



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi

Evaluation of the effect of roundabouts' geometric elements on intersection safety in the light of literature

Yazar(lar) (Author(s)): Yağmur ÖZİNAL¹, Volkan Emre UZ²

ORCID¹: 0000-0002-8083-6494

ORCID²: 0000-0002-9328-4756

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özinal Y. ve Uz V. E., “Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(1): 283-297, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.630947

Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi

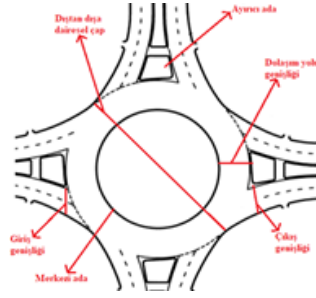
Evaluation the Effect of Roundabouts' Geometric Elements on Intersection Safety in the Light of Literature

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Dönel kavşak geometrik elemanları kavşağın işleyiş, kapasite ve güvenliği üzerinde önemli rol oynamaktadır./ Geometric elements of a roundabout play an important role on its operation, capacity and safety.
- ❖ Ülkemiz yol ve sürücü karakteristiğine uygun dönel kavşak geometrik tasarım standardının hazırlanması gerekmektedir./ A roundabout geometric design standard should be prepared in accordance with the road and driver characteristics of our country.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Trafik güvenliği için geometrik elemanlar birbirleriyle etkileşim içinde ve uygun fiziki boyutlarda tasarlanmalıdır./ For traffic safety, geometric elements should be designed in interaction with each other and in suitable physical dimensions.



Şekil 2. Dönel kavşak geometrik elemanları / Figure. 2. Geometric elements of roundabout

Amaç (Aim)

Dönel kavşak geometrik elemanlarının, güvenlik performanslarıyla olan ilişkilerini bugüne kadar yapılmış araştırmalar ışığında ortaya koymaktır./ To put forth the relationship between roundabout geometric elements and safety performance in light of the researches done so far.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bu makalede, dönel kavşakların geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar ve bazı ülkelerin standartlarında yer alan tasarım kriterleri incelenmiştir./ In this article, the effects of geometric elements of roundabouts on intersection safety and the design criteria included in the guidelines of some countries are investigated.

Özgünlük (Originality)

Ülkemizde bu konuyla ilgili olarak oldukça kısıtlı sayıda çalışmanın yapılmış olması motivasyon kaynağı olmuştur./ Existing of very limited studies in our country about this subject has been the motivation of our study.

Bulgular (Findings)

Ülkemizdeki dönel kavşakların hangi standart/kılavuzlara bağlı olarak yapıldığı ile ilgili bilgi yetersizliği olduğu gözlenmiştir./ It is observed that there is a lack of information about which roundabouts are built depending on the standards/guidelines in our country.

Sonuç (Conclusion)

Dönel kavşaklardaki güvenliğin sağlanabilmesi için geometrik elemanların birbirleriyle etkileşim içinde ve uygun fiziki boyutlarda tasarlanmalı ve ülkemiz koşullarına özgü tasarım standart/kılavuzu hazırlanmalıdır. / To ensure safety at roundabouts geometric elements should be designed in interaction with each other and proper physical dimensions and the design standard/manual specific to the conditions of our country should be prepared.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi

Derleme Makalesi / Review Article

Yağmur ÖZİNAL¹, Volkan Emre UZ^{2*}

¹Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, AAT Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Türkiye

(Geliş/Received : 08.10.2019 ; Kabul/Accepted : 25.03.2020)

ÖZ

Ulaşım sistemi içerisindeki trafik akımının güvenli ve etkin biçimde işlenmesi üzerinde büyük rolü bulunan kavşaklar, faaliyet alanı, geometrik özellikleri ve denetim şekillerine göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Kontrollü eş düzey kavşak kategorisindeki dönel kavşaklar, trafik akımının merkezi ada etrafında yönlendirildiği ve ada içerisindeki araçların ilk geçiş hakkına sahip olduğu kavşak tipidir. Dönel kavşakların her bir geometrik elemanı kavşağın işleyiş, kapasite ve güvenliği üzerinde rol oynamaktadır. İyi tasarlanmış bir dönel kavşak, araçların dolaşım yolu boyunca hızlarının sabit kalmasını sağlayarak kavşak güvenliğinin optimize edilmesine yardımcı olur. Bu makalede, dönel kavşakların geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar derlenmiştir. Dönel kavşakların her bir geometrik elemanın literatürde yer alan çalışmalar ışığında kavşak güvenliğiyle olan ilişkileri ve bazı ülkelerin standart/kılavuzlarında yer alan tasarım kriterleri incelenmiştir. Bu çalışmayla amaçlanan, yapılmış çalışmalar doğrultusunda, dönel kavşak geometrik elemanlarının tasarımlarının kavşak güvenliği açısından hayati önem taşıdığını ortaya koymaktır. Ülkemizde bu konuyla ilgili olarak daha önce yapılmış detaylı çalışmalara rastlanılmaması çalışmamızın motivasyon kaynağı olmuştur. Ülkemizdeki dönel kavşakların hangi standart/kılavuzlara bağlı olarak yapıldığı ile ilgili bilgi yetersizliği olduğu da görülmektedir. Çalışma sonucunda dönel kavşaklardaki güvenliğin sağlanabilmesi için geometrik elemanların birbirleriyle etkileşim içinde ve uygun fiziki boyutlarda tasarlanması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca trafik güvenliği bakımından ülkemizde bu konuyla ilgili ivedilikle çalışmalara başlanması ve ülkemiz koşullarına özgü tasarım standart/kılavuzu hazırlanması gerektiği ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dönel kavşak, kavşak geometrisi, güvenlik, geometrik tasarım.

Evaluation the Effect of Roundabouts' Geometric Elements on Intersection Safety in the Light of Literature

ABSTRACT

Intersections, which have a great role in the safe and effective operation of traffic in the transportation system, are categorized according to their grade level, geometric properties, and control type. A roundabout is the type of grade level intersections, in which vehicle passages around the island are provided through circulatory roadway and vehicles gives priority to the traffic around the island. Each geometric element of roundabouts plays a role in the operation, capacity and safety of the roundabout. A well-designed roundabout helps optimize intersection safety by ensuring that vehicles' speeds remain constant along the circulatory roadway. This article examines the effects of geometric elements of roundabouts on intersection safety. In the light of the studies in the literature each geometric element of the roundabouts, the relationship with the intersection safety and the design criteria included in the standard/guidelines of some countries are investigated. The aim of this study is to demonstrate that the designs of roundabouts geometric elements are of crucial importance in terms of intersection safety. The lack of detailed studies on this subject in our country has been the motivation of our study. It is also seen that there is a lack of information about which roundabouts are built depending on the standards/guidelines in our country. As a result of the study, it was stated that geometric elements should be designed in roundabouts with each other and proper physical dimensions to ensure safety at roundabouts. In addition, it is stated that in terms of traffic safety, work on this subject should be started immediately and the design standard/manual specific to the conditions of our country should be prepared.

Keywords: Roundabout, roundabout geometry, safety, geometric design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karayolu ulaşımı, hızlı nüfus artışına paralel olarak artan araç sahipliğinin trafikte meydana getirdiği tıkanıklık, gecikme, ölümlü ve yaralanmalı kazalar gibi nedenlerden

dolayı, günlük yaşamımızda giderek büyüyen bir problem haline gelmiştir. Özellikle büyükşehirlerde artan trafik yoğunluğunun meydana getirdiği ekonomik ve çevresel kayıplar göz önüne alındığında, trafik problemlerinin odağının kavşak noktaları olduğu görülmektedir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : vemreuz@gmail.com

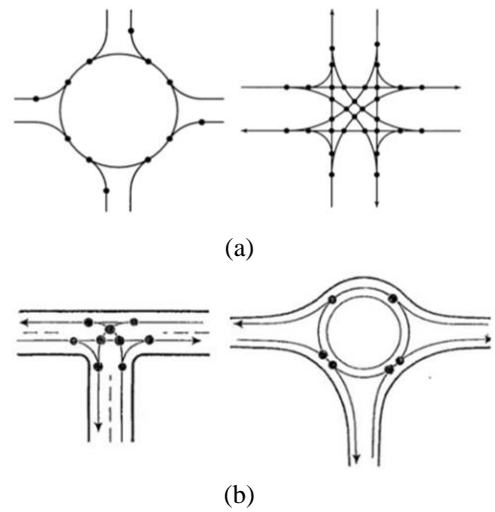
Farklı yönlerden gelen trafik akımlarının kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği kilit noktalar olan kavşaklar, trafik akımının güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan yol ağı elemanlarıdır. Tasarım ve türlerine bağlı olarak yolun hız, kapasite, güvenlik ve işletme maliyeti gibi özelliklerini etkileyen kavşaklar, karayollarının en önemli unsurlarından sayılmaktadır. Kavşak noktaları, trafiğin karşılaştığı yani çakıştığı ve bir bakıma kaza oluşma potansiyelini arttıran alanlar olmasından dolayı aynı zamanda kritik noktalar olmaktadır [1-4]. Ulusal ve uluslararası trafik kaza kayıtlarına bakıldığında kavşak noktalarının potansiyel risk taşıdığı görülmektedir. Yapılmış olan istatistiksel çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde ölümlü ve yaralanmalı kazaların %50'sinden fazlasının, Avrupa ülkelerinde ise trafik kazalarının ortalama %27'si ve ölümlü kazaların ortalama %10'unun kavşaklarda meydana geldiğini göstermektedir [5-7]. Ülkemiz karayolu ulaşım ağına ölümlü, yaralanmayla veya maddi hasarla sonuçlanan trafik kazalarına ait veriler incelendiğinde, kazaların %50'sinin şehir içi, %30'unun ise şehirlerarası kavşaklarda meydana geldiği görülmektedir [8]. Diğer araştırmalar tüm kavşak noktalarındaki ölümlü ve yaralanmalı kazaların %93'ünün şehir içinde bulunan kavşak noktalarında meydana geldiğini göstermektedir. 2012 yılına ait ölümlü ve yaralanmalı kaza verileri incelendiğinde ise kazaya sebebiyet veren sürücü kusurlarının %14,9'unun kavşaklardaki geçiş önceliği kuralına uyulmamasından kaynaklandığı görülmektedir. Yine bu yıla ait veriler doğrultusunda kavşaklardaki geçiş önceliği kuralı ihlalinden dolayı oluşan kazaların %94'ünün kent içinde, %6'sının kırsal bölgelerde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kentsel alanlarda meydana gelen bütün ölümlü ve yaralanmalı kazaların %45'i kavşaklarda oluşurken, bu kazalardaki ölüm oranları kentsel alandaki trafik ölüm oranlarının %27'sini oluşturmaktadır [9]. Kaza oranları da dikkate alındığında, kavşakların trafik güvenliği için önemli noktalar olduğu görülmektedir. Bu noktaların tasarım, planlama ve inşaat aşamalarının uygun şekilde yapılması hayati önem taşımaktadır.

Ulaşım sistemi içerisindeki trafik akımının güvenli ve etkin biçimde işlemesi üzerinde büyük rolü bulunan kavşaklar, faaliyet alanı, geometrik özellikleri ve denetim şekillerine göre değişkenlik göstermekte ve farklı kategorilere ayrılmaktadır. Kontrollü eş düzey (hemzemin) kavşak kategorisinde bulunan dönel kavşaklar (sinyalize olmayan), trafik akımının merkezi ada etrafında yönlendirildiği ve ada içerisinde bulunan araçların ilk geçiş hakkına sahip olduğu kavşak tipi olarak tanımlanmaktadır. Dönel kavşak yaklaşımlarında bulunan uyarı levhaları sürücülerini araçlarının hızlarını düşürmeye zorlar ve böylelikle ada etrafında seyreden araçlara geçiş imkânı sunulmuş olur. Geçiş önceliği kuralı, dönel kavşaktaki trafiğin sinyalizasyon veya farklı bir kontrol türüne gerek kalmadan, sürücülerin birbirlerine yol verme prensibi ile trafiğin etkin ve güvenli bir şekilde akmasına olanak sağlamaktadır. İlk olarak 1960'larda "ada etrafında dönen araca yol ver"

şeklinde Birleşik Krallık' ta uygulanmaya başlamış ve o zamandan beri dünya çapında kabul görmüş olan bu kural yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir [10].

