

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL’DA IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOĞRU GİDEN AKIMLAR İÇİN
BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERİNİN (BOtE) ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye Şeyma KUŞAKCI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL’DA IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOĞRU GİDEN AKIMLAR İÇİN
BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERİNİN (BOtE) ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sümeyye Şeyma KUŞAKCI
(501121419)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121419 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sümeyye Şeyma KUŞAKCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“İSTANBUL’DA IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOĞRU GİDEN AKIMLAR İÇİN BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERİNİN (BoE) ARAŞTIRILMASI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisansta ilk öğrendiğim taşıtların, sürücülerin ve hatta yayaların aslında birbirinden çok farklı hareket etmediği idi. Aldığım derslerde yaptığımız çalışmalar ile öğrendiğim bu bilgi beni çok şaşırttı. Bir yolun kapasitesi, ışığın kırmızıdan yeşile dönmesi sırasında bu değişikliğin algılanma süresi, yaya geçitlerinde yaya hızları, çok farklılık gösteren değerler değildi. Gerek iş gücünün, gerekse zamanın verimli kullanılabilmesi için bu değerleri standartlaştırmanın çok önemli olduğunu farkettim. Çalışma yaparken veri toplamaya ayrılacak zamanı kısaltmak yeni çalışmalara yer açılması anlamına gelmekteydi. Gelişmiş ülkelerde bu konuya çok uzun yıllar önce ağırlık verilmiş, çok büyük ölçekli çalışmalar yapılmış, standartların belirlenmiş olduğunu bizde ise bu çalışmalardan elde edilen değerlerin, bölgesel farklılıklar ihmal edilerek kullanılmakta olduğunu öğrendim. Tezime bir ışıklı kavşaklarda birim otomobil eşdeğerliğini İstanbul ölçeğinde belirlenebilmesi hayaliyle başladım. Yöntemleri tanıttığım ve iki kavşak ölçeğinde uyguladığım bu çalışma umarım bu ideali gerçekleştirebilecek araştırmacılara yardımcı olur. Şairin de dediği gibi sonuçta herşey geç gelmiyor mu yurdumuza.

Benim tezden beklentim ise öğrenmektir. Tez çalışmasında araç saymayı öğrendim önce, kırmızı ışıkta duran bütün araç sürücülerine teşekkür ederim. Evden sayıma çıkıyorum diye sadece kronometre ve ses kaydetmek için telefon aldığımda mahsur kaldığım kavşaklardan beni almaya gelen kurtarıcım anneme teşekkür ederim. Teknik destek (telefon ve akbilleri günlerce bende kaldı.) için kardeşlerime teşekkür ederim. Her haftasonu bambaşka bir fikirle geldiğimde beni dinleyen, bana inanan ve tezini ihmal etme telkinlerinde bulunan babama teşekkür ederim. Gerek ders dönemimde, gerek tez dönemimde uğraştığım şeyin içinde kaybolduğumda beni kurtarmak için hep orada olan Fulya ÖZSAN, Mehmet Ali SİLGÜ, Cankat TANRIVERDİ'ye ve telaşa kapıldığım her an yanımda olup beni sakinleştiren Mustafa GÜNDOĞAR'a teşekkür ederim. Son haftamda beni okulda görünce senin ne işin var burda git tezini yaz diyen, ben yardıma ihtiyacım var demeden yardımına koşan Yıldız Teknik Ulaştırma Ailesine teşekkür ederim. Noktalama işlemlerimi bile kontrol eden, en saçma sorularımı bile sabırla cevaplayan, her gittiğimde benim için bir 5 dakikası olduğunu bildiğim Kemal Selçuk ÖĞÜT e gönülden bir teşekkür ederim.

Aralık 2014

Sümeyye Şeyma KUŞAKCI
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Çalışmanın Organizasyonu	2
2. BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERLİĞİ.....	3
2.1 Temel Otoyol Kesimlerinde ve Çok Şeritli Karayollarında BOtE	3
2.2 Işıklı Kavşaklarda Birim Otomobil Eşdeğeri	8
3. BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERLİĞİNİN BELİRLENMESİ	27
3.1 Çalışma Alanları.....	27
3.2 Çalışmanın Özellikleri.....	31
3.3 Taşıt Türlerinin Belirlenmesi	32
3.4 Zaman Cinsinden Doygun Aralık Değerlerinin Belirlenmesi.....	33
3.5 Veri Toplulaştırmasının İrdelenmesi.....	37
3.6 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Miller Yaklaşımı.....	41
3.7 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Molina ve Cruz-Casas Yaklaşımı	43
3.8 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Partha Saha Yaklaşımı	50
3.9 Farklı Yaklaşımların Karşılaştırılması	52
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

