

## Bingöl Düzağaç Kavşağının Rotor Tipi Turbo Dönel Kavşak Olarak Düzenlemesi Durumu için Kapasite Hesaplarının Ön Çalışması

İhsan GÜZEL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

\*<sup>1</sup> iguzel@bingol.edu.tr

(Geliş/Received: 04/02/2020;

Kabul/Accepted: 06/10/2020)

**Öz:** Çok şeritli dönel kavşakların alternatif bir formu olan turbo dönel kavşaklar, kapasite ve güvenliğinin çok şeritli dönel kavşaklara göre avantajlarından dolayı son yıllarda birçok ülkede tasarım rehberleri hazırlanarak uygulamalarına başlanılmıştır. Bu çalışmada turbo kavşakların güvenlik ve kapasite üstünlükleri göz önüne alınarak Bingöl Düzağaç mevkiinde bulunan sinyalizasyonlu ana yol, tali yol kavşağında, yol kullanıcısı ve taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması için turbo dönel kavşak olarak düzenleme ön çalışması yapılmıştır. Bu kavşakta belirlenen senaryoya göre devlet yolunda trafik akımının alt geçitli veya alt geçitsiz sağlanması durumunda rotor tipi turbo kavşakların sinyalizasyonuz uygulanması için kapasite hesaplanmıştır. Alt geçitli turbo kavşağın alt geçitsiz turbo kavşağa göre kavşak kollarının şerit doygunluk yüzdelerinde ortalama 4 kat azalma olmasına rağmen; ana konumda bulunan Bingöl Sanayi ve tali konumda bulunan Bingöl Şehir Merkezi kollarında trafik artışı olması durumunda sola dönlüşlerin üst geçitle sağlanması gerekeceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Turbo Kavşak, Kapasite, Altgeçit, Şerit, Doygunluk, Trafik Senaryosu.

### Preliminary Study of Capacity Calculations for Regulation as Rotor Type Turbo Roundabout Status of Bingol Duzagac Junction

**Abstract:** An alternative form of multi-lane roundabouts, turbo roundabouts; Due to the advantages of its capacity and safety compared to multi-lane roundabouts, design guides have been prepared and started to be implemented in many countries in recent years. In this study, a preliminary study was made for the turbo roundabouts in order to reduce road user and vehicle operating costs at the signaling main road secondary road junction in Bingol Duzagac location considering the safety and capacity advantages. According to the scenario determined at this intersection, capacity is calculated for the implementation of rotor type turbo junctions without signaling in case the traffic flow on the state road is provided with or without an underpass. Although there is an average 4 fold reduction in the strip saturation percentages of the junction arms of the underpass turbo junction compared to the turbo junction without underpass; It is determined that if there is an increase in traffic in the branches of 'Bingol Industrial Site' located in the main location and 'Bingol City Center' located in the secondary location, left turns will need to be provided by overpass.

**Key words:** Turbo Junction, Capacity, Underpass, Lane, Saturation, Traffic Scenario

#### 1. Giriş

Karayollarının kesişmesi, birleşmesi ve ayrılmasıyla teşekkül edilen kavşak alanları, karayolunun hız, işletme, kapasite, maliyet ve güvenlik faktörlerini etkilemektedir. Kavşaklar güvenlik, estetik, hizmet seviyesi ve ekonomik prensipleri gözönüne alınarak; sürekliliğin sağlanması, güvenliğin ve hızın artırılması, yeterli hizmet seviyesinin sağlanması, taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması amacıyla sistem ve servis formunda eş düzey, farklı düzey ve seviye ayrımlı tiplerinde yapılmaktadır [1,2].

Kavşaklar çakışmaları azaltmak, kapasiteyi artırmak ve rahat manevra yapılmasını sağlayacak temel hedefler göz önünde bulundurularak; toplanan bölgesel ve trafik verilerine göre insan, trafik, güvenlik, ekonomiklik, kavşak alanlarının fonksiyonellik ve fiziksel faktörleriyle beraber; algi, manevra, kuyruk mesafesi unsurları dikkate alınarak tasarlanmaktadır [3].

Kavşaklarda kesişme kontrolleri pasif, aktif ve kısmi kontrol seviyeleriyle yapılmakta olup; pasif kontrol trafik hacminin az olduğu kavşaklarda yol kullanıcılarının temel kurallara uyması koşuluyla kontrollerin düşey veya yatay işaretlemelerle, aktif kontroller sinyalizasyon ve farklı seviyeli geçişlerle, kısmi kontrol ise kanalize ayrımları ve dairesel adalarla sağlanmaktadır [4].

Trafik akımının merkezi bir ada etrafında yönlendirildiği ve ada etrafında araçların ilk geçiş hakkına sahip olduğu işaretlerle belirtilerek; kesişmelerin kısmi kontrolle önlenmeye çalışıldığı modern dönel kavşaklarda, yakıt

\* Sorumlu yazar: [iguzel@bingol.edu.tr](mailto:iguzel@bingol.edu.tr). Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-9368-8902

tüketimi hava kirliliği, durma gecikme süreleri ve kaza sayılarında ortalama olarak %40 oranında azalmaktadır [5,6].

Kapasite ve güvenlik avantajları nedeniyle modern dönel kavşakların alternatif olarak düşünülen turbo kavşaklarla ilgili yapılan bazı çalışmalara ait sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Vincenzo, dönel kavşağa giren iki kolun girişi iki, çıkışları tek ve diğer kollarının giriş çıkışları tek şeritli olan mevcut iki şeritli sıkıştırılmış dönel kavşağın performansının artırılması için kollarının giriş çıkışları iki şeritli olan turbo dönel kavşağa dönüştürülmesi çalışmasında; trafik akımının fazla olduğu kollarda kapasitenin ortalama %40 arttığını, simülasyon çalışmasında ise kuyruk boyunun %90 oranında azaldığını belirlemiştir [7].

Pitlova, giriş ve çıkışları tek şeritli olan dört kollu mevcut dönel kavşağın turbo kavşak tiplerine dönüştürülmesi halinde, teorik olarak hesapladığı kapasite analizlerine göre turbo kavşaklarda taşıtların bekleme süresi 10 kat azalmıştır [8].

Skavania, Çek Cumhuriyetinde çeşitli tiplerde yapılan turbo kavşak kapasitelerinin, kavşak kollarının giriş çıkış şerit sayılarına ve kollarda trafik akım özelliklerine göre değişmekle beraber 2700 taşıt/saat ile 3800 taşıt/saat arasında olduğunu; ayrıca milyon taşıt başına kaza sayısının ortalama %60 azalma olduğunu belirtmiştir [9].

Babokic, Zagreb'te bulunan dört kollu sinyalizasyonlu bir kavşağın dönel ve turbo kavşak olarak düzenlemesi durumunda, mikro simülasyon yöntemleriyle yaptığı hesaplamalar sonucunda, turbo kavşak kollarında elde edilen kuyruk uzunluğu, taşıt gecikmesi, seyahat süresi ve emisyon yayılımı önemli oranda azaldığı görülmüştür [10].

Silva, Portekiz'in Lizbon şehrinde iki kolunun giriş kapasitesi yüksek olan mevcut bir dönel kavşağın, turbo kavşak yapılması durumunda, bu kollarda kapasitesinin ortalama %20 düşeceği hesaplamış; ayrıca turbo kavşakların aynı boyutta dönel kavşaklara göre kapasitesinin bir miktar az olacağını belirtmiştir [11,12].