Dönel kavşaklardaki düşük işletim hızları kaza sayısı ve şiddetinin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bu sebeple dönel kavşaklar, diğer geleneksel kavşak türleri ile karşılaştırıldığında ölümlü ve yaralanmalı kaza oranlarındaki düşüklük, sinyalizasyon sürelerinden doğan gecikme ve kuyruklanmaların az olması, araçların dur-kalk kaynaklı yakıt tüketiminde ve buna bağlı olarak hava kirliliğinde azalma gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Geleneksel kavşak türlerinde meydana gelen sola dönüşlerdeki kafa kafaya çarpışma veya dik açılı çarpışma gibi tehlikeli çarpışma türleri dönel kavşaklarda, kesişimin merkez ada etrafında sirkülasyona dâhil olması sebebiyle, ortadan kalkmaktadır. Elvik vd. [2] çalışmalarında dönel kavşakları daha güvenli yapan temel nedenleri: kesişen trafik akımı sayısının daha az olması, kavşak kollarının dik kesişimleri engellemesi, araç hızlarının düşük oluşu ve kavşak adası içindeki sürücünün sadece sağ tarafını kontrol ederek kavşağı kontrol edebiliyor olması şeklinde açıklamıştır.

Geleneksel hemzemin kavşaklarla kıyaslandığında, çakışmaları azaltması veya ortadan kaldırması ve kavşak giriş-çıkışlarında araç hızlarını düşürmeye teşvik etmesi gibi performans özellikleri dönel kavşakları güvenlik bakımından üstün kılmaktadır [11]. Dönel kavşaklarda yer alan merkezi adalar geleneksel kavşaklara göre meydana gelen çakışmaları azalttığından güvenlik açısından avantaj sağlamaktadır [12]. Şekil 1. (a) ve (b) de görüldüğü üzere dönel kavşaklarda kullanılan merkezi adalar, sinyalizasyonsuz dört kollu geleneksel hemzemin kavşaklardaki olası 32 adet çakışma noktasını 12'ye indirirken, üç kollu kavşaklarda ise çakışma sayısını 9'dan 6'ya düşürerek yol güvenliğini önemli ölçüde arttırmaktadır [13].



Şekil 1. (a) dört ve (b) üç kollu dönel ve geleneksel kavşaklardaki potansiyel çakışma noktaları [14, 15] ((a) four and (b) three potential conflict points at roundabouts and traditional intersections)

Uluslararası alanda yapılmış pek çok çalışmada, dönel kavşakların diğer kavşak kontrol türlerine kıyasla çok daha güvenli ve daha düşük kaza oranlarına sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmalar ile diğer kavşak türlerine kıyasla, dönel kavşaklarda meydana gelen yaralanmalı kazalardaki kaza oranı ve şiddetinin daha az olduğu ifade edilmiştir [16-25]. Yapılan diğer çalışmalar ile dönel kavşakların güvenliği en üst düzeyde sağlayan eş düzey kavşak tipi olduğu belirtilmiştir [4, 25-30]. Benzer şekilde Birleşik Krallık' ta yürütülen çalışmalarda dönel kavşakların güvenlik performanslarının diğer kavşak türlerine göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir [31-33]. Kennedy [10] ise çalışmasında Almanya, Hollanda ve Fransa gibi ülkelerde dönel kavşakların kullanılmasının öncelikli nedeninin iyi güvenlik kayıtları olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca uluslararası literatürde, öncesinde geleneksel kavşak olarak kullanılan kavşakların dönel kavşağa dönüştürüldükten sonraki güvenlik performansları karşılaştırılmış ve dönel kavşağa dönüştürülen kavşaklardaki kaza oranlarında önemli bir azalma olduğu belirtilmiştir [11, 21, 34-45]. Buna ilave olarak diğer araştırmacılar, çalışmalarında inceledikleri mevcut sinyalizasyon olarak işleyen kavşakların dönel kavşaklara çevrilmesi durumunda trafik kaza sıklığı ile beraber şiddetinin de azaltılabileceğini göstermiştir [35, 46-51].

Giderek yaygınlaşan kullanımlarıyla birlikte, artan trafik talebi ihtiyaçlarının karşılanması ve kullanıcı güvenliğinin en üst düzeyde olması istenen dönel kavşakların, geometrik tasarımları oldukça önemlidir. Genel olarak güvenli olduğu kabul edilen dönel kavşakların, geometrik tasarım ve işletim aşamalarında gerekli önlemler alınmadığı takdirde, kavşak performansı istenilen düzeye erişemeyecektir. Bu nedenle dönel kavşaklardaki güvenliği arttırmak ve istenilen performansı sağlamak için yol karakteristiği, arazi planlaması, sürücü ve yaya davranışı gibi bütün faktörlerin göz önüne alınmasını gerekmektedir [52]. Wang vd. [53] ve Muffert vd. [54] çalışmalarıyla, dönel kavşaklardaki trafik güvenliği ve sürücü davranışını analiz etmede geometrik özelliklerden yararlanmanın çok büyük önem arz ettiğini belirtmiştir.

Dönel kavşağın her bir geometrik elemanı kavşağın işleyiş, kapasite ve güvenliğinde rol oynayıp, diğer kavşak elemanlarıyla birlikte en efektif çalışacak şekilde düzenlenmelidir. Bu bakıma dönel kavşakların tasarım aşamasında genel güvenlik ve kapasite hedeflerinin karşılanabilmesi için geometrik elemanların birbirleriyle uyumlu ve etkileşim halinde olmasına dikkat edilmelidir [55]. Mühendislik tasarımı, özellikle dönel kavşaklar için manevra yapma davranışı ve sürücü hızları üzerinde direkt olarak etkili olması bakımından, karayollarının güvenliği ve işleyişi için önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Montella [56] çalışmasında dönel kavşaklardaki toplam kazaların %60'ında en az bir geometrik faktörün sorumlu olduğunu belirtmiştir. Bu durum dönel kavşaklardaki geometrik elemanların tasarımının, trafik güvenliği üzerinde hayati bir rol oynadığını göstermektedir. Tasarım aşamasında, kaza

kayıtları ile birlikte geometrik elemanların hassasiyetini anlamak farklı kullanıcılar için dönel kavşakların güvenliğinin optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, dönel kavşak geometrik elemanlarının, güvenlik performanslarıyla olan ilişkilerini bugüne kadar yapılmış araştırmalar ışığında ortaya koymaktır. Bu konu üzerine ülkemizdeki durum değerlendirmesi de yapılmış olup konuyla ilgili olarak daha önce yapılmış detaylı çalışmalara rastlanılmaması çalışmamızın motivasyon kaynağı olmuştur.

2. DÖNEL KAVŞAK GEOMETRİK ELEMANLARI (GEOMETRIC ELEMENTS OF ROUNDABOUT)

Dönel kavşaklarda araçların uygun hızlarla hareketinin sağlanması, tüm standart, kılavuz ve yönergeler için başlıca en kritik tasarım hedefi sayılmaktadır. Çünkü iyi tasarlanmış bir dönel kavşak, araçların dolaşım güzergâhı boyunca hızlarının sabit kalmasını sağlayarak trafik güvenliğini sağlamaktadır. Kazaların oluşma mekanizmasını anlayabilmek için, dönel kavşaklardaki sürüş hızları üzerinde etkili olan faktörlerin tespit edilmesi gereklidir. Yapılmış olan çalışmalar sonucunda dönel kavşaklardaki sürüş hızlarının, geometrik tasarım ve sürücü davranışı ile doğrudan bağlantılı olduğu ve bu faktörlerin kaza sıklığı ve şiddetini etkilediği bilinmektedir [11, 57-61]. Sonuç olarak dönel kavşaklarda hız kontrolünün sağlanabilmesi için farklı geometrik tasarım faktörlerinin birbiriyle etkileşim içinde ve uygun fiziksel özelliklerde olması gerekmektedir.

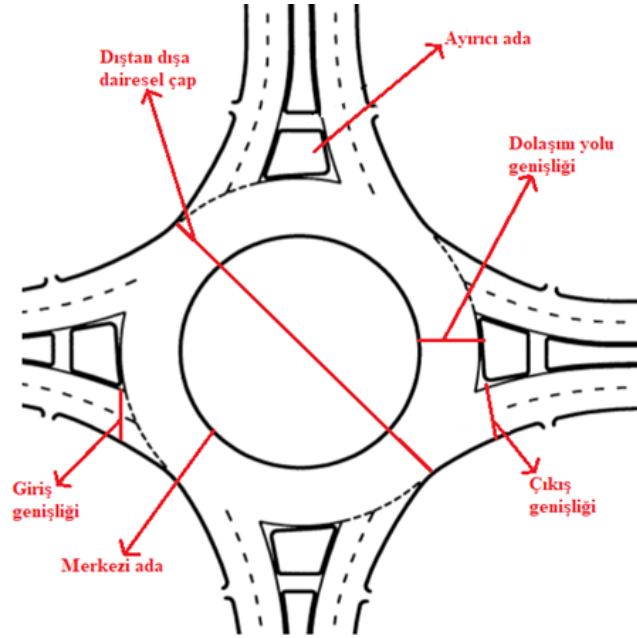
Güvenli ve efektif dönel kavşakların inşa edilmesi, geometrik faktörleri, trafik özelliklerini ve yerel kısıtlamaları göz önünde bulundurarak, kavşakların operasyonel verimliliğini ve trafik güvenliğini optimize etmeyi gerektirmektedir [62]. Diğer kavşak türlerinde olduğu gibi dönel kavşaklarda da meydana gelen kaza oranları üzerindeki en büyük etki, trafik akımından kaynaklanmaktadır. Yapılmış çalışmalardan dönel kavşaklardaki kaza sıklığının yıllık ortalama günlük trafik ve dönel kavşakların geometrik özellikleri ile ilgili olduğu görülmektedir [12, 35, 63]. Bununla birlikte dönel kavşaklarda yapılmış diğer çalışmalarda araştırmacılar, uygun geometrik tasarım ve modellemenin trafik güvenliğini önemli ölçüde arttırabileceğini göstermişlerdir [64-72]. Aumann [73] ise hazırladığı kılavuzda iyi tasarlanmış bir dönel kavşağı, kavşak tiplerinden en güvenli olanı olarak tanımlamıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda geometrik özelliklerin, dönel kavşak güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve geometrideki küçük değişikliklerin veya hatalı uygulamaların kaza oranlarını önemli ölçüde arttırabileceği söylenebilir.

