık alt kümeye ayrılmaktadır (Çok çok az, Çok az, Az, Orta, Fazla, Çok fazla). Çıktının eşit üçgen altı bulanık alt kümeye ayrılmasının nedeni kılavuz alınan değerlere benzetmektir. Bulanık alt küme sayısını azaltmak ve modele yeni değişkenler eklendiğinde düzenlemek mümkün olacaktır.

Her iki yol tipi içinde üyelik işlevleri belirlendikten sonra, ayrı ayrı 54 tane EĞER-İSE bulanık kuralları ‘ve’ bağlacı kullanılarak oluşturulmuştur. Her iki yol tipi için oluşturulan bulanık kurallara örnekler Çizelge 3 ve Çizelge 4’te verilmektedir. Ayrıca elde edilen bu bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmektedir. Kılavuz pratik kapasite değerleri, her bir kural için, Çizelge 1 ve Çizelge 2’den alınan değerlerden, boyuna eğitimdeki azaltmaların yapılması sonucu elde edilen değerlerdir.

Çizelge 3. B tipi yol için modelin bulanık kuralları

Kural	ŞG(m)	ve	PAS(Adet)	ve	BE(%)	ise	PK(oto/saat)
1	Dar	ve	Üç	ve	Az	ise	Orta
3	Dar	ve	Yirmi beş	ve	Az	ise	Az
11	Dar	ve	Yüz	ve	Orta	ise	Çok Az
17	Dar	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
19	Orta	ve	Üç	ve	Az	ise	Fazla
37	Geniş	ve	Üç	ve	Az	ise	Çok Fazla

Çizelge 4. B tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi

Kural	ŞG(m)	ve	PAS(Adet)	ve	BE(%)	ise	PK(oto/saat)	KPK(oto/saat)
1	3	ve	3	ve	3	ise	1820	1843
3	3	ve	25	ve	3	ise	1620	1712
11	3	ve	100	ve	6	ise	1420	1465
17	3	ve	100	ve	10	ise	1280	1265
19	3.3	ve	3	ve	3	ise	2030	2037
37	3.6	ve	3	ve	3	ise	2170	2231

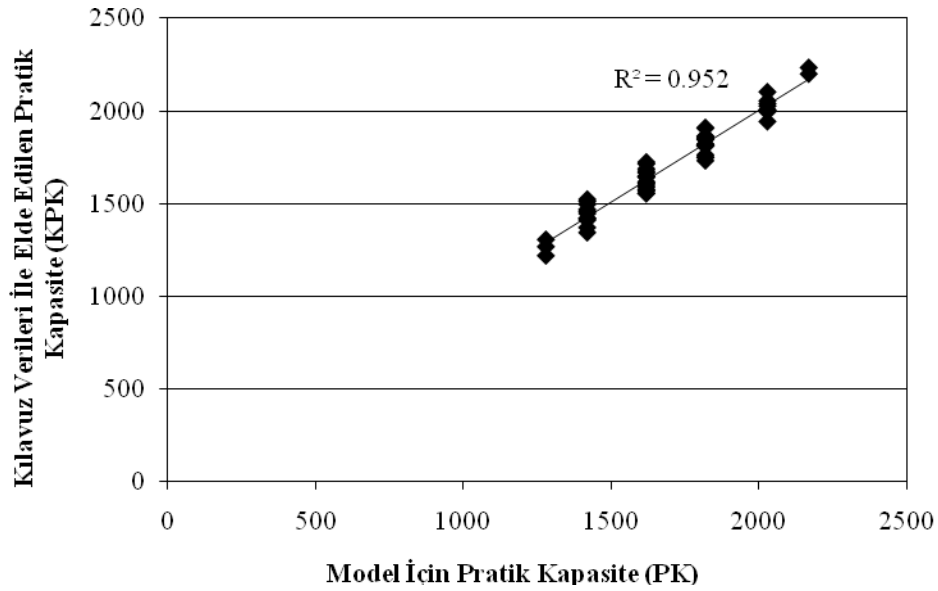
Çizelge 5. C tipi yol için modelin bulanık kuralları