Izadi, pik saatte dört kolunun her birimde trafik hacmi 1000 taşıtın üzerinde olan dönel kavşakla, turbo dönel kavşağı trafik performansı açısından karşılaştırma çalışmasında; turbo kavşakta seyahat, durma gecikme sürelerinin ve kuyruk uzunluğunun azaldığını göstermiştir [13].

Guerrieri ve Corriere, merkez ada etrafında şerit sayıları ve kollara giriş çıkış şerit sayıları iki olan dönel kavşakla turbo dönel kavşağı günlük kapasiteleri karşılaştırmış; turbo kavşakların yaklaşık olarak %20 oranında günlük kapasitesinin fazla olduğu belirlemiştir [14].

Turbo kavşakların yukarıda belirtilen olumlu sonuçlar göz önünde bulundurularak; Bingöl ilinin yerleşim alanından batı doğu yönünde geçen 6,80 km devlet yolu (Elazığ-Muş) üzerinde bulunan mevcut aktif kontrollü altı kavşaktan, yıllık ortalama günlük trafiği (YOGT) en yüksek olan Düzağaç kavşağının sinyalizasyon nedeniyle oluşan taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması için literatür incelemelerinde ülkenizde uygulaması olmayan turbo kavşak olarak düzenlenmesinin araştırılmasının önemli olduğu düşünüldükçe bu çalışma yapılmıştır.

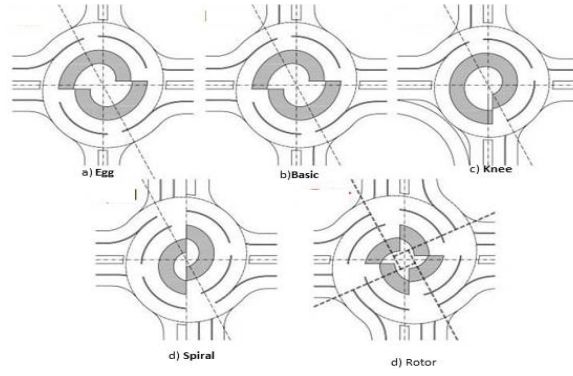
## 2. Turbo Kavşak

Geçmişte uygulanması zorunlu olan dönel kavşak koşullarının değişmesi ve bu kavşakların kısmi dezavantajları nedeniyle son zamanlarda belli ülkelerde iki şeritli dönel kavşakların yenilikçi bir düzenlemesi olan turbo dönel kavşak uygulamalarına başlanılmıştır. Turbo kavşaklar giriş veya çıkış kollarında trafik hacmine göre merkezi ada çapının değiştirilmesiyle elde edilen spirallerin belirli yön akışlarının şeritler boyunca fiziksel olarak ayrıldığı ve dönel kavşakların şiddetli çakışma noktalarının bazılarını kaldırarak trafik akışının sağlandığı çok şeritli dönel kavşak türüdür [15,16].

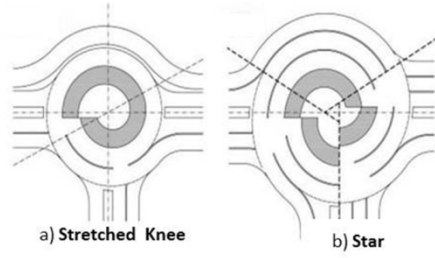
Hollanda'nın Delft Üniversitesi araştırmacısı Dr. Lambertus Fortuijn tarafından 1998 yılında geliştirilen turbo dönel kavşaklar, yapılan analizler sonucunda 2008 yılında ilk olarak Hollanda'da tasarım rehberi hazırlanmıştır. Almanya gibi gelişmiş ülkelerin de yer aldığı bazı ülkeler tasarım rehberleri yayınlamış olup; Amerika'da ise araştırmalar devam etmektedir. Yayımlanan rehberlerde geometrik tasarım;

- Mevcut kavşak türlerinden birini seçmek
- Tasarım aracını tanımlama,
- Turba Blok Şablonunu belirlemek,
- Turbo kavşağın diğer elemanlarının tasarımı aşamalarından
- Tasarım araçlarının yatay süpürme ve hız analizi aşamalarıyla yapılmaktadır.

Turbo dönel kavşakların üç kollu ve dört kollu tiplerinde (Şekil 1-2) egg, basic turbo, knee, spiral ve stretched-knee formları kollarda trafik akışlarından birinin fazla olduğu durumlarda, rotar ve star formları ise kollarda trafik akışının yakın olduğu durumlarda önerilmektedir [17].

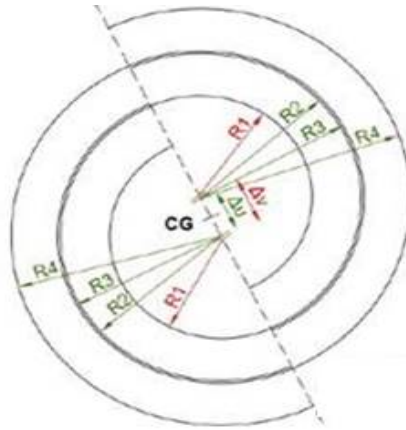


Şekil 1. Dört kollü kavşak formları[17]

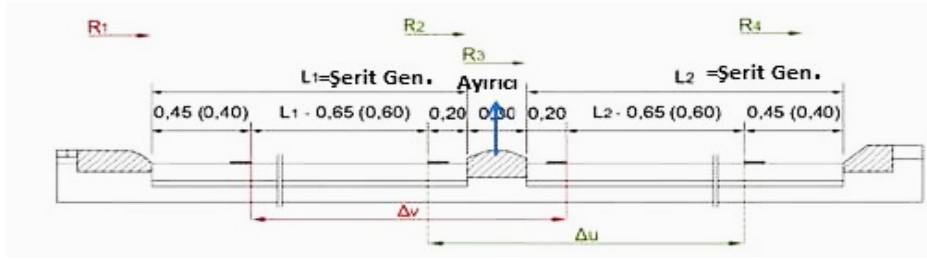


Şekil 2. Üç kollü kavşak formları[17]

Tasarımın en önemli elemanlarından olan iç-dış daire yarıçapları, şerit genişlikleri, iç-dış merkezler arasında farklar ve en kesit Şekil 3,4'de, bu elemanların geniş ve mini turbo kavşaklar için Hollanda'ya ait değerleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu değerlere göre geniş bir turbo kavşak için tasarım şartlarını sağlanması koşuluyla, geniş turbo kavşaklar için yaklaşık 3000 m<sup>2</sup>, küçük turbo kavşaklar için ise 1500 m<sup>2</sup> alan gerekmektedir.