Bu bölümde dönel kavşaklarda meydana gelen kazalara katkıda bulunduğu düşünülen geometrik faktörler belirtilmiş ve trafik güvenliğini kavşak geometrisiyle ilişkilendirmiş çalışmaların değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için öncelikle bir dönel kavşağın geometrik

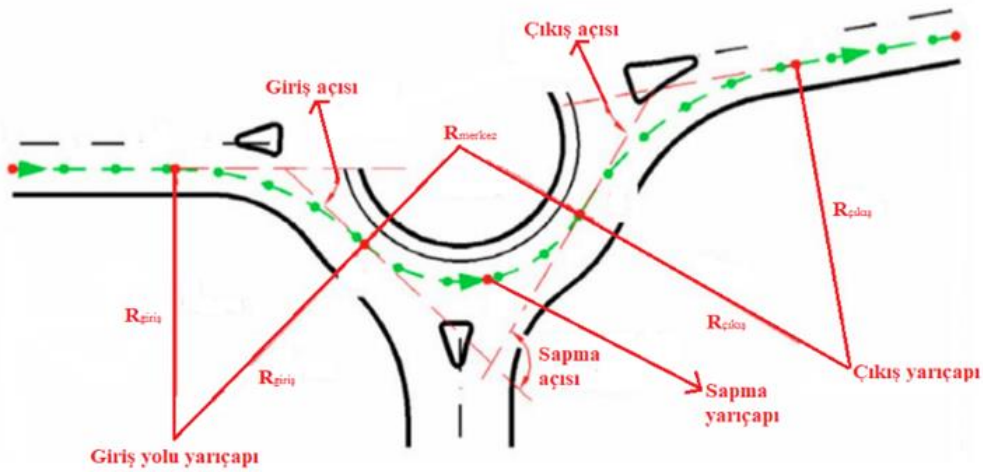
geometrik elemanları ile nelerin kastedildiğinin belirtilmesi uygun olacaktır.

Bu amaçla Şekil 2. (a) ve (b) de dönel kavşak geometrik elemanları gösterilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde Şekil 2. (a) ve (b) de verilen dönel kavşakların geometrik

elemanlarının işlevlerinden kısaca bahsedilmiş olup güvenlik performansları üzerindeki etkileri literatürde yapılmış çalışmalar üzerinden değerlendirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2. (a) ve (b) dönel kavşak geometrik elemanları [5, 11] (Geometric elements of roundabout)

2.1 Merkezi Ada (Central Island)

Dolaşım yolunun çevrelediği ve genelde üzerinden araç ve yaya geçişinin olmadığı, dönel kavşağın merkezindeki yükseltilmiş alan olarak tanımlanmaktadır. Merkezi adalar, yaklaşan sürücülerin kavşak algısını arttırması ve estetik açıdan işlevlerini yerine getirebilmeleri amacıyla dönel kavşaklarda düzenlenmiş geometrik elemanlardır. Merkezi adanın sürücüler tarafından gerekli duruş görüş mesafesinde algılanabilecek şekilde tasarlanması, trafik güvenliği bakımından bir hayli gereklidir. Çünkü kavşak kol yaklaşımından gelen sürücülerin uygun görüş mesafesinde merkezi adayı algılayabilmesi, dönel kavşak girişlerindeki hızların kontrolü bakımından oldukça önem arz etmektedir.

Daha önce yapılmış çalışmalarda, kullanıcıların dolaşım yolundaki bakış açısını engellemeyecek biçimde ve dönel kavşak varlığının rahatlıkla anlaşılabilmesini sağlayan peyzaj ve çevre düzenlemesine sahip merkezi adaların uygulanması gerektiği ifade edilmiştir [11]. Bassani vd. [74] dönel kavşaklardaki geometrik elemanların işletim hızı ve hızlanma üzerine etkisini araştırmıştır. Bunun sonucunda dıştan dışa dairesel çap ile yaklaşım kollarındaki hız geçiş mesafesi arasında doğrusal bir ilişki bulunmuş ve merkezi adanın daha büyük ve görünür olduğu durumda işletim hızının geometriye daha duyarlı hale geldiği ortaya konmuştur. Wolhuter [75] merkezi adanın çevre düzenlemesinin düzgün bir şekilde planlanması ve daha sonra iyi korunması gerektiğini belirtmiştir. Mandavilli vd. [70] merkezi adaların, sürücüler tarafından kolaylıkla fark edilebilecek uygun çevre düzenlemelerine sahip olmasının çarpışma risklerini azalttığını belirtmiş ve merkezi ada üzerine sabit nesnelere konumlandırılmaması gerektiğini dile getirmiştir.

Çoğu teknik şartname, kılavuz ve standartta dönel kavşaklarda genel olarak, merkezi ada şeklinin dairesel olması gerektiği vurgulanmakta ve dairesel olmayan merkezi ada geometrisinin kullanımından kaçınılması tavsiye edilmektedir [11, 73]. Alphan vd. [76] çalışmalarında Fransa'nın farklı bölgelerindeki birbirinden farklı geometrik özellikteki dönel kavşaklar için, kullanılmaya başlandıkları tarihten itibaren meydana gelmiş yaya ve araçların karıştığı ölümlü ve yaralanmalı kazaları inceleyip istatistiksel olarak analiz etmiştir. Kaza analizlerinin neticesinde oval şekilde merkezi adaya sahip dönel kavşaklarda, dairesel şekilde olanlara kıyasla, çok daha yüksek kaza oranları gözlemlenmiştir. Merkez adası dairesel şekilde olan dönel kavşaklarda, merkez ada şekli sabit yarıçaplı bir dolaşım yolu oluşturduğundan, dolaşım yolu boyunca araç hızlarının sabit kalmasına olanak sağlanırken, oval, düzensiz veya eliptik şekilde olan merkezi adalarda araç hızları düzensiz olmaktadır. Dolaşım yolunda seyreden araç hızının sabit olması, kavşağa giriş yapacak sürücülerin trafik akımındaki hızları ve boşlukları değerlendirmesini kolaylaştırıp, güvenlik bakımından fayda sağlamaktadır [11].

Dönel kavşaklarda merkezi ada tasarımının istenilen kavşak geometrisini sağlayacak şekilde düzenlenmesi, dönel kavşak güvenlik performansı üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Merkezi adanın büyüklüğü, aracın seyrettiği dolaşım yolunda meydana gelen sapma miktarının belirlenmesinde anahtar rol oynamaktadır. Tanyel [77] araç yönlerinin saptırılmasında merkezi ada çapının önemli bir geometrik eleman olduğunu ve merkezi adanın küçük olduğu koşullarda, dıştan dışa çap her ne kadar büyük olsa da, araç yönlerinin yeteri kadar saptırılmaması problemiyle karşılaşılacağını ifade etmiştir. Ayrıca merkezi ada çapı dönel kavşağın diğer geometrik elemanları olan dolaşım yolu genişliği ve dıştan dışa çapa bağlı olup ada çapının büyük olması araç hızlarının azalmasına ve daha iyi giriş geometrisi tasarımına imkân sağlamaktadır. Çünkü merkezi ada yarıçapının artmasıyla giriş ve dolaşım yolu arasındaki açı azalırken, araçlar arasındaki nispi hız ve çarpışma oranları da azalmaktadır. Brüde vd. [78] 536 dönel kavşakta giriş, dolaşım ve çıkış hızlarını incelediklerinde, merkezi ada çapı 20-40 metre olan dönel kavşaklarda bu hızların daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Jørgensen vd. [79] merkezi ada çapının artmasıyla yaralanmalı kaza oranının azaldığını ve merkezi ada çapı 11-20 metre olan dönel kavşaklarda maddi hasarlı kaza oranının arttığını gözlemlemiştir. Lalani [80] çalışmasında dönel kavşaklardaki merkezi ada çapı boyutunun güvenlik üzerindeki etkilerini araştırmıştır. İncelenen dönel kavşakların merkezi ada çapının, uygun boyutlarda tasarlanmasının kaza oranlarının azaltılmasında etkili olduğu sonucuna varmıştır. Thomas vd. [81] dönel kavşaklarda yüksek dolaşım hızlarına ve sürücülerin kazayla sonuçlanacak yanlış manevralar yapmasına sebebiyet verdiğinden, çok büyük merkez ada çaplarından kaçınılması gerektiğini rapor etmiştir. Jørgensen vd. [82] şehir dışında bulunan 20-40 metre merkezi ada çapına sahip dönel kavşaklarda, daha büyük merkezi ada çapına sahip kavşaklara göre, düşük kaza oranları olduğunu vurgulamıştır. Jørgensen vd. [83] yaklaşık 15 metre merkezi ada çapına sahip kentsel alandaki dönel kavşakların daha büyük veya daha küçük çapa sahip olanlara kıyasla daha güvenli olduğunu bulmuştur. Montonen [84] yaptığı incelemeler sonucunda 13-20 metre arasında merkezi ada çapına sahip dönel kavşakların en düşük kaza oranlarına sahip olduğunu belirtirken 30 metreden fazla çaplarda ise kaza oranlarının arttığını ifade etmiştir. Ayrıca 21-30 metre arasındaki çaplarda ise yaralanmalı kaza oranlarının en düşük olduğunu belirtmiştir. Cedersund [85] merkezi ada çapının dönel kavşaklardaki kaza oranları üzerindeki etkisini incelediği çalışmada, merkezi ada çapı ile kaza oranı arasında açık bir ilişki bulamamıştır. Rodegerdts vd. [35] merkezi ada çapının artmasıyla giriş ve dolaşım yolundaki araçların karıştığı kaza sayıları azalırken, dolaşım ve çıkış yolundaki kaza sayılarının arttığını gösteren zayıf ilişkiler bulmuştur.

Jensen [72] Danimarka'daki tek şeritli dönel kavşaklar üzerinde yaptığı çalışmada 2 metreden daha fazla yükseltilmiş merkezi adaya sahip kavşakların bisikletli

kullanıcıların güvenliğini arttırdığını dile getirmiştir. Daniels vd. [86] 0.5 m' den daha fazla yükseltilmiş merkezi adaların, 0.5 m' den daha düşük yüksekliğe sahip olanlara göre, daha düşük kaza oranlarına sahip olduğunu tespit etmiştir. Brilon [87] Almanya'daki dönel kavşakları geometrik tasarımları, performansları, trafik güvenlikleri ve kapasiteleri bakımından incelediği çalışmada, mini dönel kavşaklar için merkezi adanın 0.04 metre ile 0.06 metre arasında bordürlerle yükseltilmesinin önemli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca merkezi adaları yükseltilmemiş yalnızca yol kaplaması üzerine işaretlenmiş olan mini dönel kavşakların güvenlik açısından istenilen performansı sağlayamadığını belirtmiş ve dönel kavşak merkezi adalarının içinde yer alan her türlü anıtın kaldırılması gerektiğini vurgulamıştır. Rodegerdts [11] mini dönel kavşaklarda merkezi adanın 0.025 metre ile 0.030 metre yükseltilmiş olması gerektiğini ve maksimum ada yüksekliğinin 0.125 metreyi geçmemesi gerektiğini belirtmiştir. DMRB [88] mini dönel kavşaklarda merkezi ada eğer yükseltilmiş ise yüksekliğin 0.100 metreyi aşmaması gerektiğini vurgulamıştır.