Kural	ŞG(m)	ve	PAS(Adet)	ve	BE(%)	ise	PK(oto/saat)
2	Dar	ve	Beş	ve	Az	ise	Orta
4	Dar	ve	Elli	ve	Az	ise	Az
10	Dar	ve	Elli	ve	Orta	ise	Çok Az
17	Dar	ve	Yüz	ve	Çok	ise	Çok Çok Az
19	Orta	ve	Üç	ve	Az	ise	Fazla

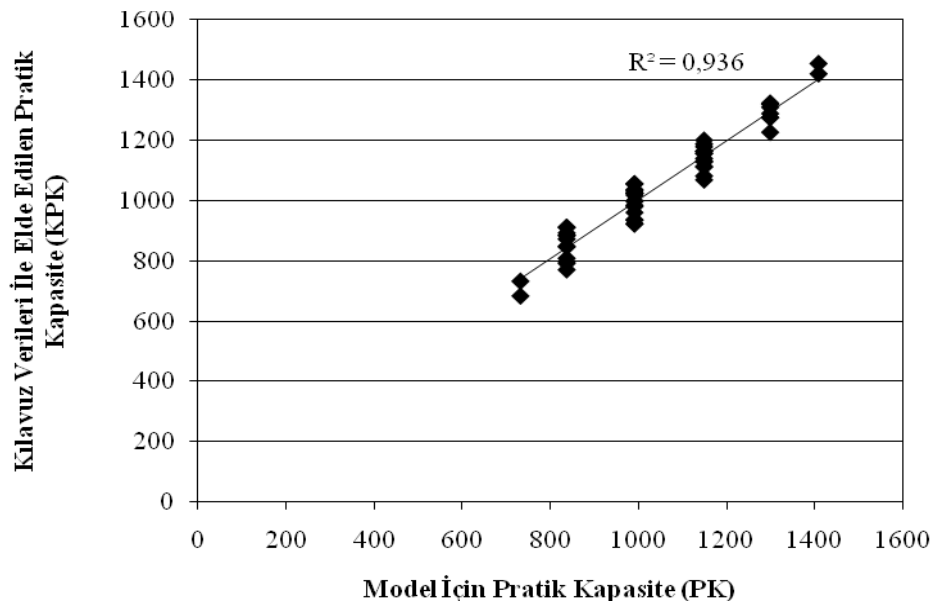
Çizelge 6. C tipi yol için bulanık kuralların sayısal örneklendirilmesi

Kural	ŞG(m)	ve	PAS(Adet)	ve	BE(%)	ise	PK(oto/saat)	KPK(oto/saat)
2	3	ve	5	ve	3	ise	1150	1130
4	3	ve	50	ve	3	ise	992	985
10	3	ve	50	ve	6	ise	838	893
17	3	ve	100	ve	10	ise	733	733
19	3.3	ve	3	ve	3	ise	1300	1310

Kılavuz verileri ile elde edilen pratik kapasite (KPK) değerleri ile model tarafından bulunan pratik kapasite değerleri (PK) arasındaki R- Kare dağılımı B sınıfı yollar için 0.952, C sınıfı yollar için de 0.936 olarak elde edilmektedir. Bu dağılımlar sırası ile Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. B yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı



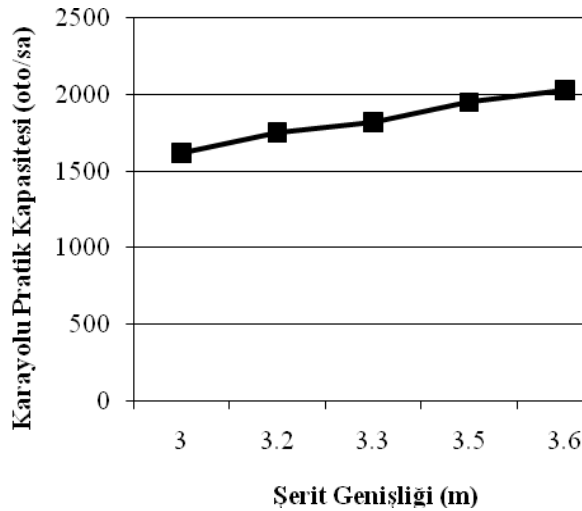
Şekil 8. C yol tipi için model sonuçlarının R-Kare dağılımı

Modeldeki her bir kural için bütün değişkenler sabit alınarak diğer değişkenlerin pratik kapasiteyle olan ilişkisi elde edilebilmektedir. Bu değişimleri göstermek için binlerce sayısal örnekler verilebilir. Ancak, burada sadece değişkenlerle pratik kapasite arasındaki ilişkiyi görebilmek için birkaç örnek gösterilmektedir. Bu örneklerde değişkenlerden ikisi sabit alınarak diğer değişkene farklı sayısal değerler verilmekte ve pratik kapasite ile ilişkileri grafikte gösterilmektedir.