Şekil 3. Turbo kavşak blok elemanları[17]



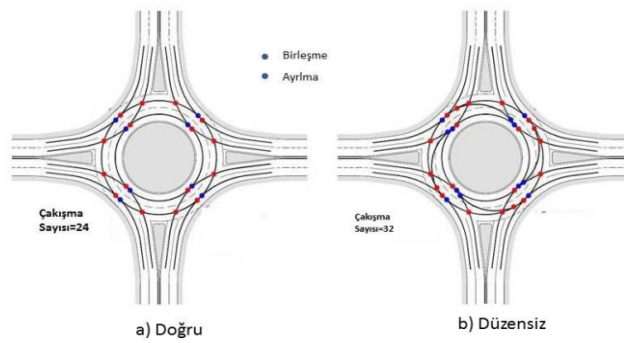
Şekil 4. Turbo Kavşak en kesiti[17]

Tablo 1. Turno kavşak yatay eksen eleman boyutları[17]

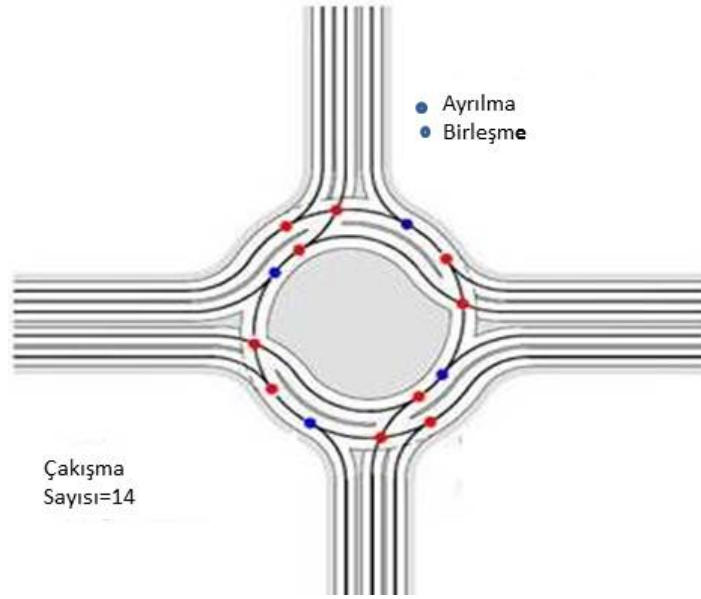
Kavşak Elemanı	Turbo Kavşak Tipi	
	Mini	Geniş
R <sub>1</sub> (m)	10,50	20,00
R <sub>2</sub> (m)	15,85	24,90
R <sub>3</sub> (m)	16,15	25,20
R <sub>4</sub> (m)	21,15	29,90
L <sub>1</sub> (Şerit Gen (m))	5,35	4,90
L <sub>2</sub> (Şerit Gen(m))	5,00	4,70
Δv(m)	5,75	5,15
Δu(m)	5,05	4,75

Turbo kavşakların kavşak alanı ve ilk maliyetleri fazla olmasına karşın sinyalizasyon kavşaklarına göre kapasitesi yaklaşık %30 fazla olması nedeniyle kuyruk uzunluğu ve gecikmeler azaldığından yaşam döngü maliyetleri daha düşüktür [18].

Çok şeritli dönel kavşaklarla turbo dönel kavşaklar güvenlik açısından karşılaştırıldığında Şekil 5'te görüleceği üzere çok şeritli dönel kavşaklarda sürücünün doğru ve düzensiz davranış biçimine göre olası çakışma sayıları sırasıyla 24, 32 noktada, turbo kavşaklarda ise kavşak kolu sayısı ve tipine göre çakışma sayıları 9 ile 24 nokta arasında değişmektedir. Trafik işaretleriyle düzenlenmiş pasif kontrollü kavşaklara göre güvenliği yüksek olan basit turbo kavşaklarda ise ayırıcılar nedeniyle çakışma 14 noktada (Şekil 6) meydana gelmektedir.



Şekil 5. Sürücü davranışına göre dönel kavşaklarda olası çakışma sayısı[11]



Şekil 6. Basit turbo kavşakların olası çakışma sayısı[11]

Dönel kavşak kollarının kapasite hesaplamalarında kullanılan formül parametreleri kavşak tasarımının ana prensiplerinden güvenlik ve hizmet düzeyi seviyesini etkileyen en önemli faktörlerden olan insan ve trafik faktörleriyle ilişkilidir. Kapasite hesaplamaları genel olarak alan gözlemlerine dayanan regresyon analizi, boşluk kabulü teorisi olmak üzere iki metodoloji ile analitik ve simülasyon modellerle yapılmaktadır[19]. Boşluk kabulüne dayanan metodoloji modelleri kavşakta dağılan trafik akışının üssel bir fonksiyonu olarak kapasiteyi ifade eden analitik modellerdir. Çok sayıda modelin olduğu boşluk kabulü metodolojisine tek şeritli giriş için Siegloch, Cowan-M3 modeli, iki şeritli girişler için ise iki şeritli dönel kavşaklar için tali yol kapasitesini Cowan-M3 dağılımı kullanarak hesaplayan Troutbeck modelini genişleten Cowan-M3 2Lve Brilon modeli örnek verilebilir [20].

Turbo kavşakların ilk tasarımını yapan Fortuijn, Troutbeck'in modelini genişleterek ve Hollanda'da kavşak alanlarından elde edilen veriler sonucunda Tanner Demet Modelinin  $\phi$  parametresini dikkate alarak; ana yönde trafiğin olduğu kollarda sağa sola, tali yollarda ise sağa dönüş kapasitesi Eşitlik 1 ile, tali kollarda sola dönüş kolları için ise Eşitlik 2 ile hesaplamıştır [21].

$$C = q_y \left( 1 - \frac{\Delta q_y}{3600} \right) \cdot \frac{e^{-\frac{q_y(T_y - \Delta)}{3600}}}{1 - e^{-\frac{q_y T_f}{3600}}} \quad (1)$$

$$C = (q_u + q_y) \left( 1 - \frac{\Delta q_u}{3600} \right) \left( 1 - \frac{\Delta q_y}{3600} \right) \frac{e^{-\frac{q_u(T_u - \Delta)}{3600}} \cdot e^{-\frac{q_y(T_y - \Delta)}{3600}}}{1 - e^{-\frac{(q_u + q_y) T_f}{3600}}} \quad (2)$$

C kavşak kolu kapasitesi,

$q_y, q_u$ : Kavşak içerisinde giriş kolu önüne yakın ve uzak şeritlerde trafik akımı

$T_y$ : Kavşak içerisinde giriş kolu önüne yakın şeritlerde taşıtlar arası takip aralığı(sn)

$T_u$ : Kavşak içerisinde giriş kolu önüne uzak şeritlerde taşıtlar arası takip aralığı (sn)

$T_f$ : Giriş yönünde taşıtlar arası takip aralığı(sn),

$T_c$ : Şeritlerde kritik taşıt aralığı (sn)

$\Delta$ : Kavşak şeritlerinde taşıtlar arasında minimum takip aralığı (1,8 sn-2 sn)

Genelleştirici Hagring kapasite eşitliğimde ana yön akımından bağımsız tali yönlerin kapasite hesaplamaları; tali yönden gelecek trafik akımının önündeki şerit sayısına göre sağa dönüş için Eşitlik 3 ile sola dönüş için ise Eşitlik 4 ile yapılmaktadır [22].

$$C = \frac{q_{u,y} \phi e^{-\lambda(T_c - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_f}} \quad (3)$$

$$C = \frac{\exp\{-(\lambda_1 + \lambda_2)(T_c - \Delta)\} (\lambda_1 + \lambda_2) \phi_1 \phi_2}{[1 - \exp[-T_f(\lambda_1 + \lambda_2)]](\phi_1 + \Delta\lambda_1)(\phi_2 + \Delta\lambda_2)} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\phi q_c}{1 - \Delta q_{y,u}} \quad (5)$$

$$q_{y,u} < 0,5 \text{ ise } \phi = 1$$

$$0,178 < q_{y,u} \leq 0,5 \text{ ise } \phi = 1,553 \cdot (1 - 2 \cdot q_{y,u}) \quad (6)$$

$$q_{yu} > 0,5 \text{ ise } \phi = 0$$

$\lambda_i, \phi_i$ : Kavşağa giriş kolu önünde Cowan M3 Model parametreleri,  
 $q_1, q_3, q_2$ : Kavşağa girecek trafiğin sola, sağa ve karşı kola akım talebi,