KISALTMALAR

BOtE	: Birim Otomobil Eşdeğerliği
PCE	: Passenger Car Equivalency
HCM	: Highway Capacity Manual
G- BOtE	: Gecikme Cinsinden Birim Otomobil Eşdeğerliği
İMES	: İstanbul Madeni Eşya Sanatkarları Sanayi Sitesi
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KDA	: Kuyruk Dağılma Akımı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayollarında kamyon-otobüs için BOtE (HCM, 2010).	7
Çizelge 2.2 : Temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayollarında karavan tipi taşıt için BOtE(HCM, 2010).	8
Çizelge 2.3 : Ağır taşıtın kuyruktaki yerine göre BOtE (Molina, 1987).	12
Çizelge 2.4 : Ölçülen ortalama zaman cinsinden aralık değerleri (h_{i-j}).	13
Çizelge 2.5 : Modellenen zaman cinsinden doymuş aralık değerleri.	15
Çizelge 2.6 : Hesaplanan ortalama ilave zaman cinsinden aralık değerleri (Δh_i).	16
Çizelge 2.7 : Farklı sınıflarda ağır taşıtlar için BOtE.	16
Çizelge 2.8 : Üç tekerlekli motorlu taşıt için zaman cinsinden aralık değerleri.	18
Çizelge 2.9 : Minibüsler için zaman cinsinden aralık değerleri.	18
Çizelge 2.10 : Otobüsler için zaman cinsinden aralık değerleri.	18
Çizelge 2.11 : Farklı taşıt tipleri için BOtE.	19
Çizelge 2.12 : Otobüsler ve Çekçekler için BOtE.	19
Çizelge 2.13 : Hafif hizmet taşıtları için BOtE.	20
Çizelge 2.14 : Hindistan için BOtE.	20
Çizelge 2.15 : Ağır taşıt oranlarına bağlı G-BOtE.	21
Çizelge 2.16 : %10 ağır taşıt bulunması durumunda kuyruktaki yerlere bağlı G-BOtE.	23
Çizelge 2.17 : %20 ağır taşıt bulunması durumunda kuyruktaki yerlere bağlı G-BOtE.	24
Çizelge 2.18 : Ağır taşıt oranlarına bağlı G-BOtE.	24
Çizelge 2.19 : Türk standartların'da yer alan BOtE'ler (TS 6407).	25
Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan taşıt kompozisyonları.	34
Çizelge 3.2 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı zaman cinsinden ortalama doymuş aralık değerleri.	35
Çizelge 3.3 : İMES E kapısı kavşağı zaman cinsinden doymuş aralık değerleri.	36
Çizelge 3.4 : Otomobillerin otomobilleri izlemesi durumunda zaman cinsinden doymuş aralık değerlerine ait istatistikler.	37
Çizelge 3.5 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ şerit için χ^2 testi.	38
Çizelge 3.6 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ ve sol şeritleri için t testi.	39
Çizelge 3.7 : İMES E kapısı kavşağı sağ ve sol şeritleri için K-W testi.	39
Çizelge 3.8 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı için BOtE.	41
Çizelge 3.9 : İMES E kapısı kavşağı için BOtE.	42
Çizelge 3.10 : Çalışma kapsamında toplanan tüm veriler için BOtE.	43
Çizelge 3.11 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı bütün kombinasyonlar için h_{i-j} , Δk_{i-j} 'ler.	44
Çizelge 3.12 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı taşıt türleri için ek zaman değerleri (Δh_{i-j}) ve ortalama ilave zaman değerleri (Δh_i).	45
Çizelge 3.13 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı için BOtE.	46
Çizelge 3.14 : İMES E kapısı kavşağı bütün kombinasyonlar için h_{i-j} ve Δk_{i-j} 'ler. ..	47
Çizelge 3.15 : İMES E kapısı kavşağı taşıt türleri için ek zaman değerleri (Δh_{i-j}) ve ortalama ilave zaman değerleri (Δh_i).	48
Çizelge 3.16 : İMES E kapısı kavşağı için BOtE.	49
Çizelge 3.17 : Çalışma kapsamında iki kavşak birlikte incelendiğinde hesaplanan BOtE.	50

Çizelge 3.18 : Minibüsler için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BÖtE.	51
Çizelge 3.19 : Kamyonet için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BÖtE.	51
Çizelge 3.20 : Kamyonlar için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BÖtE.	51
Çizelge 3.21 : Otobüs için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BÖtE.	52
Çizelge 3.22 : Miller ve Molina yaklaşımları ile belirlenen BÖtE'ler.	52
Çizelge 3.23 : Toplam veri için bütün yaklaşımlarla belirlenen BÖtE'ler	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hız yönteminde hacim değerlerinin belirlenmesi (Elefteriadou, 1997).	5
Şekil 2.2 : Yoğunluk yönteminde hacim değerlerinin belirlenmesi(Webster, 1999). .	6
Şekil 2.3 : Işıklı kavşaklarda zaman cinsinden aralıklar (Cruz-Casas, 2007).	9
Şekil 2.4 : Kuyruğun tamamının otomobil olması ve ilk taşıtın ağır taşıt olması durumlarında yolculuk süreleri (Molina, 1987).	12
Şekil 2.5 : Ağır taşıtın kuyruktaki yerinin toplam gecikmeye etkisi.	22
Şekil 2.6 : Ağır taşıt yüzdesinin toplam gecikmeye etkisi.	23
Şekil 3.1 : Çalışmadaki ışıklı kavşakların konumları.	28
Şekil 3.2 : Eski Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşağın fotoğrafı.	29
Şekil 3.3 : Eski Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşağın krokisi.	29
Şekil 3.4 : İMES E kapısı önünde bulunan kavşağın fotoğrafı.	30
Şekil 3.5 : İMES E kapısı önünde bulunan kavşağın krokisi.	30
Şekil 3.6 : Zaman cinsinden aralık değerlerinin kompozisyonlara bağlı ölçümü.	31