2.2 Dolaşım Yolu (Circulatory Roadway)

Dolaşım yolu, araçların merkezi ada etrafında saat yönünün tersi yönde (trafiğin sağdan aktığı ülkelerde) hareket etmek için kullandıkları kavisli yol olarak tanımlanmaktadır. Dolaşım yolu genişliği, tasarım aracının dönme gereksinimine ve giriş genişliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Dönel kavşak güvenliği yönünden dolaşım yolu genişliğinin, en az giriş genişliği kadar olması ve dönel kavşak boyunca sabit kalması istenmektedir [11]. Bared vd. [14] dönel kavşak güvenliğine en duyarlı tasarım elemanlarının giriş ve dolaşım yolu genişliği olduğunu belirtip, hem giriş hem de dolaşım yolu genişliğinin gereğinden fazla olması halinde kaza sıklığının arttığını dile getirmiştir. Benzer olarak Rodegerdts vd. [35] ve Harper vd. [89] dolaşım yolu genişliği arttıkça kaza oranlarının da arttığını belirtmiştir. Ji [90] kazaların oluşumunda etkili olan dönel kavşak geometrik faktörleri araştırdığı çalışmada, dolaşım yolu genişliğinin daha fazla olduğu kavşaklarda daha çok kaza meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan tasarım standartlarında dolaşım yolu genişliği, maksimum giriş genişliğinin 1.0 ile 1.2 katı arasında olması gerektiği belirtilmektedir [88, 91]. Tek şeritli bir dönel kavşakta dolaşım yolu genişliğinin çok geniş olmaması gerekmektedir. Çünkü bu durum sürücülerin iki aracın yan yana dolaşabileceğini düşünmesine yol açmaktadır. Tek şeritli dönel kavşaklarda dolaşım yolu genişliği belirlenirken sola dönüş hareketi kritik olarak alınmaktadır. Montella vd. [92] tek şeritli dönel kavşaklarda dolaşım yolu genişliğinin 5 metre ile 7 metre arasında olduğunu ve mini dönel kavşaklarda daha büyük dolaşım yolu genişliği gerektiğinden bu değerlerin 7 metre ile 8 metre arasında değiştiğini belirtmiştir. Jensen [68], Jørgensen vd. [83], Spahn vd. [93], Jensen [94] çalışmalarında dolaşım yolu genişliğinin tek şeritli dönel

kavşaklarda 6-8 metre arasında olmasının kavşak güvenliği için en iyisi olduğu sonucuna varmıştır. Çift şeritli dönel kavşaklarda ise en geniş girişteki şerit sayısına bağlı olarak bir, iki veya üç aracın dolaşım yolu boyunca aynı anda hareket etmesine olanak sağlayan genişlik olarak belirlenmektedir [25, 95]. Çok şeritli dönel kavşaklarda dolaşım yolu genişliği, şerit sayısı ve tasarım aracına bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca dolaşım yolu boyunca sabit bir genişlik gerekli olmamakla birlikte sadece kavşağın belirli bir bölümünde gerekli şerit sınırlamaları için minimum genişliğin sağlanması arzu edilmektedir. Çok şeritli dönel kavşaklarda dolaşım yolu genişliği şerit başına 3.5 metre ile 4.9 metre arasında değişmektedir. Fransa ve İtalya'da dolaşım yolu şeridi, takip edilecek şerit çizgileri olmadan tek ve geniş bir şerit şeklinde bulunmaktadır [96].

2.3 Ayırıcı Ada (Splitter Island)

Çoğu standart ve kılavuz tarafından dönel kavşak yaklaşımlarında kullanılması tavsiye edilen ayırıcı adalar, her bir kol üzerinde, kavşağa giren ve çıkan trafiği ayırmak ve yönlendirmek üzere şekillendirilmiş alanlar olarak tanımlanmaktadır. Guichet [48] tarafından dönel kavşaklarda ayırıcı adaların kullanılmasındaki amaçlar; sürücüde kavşak farkındalığını arttırmak, kavşaktaki trafiği yönlendirmek, yayalar için refüj görevi görmek, giriş-çıkış hareketlerini ayırmak, uyarı, levha ve trafik işaretlerinin konulması için alan sağlamak ve ada etrafındaki yanlış dönüşlerin önüne geçmek şeklinde sıralanmıştır. Ayırıcı adanın varlığı ve şekli, hem kapasite hem de trafik güvenliği açısından oldukça önemli sayılmaktadır. Tumber [97] yayaların, dönel kavşak geçişleri esnasında, hem giren hem de çıkan trafikle kesişmesini önleyen ayırıcı adalar ile dönel kavşaklarda daha güvenli geçiş yapabilmelerinin sağlandığını belirtmiştir. Tollazzi [98] ise ayırıcı ada tasarımının trafik güvenliği üzerinde, her türlü yol kullanıcısı için, önemli bir etkiye sahip olduğunu ve yeterli genişliğe sahip olamadığı tasarım koşullarında dahi ayırıcı adaların dönel kavşaklarda bulunması gerektiğini ifade etmiştir. Yapılmış olan çalışmalar ayırıcı adaların, dönel kavşağın her bir yaklaşım kolunda bulunması ve yaya güvenliğini sağlayacak ölçüde uzun olması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca yüksek hız limitlerine sahip kırsal bölgelerdeki dönel kavşaklar için uzunluğun daha da arttırılabileceği belirtilmiştir [25, 70, 99]. Thomas vd. [81] ayırıcı ada uzunluğunun en az 60 metre, Rodegerdts [11] ise en az 15 metre olması gerektiğini belirtmiştir.

Bunların doğrultusunda yayalara, tekerlekli sandalyelilere, bisikletlilere ve bebek arabalarına sığınma alanı sağlayan ayırıcı adaların, toplam uzunluğu arttıkça yaya güvenliğinin de arttığı açıkça görülmektedir. Ayırıcı ada genişliğini arttırmak, aynı kavşak koluna giren ve çıkan trafik akımlarının büyük ölçüde ayrılmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu sayede kavşağa yaklaşan sürücülere, kavşaktan çıkış yapmakta olan ve ada etrafında sirkülasyon halinde olan araçlar arasında ayırım yapılabilmesi için gereken süre tanınmış

olup sürücülerin kavşağa girerken yaşayacağı karışıklık engellenmektedir [11, 98]. Arndt vd. [100] tarafından yapılan çalışmada ayırıcı ada genişliğini arttırmanın kavşak girişlerinde ve dolaşım yolunda meydana gelen kaza oranlarının azalmasına etkili olduğu bulunmuştur. Anjana vd. [101] Hindistan'da kentsel alanda bulunan dönel kavşaklarda, kaza oluşumuna neden olan geometrik özellikleri güvenlik bakımından değerlendirdiklerinde, ayırıcı ada genişliğinin artmasıyla dönel kavşak yaklaşımlarında meydana gelen çarpışma oranlarının azaldığı sonucuna ulaşmıştır.

2.4. Dıştan Dışa Dairesel Çap (Inscribed Circle Diameter)

Dolaşım yolunun dış kenarları arasında ölçülen çap, dıştan dışa dairesel çap olarak tanımlanmaktadır. En uygun çap seçiminde iterasyon yapmak gerekmekte ve önemli tüm faktörler karşılanmaya çalışılmaktadır. Dönel kavşağın dıştan dışa çapı, işleyişi etkileyen kritik faktörlerden biri sayılmaktadır. Ahiamadi vd. [102] çap seçiminde; tasarım aracının dönüş çapı, tasarım hızı, dolaşım yolu genişliği, şerit sayısı, kavşak kol sayısı, kavşak kollarının doğrultusu, giriş-çıkış genişliği, yarıçapı ve açısı gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmiştir. Jacquemart [103] kaza sıklığının dıştan dışa dairesel çap ile arttığını rapor etmiştir. Spahn vd. [93] dıştan dışa dairesel çapı 40 metreden az kırsal alanda bulunan tek şeritli dönel kavşaklardaki kaza oranının, çapı 40 metreden fazla olanlara göre %40-45 oranla daha düşük olduğunu

bulmuştur. Rodegerdts vd. [35] dıştan dışa dairesel çap arttıkça, mevcut ve dolaşımdaki araçlar arasındaki kaza sayısının arttığını belirtmiştir. Maycock vd. [32], Jørgensen [104] çalışmalarında dıştan dışa dairesel çap / merkez ada çapı oranı arttıkça, dönel kavşağa giren ve dolaşım yapan araçlar arasında meydana gelen kaza sayısının arttığını göstermiştir. Jensen [105], Jensen [94] yaptığı çalışmalar sonucunda dıştan dışa dairesel çap / merkez ada çapı oranının yaklaşık 1.4 metre olduğunda dönel kavşaklar için en iyi güvenlik seviyesini sağladığını bulmuştur. Çizelge 1.'de bazı ülkelerde kullanılan farklı tür dönel kavşakların dıştan dışa dairesel çap değerleri verilmiştir.

Kansas Ulaştırma Departmanı tarafından hazırlanmış olan dönel kavşak tasarım kılavuzuna göre daha küçük çaplar düşük hızların korunmasını sağladığından, güvenlik açısından daha iyi kabul edilmektedir. Ancak, yüksek hızlı yollarda, yaklaşma geometrisinin tasarımı, düşük hızlı yollarda olduğundan daha kritiktir ve kavşağın dıştan dışa çapının artmasıyla genellikle daha iyi yaklaşma geometrisinin sağlanmasına izin verilmektedir. Çünkü artan çap, giriş yolu ve araç dolaşım yolu arasında oluşan açıyı düşürürken, araçlar arasındaki nispi hızın azalmasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle kavşak girişlerinde ve dolaşım esnasında meydana gelen kaza oranları da azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek hızlı yollardaki dönel kavşaklar, düşük hızlı yollar için önerilenlerden biraz daha büyük çaplara ihtiyaç duyabilmektedir [95].

Çizelge 1. Ülkelerde kullanılan farklı tür dönel kavşakların dıştan dışa çap değerleri (Inscribed circle diameter values of different types of roundabouts used in countries)

		İNGİLTERE [106]	ABD [91]	ALMANYA [107]	FRANSA [108]	İTALYA [109]	İSVİÇRE [110]
	Mini dönel kavşak	≤28 m	≥13 m; ≤27m	≥13 m; ≤24m	≥15 m; ≤24m	≥14 m; ≤25m	≥14 m; ≤26m
DIŞTAN DIŞA DAIRESEL ÇAP	Tek şeritli dönel kavşak	>28 m ≤36 m	≥27 m ≤55 m	≥26 m ≤50 m	≥30 m ≤50 m	>25 m ≤50 m	>26 m ≤40 m
	Çok şeritli dönel kavşak	>36 m ≤100 m	≥46 m ≤91 m	≥40 m ≤60 m	≥30 m ≤50 m	≥50 m ≤70 m	-

2.5 Giriş Genişliği, Açısı ve Giriş Yolu Yarıçapı (Entry Width, Angle and Entry Path Radius)

Dönel kavşaklardaki yaklaşım yolları ve kavşak girişlerinin düzenlenmesi, kavşağa giren trafik hızının kontrol edilmesini sağlayıp, kavşak güvenlik performansının artmasına katkıda bulunmasından dolayı kavşaklar tasarlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli geometrik faktörlerdendir. Flannery vd. [111] dönel kavşak girişlerindeki geometrik elemanların, kavşak girişlerindeki hızın azaltılmasına katkı sağlayıp kavşak yaklaşımlarındaki güvenliği arttırması bakımından, tasarımlarının çok önemli olduğunu

vurgulamıştır. İyi tasarlanmış bir dönel kavşak, uygun giriş yolu eğriliği sayesinde araçların kavşaklarda düşük hızda hareket etmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle girişteki hızın düşük olması, kavşak girişlerinde meydana gelen arkadan çarpma türü kazaların en aza indirgenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca kavşağa giriş yapan araç ile dolaşımda olan araç arasındaki nispi hızın minimize edilmesi, dönel kavşağa katılan araçlar ile dolaşımdaki araçlar arasında meydana gelebilecek kazaların önüne geçilmesine katkı sağlamakla beraber yayalar ve bisikletliler için ölümcül veya ciddi yaralanma riskinin oluşabileceği kazaların engellenmesine yardımcı olmaktadır [11, 73].

Dönel kavşakların giriş geometrik tasarımı, güvenlik, performans ve kapasite kriterleri bakımından farklı faktörlerin göz önünde bulundurulması gereken önemli bir tasarım aşamasıdır. Giriş genişliği, dönel kavşağın giriş şeridinin sağ kenarından, sol kenar çizgisi ve dairesel dış çapla kesiştiği noktaya olan dik uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Uygun olmayan giriş genişlikleri sürücülerin hız kontrolü sağlamasını zorlaştırmaktadır [73, 98, 112]. Giriş ve dolaşım yolu genişlikleri belirlenirken, kapasite ve güvenlik kriterlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Giriş ve dolaşım yolu genişliklerinin tasarımında daha büyük genişlikler seçilmesi kaza sıklığının artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple tasarımın, dönel kavşak kapasitesi için minimum genişlik şartlarını sağlarken, araçların seyahati sırasında maksimum güvenlik seviyesinde hizmet vermesi istenmektedir [11].