Ana ve tali girişlerde trafik akımı oranları ve şeritlerde trafik akımı (Şekil 7) hesaplama eşitlikleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\rho_a = \frac{C_{ansağ}(q_1 + q_2) - C_{anasol}q_3}{q_2(C_{ansağ} + C_{anasol})} \quad \rho \in (0,1) \quad (7)$$

$$\rho_t = \frac{C_{talisağ}(q_1 + q_2 + q_3)}{q_2(C_{talisağ} + C_{talisol})} \quad \rho \in (0,1) \quad (8)$$

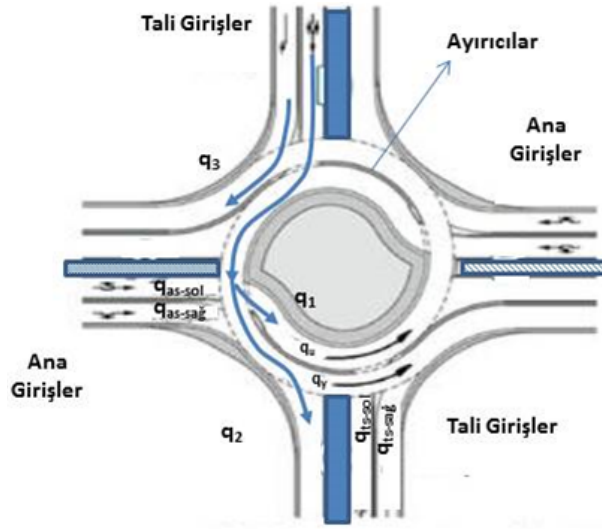
$$q_{aş-sol} = q_1 + (1 - \rho_a) \quad (9)$$

$$q_{aş-sağ} = q_2 \rho_a + q_3 \quad (10)$$

$$q_{tş-sol} = (q_1 + q_2) + (1 - \rho_t)q_3 \quad (11)$$

$$q_{tş-sağ} = \rho_t \cdot q_3 \quad (12)$$

$\rho_a, \rho_t$ : Ana ve tali yönlerde trafik akımı oranları,  
 $C_{ansağ}, C_{anasol}$ : Ana girişlerin sağa ve sola dönüş kapasiteleri  
 $C_{talisağ}, C_{talisol}$ : Tali girişlerin sağa ve sola dönüş kapasiteleri  
 $q_{aş-sol}, q_{aş-sağ}$ : Ana girişlerin sağ ve sol şeritlerde trafik akımı  
 $q_{tş-sol}, q_{tş-sağ}$ : Tali girişlerin sağ ve sol şeritlerde trafik akımı.



Şekil 7. Basit turbo kavşaklarda ana ve tali kollarda trafik akımı

### 3. Metodoloji

Bingöl il merkezinin güneyiyle, Elâzığ-Muş devlet yoluna bağlantıyı sağlayan mevcut Düzağaç kavşağında, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda bulunan devlet yolunun 2016 yılı ortalama günlük trafiği Uydukent kolunda ise 2019 yılı zirve saatte (16.30-17.30) trafik sayımları göre kollarda uygulanan sinyalizasyon süreleri dikkate alınarak yol kullanıcı maliyetleri içerisinde bulunan taşıt işletme maliyetlerinden yakıt tüketimi ve durma ve hareketlenme günlük ortalama maliyetleri hesaplanacaktır. Bu maliyetlerin azaltılması için mevcut kavşağın son yıllarda Avrupa ülkelerinde yaygın olarak yapılmaya başlanan turbo dönel kavşak veya alt geçitli turbo dönel kavşak yapılması durumunda kavşak kollarında belirlenen senaryoya göre kapasite ve kavşak kollarında şerit doygunluk yüzdeleri hesaplanarak performansı değerlendirilecektir.

### 4. Düzağaç Kavşağının Genel Değerlendirmesi

Düzağaç kavşağının mevcut durumu ve kollarda uygulanan sinyalizasyon süreleri Şekil 8'de gösterilmiş olup; bu kavşağın sinyalizasyon süreleri gün boyunca aynı olduğu kabul edildiğinde her bir kol 24 saat içerisinde ortalama 5,50 saat (100x30x24/130) trafiğe açık olacağından bu durum kavşağı kullanan yol kullanıcı maliyetlerini artırmaktadır. Bu kavşağa ait kolların yıllık ortalama günlük trafik sayısının % 80'in 08.00-20.00, %20'sinin 20.00-08.00 saatleri arasında geçtiği kabul edilmiştir. Bu durumda ortalama 130 sn içerisinde kavşağa girecek her bir kolda ortalama olarak bekleyecek ve geçecek taşıt sayıları hesaplanmamış, zirve saatte taşıtların birim otomobil eşdeğerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Kavşağa giren taşıtların kırmızı ışık nedeniyle durması ve sarı ışıkla beraber ivmelenerek hızlanması durumunda NCHRP 133 Metoduna [23] göre hesaplanan maliyetler Tablo 3'de taşıtların beklerken rölantide çalışması durumunda ise yakıt birim fiyatı ortalama 6,50 TL alınarak hesaplanan maliyetler Tablo 4'de gösterilmiştir [26]. Kavşak kullanıcılarının seyahat, gecikme, emisyon, motor yağı ve taşıt amortisman maliyetleri hesaplamalara katılmamasına rağmen bu kavşağın yol kullanıcılarına yıllık maliyeti 3.760.960 TL (8433x365+1871x365) olup; günlük olarak taşıt başına ortalama maliyet ise 0,92 TL'dir

Bingöl Düzağaç Kavşağının Rotor Tipi Turbo Dönel Kavşak Olarak Düzenlemesi Durumu için Kapasite Hesaplarının Ön Çalışması



Şekil 8. Düzağaç kavşak kollarının sinyalizasyon süreleri

Tablo 2. Kavşak kollarında 08.00-20.00,20.00-08.00 saatleri arası bir fazda geçen ve bekleyen taşıt sayıları