İSTANBUL'DA IŞIKLI KAVŞAKLARDA DOĞRU GİDEN AKIMLAR İÇİN BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERİNİN (BOtE) ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Ağır taşıtlar gerek kapladıkları alan, gerekse hızlanma ve yavaşlama kabiliyetleri açısından otomobillerden farklıdır. Tez çalışması kapsamında İstanbul'da ışıklı kavşakların doğru giden kolları için bu farklılığın değeri araştırılmıştır. Bir kamyon ya da otobüsün var olan trafik şartlarında kaç adet otomobille ifade edilebileceği, bir ağır taşıtın birim otomobil eşdeğerliği (BOtE) olarak ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında sağa ve sola dönüşlerin olmadığı iki kavşakta 6 farklı taşıt türü olan minibüs, kamyonet, midibüs, kamyon, otobüs ve tır için BOtE değerleri araştırılmıştır.

Günümüzde ışıklı kavşaklarda BOtE belirlenmesinde 2 temel yöntem kullanılmakta olup bunlar, zaman cinsinden aralık ve gecikme yöntemleridir. Tez çalışması kapsamında bu yöntemlerden zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde BOtE değerlerinin başlangıç kayıplarından etkilenmemesi için zaman cinsinden doygun aralık değerleri kullanılmakta olduğundan 4. taşıttan sonraki zaman cinsinden aralık değerleri dikkate alınmıştır.

Çalışma kapsamında, Mecidiköy semtinde Büyükdere Caddesi üzerinde, eski Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşağın Mecidiyeköy-Zincirlikuyu yönündeki kolunda ve Dudullu Semtinde Necip Fazıl Bulvarı üzerinde, İMES E kapısı önünde bulunan kavşağın Dudullu-Ataşehir yönündeki kolunda zaman cinsinden aralık değerleri taşıt cinsine göre ölçülmüştür. Ölçüm sırasında hem öndeki taşıt hem de arkadaki taşıt kaydedilmiş, böylelikle öndeki ve arkadaki taşıtların farklı tipleri için zaman cinsinden aralık değerleri ayrı ayrı (taşıt kombinasyonlarına göre) sınıflandırılmıştır.

Ölçümler iki kavşakta iki şerit için ayrı ayrı yapılmış, sonuç olarak 4 adet veri serisi elde edilmiştir. Bu serilerin normal dağılıma uyup uymadığı χ^2 testi ile irdelenmiştir. Normal dağılıma uyan iki seri için t testi, en az birinin normal dağılıma uymadığı iki seri için ise K-W (Kruskal-Wallis) testi yardımıyla bu serilerdeki verilerin istatistiksel olarak birleştirilmesinin uygun olup olmadığı (verilerin aynı toplumdan gelip gelmediği) irdelenmiş dolayısıyla bu iki şerit için ortak bir BOtE değeri belirlenip belirlenemeyeceği araştırılmıştır. İstatistiksel olarak hiçbir serinin aynı toplumdan gelmediği tesbit edilmiş, buna karşın pratik açıdan seriler birleştirilerek çalışma için genel BOtE değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen veriler zaman cinsinden aralık yönteminin 3 farklı yaklaşımı için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Birinci yaklaşım ağır taşıtın ortalama zaman cinsinden aralık değeri ile otomobilin zaman cinsinden aralık değerinin oranlanmasıdır. İkinci yaklaşım ağır taşıtların ortalama zaman cinsinden aralık değerlerine arkasında kalan taşıta yaptığı geciktirici etkinin eklenmesi ve otomobilin zaman cinsinden aralık değeri ile bu büyütülmüş değerinin oranlanmasıdır. Üçüncü yaklaşım; kombinasyonların gözlemlenme sayılarına bağlı olarak düzeltilmesi ile elde edilen değerlerin oranlanmasıdır.

Çalışmanın sonucunda bu farklı yaklaşımlarla elde edilen BOtE değerleri verilmiştir. BOtE değeri minibüsler için 1,20-1,40, kamyonetler için 1,14-1,46, midibüsler için 1,73-1,97, kamyonlar için 1,55-1,85, otobüsler için 1,48-2,22, tırlar için 2,82-3,55 arasında değişmektedir.

INVESTIGATION OF PASSENGER CAR EQUIVALENT (PCE) FOR THROUGH - TRAFFIC AT SIGNALIZED INTERSECTION IN ISTANBUL

SUMMARY

Heavy vehicles have considerably different size and performance characteristics from passenger cars. Therefore the heavy vehicles can have a significant impact on traffic operations. It is therefore essential to properly account for this impact in the traffic operations analysis in order to reflect the operational quality of the roadway as accurately as possible. This study focuses on trucks, pick-up trucks, large trucks, minibuses, midibuses and buses.

Signalized intersections are the one roadway facility that can be particularly sensitive to the presence of commercial heavy vehicle traffic. Like other facilities, the length of has a negative impact on the capacity of the signalized intersection; however, the reduced performance characteristics of these heavy vehicles has an even greater impact on signalized intersection than uninterrupted flow facilities due to the more frequent need of decelerating, stopping and re-accelerate to cruise speed. The reacceleration duration to cruise speed is much more greater for heavy vehicles, when compared to passenger cars, the presence of heavy vehicles can have implications on signal coordination. This effect may be greater when heavy vehicles are present at the front of a discharging queue.