Kimber [113] Birleşik Krallık' taki dönel kavşakların kapasitesi üzerine yaptığı çalışmada, kapasiteyi etkilediği varsayılan faktörün şerit sayısından ziyade giriş genişliği olduğunu belirtmiştir. Al-Suleiman vd. [114] Ürdün'de bulunan dönel kavşaklardaki trafik kaza problemlerine yönelik meydana gelen kazaların ve trafiğin, kavşak geometrisi ve planlama değişkenleri ile arasındaki olası ilişkilerini araştırmıştır. Bunun sonucunda zirve saat hacmi ve ortalama giriş genişliğinin dönel kavşak güvenliği üzerinde önemli etkiye sahip olduğuna ulaşılmıştır. Rodegerdts vd. [35], Aagaard [115] çalışmalarında giriş genişliklerinin artmasıyla kaza oranlarında da artış meydana geldiği sonucuna ulaşmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 2.'de bazı ülkelerin dönel kavşak giriş genişlikleri için kullandıkları minimum ve maksimum değerler verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı ülkelere kullanılan standartlarda yer alan dönel kavşak giriş genişlikleri (Roundabout entry widths included in standards used in different countries) [10]

Ülke		Tek şeritli		Çift şeritli	
		Min. (m)	Maks. (m)	Min. (m)	Maks. (m)
Birleşik Krallık	Kentsel/ kırsal	-	-	-	10.5
Avustralya	Kentsel/ kırsal	3.4	4-5	6.8	8
Amerika Birleşik Devletleri	Kentsel/ kırsal	4.3	4.9	6	-
İsveç	Kentsel/ kırsal	3.5	3.5	7	7
Fransa	Kentsel	2.5-3	4	6	7
	Kırsal	4	4	6-7	9
Almanya	Kentsel	3.25	3.5	-	-
	Kırsal	3.5	4	-	-
Hollanda	Kentsel/ kırsal	3.5	4	3.5	4

Dönel kavşaktaki giriş açıları, giren ve dolaşımında olan trafiğin karşılaştığı bölgede geometrik bir vekil görevi görmektedir. Arzulanan daha küçük giriş açıları, dönel kavşak girişlerinde, dolaşım halindeki trafiğe katılmak isteyen sürücülerini omuz arkasından bakmaya veya dikiz aynası kullanmaya zorlayarak otoyol katılım rampalarındaki benzer bir birleşmeye teşvik edebilmektedir. Daha büyük giriş açıları ise, özellikle yaklaşım hızlarının yüksek olduğu durumlarda, merkezi adaya çarpma veya keskin frenlenmeye sebep olan aşırı giriş sapmalarının meydana gelmesine neden olabilmektedir [52, 88]. İngiltere Warwickshire' de dönel kavşaklarla ilgili olarak hazırlanan rapor giriş açısını, güvenlik sorununun kaynağı olarak göstermiştir [116]. Giriş açısı İspanya standartlarında 20 ile 60 derece arasında ideal olarak 30 derece alınmaktadır [117]. Birleşik Krallık'ta kullanılan tasarım kılavuzunda da aynı aralıktaki değerler tavsiye edilmektedir [88]. Davies vd. [118] çalışmalarında giriş açılarının Avrupa kıtasında yer alan dönel kavşak tasarımları için yaklaşık olarak 30 ile 45 derece arasında tutarlılık gösterdiğini belirtmiştir.

Giriş yolu yarıçapı, giriş bölgesinde yer alan dış bordür çizgisinin minimum eğrilik yarıçapı olarak tanımlanmaktadır. Dönel kavşağın kapasite ve güvenlik kriterleri üzerinde doğrudan etkili olan giriş yolu yarıçapı, diğer geometrik elemanlar (giriş genişliği, merkezi ada, dolaşım yolu genişliği) ile birlikte kavşak girişlerindeki sapma miktarının kontrol edilmesinde de rol oynamaktadır. Dönel kavşağa giren sürücülerin hızını, giriş yolu yarıçapı ile sınırlamak mümkündür [119]. Novák vd. [5] yaptıkları çalışmada, giriş geometrik elemanlarının kaza sıklığı, şiddeti ve hızı bakımından güvenlik üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Maycock vd. [32] çalışmalarında İngiltere'deki 4 kollu kavşaklarda meydana gelen kaza verileriyle, trafik akımı ve geometri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve giriş yolu yarıçapı, genişliği ve sapma gibi geometrik değişkenlerinin kavşak güvenliği ile doğrudan ilgili olduğunu rapor etmiştir. Crown [120] daha önce yapılmış gözlemlerden, dönel kavşak kolları arasındaki açı, giriş genişliği, dolaşım yolu genişliği, giriş yolu yarıçapı gibi birkaç geometrik faktörü kaza oluş sıklıklarıyla ilişkilendirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Almanya, Hollanda ve İsveç gibi ülkelerin standartları incelendiğinde, tek şeritli dönel kavşaklarda giriş yolu yarıçapı 10 metre ile 30 metre arasında olurken, küçük caddelerde 10 metrenin altında da olabildiği görülmektedir [10, 11].

2.6 Sapma Açısı ve Yarıçapı (Deflection Angle and Radius)

Sapma açısı, dönel kavşağın karşılıklı iki kolu arasındaki yörunge sapması miktarı olarak ifade edilmektedir. Sapma yarıçapı, araçların dolaşım yolu boyunca izledikleri yarıçaptır. Sapma yarıçapının en büyük değeri, kavşaktaki operasyonel hızları kontrol etmek için ayarlanmıştır. Dönel kavşaklarda trafik girişten dolaşım yoluna doğru merkezi adayla birlikte sağa doğru saptırılarak kavşaklı bir güzergâh oluşturulmaktadır. Dönel kavşaklarda araçların yol güzergâhlarının

saptırılmasındaki amaç hızların azaltılmasına olanak sağlamaktır. Çünkü dönel kavşaklarda araç hızları, kavşak güvenliği üzerinde çok büyük etkiye sahip olup uygun hızlara ulaşmak en kritik tasarım hedefi sayılmaktadır.

Dönel kavşaklardaki araç hızlarını kontrol etmek için standartlar tarafından kullanılan ana geometrik elemanlar sapma açısı, yarıçapı ve giriş yolu yarıçapıdır [11]. Aşağıda verilen Çizelge 3.'de sapma açısı, sapma yarıçapı ve giriş yolu yarıçapının ülkelerin tasarım standart/kılavuzlarında yer alan değerleri verilmiştir.

Trueblood vd. [124] dönel kavşaklardaki hareketlerin kontrollü bir şekilde olmasını sağlamak için, yaklaşmakta olan araç hızlarını düşürmeye, kavşak içindeki hareketlerde hızların sabit kalmasına ve dönel kavşaktan çıktıktan sonra araçların güvenli bir şekilde normal hızlarına geri dönmesine izin veren bir kavşak geometrisinin olması gerektiğini ifade etmiştir. Galleli vd. [66], çalışmalarında dolaşım yolundaki hızın, doğrudan dönel kavşak geometrik elemanlarıyla bağlantılı olduğunun sonucuna varmıştır. Ayrıca yapılmış diğer çalışmalar dönel kavşaklarda meydana

Çizelge 3. Sapma açısı, sapma yarıçapı ve giriş yolu yarıçapının ülkelerin tasarım standart/kılavuzunda yer alan değerleri (The values of deflection angle, radius and entry path radius parameters in the countries' design standard/manual)

	Ülkeler ve Standart/Kılavuzları								
	Fransa [30]	Hollanda [121]	İsveç [122]	İspanya [117]	Birleşik Krallık [88]	Amerika Birleşik Devletleri [91]	Avustralya [73]	İsviçre [110]	İtalya [123]
Sapma yarıçapı	≤100 m	≤23 m	≤90 m veya ≤30 m*						
Giriş yolu yarıçapı			≤90 m veya ≤30 m*	≤100 m	≤100 m	≤52 m veya ≤66 m**	≤55m***		
Sapma açısı								≥45° α<70° olduğu durumda	≥45°

* ≤90 m tasarım hızı ≤60 km/s için, ≤30 m tasarım hızı ≤30 km/s için,
 ** ≤52 m enine eğim +0,02 eşit ise, ≤66 m enine eğimi -0,02 eşit ise,
 *** bu değer kavşak kolu yaklaşım yolundaki hız <90 km/s ise ≤100 m değeri alırsa hızın ≤40 km/s olduğu durumda

Dönel kavşak yaklaşım kollarından başlayan yeterli giriş sapması sürücülerin hızlarını azaltmaya yardımcı olarak sert frenlemelere engel olmaktadır. Rodegerdts [11] göre dönel kavşak giriş yolu yarıçapının azaltılması (yani araç yolunun saptırılması) giren ve dolaşan araçlar arasındaki nispi hızın azalmasına böylelikle meydana gelebilecek çarpışma oranlarının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca çift şeritli dönel kavşaklarda uygun giriş sapmaları şerit takibinin kolay olmasına olanak tanımaktadır [70]. Maycock vd. [32] sapma arttıkça dönel kavşağa giren ve dolaşan araçlar arasındaki kaza sayısı azalırken kavşak yaklaşımında ve girişlerde meydana gelen kazaların arttığını göstermiştir. Bir başka çalışmada ise, Novák vd. [5] dört farklı Avrupa ülkesinde yer alan 72 dönel kavşağın kaza, trafik ve geometrik verilerine dayanarak kaza tahmin modelleri geliştirmiştir. Bunun sonucunda hem sapma hem de giriş

gelen kaza oranlarının, kavşaktaki araç hızlarıyla ilişkilerinin nasıl olduğunu göstermiştir. Bu bakıma Arndt [125] Avustralya'da yüksek yaklaşım hızına sahip dönel kavşaklarda, giren ve dolaşım halindeki araçlar arasında kaza risklerinin arttığını gözlemlemiştir. Robinson [126] Avustralya'nın New South Wales eyaletinde bulunan dönel kavşaklar için aşırı yaklaşım hızlarının tek araç kazalarının meydana gelmesinde önemli bir etkisi olduğu rapor etmiştir. Guido vd. [127] göre dönel kavşaklardaki araçların hız dağılımı, kavşakların güvenlik performansının değerlendirilmesi bakımından destekleyici bir ölçüt olarak görülmüştür. Turner vd. [128] dönel kavşak yaklaşımında meydana gelen kaza sayılarının hız limitinin artmasıyla arttığını bulmuştur. Ayrıca girişteki ve dolaşımdaki araçların hızlarındaki artışın, giren ve dolaşan araçlar arasında meydana gelen kazaları arttırdığını ifade etmiştir. Arndt vd. [100] kavşaklardaki hız farkları ile giriş ve yaklaşımındaki artan hızların dönel kavşaklardaki kaza oranlarını arttırdığını ortaya koymuştur.

açısının artmasıyla yaralanmalı kaza frekanslarının azaldığı görülmüştür. Spacek [27] yaptığı çalışmalar ile küçük sapma açıları ve yüksek çarpışma oranları arasında bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Kennedy [10] uluslararası dönel kavşak tasarım kılavuzlarının karşılaştırmasını yaptığı çalışmada, dönel kavşakların güvenliğini belirlemedeki ana faktörün, kavşak girişindeki sapma ve genişliğin bir kombinasyonu olduğu sonucuna varmıştır. Montella [129] dönel kavşak kazalarına etki eden faktörleri incelediğinde, kazaların meydana gelmesine en çok katkıda bulunan faktörlerin girişlerdeki sapma yarıçapı ve sapma açısı olduğunu ifade etmiştir. Appleton vd. [130] en sık rastlanan güvenlik sorununun belirlemek için Yeni Zelanda'daki dönel kavşaklardan elli tanesinin güvenlik kayıtlarını incelemiş ve kavşak güvenliğine etki eden en önemli dönel kavşak geometrik elemanının giriş sapma açısı olduğunu belirtmiştir.