Kavşak Kolu	Taşıt	2015 Yılı YOGT (A)	Ort. Bir Yöne YOGT (B=A/2)	Proje 30. Saat Trafiği (C=B/6)	Otomobil Eşdeğer Faktörü (D)	Proje 30. Saat Birim Otol Eşdeğeri (E=DxC)	Saatler (08.00-20.00) Arası 100 Saniyede Ort. Bekleyen Taşıt Sayısı (F1=100x0,8xB / (12x3600))	Saatler (08.00-20.00) Arası 30 Saniyede Ort. Geçen Taşıt Sayısı (G1=30x0,8xB / (12x3600))	Saatler(20.00-08.00) Arası 100 Saniyede Ort. Bekleyen Taşıt Sayısı (F2=100x0,2xB / (12x3600))	Saatler (20.00-08.00) Arası 30 Saniyede Ort. Geçen Taşıt Sayısı (G2=30x0,2xB / (12x3600))
Bingös Sanayi	Otomobil	4965	2483	414	1	414	4,60	1,38	1,15	0,34
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	563	282	47	1,2	56	0,52	0,16	0,13	0,04
	Otobüs	114	57	10	1,5	14	0,11	0,03	0,03	0,01
	Kamyon	1238	619	103	2	206	1,15	0,34	0,29	0,09
	Kamyon+Römork	231	116	19	2,2	42	0,21	0,06	0,05	0,02
	<b>TOPLAM</b>	<b>7111</b>	<b>3556</b>	<b>593</b>		<b>733</b>	<b>6,58</b>	<b>1,98</b>	<b>1,65</b>	<b>0,49</b>
Emniyet İl Müd	Otomobil	3484	1742	290	1	290	3,23	0,97	0,81	0,24
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	241	121	20	1,1	22	0,22	0,07	0,06	0,02
	Otobüs	106	53	9	1,5	13	0,10	0,03	0,02	0,01
	Kamyon	419	210	35	2	70	0,39	0,12	0,10	0,03
	Kamyon+Römork	266	133	22	2,2	49	0,25	0,07	0,06	0,02
	<b>TOPLAM</b>	<b>4516</b>	<b>2258</b>	<b>376</b>		<b>444</b>	<b>4,18</b>	<b>1,25</b>	<b>1,05</b>	<b>0,31</b>
Bingöl Merkezi	Otomobil	4319	2160	360	1	360	4,00	1,20	1,00	0,30
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	478	239	40	1,1	44	0,44	0,13	0,11	0,03
	Otobüs	18	9	2	1,5	2	0,02	0,01	0,00	0,00
	Kamyon	993	497	83	2	166	0,92	0,28	0,23	0,07
	Kamyon+Römork	106	53	9	2,2	19	0,10	0,03	0,02	0,01
	<b>TOPLAM</b>	<b>5914</b>	<b>2957</b>	<b>493</b>		<b>591</b>	<b>5,48</b>	<b>1,64</b>	<b>1,37</b>	<b>0,41</b>
Uydükent *	Otomobil	1629	1629	272	1	272	3,02	0,91	0,75	0,23
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	657	657	110	1,1	120	1,22	0,37	0,30	0,09
	Otobüs	81	81	14	1,5	20	0,15	0,05	0,04	0,01
	Kamyon	18	18	3	2	6	0,03	0,01	0,01	0,00
	Kamyon+Römork	9	9	2	2,2	3	0,02	0,01	0,00	0,00
	<b>TOPLAM</b>	<b>2394</b>	<b>2394</b>	<b>399</b>		<b>422</b>	<b>4,43</b>	<b>1,33</b>	<b>1,11</b>	<b>0,33</b>

\*2019 Yılı zirve saat(16.30-17.30) taşıt sayımları



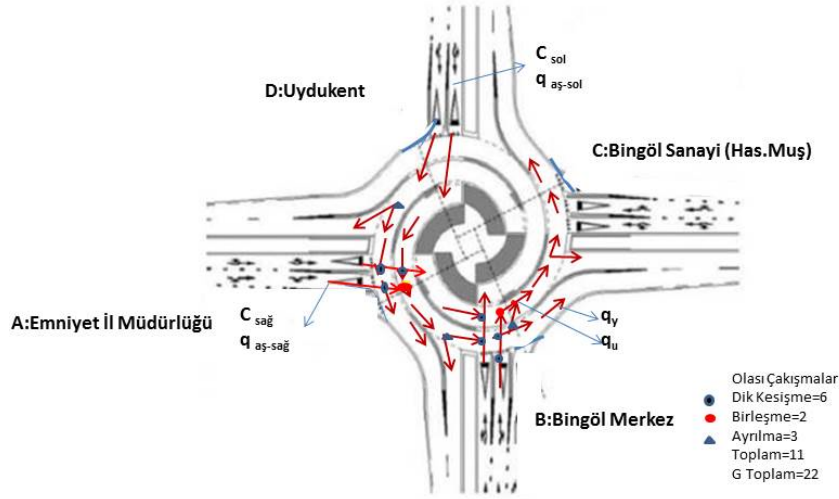
Tablo 3. Taşıtların durma ve ivmelenme maliyetleri

Kavşak Kolu	Ort Bekleyen Taşıtların Sayısı (100 Saniye)				Günde Ortalama Bekleyen Taşıtların Sayısı (H=Tx86400/130)	B Fiyat \$/1000 Durma (I)	Maliyet (\$) (J=H x I/1000)
	Taşıtlar	Saat (08.00-20.00) Aralığında (F1)	Saat (20.00-08.00) Aralığında (F2)	Toplam (T)			
Bingöl Sanayi	Otomobil	4,60	1,15	5,75	3819,23	38,83	148,301
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,52	0,13	0,65	433,08	38,83	16,816
	Otobüs	0,11	0,03	0,13	87,69	86,64	7,598
	Kamyon	1,15	0,29	1,43	952,31	347,44	330,870
	Kamyon+ Römork	0,21	0,05	0,27	177,69	347,44	61,737
Emniyet İl Müd.	Otomobil	3,23	0,81	4,03	2680,00	38,83	104,064
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,22	0,06	0,28	185,38	38,83	7,198
	Otobüs	0,10	0,02	0,12	81,54	86,64	7,064
	Kamyon	0,39	0,10	0,48	322,31	347,44	111,983
	Kamyon+ Römork	0,25	0,06	0,31	204,62	347,44	71,092
Bingöl Merkez	Otomobil	4,00	1,00	5,00	3322,31	38,83	129,005
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,44	0,11	0,55	367,69	38,83	14,277
	Otobüs	0,02	0,00	0,02	13,85	86,64	1,200
	Kamyon	0,92	0,23	1,15	763,85	347,44	265,391
	Kamyon+ Römork	0,10	0,02	0,12	81,54	347,44	28,330
Uydu Kent	Otomobil	3,02	0,75	3,77	2506,15	38,83	97,314
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	1,22	0,30	1,52	1010,77	38,83	39,248
	Otobüs	0,15	0,04	0,19	124,62	86,64	10,797
	Kamyon	0,03	0,01	0,04	27,69	347,44	9,621
	Kamyon+ Römork	0,02	0,00	0,02	13,85	347,44	4,811
F1,F2 Tablo -2'de açıklanmıştır.						<b>TOPLAM (\$)</b>	1466,717
						<b>2019 Yılı TOPLAM (TL)</b>	8433,624

Tablo 4. Taşıtların rolantide çalışma maliyetleri

Kavşak Kolu	Ortalama Bekleyen Taşıtların Sayısı (100 Saniye)				100 Saniyede Rolantide Yakıt Tüketimi Lt (L)	2019 Yılı Yakıt Birim Fiyatı TL (M)	100 Saniyede Maliyet TL (MM =MxLxTB)	Günlük Maliyet TL (GM = 86400xMM/130)
	Taşıtlar	Saat(08.00-20.00) Aralığında (F1)	Saat(20.00-08.00) Aralığında (F2)	Ort Toplam (TB=(F1+F2)/2)				
Bingöl Sanayi	Otomobil	4,60	1,15	2,87	0,028	6,5	0,532	353,66
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,52	0,13	0,33	0,042	6,5	0,089	58,90
	Otobüs	0,11	0,03	0,07	0,049	6,5	0,021	14,08
	Kamyon	1,15	0,29	0,72	0,049	6,5	0,230	152,94
	Kamyon+ Römork	0,21	0,05	0,13	0,049	6,5	0,043	28,54
Emniyet İl Müd.	Otomobil	3,23	0,81	2,02	0,028	6,5	0,373	248,17
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,22	0,06	0,14	0,042	6,5	0,038	25,21
	Otobüs	0,10	0,02	0,06	0,049	6,5	0,020	13,10
	Kamyon	0,39	0,10	0,24	0,049	6,5	0,078	51,76
	Kamyon+ Römork	0,25	0,06	0,15	0,049	6,5	0,049	32,86
Bingöl ŞMerkez	Otomobil	4,00	1,00	2,50	0,028	6,5	0,463	307,65
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	0,44	0,11	0,28	0,042	6,5	0,075	50,01
	Otobüs	0,02	0,00	0,01	0,049	6,5	0,003	2,22
	Kamyon	0,92	0,23	0,57	0,049	6,5	0,185	122,67
	Kamyon+ Römork	0,10	0,02	0,06	0,049	6,5	0,020	13,10
Uydu Kent	Otomobil	3,02	0,75	1,89	0,028	6,5	0,349	232,07
	Orta Yüklü Ticari Taşıtlar	1,22	0,30	0,76	0,042	6,5	0,207	137,46
	Otobüs	0,15	0,04	0,09	0,049	6,5	0,030	20,01
	Kamyon	0,03	0,01	0,02	0,049	6,5	0,007	4,45
	Kamyon+ Römork	0,02	0,00	0,01	0,049	6,5	0,003	2,22
<b>TOPLAM</b>						2,815	1871,09	