When the traffic stream stops at the intersection, the inter-vehicle spacing decreases, resulting in increased vehicle density. At this higher density, it is clear that heavy vehicles occupy more space than passenger cars due to their physical characteristics. Once the signal turns green, and after a short period of start-up lost time, vehicles start departing at the saturation flow rate and it is here where the heavy vehicles have the greater impact due to their operational capabilities. Large trucks have poorer acceleration than passenger cars; therefore it will take them more time to reach their desired speed. With poorer acceleration characteristics, heavy vehicles slow down the traffic stream and increase their time headway. Furthermore, with their longer length, heavy vehicles increase the time headway of the vehicle following them. In arterial roads where the Free Flow Speed is low, the cruising speed of all vehicles may be similar. Once the vehicles reach their desired speed and have a constant cruising speed, the impact of heavy vehicles to the traffic will be again mostly due to their length.

The most common method used for the analysis of signalized intersections is contained in the Highway Capacity Manual (HCM). In this method, the base saturation flow rate of the signalized intersection is defined in units of passenger cars per hour green per lane (pc/hg/ln). To account for the presence of heavy vehicle in the traffic stream, the HCM includes a passenger car equivalency (PCE) value. In the current edition of the HCM, a PCE value of 2.0 is applied for all heavy vehicles, with no distinction between different sizes of heavy vehicles.

Some transportation professionals have questioned the validity of this PCE value recommended by the HCM. They are concerned that the impact of heavy vehicles at

signalized intersections is being under-estimated. If this is the case, then capacity is being over-estimated and intersections are not being adequately designed.

The primary objective of this thesis was to determine appropriate heavy vehicle PCE values to apply for signalized intersection. In this thesis, PCE values were classified by six different categories of heavy vehicle sizes and performances (minibus, pick-up, midibus, truck, bus and large truck) . Additionally, a general PCE value with only one heavy vehicle category was developed for planning purposes and/or a less detailed analysis.

The road traffic systems, travel patterns and other traffic characteristics are different for each country due to differences in geometric patterns of a country, available transport facilities for commuters, rate of development in the transport sector and so on. Consequently, many standard relations and factors used in one region may not be suited for others. Therefore, an issue comes up to determine the different traffic engineering parameters which are appropriate to local urban transport system characteristics.

The second objective of this thesis was to determine the passenger car equivalent (PCE) at signalized intersections for the Istanbul City in Turkey where traffic characteristics are completely different from any other cities of the world.

The development of the PCE values was based on the relative headway concept, as defined in the HCM.

The results of this study are based on field data collection. Two locations determined, one observer has collected headways and vehicle type for lane. First location is Ali Sami Yen Stadium intersection in Mecidiyeköy, Büyükdere street. The second location is İMES E in Dudullu, Necip Fazıl street. All data has collected under dry-weather conditions and during morning peak hours. Observations have made between 25 March – 22 October 2014.

In the context of this study, the headway values , in the direction of Mecidiyeköy-Zincirlikuyu leg of the intersection, that is in front of the old Ali Sami Yen Stadium, and in the direction of Dudullu-Ataşehir leg of the intersection, that is in front of İMES E door on the Necip Fazıl Boulevard, in Dudullu district, are measured in terms of vehicle type. During the measurement, both vehicles, where in front and behind, are recorded, thus the headway for the different types of vehicles in front or behind, are classified separately.

Measurements have been done separately for the lanes at two intersections, as a result, 4 number of data series obtained (Ali Sami Yen Stadium left lane, Ali Sami Yen Stadium right lane, İMES E door left lane, İMES E door right lane). First of all fitness to normal distribution has been researched each data series, by means of χ^2 test.

For two series, in which both of them fit normal distribution, has been researched B₀tE value could be specified for the two series by t test.

For the two series, in which at least one series does not fit to the normal distribution, practically by combining the series, general B₀tE values are specified by means of the K-W (Kruskal-Wallis) test.

Obtained values are evaluated for the 3 different approaches of headway method, separately.

The first approach has been developed by Miller in 1968. The approach based proportion of the headway of heavy vehicle and headway of car.

The second approach has been developed by Molina in 1987, after than same approach simple version used 2007 by Cruz-Casas. The approach based proportion of the extended value, which is achieved from adding the retarder effect to the vehicle in behind, to the headway of heavy vehicles and the headway of car.

The third approach; proportion of the values, which are achieved from the correction of combinations, depending upon the number of observations.

In consequence of the study, the BOfE values, which are achieved from these different approaches, are given. The BOfE values achieved by practically combined total data;

The first approach; minibus 1.20, pick-up 1.14, midibus 1.73, truck 1.55, bus 1.48, articulated large truck 2.82.

The second approach; minibus 1.38, pick-up 1.46, midibus 1.97, truck 1.84, bus 2.18, articulated large truck 3.55.

The third approach; pick-up 1.24, truck 1.85, bus 2.22.

1. GİRİŞ

Bir ulaşım ağında hareket etmek pek çok iç ve dış değişkenden etkilenmeyi beraberinde getirir. Birçok farklı taşıt tipi aynı anda aynı ağda hareket etmekte ve birbirlerinin hareketlerini etkilemektedir. Ağır taşıtların gerek kapladıkları alanın, gerekse hızlanma ve yavaşlama kabiliyetlerinin otomobillerden farklı olduğu fikri ilk olarak 1965 yılında Karayolu Kapasite El Kitabı'nda (Highway Capacity Manual, HCM) kullanılmıştır. Bir kamyon ya da otobüsün var olan trafik şartlarında kaç adet otomobille ifade edilebileceği, bir ağır taşıtın birim otomobil eşdeğeri (BOtE) olarak ifade edilmeye başlanmıştır. Bu değer yardımıyla yolu kullanan tüm taşıtlar otomobil cinsine çevrilmiş olmaktadır.