2.7 Çıkış Genişliği ve Yarıçapı (Exit Width and Radius)

Çıkış genişliği, çıkıştaki taşıt şeridinin toplam genişliği olarak tanımlanmaktadır. Aracın dönel kavşaktaki hızını ve hareketini kontrol etmede, giriş ve çıkış geometrilerinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Giriş geometrisi dönel kavşağa giren araçların yavaşlamasına olanak verecek şekilde tasarlanırken, çıkış geometrisi de araçların dönel kavşağı en kısa sürede terk etmesine imkân sağlayacak şekilde düzenlenmelidir [77]. Genel olarak tek şeritli dönel kavşaklarda çıkış genişliği 4 metre ile 7 metre arasında iken çift şeritli dönel kavşaklarda bu 7 metre ile 11 metre arasında değişmektedir. Mini dönel kavşaklarda ise çıkış genişlikleri 2.5 metre ile 4.5 metre arasında olmaktadır [10, 92].

Ana yollarda bulunan dönel kavşaklarda genellikle çıkışlar, trafiğin dolaşım yolunu mümkün olduğunca verimli bir şekilde terk etmesini sağlamak için daha büyük bir yarıçapa sahip olacak şekilde düzenlenmektedir. Ancak bu durum dönel kavşaktan çıkış yapan araç hızlarının daha yüksek olmasına yol açabilmekte ve güvenlik açısından yaya ve bisikletli geçişlerinde tehlike arz etmektedir. Ahiamadi vd. [102] ise çalışmalarında, yaya emniyetini ön planda tutmak adına, öngörülen çıkış hızlarının azalması için dönel kavşak çıkış yarıçapının fazla küçültülmesinin dönel kavşak kapasitesini gereksiz bir şekilde sınırlayabileceğini ifade etmiştir. Yani dönel kavşak çıkış yarıçaplarının uygun ölçülerde düzenlenmesi kavşağın hem güvenlik hem de kapasite kistaslarının birlikte karşılanmasını sağlar.

Çıkış yarıçaplarının tasarımı esnasında, araç yollarının düzgün olduğu ve araçların ayırıcı adalara doğru yönlendirilmediği kontrol edilmelidir. Çıkış yarıçapının doğru seçilmemesi dönel kavşak çıkış kollarında, kapasitenin azalmasına ve keskin dönüşlere sebebiyet vermektedir. Keskin dönüşler yük taşıyan büyük araçların, dönüş esnasında yüklerinin devrilme olasılığını arttırıp kaza riski oluşturmaktadır [88]. Birleşik Krallık'ta kullanılan standartta, çıkış yarıçapının 20 metreden az olmaması ve en fazla 100 metre olması, ideal olarak da 40 metre olması tavsiye edilmektedir. Avustralya'daki dönel kavşak tasarım kılavuzlarında çıkışların uygulanabilir olduğu kadar kolay anlaşılır olması gerektiği önerilmektedir [10].

3. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUMUN DEĞERLENDİRİLMESİ (ASSESSMENT OF CURRENT SITUATION IN TURKEY)

Gelişmiş ülkelerde 20. yüzyılın ortalarından itibaren eski tip dönel kavşaklar, artan ulaşım problemleri ile doğan yeni ihtiyaçlar doğrultusunda, tasarım ve işletim kurallarında uygun düzenlemeler yapılarak modernize edilmiştir. Bu düzenlemelerden sonra eski tip dönel kavşak terimi yerine modern dönel kavşak ifadesi kullanılmaya başlansa da literatürdeki çoğu çalışmada modern dönel kavşak yerine sadece dönel kavşak kullanıldığına da rastlanmaktadır. Ülkemizde kullanılan dönel kavşaklar incelendiğinde tamamına yakınının eski

tip dönel kavşak olduğu görülmektedir. Hali hazırda kullanılan dönel kavşakların bir standardı olmaksızın tasarlanıp işletilmesi, kavşak kullanıcılarının algı ve davranışlarını zorlaştırmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda kullanılan dönel kavşaklarda bu durum daha fazla karışıklığa sebebiyet vermektedir ve çok uç uygulamalar ile karşılaşılmaktadır [131, 132].

Kapasite ve güvenlik bakımından yararlı özellikleri ve düşük kaza oranları nedeniyle çoğu ülkede sıklıkla kullanılan modern dönel kavşakların, ülkemize adaptasyonun sağlanıp en kısa sürede işletilmeye başlamasının gerektiği yapılmış çalışmalar ile dile getirilmiştir. Günay [133] geleneksel kavşaklardan modern dönel kavşaklara dönüşümün ülkemizdeki şehir içi ve şehirlerarası yollarda en kısa zamanda gerçekleştirilmesinin önemini vurgulamıştır. Tanyel [77] modern dönel kavşak olarak adlandırılmış olsa da performans özellikleri bakımından bu kavşaklar gibi olmayan birçok kavşağın bulunduğunu vurgulamıştır. Günay vd. [131] ülkemizdeki dönel kavşakların nerdeyse hiçbirinin modern dönel kavşak olmadığını ve istisnalar olsa da bunların işaretleme, geometri veya işletim bakımından modern dönel kavşaklar gibi verimli çalışmadığını belirtmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Avustralya vb. ülkeler daha yaygın olarak uygulamaya başladıkları dönel kavşaklar için detaylı gözlemler ve çalışmalar yapmışlardır. Bunların doğrultusunda dönel kavşakların planlanması, sınıflandırılması, tasarım geometrisi, kapasite hesapları gibi detayları içeren standart ve kılavuzlar her ülkenin kendine özgü koşullarına uygun olarak hazırlanmıştır. Ülkemizde ise dönel kavşak yapım ve tasarım esaslarını içeren kılavuz veya standart olarak alınabilecek çok az sayıda kaynak bulunmaktadır. Bunlara bakıldığında, 2000 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü ile İsveç Ulusal Karayolu Danışmanlık Kuruluşu'nun (SweRoad) birlikte hazırladıkları 'Modern Dönel Kavşaklar için Önerilen Tasarım Esasları' adlı rapor görülmektedir. Raporla kaba hatlarıyla kavşak güvenliğine değinilmiş olup modern dönel kavşak tasarım esaslarına ilişkin bilgiler, kapasite ve gecikme hesaplamaları gibi hususlara detaylı olarak yer verilmemiştir [134]. İlave olarak, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2005 yılında hazırladığı Karayolu Tasarım El Kitabı'na bakıldığında, modern dönel kavşak geometrik tasarım değerlerinin Almanya ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan standartlardakiler ile aynı olduğu görülmektedir [15]. Bu kaynağın 2016 yılına ait son versiyonunda modern dönel kavşak tasarımı bölümünde herhangi bir güncelleştirme yapılmadığı da dikkat çekmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğüne hazırlanmış diğer bir kaynak olan 'Dönel Kavşaklar Tasarım Rehberi' incelendiğinde ise, Amerika Federal Karayolu İdaresi tarafından hazırlanmış olan FHWA-RD-00-067 adlı rapordan birebir yararlanılarak düzenlendiği görülmektedir [135].

Modern dönel kavşak uygulamalarında önde gelen ülkelerin, bu tip kavşakların tasarım ve işletimine yönelik hazırlamış oldukları standart ve kılavuzlarına benzer bir

dokümanın, ülkemiz için mevcut olmadığı ulusal literatürde sıklıkla dile getirilmiştir. Öztürk vd. [132] yaptıkları çalışma ile ülkemizde uygulanacak modern dönel kavşakların hız, kapasite, trafik güvenliği ve geometrik tasarım gereksinimlerinin optimize edilerek en uygun kavşak çapı ve geometrisinin belirlenmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda modern dönel kavşak yapım ve kullanımına yönelik esasları içeren teknik ve sosyal altyapının hazırlanmasına ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. Günay vd. [131] uluslararası alanda hazırlanmış olan dönel kavşak standartları temel alınır, ülkemiz koşullarını da göz önünde bulundurularak düzenlenmiş yeni standartların hazırlanması gerektiğini belirtmişler ve hazırlanan bu standartların, araç simülasyon ortamında farklı senaryolar altında incelenip elde edilen sonuçların istatistiksel olarak analiz edilmesiyle, ülkemizin yol özellikleri ve sürücü karakteristiğine göre düzenlenip uygulamaya konması gerektiğini ifade etmişlerdir. Kaygısız vd. [136] dönel kavşakların özellikle kentsel alanlarda uygulanmasının desteklenmesi gerektiğini dile getirirken dönel kavşakların imar planlarındaki geometrilere uygun olarak yapılmadığını da ifade etmişlerdir. Alçelik [137] ülkemizdeki kavşak tasarımlarının eksikliğini vurgulayarak, sinyalizasyon ve dönel kavşak tasarım ve uygulamasındaki farklılıkların tam olarak ayrıt edilmesinin gerekli olduğunu belirtmiştir. Kaygısız [138] özellikle büyükşehirlerde modern dönel kavşakların uygun tasarlanıp inşa edilmesi durumunda trafik akımının düzenlenmesi ve sakinleştirilmesinde önemli bir rolü olacağına dikkat çekmiştir. İnançlı [139], ülkemizde kullanılmakta olan dönel kavşakların hangi standartlara uygun olarak ve ne şekilde yapılmış olduğu konusunun incelenmesinin gerekli olduğunu ifade etmiştir. Yüksel [140] ise modern dönel kavşak geometrisinin ülkemiz koşullarına uygun ve özgün tasarım ölçütlerine ihtiyacı olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, var olan kaynakların yeterliliği ve ülkemiz koşullarına uygun olup olmadığının tartışmaya açık olduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

İncelenmiş ve yukarıda derlenmiş geniş çaplı literatür, dönel kavşakların geometrik elemanlarının standart ve kılavuz ölçütlerine uygun seçilmesinin kavşağın güvenliği ve kapasitesi üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Dönel kavşağın her bir geometrik elemanı kavşağın işleyiş, kapasite ve güvenliğinde rol oynayıp, diğer kavşak elemanlarıyla birlikte en efektif çalışacak şekilde düzenlenmelidir.