Kavşağı kullanan yol kullanıcılarının taşıt işletme maliyetlerinin (yakıt tüketimi, durma kalkma) azaltılması için mevcut Düzağaç kavşak alanında gerekli alt yapı düzenlemelerinde sonra, kavşağın sinyalizasyonu olarak turbo kavşakların en yüksek kapasiteli tiplerinden biri olan rotor tipi yapılması durumunda olası çakışmalar Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Rotor tipi turbo kavşak

## 5. Uygulanan Trafik Akımı Senaryoları

Kavşağın zirve saatte birim otomobil eşdeğerlerine göre kapasite hesaplamaları;2016 yılından sonra Karayolları Genel Müdürlüğünün sorumluluğundan çıkan Diyarbakır-Genç -Bingöl yolu (Bingöl Şehir Merkezi içinden kavşağa giriş kolu) 2019 yılı YOGT'si 2015 yılı YOGT'sine [24] göre %25, Elazığ-Muş Devlet yolunun (Emniyet Müdürlüğü, Bingöl Sanayi) 2019 yılı verileri yayınlamadığından diğer yıllara ait artışlar dikkate alınarak 2019 yılı YOGT'sini 2015 yılı YOGT'sine göre %20 arttığı kabul edilerek yapılmıştır. Tablo 2'de gösterilen zirve saatlerde birim otomobil eşdeğerleri 2019 yılına uyarlanarak Tablo 5'te verilen dağılım senaryosuna göre zirve saatte kollardan kavşağa gelen taşıt trafiğinin kavşak kollarına dağılım sayıları hesaplanmıştır.

Tablo 5. Kavşağa giren taşıt trafiğinin yönlere dağılımı

Kavşağa Giriş Kolu		Kollardan Kavşağa Giren Trafığın Zirve Saatlerde Dağılım Yönleri				
		A	B	C	D	TOPLAM
A:Emniyet İl Müdürlüğü 444 x 1,20=533	Dağılım Senaryosu %	5	40	45	10	100
	Taşıt Sayısı	27	213	240	53	533
B:Bingöl Merkez 591x1,25=739	Dağılım Senaryosu %	55	15	20	10	100
	Taşıt Sayısı	406	111	148	74	739
C:Bingöl Sanayi 733 x1,20=880	Dağılım Senaryosu %	50	40	5	5	100
	Taşıt Sayısı	449	352	44	44	880
D:Uydükent 2019 Yılı 422	Dağılım Senaryosu %	10	65	20	5	100
	Taşıt Sayısı	42	274	84	21	422

Kavşağa giriş kollarının önünde bulunan şeritlerde zirve saatlerde trafik akımı değerleri Tablo 5’te gösterilen senaryoya göre hesaplanarak Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu değerlere göre en fazla trafik akımı Uydukent ve Emniyet Müdürlüğü kolları önünde meydana gelmiştir. Sola dönüşler için  $T_f=3,9$  sn  $T_c=2,1$ sn  $\Delta=2$ sn sağa dönüşler için  $T_f=3,6$ sn  $T_c=2,1$ sn  $\Delta=2$ sn alınarak [25]; kavşağa giriş kollarında şeritlerin doyumluk yüzdeleri Tablo 7’de belirtilen eşitliklerle hesaplanması sonucunda sol şeritlerde doyumluk, ortalama %50 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir.

**Tablo 6.** Kavşak kolu önünde şeritlerde trafik akım

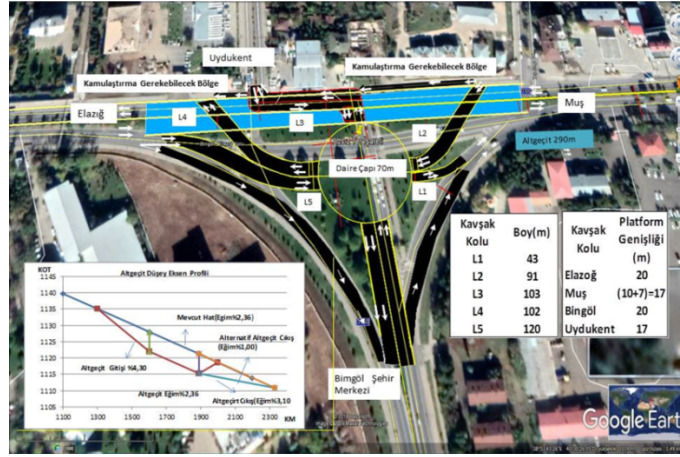
Kavşağa Giriş Kolu	Kavşak Giriş Kolu Önünde Şeritlerde Trafik Akımı		
	Dönel Adaya Göre Şerit Yeri	Gelen Trafik Akım	Gelen Trafik Akım Sayısı (B.oto/sa)
A:Emniyet İl Müdürlüğü	Dış (Girişe yakın , $q_v$ )	BB CB DB TOPLAM	111 352 274 737
	İç (Girişe uzak, $q_u$ )	CC DC DD TOPLAM	44 84 21 150
B:Bingöl Şehir Merkezi	Dış (Girişe yakın , $q_v$ )	AC CC DC TOPLAM	240 44 84 368
	İç (Girişe uzak $q_u$ )	AD AA DD TOPLAM	53 27 21 101
C:Bingöl Sanayi	Dış (Girişe yakın , $q_v$ )	BD AD DD TOPLAM	74 21 53 148
	İç (Girişe uzak, $q_u$ )	BA BB DD TOPLAM	406 111 27 544
D:Uydukent	Dış (Girişe yakın , $q_v$ )	CA BA AA TOPLAM	440 406 27 873
	İç (Girişe uzak, $q_u$ )	CB BB CC TOPLAM	352 111 44 507