BOtE, ağır taşıtların üç kritik etkisini temsil etmektedir:

- i. Ağır taşıtlar, bir yol kesitinde boyutlarından dolayı büyük uzunluklar işgal etmekte ve özellikle kavşak kullanım süreleri çok uzun olmaktadır.
- ii. Ağır taşıtlarlar, özellikle hızlanma, yavaşlama ve yüksek hızlarını korumada otomobillerden daha zayıftır.
- iii. Ağır taşıtlar, diğer sürücülerin, özellikle de ağır taşıtı izleyen taşıt sürücülerinin davranışlarında değişikliklere yol açmaktadır (Molina 1987).

BOtE akımın kesintili ya da kesintisiz olmasına göre değişmektedir. Işıklı kavşaklarda BOtE hesaplamaları, kesintisiz akımlarda kullanılan hesap yöntemlerinden farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar ışıklı kavşağa gelen taşıtların ışıқта durması, bir süre bekleyip hareketine devam etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu işlem sırasında taşıtların yavaşlama ve hızlanma yetenekleri önem kazanır ve ağır taşıtların düşük performansları kavşak verimliliğini olumsuz etkiler.

Işıklı kavşaklarda ağır taşıtların otomobillere göre daha büyük zaman cinsinden aralık değerlerine sahip olmaları, izleyen taşıtların daha fazla gecikmesine sebep olmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

BOtE'nin kapasite ve hizmet düzeyi gibi hesaplamalardaki önemi düşünüldüğünde, en doğru şekilde belirlenmesi gerektiği açıktır.

Bir taşıt sürücüsünün önündeki taşıt ile arasında bıraktığı zaman cinsinden aralığın sürücü davranışıyla ilintili olduğu bilindiğinden ve BOtE'nin hesaplanmasında zaman cinsinden aralık değerlerinin esas alınmasından dolayı, BOtE bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, İstanbul ilinde ışıklı kavşaklarda, doğru giden akımlar için BOtE'nin araştırılmasıdır.

Bu çalışma kapsamında BOtE belirlenirken ağır taşıtlar, boyut ve performansları göz önünde bulundurularak, minibüs, midibüs, kamyon, kamyonet, otobüs ve tır olmak üzere 6 sınıfta ele alınmıştır.

1.2 Çalışmanın Organizasyonu

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı anlatıldıktan sonra ikinci bölümde BOtE'nin ortaya çıkışı, gelişimi ve farklı hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde verilerin toplanacağı ışıklı kavşaklar tanıtılmış, veri elde etme yöntemleri anlatılmış, toplanan veriler yardımıyla BOtE'ler bulunmuş ve farklı açılardan değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlardan ve gelecek çalışmalar için önerilerden bahsedilmiştir.

2. BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERLİĞİ

Bu bölüm iki başlık altında toplanmıştır. İlk olarak kesintisiz akımların olduğu BOtE'nin temel otoyol kesimlerinde ve çok şeritli karayollarında hesaplanma yöntemlerinden bahsedilmiş ikinci olarak ise kesintili akımların bulunduğu ışıklı kavşaklarda BOtE belirleme yöntemleri özetlenmiştir.

2.1 Temel Otoyol Kesimlerinde ve Çok Şeritli Karayollarında BOtE

Temel otoyol kesimleri trafik akımının hiçbir kesintiye uğramadığı kesimlerdir. Otoyollarda, giriş ve çıkış kesimlerinde (katlı kavşaklarda) oluşan karışıklık nedeniyle, trafik akımları etkilenmekte, bu sebeple temel otoyol kesimleri, 450 metre önce ve sonrasında giriş çıkış bulunmayan kesimler olarak tarif edilmektedir (HCM, 2000).

Aynı yol, trafik ve kontrol durumunda bir ağır taşıtın kaç adet otomobille ifade edilebileceğın gösteren BOtE ilk kez 1965 yılında HCM'de kullanılmış ancak kavşaklar için özel olarak incelenmemiştir. Değer elde edilirken iki şeritli yollarda Walker yöntemi olarak da bilinen hız değeri esas alınan bir yöntem tercih edilmiştir. Çok şeritli yollarda ise bağıl gecikme esaslı bir yöntem kullanılmıştır (Metkari, 2012).

Temel otoyol kesimlerinde BOtE hesaplanmasında kullanılan yöntemler şunlardır.

- Walker yöntemi
- Gecikme yöntemi
- Hız yöntemi
- Yoğunluk yöntemi
- Kuyruk dağılma akımı yöntemi

İki şeritli yollarda kullanılan Walker yöntemi; gözlemler ve tırmanma kabiliyeti eğrileriyle oluşturulmuş bir yöntemdir. Yapılan çalışma kapsamında eğimin yüzdesinin ve eğimli yolun uzunluğunun artmasının BOtE'nin daha büyük bir değer almasına sebep olduğu, ayrıca yolun hizmet düzeyinin düşmesi ile BOtE'nin büyüdüğü tesbit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan tırmanma eğrileri ağır taşıtların güç değerleri ile ilişkili olduğundan motor teknolojisi geliştikçe

güncellenmeleri gerekmektedir (Cunagin, 1983). Daha sonra yapılan çalışmalarda tırmanma eğrilerinin BOfE'nin belirlenmesinde kullanılmasından vazgeçilmiştir.