Örneğin çizelge 7’de B tipi yolda, park eden araç sayısı (PAS) ve boyuna eğim (BE) girdileri sabit değerler alınarak ve şerit genişliği (ŞG) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite değerleri bulunmaktadır. Çizelgedeki bu verilerin grafik olarak gösterimi ise Şekil 9’da yer almaktadır. Şekil 9 incelendiğinde, boyuna eğimin %3, yol kenarı araç park sayısının da 25 olması durumunda; şerit genişliği arttıkça pratik kapasite değerleri de artmaktadır.

Çizelge 7. ŞG-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

ŞG(m)		PAS(Adet)		BE(%)		PK(oto/saat)
3	ve	25	ve	3	ise	1620
3.2	ve	25	ve	3	ise	1750
3.3	ve	25	ve	3	ise	1820
3.5	ve	25	ve	3	ise	1950
3.6	ve	25	ve	3	ise	2030

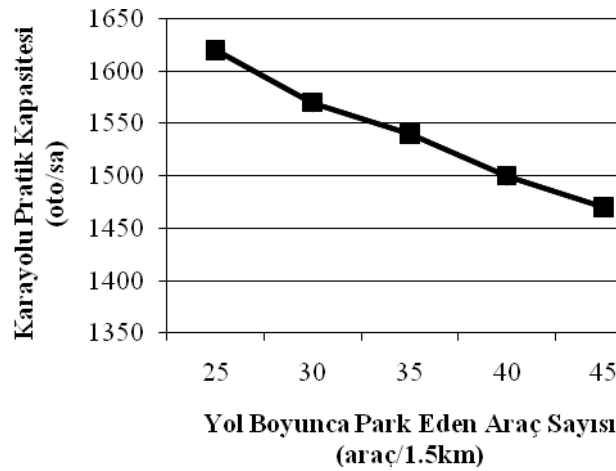


Şekil 9. Şerit genişliği-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

B tipi yol için bir başka örnekte çizelge 8’de gösterilmektedir. Çizelge 8’de şerit genişliği (ŞG) ve boyuna eğim (BE) girdileri sabit değerler alınarak ve park eden araç sayısı (PAS) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite (PK) değerleri bulunmaktadır. Çizelge 8’deki bu verilerin grafik gösterimi ise Şekil 10’da yer almaktadır. Şekil 10 incelendiğinde, şerit genişliğinin 3m, boyuna eğimin %6 olması durumunda; park eden araç sayısı arttığında pratik kapasite değeri düşmektedir.

Çizelge 8. PAS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

ŞG(m)		PAS(Adet)		BE(%)		PK(oto/saat)
3	ve	25	ve	6	ise	1620
3	ve	30	ve	6	ise	1570
3	ve	35	ve	6	ise	1540
3	ve	40	ve	6	ise	1500
3	ve	45	ve	6	ise	1470