**Tablo 7.** Kavşak kollarının kapasiteleri ve şerit doyumluk yüzdeleri

Kavşağa Giriş Kolu	Kavşak Kolunun Sağa Sola Dönüş Kapasiteleri (B.Oto/sa)		Kavşağa Giriş Kolunda Sola ,Karşı Kola ve Sağa Dönen Taşıtlı Sayıları (B.Oto/sa)			Kollarda Sağ Şeridi Kullanma Oranı $\rho$ Eşitlik [7,8]	Düzeltilmiş $\rho^*$	İki Şeritli Giriş Kolunda Sağa Sola Dönüş Trafik Alımı (B.Oto/sa)		İki Şeritli Giriş Kolunda Şerit Doyumluğu (%)	
	$C_{sol}$ Eşitlik [4,5,6]	$C_{sağ}$ Eşitlik [4,5,6]	$q_1$	$q_2$	$q_3$			$Q_{sağ-sağ}$ Eşit. [10]	$Q_{sağ-sol}$ Eşitl. [9]	$D_{sağ}=Q_{sağ-sağ}/C_{sağ}$	$D_{sol}=Q_{sağ-sol}/C_{sol}$
A:Emniyet İl Müdürlüğü	647	727	80	240	213	0,287	0,287	282	251	38,79	38,79
B:Bingöl Merkez	1120	1174	517	74	148	3,119	1,000	222	517	18,88	46,20
C:Bingöl Sanayi	868	939	396	440	44	0,939	0,939	457	423	48,70	48,70
D:Uydukent	334	408	106	274	42	0,691	0,691	232	190	56,80	56,80

\* $\rho > 1$  ise  $\rho = 1$ ,  $\rho < 0$  ise  $\rho = 0$  alınmıştır [25]

Alt geçitsiz turbo kavşakta doygunluk seviyelerinin azaltılması için kavşağa giren kollarda sağa dönüşlerin kavşağa girmeden sağlanarak alt geçitli turbo kavşak seçeneği uygulanabilir olduğu Google Earth’de yapılan incelemelerden görülmüştür (Şekil 10). Bu durumda A-C ve C-A yönlerinde trafiğin Tablo 8’de gösterilen yüzdelerle alt geçit kullanım senaryosuna göre zirve saatte rotor tipi turbo kavşağı kullanacak taşıt sayıları hesaplanmıştır. Alt geçitli turbo kavşak tasarımında ekonomiklik göz önüne alınarak; mevcut kavşağın A-C, C-A ve B kollarının yatay güzergâhının değiştirilmemesi, kavşağın alanının genel görünümünün bozulmaması ve asgari kamulaştırma yapılmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 10. Düzağaç kavşağının alt geçitli turbo dönel kavşak düzenlenmesi

Tablo 8. Zirve saatlerde turbo kavşak kollarında taşıt sayıları

Kavşak Kolu	Taşıt	Proje 30. Saat Birim Eşdeğeri (E=DxC)	2019 Yılına Dönüşüm Katsayısı (DY)	Proje 30. Saat Trafiği Birim Otomobil Eşdeğeri (2019 Yılı Y <sub>T</sub> =ExDY)	Alt Geçitten Geçen % (AG)	Alt Geçitten Geçen Taşıt Sayısı (BS=AGxY <sub>T</sub> /100)	Sağa Dönüş % (SD)	Sağa Dönen B.Oto Sayısı (SDB=(YT-BS)xSD/100)	2019 Yılında Alt Geçit Üzerinde Turbo Kavşağı Kullanan (TK=YT-BS-SDB)
Bingöl Samayı (Hastane, Muş)	Otomobil	414	1,2	497	50	248	5	25	223
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	56	1,2	68	50	34	5	3	30
	Otobüs	14	1,2	17	50	9	5	1	8
	Kamyon	206	1,2	248	50	124	5	12	111
	Kamyon+ Römork	42	1,2	51	50	25	5	3	23
	<b>TOPLAM</b>	<b>733</b>	<b>1,2</b>	<b>880</b>		<b>440</b>		<b>44</b>	<b>396</b>
Emniyet İl Müd.	Otomobil	290	1,2	348	45	157	40	139	52
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	22	1,2	27	45	12	40	11	4
	Otobüs	13	1,2	16	45	7	40	6	2
	Kamyon	70	1,2	84	45	38	40	34	13
	Kamyon+ Römork	49	1,2	59	45	26	40	23	9
	<b>TOPLAM</b>	<b>444</b>	<b>1,2</b>	<b>533</b>		<b>240</b>		<b>213</b>	<b>80</b>
Bingöl-Şehir Merkezi	Otomobil	360	1,25	450	0	0	20	90	360
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	44	1,25	55	0	0	20	11	44
	Otobüs	2	1,25	3	0	0	20	1	2
	Kamyon	166	0	0	0	0	20	0	0
	Kamyon+ Römork	19	0	0	0	0	20	0	0
	<b>TOPLAM</b>	<b>591</b>	<b>1</b>	<b>507</b>		<b>0</b>		<b>101</b>	<b>406</b>
Uydu Kent	Otomobil	272	1	272	0	0	10	27	244
	Orta Yüklü Ticari Taşıt	120	1	120	0	0	10	12	108
	Otobüs	20	1	20	0	0	10	2	18
	Kamyon	6	1	6	0	0	10	1	5
	Kamyon+ Römork	3	1	3	0	0	10	0	3
	<b>TOPLAM</b>	<b>422</b>	<b>1</b>	<b>422</b>		<b>0</b>		<b>42</b>	<b>379</b>
	<b>G TOPLAM</b>	<b>2190</b>		<b>2342</b>		<b>680</b>		<b>401</b>	<b>1261</b>

Zirve saatte A-C ve C-A yönünde gidecek trafiğin ortalama %10'unun (A kolu 240x0,1=24; C kolu 440x0,10=44) bu kolların çıkışında bulunan yerleşim yerleri nedeniyle altgeçidi kullanmayacağı düşünülecek;

turbo kavşağa giren trafiğin alt geçitsiz turbo kavşak senaryosuna benzer bir senaryo ile yönlere dağılımı Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Alt geçitli turbo kavşak kollarında trafik akımının yönlere dağılımı

Kavşağa Giriş Kolu		Kollardan Kavşağa Giren Trafik Zirve Saatlerde Dağılım Yönleri				
		A	B	C	D	TOPLAM
A:Emniyet İl Müdürlüğü	Dağılım Senaryosu %	26	0	23	51	100
	Taşıt Sayısı	27	0	24	53	104
B:Bingöl Merkez	Dağılım Senaryosu %	54	27	0	18	100
	Taşıt Sayısı	221	111	0	74	406
C:Bingöl Sanayi	Dağılım Senaryosu %	10	80	10	0	100
	Taşıt Sayısı	44	352	44	0	440
D:UyduKent 2019 Yılı 422	Dağılım Senaryosu %	0	72	22	6	100
	Taşıt Sayısı	0	274	84	21	379

Alt geçitli turbo kavşak kolları önünde trafik akımı alt geçitsiz turbo kavşağa ait hesaplamalarına benzer şekilde yapılarak (Tablo 7) kavşak kollarında sağ ve sol şerit doygunluk yüzdeleri Tablo kapasiteleri ve şerit doygunluk yüzdeleri Tablo10'da gösterilmiştir.