Ağır taşıtların trafik akımına olan etkisini belirlemek için geliştirilen bir diğer yöntem ise gecikme yöntemidir. İlk olarak 1965 HCM'de çok şeritli yollarda BOfE belirlemek için kullanılmıştır (Cunagin, 1983). Bu yöntemde BOfE, denklem (2.1)'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$BOtE = \frac{D_{ij}+D_o}{D_o} \quad (2.1)$$

Burada D_{ij} , otomobilin i tipi taşıttan dolayı, j koşulları altındaki geciktiği ek süreyi, D_o ise otomobilin diğer otomobillerden dolayı geciktiği standart süreyi ifade etmektedir.

1983 yılında Cunagin ve Messer, Walker yöntemi ile gecikme yöntemini bir arada kullanmışlardır. Walker yönteminde, hızlı taşıtların yavaş taşıtları geçebilme olanakları olduğu ve kuyruk oluşmadığı kabulü vardır. Gecikme yönteminde yapılan kabule göre ise yavaş taşıtlar hızlı taşıtları her zaman etkilemekte ve kuyruk oluşmaktadır. Çalışmada bu kabuller göz önünde bulundurulmuş ve düşük hacim değerlerinde Walker yöntemi, yüksek hacim değerlerinde ise gecikme yöntemi kullanılmıştır (Elefteriadou,1997).

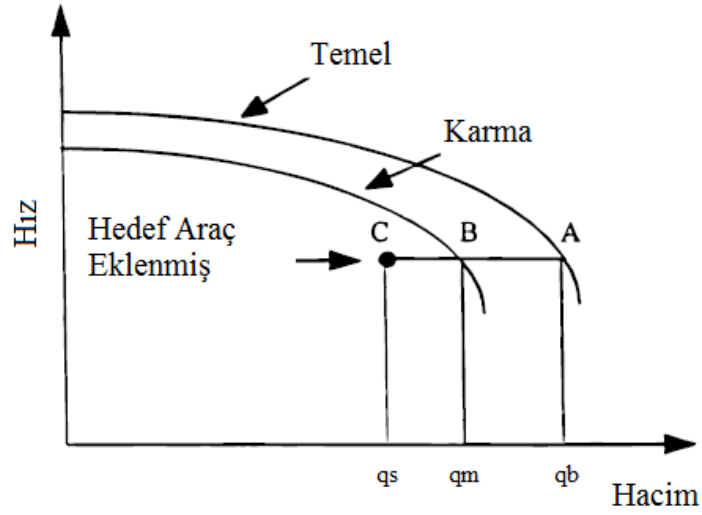
HCM 1965'te BOfE'nin; eğim, eğimli kesimin uzunluğu ve ağır taşıt oranı ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda, bu orantının her zaman doğru olmadığı, bazı durumlarda ters orantılı olabileceği görülmüştür (Ingle,2004).

Bugün hız yöntemi olarak bilinen yaklaşım, Huber tarafından 1982 yılında tek birim ağır taşıtlar (kamyon) için geliştirilmiş ve 1984 yılında Sumner ve diğ. tarafından genişletilmiştir (Metkari, 2012). Genişletilmiş model denklem (2.2)'de gösterilmiştir. Sumner ve diğ. tarafından geliştirilen modelde NETSIM (Network Simulator for Network Design) programı kullanılmıştır. Yöntem dört aşamadan oluşmaktadır.

- Yalnızca otomobillerden oluşan temel bir trafik akımı için hız-hacim grafiğinin oluşturulması.
- İncelenen kesim için tipik bir karma durum (hem otomobil hem de ağır taşıtların olduğu) belirlenmesi.
- Karma durum için hız-hacim grafiğinin oluşturulması.
- Karma duruma seçilen taşıt türünü seçilen hacimde eklenmesi ve eklenen değer kadar otomobilin çıkarılması ile simülasyonun tekrar edilmesi.

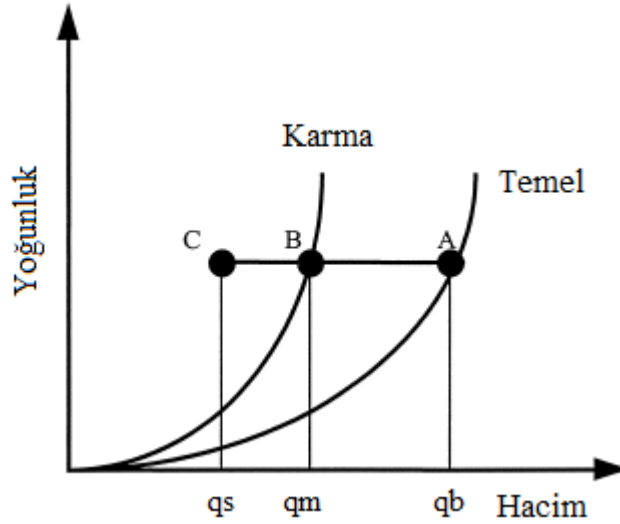
$$BOtE = \frac{1}{\Delta P} \left(\frac{q_b}{q_s} - \frac{q_b}{q_m} \right) + 1 \quad (2.2)$$