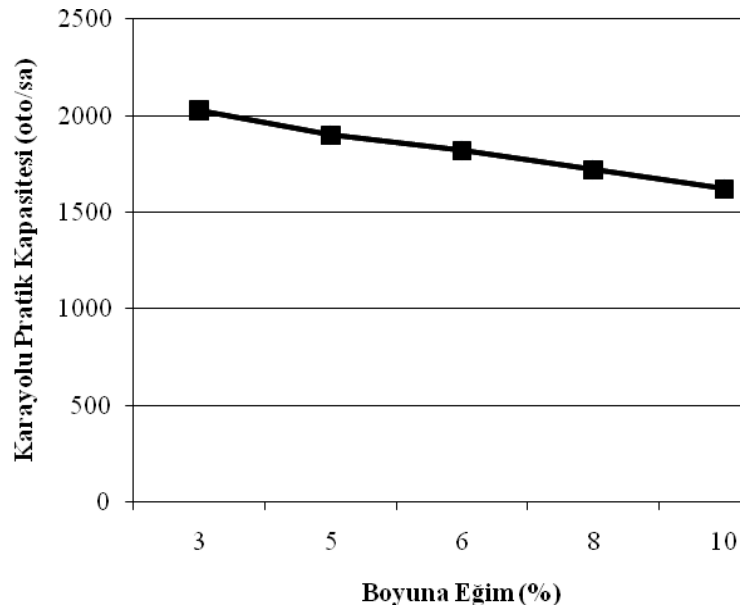


Şekil 10. Yol boyunca park eden araç sayısı-karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

Diğer bir sayısal örnek ise B tipi yol için çizelge 9’da gösterilmektedir. Çizelge 9’da şerit genişliği (ŞG) ve park eden araç sayısı (PAS) girdileri sabit değerler alınarak ve boyuna eğim (BE) girdisinin değerleri değiştirilerek pratik kapasite (PK) değerleri bulunmaktadır. Çizelge 9’daki bu verilerin grafik gösterimi ise Şekil 11’de yer almaktadır. Şekil 11 incelendiğinde, şerit genişliğinin 3.6m, park eden araç sayısının 50 olması durumunda; boyuna eğim arttığında pratik kapasite değerinin düştüğü görülmektedir.

Çizelge 9. BE-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

ŞG(m)		PAS(Adet)		BE(%)		PK(oto/saat)
3.6	ve	50	ve	3	ise	2030
3.6	ve	50	ve	5	ise	1900
3.6	ve	50	ve	6	ise	1820
3.6	ve	50	ve	8	ise	1720
3.6	ve	50	ve	10	ise	1620



Şekil 11. Boyuna eğim- karayolu pratik kapasitesi ilişkisi

B tipi yolda olduğu gibi C tipi yolda da benzer örnekler yapılabilir. Ayrıca bütün değişkenler sabit alınarak diğer değişkenin pratik kapasiteyle olan ilişkisi elde edilebilir ve bu değişimleri göstermek için binlerce sayısal örnek verilebilir. Bu nedenle örnekleri değişik biçimde elde edip incelemek mümkündür.

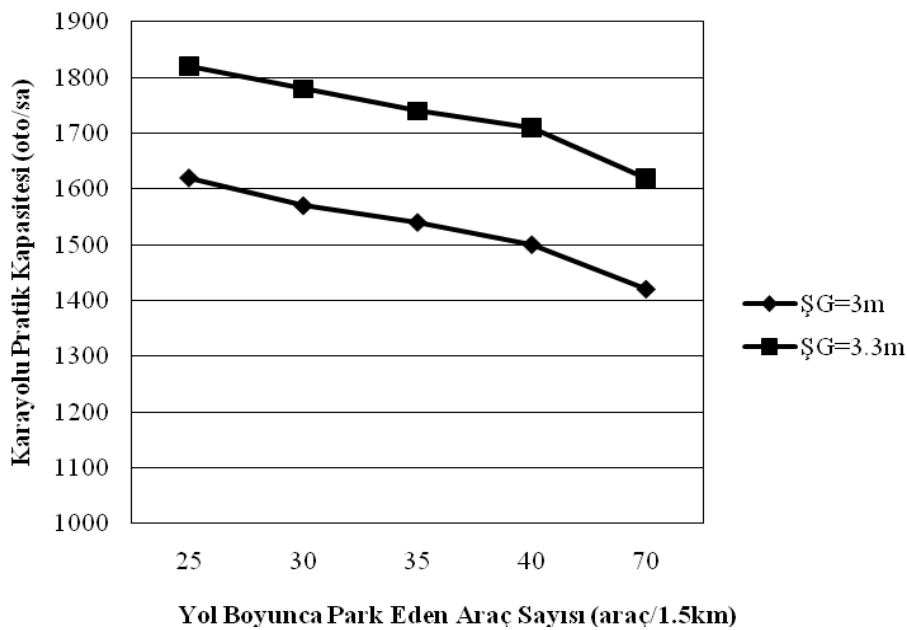
Örneğin B tipi yolda farklı şerit genişlikleri için, park eden araç sayısı ile pratik kapasite arasındaki ilişkiyi gösteren değerler Çizelge 10 ve Çizelge 11’de verilmektedir. Tüm değişken değerleri sabit alınarak, iki farklı şerit genişliği ile pratik kapasite arasındaki ilişkinin karşılaştırılması ise Şekil 12’de gösterilmektedir. Şerit genişliği 3.3m iken park eden araç sayısının 70 olması durumunda elde edilen pratik kapasite değeri, şerit genişliği 3m iken 25 tane park eden araç olması durumunda elde edilmektedir.