Kapasite bakımından yararlı özellikleri ve düşük kaza oranları nedeniyle çoğu ülkede sıklıkla kullanılan dönel kavşakların, ülkemize adaptasyonun sağlanıp en kısa sürede işletilmeye başlamasının çok büyük faydalar sağlayacağı açıktır. Ulusal literatürde dönel kavşakların güvenlik performanslarının kavşak geometrisiyle olan ilişkisinin ortaya konulduğu çalışmalara rastlanılmamıştır. Ayrıca ülkemizde kullanılmakta olan

dönel kavşakların tasarım, işletim ve performans bakımından büyük eksiklikleri olduğu literatürde sıklıkla dile getirilmiş olup bu tür kavşakların bizim koşullarımıza özgü bir tasarım standardı ne yazık ki bulunmamaktadır. Dahası hali hazırda kullanılmakta olan dönel kavşakların tasarım ve işletim bakımından hangi standart, kılavuz veya yönergeye bağlı kalınarak uygulamaya konduğu ve bunların ülkemiz yol ve sürücü karakteristiğine ne kadar uyumlu olduğu konusunda eksikliklerin olduğu belirtilmektedir. Bu çalışma ile dönel kavşak geometrik elemanlarının güvenlik ve kazaya sebebiyet verme ile ilgili ilişkileri incelenmiştir. Dönel kavşakların nasıl daha etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilceği yönünde faydalı bilgilerin derlendiği bu çalışmanın amacı ülkemiz için oldukça gerekli olduğu düşünülen geometrik tasarım standardının bir an önce hazırlanıp geliştirilmesine katkı sağlamaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda ülkemiz dönel kavşakları için kaza tahmin modelleri ve emniyet performans fonksiyonlarının gerekli istatistiksel metodlar kullanılarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun yapılmasının ilgili veri ve tecrübe eksiliğinden dolayı kolay olmayacağı da öngörülmektedir. Ancak geçmiş çalışmalar göz önüne alındığında kavşak güvenliği bakımından gerekli araştırmalara zaman kaybetmeden başlanması gerektiği açıkça görülmektedir. Dünya genelinde bu konuda önde gelen ülkelerin geliştirdiği modelleri uygulamak bir seçenek olarak gözüke de, ülkemizin sürücü karakteristiğinin farklı olması ve diğer ülkelerin dönel kavşak tasarım kılavuzlarının kendi koşullarına uygun olarak düzenlenmiş olması, uygulamadaki başarı konusunda önyargılar doğuracağı düşünülmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tiwari G. and Mohan D., "*Transport planning and traffic safety: making cities, roads, and vehicles safer*", CRC Press, (2016).
- [2] Elvik R., Høye A., Vaa T., and Sørensen M., "*The Handbook of Road Safety Measures*", Emerald, (2009).
- [3] Association W.R., "*Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association (PIARC)*", Route2 Market, (2003).
- [4] Ogden K.W., "*Safer roads: A guide to road safety engineering*", Gower Technical, England, (1996).
- [5] Novák J., Ambros J., and Frič J., "How Roundabout Entry Design Parameters Influence Safety", *Transportation Research Record*, 2672(34): 73-84, (2018).
- [6] FHWA, "Intersection Safety", <https://www.fhwa.dot.gov/research/topics/safety/intersections/>

- [7] "European Commission Basic Traffic Safety Facts" https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics_en (2015).
- [8] EGM, "*Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri*", Emniyet Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, (2012).
- [9] TÜİK, "*Trafik Kazaları İstatistiği 2012*", TÜİK Yayınları, Ankara, (2013).
- [10] Kennedy J., "*International comparison of roundabout design guidelines*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (2007).
- [11] Rodegerdts L.A., "Roundabouts: An informational guide", *Transportation Research Board*, 672: (2010).
- [12] Flannery A., "Geometric design and safety aspects of roundabouts", *Journal of the Transportation Research Board*, 1751: 76-81, (2001).
- [13] Dixon K. and Zheng J., "*Developing safety performance measures for roundabout applications in the state of Oregon*", Oregon Dep. of Transportation, (2013).
- [14] Bared J., Prosser W., and Esse C., "State-of-the-art design of roundabouts", *Journal of the Transportation Research Board*, 1579: 1-10, (1997).
- [15] KGM, "*Karayolu Tasarım El Kitabı*", Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, (2005).
- [16] Austroads, "*Roundabouts, Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6*", Sydney, Australia, (1993).
- [17] Brilon W. and Stuwe B., "Capacity and design of traffic circles in Germany", *Transportation Research Record*, 61: 68-74, (1993).
- [18] Schoon C. and Van Minnen J., "*Accidents On Roundabouts II. Second Study Into The Road Safety Aspects Of Dutch Roundabouts, In Particular With Regard To Cyclists And Moped Riders*", SWOV Institute for Road Safety Research, Netherlands, (1993).
- [19] Waddell E., "Evolution of roundabout technology: a history-based literature review", *67th Annual Meeting Institute of Transportation Engineers (ITE)*, Boston, (1997).
- [20] Kennedy J.V., Hall R., and Barnard S., "*Accidents at urban mini-roundabouts*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (1998).
- [21] Garder P., "*The Modern Roundabouts: The Sensible Alternative for Maine*", Maine Department of Transportation, USA, (1998).
- [22] McIntosh K., Redinger C., and Bagdade J., "*Evaluating the performance and safety effectiveness of roundabouts*", No. RC-1566, Opus International Consultants, (2011).
- [23] Persaud B.N., Retting R.A., Garder P.E., and Lord D., "*Crash reductions following installation of roundabouts in the United States*", Insurance Institute for Highway Safety, (2000).
- [24] TRL, "*Roundabout Design for Capacity and Safety - The UK Empirical Methodology*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (2003).
- [25] Robinson B.W., "*Roundabouts: An informational guide*", Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, (2000).
- [26] Thai Van M.-J. and Balmeffrezol P., "Design of roundabouts in France: Historical context and state of the art", *Transportation Research Record*, 1737(1): 92-97, (2000).
- [27] Spacek P., "Basis of the Swiss design standard for roundabouts", *Journal of the Transportation Research Board*, 1881: 27-35, (2004).
- [28] Guichet B., "Evolution of roundabouts in France and new uses", *Transportation Research Circular*, E-C083: 7, (2005).
- [29] Lenters M.S., "Safety auditing roundabouts", *National Roundabout Conference*, Colorado, (2005).
- [30] SETRA, "*The Design of Interurban Intersections on Major Roads*", Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, France, (1998).
- [31] Walker J. and Pittam S., "*Accidents at Mini-Roundabouts: Frequencies and Rates*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (1989).
- [32] Maycock G. and Hall R., "*Accidents at 4-arm roundabouts*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (1984).
- [33] Hall R. and Surl R., "Accidents at four-arm roundabouts and dual-carriageway junctions-some preliminary findings", *Traffic Engineering & Control*, 22(6): 339-344, (1981).
- [34] Brilon W., "Kreisverkehrsplaetze mit Lichtsignalanlagen", *Strassenverkehrstechnik*, 39(8), (1995).
- [35] Rodegerdts L., et al., "*Roundabouts in the United States-NCHRP Report 572*", Transportation Research Board, Washington DC, (2007).
- [36] Persaud B., Retting R., Garder P., and Lord D., "Safety effect of roundabout conversions in the united states: Empirical bayes observational before-after study", *Journal of the Transportation Research Board*, 1751: 1-8, (2001).
- [37] Troutbeck R., "Capacity and design of traffic circles in Australia", *Transportation Research Record*, 1398: 68-74, (1993).
- [38] Schoon C. and van Minnen J., "Safety of Roundabouts in The Netherlands", *Traffic Engineering and Control*, 35(3): 142-148, (1994).
- [39] Gates T. and Maki R., "*Converting old traffic circles to modern roundabouts: Michigan State University case study*", MI: Michigan State University, (2000).
- [40] Gross F., Lyon C., Persaud B., and Srinivasan R., "Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts", *Accident Analysis & Prevention*, 50: 234-241, (2013).
- [41] Ambros J., Turek R., and Janoška Z., "Safety evaluation of Czech roundabouts", *Advances in Transportation Studies*, 40: 111-122, (2016).
- [42] Elvik R., "Road safety effects of roundabouts: A meta-analysis", *Accident Analysis & Prevention*, 99: 364-371, (2017).
- [43] Flannery A. and Datta T.K., "Modern roundabouts and traffic crash experience in United States", *Transportation Research Record*, 1553: 103-109, (1996).
- [44] Council F.M., Dunham J.R., Dutt A.K., Carrol C.L., Roediger F.L., Campbell B.J., and Reinfurt D.W., "*Accident Research Manual: Final Report*", No. FHWA-RD-80-016, (1980).

- [45] Hauer E., "Statistical test of difference between expected accident frequencies", *Transportation Research Record*, 1542: 24-29, (1996).
- [46] Bared J. and Kennedy K., "*Safety Impacts of Modern Roundabouts*", ITE Safety Toolbox, (1999).
- [47] Retting R.A., Persaud B.N., Garder P.E., and Lord D., "Crash and injury reduction following installation of roundabouts in the United States", *American Journal of Public Health*, 91(4): 628, (2001).
- [48] Guichet B., "Roundabouts in France: Development, Safety, Design, and Capacity", *3th International Symposium on Intersections Without Traffic Signals*, Portland, (1997).
- [49] Elvik R., "Assessing the validity of road safety evaluation studies by analysing causal chains", *Accident Analysis & Prevention*, 35(5): 741-748, (2003).
- [50] Vlahos E., Polus A., Lacombe D., Ranjitkar P., Faghri A., and Fortunato III B.R., "Evaluating the conversion of all-way stop-controlled intersections into roundabouts", *Transportation Research Record*, 2078: 80-89, (2008).
- [51] Isebrands H., "Crash analysis of roundabouts at high-speed rural intersections", *Transportation Research Record*, 2096: 1-7, (2009).
- [52] Montella A., "Roundabout in-service safety reviews: safety assessment procedure", *Journal of the Transportation Research Board*, 40-50, (2007).
- [53] Wang B., Hensher D.A., and Ton T., "Safety in the road environment: a driver behavioural response perspective", *Transportation*, 29(3): 253-270, (2002).
- [54] Muffert M., Pfeiffer D., and Franke U., "A stereo-vision based object tracking approach at roundabouts", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 5(2): 22-32, (2013).
- [55] Kadeha C., "Influence Of Traffic And Geometric Features On Safety And operations Of Roundabouts", *Master's Thesis*, The Florida State University, (2018).
- [56] Montella A., "Analysis of crash contributory factors at urban roundabouts", *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Washington DC, (2010).
- [57] Dabbour E., Al Awadhi M., Aljarah M., Mansoura M., and Haider M., "Evaluating safety effectiveness of roundabouts in Abu Dhabi", *IATSS Research*, 42(4): 274-283, (2018).
- [58] AASHTO, "*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*", Chicago Illinois, American Association of State Highway and Transportation Officials, (2011).
- [59] Hanscom F.R., "Drivers' understanding of innovative roundabout traffic control devices", *ITE Journal*, 80(7): 40-44, (2010).
- [60] McKnight G.A., Khattak A.J., and Bishu R., "Driver characteristics associated with knowledge of correct roundabout negotiation", *Transportation Research Record*, 2078: 96-99, (2008).
- [61] Harkey D.L. and Carter D.L., "Observational analysis of pedestrian, bicyclist, and motorist behaviors at roundabouts in the United States", *Transportation Research Record*, 1982: 155-165, (2006).
- [62] Pilko H., Mandžuka S., and Barić D., "Urban single-lane roundabouts: A new analytical approach using multi-criteria and simultaneous multi-objective optimization of geometry design, efficiency and safety", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80: 257-271, (2017).
- [63] Daniels S., Nuyts E., and Wets G., "The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: an observational study", *Accident Analysis & Prevention*, 40(2): 518-526, (2008).
- [64] Chen Y., Persaud B., and Lyon C., "Effect of Speed on Roundabout Safety Performance: Implications for Use of Speed as Surrogate Measure", *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*, Washington DC, (2011).
- [65] Johnson W. and Flannery A., "Estimating Speeds at High Speed Rural Roundabouts", *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*, Chicago Illinois, USA, (2005).
- [66] Gallelli V., Vaiana R., and Iuele T., "Comparison between simulated and experimental crossing speed profiles on roundabout with different geometric features", *Procedia-Social And Behavioral Sciences*, 111: 117-126, (2014).
- [67] Isebrands H., "Quantifying Safety and Speed Data for Rural Roundabouts with High-Speed Approaches", *Doctoral Thesis*, Iowa State University, (2012).
- [68] Jensen S.U., "Safety Effects of Height of Central Islands, Sight Distances, Markings and Signage at Single-lane Roundabouts", *5th International Symposium on Highway Geometric Design*, Vancouver, Canada, (2015).
- [69] Park M., Lee D., and Park J.-J., "An Investigation of the Safety Performance of Roundabouts in Korea Based on a Random Parameters Count Model", *Journal of Advanced Transportation*, Special Issue Modern Roundabouts: A Challenge of the Future: 1-8, (2018).
- [70] Mandavilli S., McCart A.T., and Retting R.A., "Crash patterns and potential engineering countermeasures at Maryland roundabouts", *Traffic Injury Prevention*, 10(1): 44-50, (2009).
- [71] Kim S. and Choi J., "Safety analysis of roundabout designs based on geometric and speed characteristics", *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 17(6): 1446-1454, (2013).
- [72] Jensen S.U., "Safety effects of converting intersections to roundabouts", *Transportation Research Record*, 2389(1): 22-29, (2013).
- [73] Aumann P., "*Guide to road design part 4B: roundabouts*", Austroads, Sydney, (2015).
- [74] Bassani M. and Sacchi E., "Investigation into speed performance and consistency of urban roundabouts: an Italian case study", *TRB 3rd International Roundabout*, Indiana, USA, (2011).
- [75] Wolhuter K., "*Geometric design of roads handbook*", CRC Pres, (2015).
- [76] Alphan F., Noelle U., and Guichet B., "Roundabouts and Road Safety", *Intersections without traffic signals II*, Berlin, 107-125, (1991).
- [77] Tanyel S., "Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2001).
- [78] Brüde U. and Larsson J., "Trafiksäkerhet i cirkulationsplatser för cyklister och fotgängare [Road safety in the roundabouts for cyclists and pedestrians]",