**Tablo 10** Altgeçitli turbo, kavşak kollarının kapasiteleri ve şerit doygunluk yüzdeleri

Kavşağa Giriş Kolu	Kavşak Kolunun Sağa Sola Dönüş Kapasiteleri (B.Oto/sa)		Kavşağa Giriş Kolunda Sola ,Karşı Kola ve Sağa Dönen Taşıtların Sayıları (B.Oto/sa)			Kollarda Sağ Şeridi Kullanma Oranı $\rho$ Eşitlik [7,8]	Düzeltilmiş $\rho^*$	İki Şeritli Giriş Kolunda Sağa Sola Dönüş Trafik Alımı (B.Oto/sa)		İki Şeritli Giriş Kolunda Şerit Doygunluğu (%)	
	$C_{sol}$ Eşitlik [4,5,6]	$C_{sağ}$ Eşitlik [4,5,6]	$q_1$	$q_2$	$q_3$			$q_{sağ-sağ}$ Eşit. [10]	$q_{sağ-sol}$ Eşit [9]	$D_{sağ}=q_{sağ-sağ}/C_{sağ}$	$D_{sol}=q_{sağ-sol}/C_{sol}$
A:Emniyet İl Müdürlüğü	647	728	80	24	0	2,294	1,000	24	80	3,30	12,36
B:Bingöl Merkez	1388	1419	332	74	0	2,774	1,000	74	332	5,21	23,93
C:Bingöl Sanayi	1085	1142	396	44	0	5,127	1,000	44	396	3,85	36,50
D:UyduKent	793	865	105	274	0	0,722	0,722	198	181	22,86	22,86

\* $\rho > 1$  ise  $\rho = 1$ ,  $\rho < 0$  ise  $\rho = 0$  alınmıştır [25]

## 6. Sonuçlar

Sinyalizasyonlu olarak hizmet veren Düzağaç kavşağının alt geçitli ve alt geçitsiz sinyalizasyonlu turbo dönel kavşak olarak tasarlanması durumunda;

-Sinyalizasyonsuz turbo kavşakların yaygın olarak kullanılmasını sağlamak için modern dönel kavşaklarda olduğu gibi sürücü bilinçlendirilmesinin sağlanması gerektiği;

-Alt geçitli turbo kavşağın kavşağa giriş kollarında sol şerit doygunluğunun alt geçitsize göre ortalama 2 kat, sağ şerit doygunluğunun ise ortalama 5,50 kat azaltılmasına karşın, bu kavşağın öncesi ve sonrasında bulunan kavşakları olumsuz yönde etkileyeceği;

-Bingöl Sanayi ve Emniyet Müdürlüğü kollarında taşıt trafiğinin alt geçitle sağlanması durumunda, kavşak kollarının sağ şeritlerinde doygunluk yüzdelerinin düşmesine rağmen Bingöl Sanayi, Bingöl Merkez ve Uydu Kent kollarının sol şeritlerinde ortalama %25 oranında doygunluk bulunduğunu;

-Bingöl Sanayi, Bingöl Merkez ve Uydu Kent kollarında trafik artışı olması durumunda sol şeritte doygunluk yüzdesi artacağından; Bingöl Sanayi ve Bingöl Merkez kollarının sola dönüş önceliklerine göre üst geçit gerekeceği;

-Uydu Kent kolunun imar değişiklikleriyle Bingöl Sanayi koluna bağlantısı sağlanarak kavşağın üç kollu sinyalizasyonsuz rotor tipi turbo kavşak yapılması durumunda kapasite ve güvenliğin artırılacağı;

-Turbo kavşak içerisinde bulunan ayırıcıların karla mücadele sırasında trafik güvenliği ve kapasiteye etkilerinin araştırılması gerektiği tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] The 2018 Colorado Department of Transportation (CODOT) Roadway Design Guide, 2018.176-191. [https://www.codot.gov/business/designsupport/bulletins\\_manuals/cdot-roadway-design-guide-2018/dg18-ch10](https://www.codot.gov/business/designsupport/bulletins_manuals/cdot-roadway-design-guide-2018/dg18-ch10) (13.12.2019)
- [2] The Highway Design Manual Guide, 2012. 9: 123. <https://www.oregon.gov/ODOT/Engineering/Pages/Hwy-Design-Manual.aspx>, (16.12.2019).
- [3] Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Tasarım El Kitabı. 2008.101-151.
- [4] Mathew, V, Krishan R, Traffic Intersections, 2007. 1-6
- [5] <https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/105101087/downloads/Lec-39.pdf>, (16.01.2020).
- [6] <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik>, (16.01.2020).
- [7] Arıkan Öztürk E, Çubuk K, Hatipoğlu S, Aslan D. Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Güvenlik Yönünden İncelenmesi Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 2007. Cilt 22, No 4. 917-925
- [8] Gallelli V, Iuelea T, Vaiana R. Conversion of a semi-two lanes roundabout into a turbo-roundabout: a performance comparison The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies ANT, 2016.393-400.
- [9] Evaa P, Andreaa K. Case study: capacity characteristics comparison of single-lane roundabout and turbo-roundabouts. Transcom International scientific conference on sustainable, modern and safe transport, 2017. 703- 706.
- [10] Skvaina V, Petrua J, Krivdaa V. Turbo roundabouts and their Basic Evaluation at Realized Constructions in Czech Republic. Structural and Physical Aspects of Construction Engineering, 2017. 283–290.
- [11] Pilko H, Majcan D. Turbo Roundabouts: Case Study of Croatia Transport Logistics Digital Age, International Scientific Conference Science And Traffic Development, 2018. 221-229.
- [12] Bastos A, Luis Vasconcelos S, Santosa S. Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts, 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 2013. 2-9.
- [13] Bastos A, Santos S, Gaspar M. Turbo-Roundabout Use And Design CITTA, 6th Annual Conference on Planning Research Responsive Transports For Smart Mobility, 2015. 3-12.
- [14] Izadi A, Mirzaiyan D. Comparing Traffic Performances Turbo-Roundabouts and Conventional Roundabout (Case Study), The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication TOJDAC, 2016. 2-7.
- [15] Guerrieri M, Corriere F. An International Review One and Two Level Innovative Unconventional Intersection and Interchange ARPN, Journal of Engineering and Applied Sciences.2013. 12,1059-1070.
- [16] Tollazzi T, Rencelj M. Modern and alternative types of roundabouts–state of the art, The 9th International Conference Environmental Engineering, 2014. 2-6.
- [17] Tollazzi T, Mauro R, Guerrieri M, Rencelj, M. Comparative Analysis of Four New Alternative Types of Roundabouts: Turbo, Flower, Target and Four-Flyover Roundabout, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2016. 51-60.
- [18] Džambas T, Ahac S, Dragčević V. Geometric Design of Turbo-Roundabouts. Technical Gazette, 2017. 309-318 (Print).
- [19] Gredoska N, Bombol K, Nechoska, D. An Evaluation of Turbo-Roundabouts Performance: Case Study of the City Ohrid, 2016. 2-7. <https://trid.trb.org/view/1417701>, (16.01.2020).
- [20] Ersoy M, Çelikoğlu H.B. Capacity Analysis on Multi Lane Roundabout: An Evaluation With Highway Capacity Manual 2010 Model, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2014. 20, 225-226.

- [21] Vasconcelos L, Seco A, Silva A, Abreu T, Comparison of Roundabout Capacity Models. The IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Optimization 2012. 1-6.
- [22] Tumminello M. Calibration of microscopic traffic simulation models for evaluating operation and safety performance at roundabouts, PhD Thesis, University Palermo, 2018.
- [23] Vasconcelas A, Silva A. Capacity of Normal and Turbo-Roundabouts Comparative Analysis, ICE Institution on of Civil Engineers, 2012. 1-12.
- [24] Mallela J, Suri S. Work Zone Road Users Costs Concepts And Applications, Federal Highway Administration FHWA, 2011. 28-32.
- [25] 2015 yılı devlet yolları trafik hacim haritası (YOGT), kgm.gov.tr Site Collection Documents KGM documents trafik hacim haritası 2015 hacim haritaları 8. Bölge, (10.12.2019).
- [26] Kociánová A. Capacity Limits of Basic Turbo-Roundabouts, <http://komunikacie.uniza.sk/index.php/communications/article/view/294>, (16.12.2019).