Çizelge 10. PAS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

ŞG(m)		PAS(Adet)		BE(%)		PK(oto/saat)
3	ve	25	ve	6	ise	1620
3	ve	30	ve	6	ise	1570
3	ve	35	ve	6	ise	1540
3	ve	40	ve	6	ise	1500
3	ve	70	ve	6	ise	1420

Çizelge 11. PAS-PK (diğer değişkenler sabit) değişim çizelgesi

ŞG(m)		PAS(Adet)		BE(%)		PK(oto/saat)
3.3	ve	25	ve	6	ise	1820
3.3	ve	30	ve	6	ise	1780
3.3	ve	35	ve	6	ise	1740
3.3	ve	40	ve	6	ise	1710
3.3	ve	70	ve	6	ise	1620



Şekil 12. Farklı şerit genişlikleri için, Araç sayısı ve pratik kapasite karşılaştırması

5. SONUÇ

Kent karayollarındaki trafik sorunları dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli ve çözülmesi gereken problemlerin başında gelmektedir. Bu nedenle karayollarından en verimli şekilde yararlanılması gerekmektedir. Bunu sağlamanın yolu ise; o karayolunun kapasitesinde çalışmasının sağlanmasıdır.

Kent karayollarının kapasitesi, şerit genişliği, şerit sayısı, boyuna eğim, yan açıklık, yüzey koşulları, yaya kaldırımı ve orta refüj yüksekliği, yardımcı şeritler, yoldaki trafik özellikleri ve denetim koşulları gibi birçok değişkene ve ölçülemeyen yaya ve sürücü davranışlarına bağlıdır. Karayolunun kapasitesi bu değişkenlerin farklı değerleri için farklı sonuçlar vermektedir.

Şerit genişliği için ideal değer 3.65m olarak verilmektedir. Ancak, bu genişlikten sonraki değerler için kapasite değişmemektedir. Bu nedenle, karayolu tasarımında şerit genişliğini 3,65m daha fazla attırmak yerine olanak varsa şerit sayısının artırılması kapasiteyi artıracaktır.

Boyuna eğim, karayollarının kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Geçmiş çalışmalar, kent yollarında boyuna eğimin %10 olması durumunda kapasitenin yaklaşık %24 oranında düştüğünü göstermektedir.

Kent yollarında özellikle park şeritleri iyi tasarlanmalı ve park etme kuralları benimsenmelidir. Çünkü park halindeki araçlar karayolunun kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Kent yollarında park halindeki araçlar sürücüler tarafından yan engel olarak algılanmaktadır. Sürücüler bu engellerden şerit içine doğru kaçarak kapasite azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı park şeritlerinin iyi bir şekilde düzenlenmesinde ve sürücülere park yapma kurallarının benimsenmesinde yarar olacaktır.

Bu çalışma kapsamında yukarıda sayılan değişkenlerden şerit genişliği, boyuna eğim ve yol kenarında park eden araç sayısı dikkate alınmaktadır. Bu değişkenlerin alınmasının nedeni; yalnız bu değişkenler ile ilgili sayısal verilere ulaşılmış olmasıdır. Çalışmada, birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısallaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak kent karayollarında kapasiteye; şerit genişliğinin, yol kenarı araç parkının ve eğimin birlikte olan etkisi modellenmiştir. Karayolu kapasitesini birçok değişken etkilemektedir. Bu nedenle bu modele gelecekte farklı değişkenler eklenebilir. Örneğin; şerit sayısı, yüzey koşulları, yoldaki denetim koşulları gibi değişkenler ile model geliştirilebilir.