- Statens väg-och transportforskningsinstitut.*, VTI meddelande 864, (1999).
- [79] Jørgensen E. and Jørgensen N., "Er der mere nyt om rundkørsler". *Dansk Vejtidskrift*, 12: 29-31, (1992).
- [80] Lalani N., "The impact on accidents of the introduction of mini, small and large roundabouts at major/minor priority junctions", *Traffic Engineering & Control*, 16, (1975).
- [81] Thomas G. and Nicholson A., "Rural Roundabouts and Their Application in New Zealand", *Technical Conference Papers Institution of Professional Engineers*, New Zealand, (2003).
- [82] Jørgensen E. and Jørgensen N., "Trafiksikkerhed i rundkørsler i Danmark [Road safety in roundabouts in Denmark]", *Rapport*, 235: (2002).
- [83] Jørgensen E. and Jørgensen N., "Trafiksikkerhed i 82 danske rundkørsler: Anlagt efter 1985 [Road safety in 82 Danish roundabouts: Established after 1985]", *Vejdirektoratet*, (1994).
- [84] Montonen S., "The safety of roundabouts", *Tiehallento*, Helsinki, Finland, (2008).
- [85] Cedersund H.Å., "Cirkulationsplatser [Roundabouts]", *Statens Väg-och Trafikinstitut*. VTI Meddelande nr 361, (1983).
- [86] Daniels S., Brijs T., Nuyts E., and Wets G., "Extended prediction models for crashes at roundabouts", *Safety Science*, 49(2): 198-207, (2011).
- [87] Brilon W., "Roundabouts: A state of the art in Germany", *National Roundabout Conference*, Vail, Colorado. (2005).
- [88] "Design Manual for Roads And Bridges: Volume 6", <http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb/vol6/index.htm>, (2007)
- [89] Harper N.J. and Dunn R., "Accident prediction models at roundabouts", *2005 Annual Meeting and Exhibit Compendium of Technical Papers Institute of Transportation Engineers (ITE)*, ARRB Group Limited, (2005).
- [90] Ji K.Y., "The Analysis of a Factor of the Accident at a Roundabout Considering as the Driver's Peculiarities", *Master's Thesis*, Myongji University, Seoul, (2013).
- [91] Rodegerdts L.A., "Roundabouts: An informational guide", *Transportation Research Board*, 672: (2010).
- [92] Montella A., Turner S., Chiaradonna S., and Aldridge D., "International overview of roundabout design practices and insights for improvement of the Italian standard", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(12): 1215-1226, (2013).
- [93] Spahn V. and Bäuml G., "Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern / Traffic safety of roundabouts and intersections equipped with traffic lights", *Straßenverkehrstechnik*, 51(7), (2007).
- [94] Jensen S.U., "Evaluation of effects of roundabouts with various design", *Trafitec*, Lyngby, Denmark, (2013).
- [95] FHWA, "Kansas Roundabout Guide", https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/other_topics/fh_wasa09027/resources/Kansas%20Roundabout%20Gui_de.pdf, (2003).
- [96] Montella A., Turner S., Chiaradonna S., and Aldridge D., "Proposals for improvement of the Italian roundabout geometric design standard", *Procedia-social and behavioral sciences*, 53: 189-202, (2012).
- [97] Tumber C., "Review of pedestrian safety at roundabouts", Vic Roads Road Safety Department, Melbourne, AU, (1997).
- [98] Tollazzi T., "Alternative Types of Roundabouts: An Informational Guide", Springer Tracts on Transportation and Traffic, (2015).
- [99] Richie S. and Lenters M., "High speed approaches at roundabouts", *Transportation Research Circular*, E-C083: 56-56, (2005).
- [100] Arndt O. and Troutbeck R.J., "Relationship between roundabout geometry and accident rates", *Transportation Research Circular*, (E-C003) 28: 1-16, (1998).
- [101] Anjana S. and LR Anjaneyulu M., "Development of safety performance measures for urban roundabouts in India", *Journal Of Transportation Engineering*, 141(1): 15-20, (2014).
- [102] Ahiamadi S.K., Tian Z., and Gibby A.R., "Nevada Roundabout Implementation Guidelines", Report No. 079-10-803, Nevada Department of Transportation, (2012).
- [103] Jacquemart G., "Modern Roundabout Practice in the United States. Synthesis of Highway Practice", Transportation Research Board, Washington, DC, USA, (1998).
- [104] Jørgensen N., "Rundkørslers kapacitet og sikkerhed (Roundabout capacity and safety)", Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, (1991).
- [105] Jensen S.U., "Uheldsmodeller for rundkørsler (Roundabout accident models)", *Trafitec*, Lyngby, Denmark, (2013).
- [106] "Geometric Design of Roundabouts", <http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb/vol6/section2/td1607.pdf>, (2007).
- [107] Birlon W., and Wu N., "Guideline for the design of roundabouts", *FGSV*, Cologne, (2006).
- [108] CERTU, "Carrefours urbains: Guide", Lyon, France (1999).
- [109] Italian Ministry of Infrastructures and Transports, "Guidelines for the Design of Road Intersections", Official Journal of Italian Republic, Rome, Italy, (2006).
- [110] Swiss Standard SN640263, "Intersections, Roundabout", <https://shop.snv.ch/en/National-Standards/Swiss-Association-of-Road-and-Transport-Experts/>, Swiss Association of Road and Transportation Experts, Zurich, Switzerland, (1999).
- [111] Flannery A. and Elefteriadou L., "A review of roundabout safety performance in the United States", *69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers*, Las Vegas, Nevada, (1999).
- [112] Steinmetz L. and Aumann P., "Guide to traffic management part 6: intersections, interchanges and crossings", Austraods, (2017).
- [113] Kimber R., "The traffic capacity of roundabouts", Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne UK, (1980).
- [114] Al-Suleiman T., Al-Bandoura F.A., and Al-Masaeid H., "Traffic safety at roundabouts in Urban Areas-Case

- Study in Jordan*", Jordan University of Science & Technology, Jordan, (2006).
- [115] Aagaard P., "*Methods for choice of traffic control at crossroads*", Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, (1995).
- [116] "A Safety Auditors View of Roundabout Design", <http://www.ukroads.org/ukroadsafety/articlespapers/roadsafetygoodpracticeguide.pdf>, (1997).
- [117] Ministry of Public Works and Transportation, "*Guidelines for Roundabout*", Ministry of Public Works and Transportation Spain, (1999).
- [118] Davies D., Taylor M., Ryley T., and Halliday M., "*Cyclists at Roundabouts The Effects of 'Continental' Design on Predicted Safety and Capacity*", Transport Research Laboratory, Crowthorne UK, (1997).
- [119] Colonna P., Berloco N., Intini P., Perruccio A., and Ranieri V., "Evaluating skidding risk of a road layout for all types of vehicles", *Transportation Research Record*, 2591: 94-102, (2016).
- [120] Crown R., "RODEL An Interactive Model for Predicting the Effect of Detailed Roundabout Geometry on Accidents, Capacity, Queues and Delays", *Actes Du Seminaire International Giratoires 92*, Nantes France, (1992).
- [121] CROW, "Eenheid in Rotondes [Standards for Roundabouts]", 126, (1998).
- [122] Lofqvist A., "Best Practices and Strategies to Reduce Fatal or Serious Injury Crashes into Obstacles and Road Equipment: Swedish Experience", *Transportation Research Circular*, (2013).
- [123] Italy Ministry of Public Works and Transport, "*Operational and geometric standards for the construction of road intersections*", Italy Ministry of Public Works and Transport, Italy, (2006).
- [124] Trueblood M. and Dale J., "*Simulating roundabouts with VISSIM*", *2nd Urban Street Symposium: Uptown, Downtown, or Small Town: Designing Urban Streets that Work.*, USA, (2003).
- [125] Arndt O., "Relationship between unsignalised intersection geometry and accident rates", *Doctoral Thesis*, Queensland University of Technology, Queensland, (1991).
- [126] Robinson D.L., "Accidents at Roundabouts in New South Wales", *15th Australian Road Research Board (ARRB) Conference*, Darwin, (1990).
- [127] Guido G.P., Saccomanno F.F., Astarita V., and Vitale A., "Measuring safety performance at roundabouts using videotaped vehicle tracking data", *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, Washington DC, (2009).
- [128] Turner S., Roozenburg A.P., and Smith A., "*Roundabout crash prediction models*", New Zealand Transport Agency, NZ, (2009).
- [129] Montella A., "Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types", *Accident Analysis & Prevention*, 43(4): 1451-1463, (2011).
- [130] Appleton I. and Clark G., "The Ins and Out of Roundabouts", *Transfund*, New Zealand, (2000).
- [131] Günay B., Aydın M.M., and Akgöl K., "Modern Dönel Kavşaklara Sorunsuz Bir Dönüşümün Bilimsel Metodolojisi", *Karayolu 3. Ulusal Kongresi*, Ankara, (2014).
- [132] Öztürk E.A., Çubuk M.K., Arslan D., and Yüksel E., "Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Güvenlik Yönünden İncelenmesi", *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 22(4): 917-925, (2007).
- [133] Günay B., "Şehirlerarası Yollardaki Dönel Kavşakların Barındırdığı Güvenlik Açıkları-Kurallar ve Gerçekler", *6. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu*, Ankara, 26-34, (2016).
- [134] SweRoad, "*Modern Dönel Kavşaklar İçin Önerilen Tasarım Esasları*", Ankara, (2000).
- [135] Seven F., Ertekin M., Kalaycı A.S., and Kayacı K., "*Dönel Kavşaklar Tasarım Rehberi*", Karayolları Genel Müdürlüğü, Planlama Şubesi, Ankara, (2005).
- [136] Kaygısız Ö. and Şenbil M., "Şehir Planlamada Yol Ağı ve Kavşaklar Sorunu: Kazalar ve Kaza Çeşitlerinden Bir Bakış, Eskişehir Örneği", *2. Kentsel ve Bölgesel Araştırmalar Sempozyumu*, (2011).
- [137] Alçelik N., "Kent içi sinyalizasyon ve dönel kavşakların kapasite açısından karşılaştırılması, Ümraniye ilçesi örneğinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi İstanbul, (2010).
- [138] Kaygısız Ö., "Trafik Güvenliği Sakinleştirmeye Yönelik Önlemler", *Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu*, 543-562, Ankara, (2010).
- [139] İnançlı M., "Dönel Kavşakların Güvenliği Ve Konya'daki Bazı Kavşakların İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, (2012).
- [140] Yüksel E., "Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Trafik Güvenliği Yönünden İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2007)