Burada ΔP , BOtE'si hesaplanmak istenen ağır taşıt türünün yüzdesini göstermektedir. Yalnızca otomobillerden oluşan trafiğin hacim değeri q_b , tipik bir karma durumdaki hacim değeri q_m , karma duruma BOtE'si hesaplanmak istenen ağır taşıt türünün katılıp aynı oranda otomobilin çıkartılması durumundaki hacim değeri q_s ile gösterilmiştir. Hacim değerleri, belirlenen trafik koşulları için yapılan benzetim çalışmaları ile elde edilen hız-hacim grafiklerinden bulunmaktadır. Şekil 2.1'de örnek bir grafik gösterilmiştir. Denklem (2.2) de görüldüğü gibi bu yöntemde ağır taşıt oranı ile BOtE arasında ters bir ilişki mevcuttur.



Şekil 2.1 : Hız yönteminde hacim değerlerinin belirlenmesi (Elefteriadou, 1997).

Aynı hız değerindeki hacimlerin belirlenmesi yerine aynı yoğunluk değerine denk gelen karma ve otomobil hacim değerlerin kullanılması yaklaşımı ile yoğunluk yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem Sumner'in 1984 yılında geliştirdiği hız yöntemi ile benzer özellikler taşımaktadır. Aynı aşamalar ve aynı denklem olan denklem (2.2) kullanılmaktadır. Benzetim yöntemiyle elde edilen yoğunluk-hacim grafiği örneği Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Webster ve Elefraiadou 1999 yılında bu yöntemle BOtE belirlemiştir.



Şekil 2.2 : Yoğunluk yönteminde hacim değerlerinin belirlenmesi(Webster, 1999).

2003 yılında Demarchi ve Setti karma akım durumu için belirtilen hacim değerinin (q_m) BOtE aranan ağır taşıtın etkisini belirtmek için yeterli olduğunu ileri sürmüş ve kamyonlar için aşağıdaki denklemi kullanmışlardır.

$$BOtE = \frac{1}{\sum_i^p P_i} \left(\frac{q_b}{q_m} - 1 \right) + 1 \quad (2.3)$$

P_i , i tipindeki ağır taşıtların yüzdesini göstermektedir. Yalnızca otomobillerden oluşan trafiğin hacim değeri q_b , karma durumdaki hacim değeri q_m ile gösterilmiştir.

HCM 2010’da ağır taşıtlar tekerlek sayısı ile belirlenmiştir. Dörtten fazla tekerleği olan bütün taşıtlar ağır taşıt olarak belirlenmiş, minibüs ve kamyonet bu belirleme kapsamında otomobil sınıfına girmiştir. Temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayolları için ağır taşıt iki sınıfta toplanmıştır;

- i. Kamyonlar ve otobüsler
- ii. Karavan tipi taşıtlar (RVs)

HCM 2010’da, temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayolları için, HCM 2000’de kullanılan yöntem olan, Webster ve Elefteriadous’in (1999) kullandıkları yoğunluk yöntemi kullanılmaya devam edilmiştir. HCM 2010’da kamyon otobüs sınıfının temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayolları için BOtE ağır taşıt yüzdesi, yol eğimi ve eğimli yolun uzunluğuna bağlı olarak belirlenen değerleri Çizelge 2.1’de görülmektedir. Çizelge 2.2’ de ise karavan tipi taşıtların temel otoyol kesimlerinde ve çok şeritli karayollarında BOtE görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayollarında kamyon-otobüs için BOtE (HCM, 2010).

Eğim (%)	Uzunluk (mil)	Kamyon ve Otobüs Yüzdesi								
		%2	%4	%5	%6	%8	%10	%15	%20	%25+
≤ 2	Tamamı	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
>2-3	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,50-0,75	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,75-1,00	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,00-1,50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,50	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
>3-4	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50-0,75	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,75-1,00	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,00-1,50	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>1,50	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
>4-5	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,50-0,75	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,75-1,00	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
>5-6	0,00-0,25	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,30	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,30-0,50	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,50-0,75	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>0,75-1,00	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
>6	0,00-0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	1,0
	>0,25-0,30	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,30-0,50	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,50-0,75	5,5	5,0	4,5	4,5	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0
	>0,75-1,00	6,0	5,5	5,0	5,0	5,0	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,00	7,0	6,0	5,5	5,5	5,5	4,5	4,0	4,0	4,0

Çizelge 2.2 : Temel otoyol kesimleri ve çok şeritli karayollarında karavan tipi taşıt için BOtE(HCM, 2010).