Oluşturulan bu modelden elde edilen değerler, kılavuz kaynaklardaki değerlere oldukça yakın elde edilmektedir. Kılavuz verileri ile elde edilen pratik kapasite (KPK) değerleri ile model tarafından bulunan pratik kapasite değerleri (PK) arasındaki R- Kare dağılımı B sınıfı yollar için 0.952, C sınıfı yollar için de 0.936 olarak elde edilmektedir.

Modelin getirdiği yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kılavuz kaynaklarda ele alınan değişkenlerin kapasiteyle olan ilişkileri ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Fakat bu çalışmada, karayolunun kapasitesini etkileyen değişkenler birlikte değerlendirilmekte ve değişkenlerin her bir değeri için kapasite değeri kolay bir şekilde elde edilmektedir. Bu sebeple çalışmada, birden fazla belirsizlik içeren değişkenlerin, birbirlerine etkilerini sayısallaştırabilen bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır.
- Karayolu kapasitesini belirlemede, sayısal değerleri kullanmadan sadece bulanık kavramları kullanarak sorunlara çözüm getirilmektedir. Böylece model geliştirilmek istendiğinde, sayısal olarak tanımlamakta zorluk çekilen değişkenler, bulanık kavramlar yardımı ile modele eklenebilir ve istenilen sonuçlara ulaşılabilir.
- Mevcut kent karayollarının geometrik değişkenleri, karayolu kapasitesi bakımından değerlendirilebilir ve karayolunun pratik kapasitesini etkileyen değişken bulunabilir.
- Yeni bir kent karayolu tasarlanacağına, değişkenlerin farklı değerleri için pratik kapasitenin ne olacağı hesaplanabilir.
- Ulaştırma yatırımları pahalıdır. Bu nedenle kapasitenin en verimli şekilde kullanılması için geometrik standartların ne olması gerektiği belirlenerek ülke ekonomisine kazanç sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Yılmaz, “Karayolu Geometrik Standartları ile Karayolu Güvenliği ve Kapasitesi İlişkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [2] H. A. Adler, “Economic Appraisal of Transportation Projects”, World Bank, E.D.I. Series in Economic Development, January, 235 p., 1987.
- [3] N. Bağırhan, “Şehirlerarası Karayollarında Trafik Güvenliği Tahmini”, Doktora Tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 170s., 2006.
- [4] Transportation Research Board, “Highway Capacity Manual (HCM)”, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [5] “Highway Capacity Manual”, (Çev. C.C. Yalgın), Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 523s., 1965.
- [6] H.J.W. Leong, “Distiribution and Trend of Free Speed on Two Lane Two Way Rural Highways in New South Wales”, Proc. 4th ARRB Conf., Part 1, Australian Road Research Board, 791-814, 1968.
- [7] S. Chandra, U. Kumar, “ Effect of Lane Width on Capacity Under Mixed Traffic Conditions in India”, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 155-160, 2003.
- [8] TS 12008, “Şehir içi Yollar-Trafik Hizmet Seviyesi ve Yol Kapasiteleri”, TSE, 1996.
- [9] N. Yayla, “ Karayolu Mühendisliği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 285s., 2006.
- [10] N.K. Ensari, “ Yol Geometrik Standartlarının Yol Güvenliğine ve Kapasiteye Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
- [11] P. Chakroborty, S. Kikuchi, , “Application of Fuzzy Set Theory to the Analysis of Capacity and Level of Service of Highways”, IEEE, 146-150,1990
- [12] Y.Ş. Murat, “Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi” IMO Teknik Dergi, 2006 3903-3916, Yazı 258, 2006
- [13] N. Uludağ, 2005, Ulaşım Ağlarında Rota Seçim Probleminin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, PAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s.,Denizli, 2005
- [14] Y.Ş. Murat, “ Ulaştırma-Trafik Mühendisliğinde Yeni Yöntemler: Bulanık Mantığı Tekniği Uygulamaları”, TMH,Sayı-429,53-59, 2004
- [15] Z. Şen, “ Mühendislikte Bulanık Mantık İle Modelleme Prensipleri”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 191s., 2004.
- [16] L. Zadeh, “ Fuzzy Sets, Information and Control”, 8, 338-353, 1965.