Eğim (%)	Uzunluk (mil)	Karavan Yüzdesi								
		%2	%4	%5	%6	%8	%10	%15	%20	%25+
≤ 2	Tamamı	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
>2-3	0,00-0,50	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,50	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
>3-4	0,00-0,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,25-0,50	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
>4-5	0,00-0,25	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	4,0	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,50	4,5	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
>5	0,00-0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
	>0,25-0,50	6,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
	>0,50	6,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,0

2002 yılında Al-Kaisy ve diğ yaptığı çalışmada, trafiğin tıkalı olduğu durumlarda BOtE'nin yolun akıcı olduğu duruma göre daha büyük olması gerektiği varsayımına dayanarak, kuyruk dağılma akımı yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, akıcı trafiğin tıkandıktan sonra kuyruğun dağılmaya başladığı andaki hacmin ilk tıkanma hacmine ulaşamamasının nedeninin, ağır taşıtların hızlanma yeteneklerinin zayıflığı olabileceği düşünülmüştür. Kuyruk dağılma akımı (KDA) (queue discharge flow) değerlerinden faydalanılmıştır. Doğrusal olmayan programlama ile KDA değerlerinin standart sapmalarını en küçükleyecek BOtE değerleri belirlenmiştir.

2.2 Işıklı Kavşaklarda Birim Otomobil Eşdeğeri

Işıklı kavşaklarda doyumluk akım değerinin (s) hesaplanmasında kullanılan değişkenlerden biri de ağır taşıt oranı ve bu taşıtlara ait otomobil eşdeğerliğidir. Doyumluk akım değeri ışıklı bir kavşakta bir şerit grubuna, bir saat süresince yeşil ışık yanması durumunda, o şerit grubundan geçebilecek en büyük hacimdir. Doyumluk akım değeri, denklem (2.4)'de görüldüğü gibi 13 değişken kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$s = s_0 \cdot N \cdot f_{SG} \cdot f_{AT} \cdot f_E \cdot f_P \cdot f_O \cdot f_{SK} \cdot f_{Sağ} \cdot f_{Sol} \cdot f_{SolYB} \cdot f_{SağYB} \quad (2.4)$$

Bu denklemde, s düzeltilmiş doyum akım değeri, s₀ temel doyum akım değeridir. HCM 2000'de temel doyum akım değeri 1900 otomobil/sa olarak verilmiştir. Denklemde; N şerit sayısı, f_{SG} şerit genişliği etkisi, f_{AT} ağır taşıt etkisi, f_E eğim etkisi, f_P parklanma etkisi, f_B bölge etkisi, f_O otobüs durağı etkisi, f_{SK} şerit kullanım etkisi,

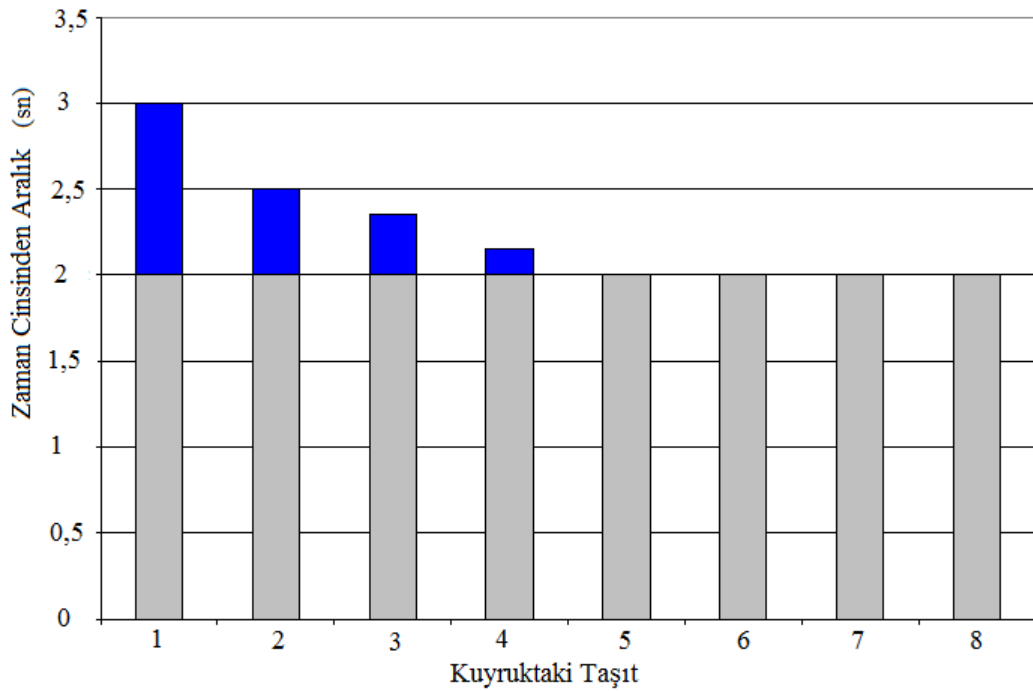
$f_{Sağ}$ sağa dönüş etkisi, f_{Sol} sola dönüş etkisi, f_{SolYB} sola dönüşte yaya ve bisiklet etkisi, $f_{SağYB}$ sağa dönüşte yaya ve bisiklet etkisidir (HCM, 2000).

Ağır taşıtların doymun akım değerini etkisi olan f_{AT} , denklem (2.5)'de görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır.

$$f_{AT} = \frac{100}{100 + Pt(BOTE - 1)} \quad (2.5)$$

Burada Pt ağır taşıt oranını ifade etmektedir.

Doymun akım değeri doğrudan saha verileriyle belirlenmek istendiğinde, zaman cinsinden doymun aralık değeri kullanılmaktadır. Zaman cinsinden doymun aralık değerleri hesaplanırken ilk 4-6 taşıtın zaman cinsinden aralıkları, bunların doymun aralıklar olmadığı ve burada başlangıç kayıpları olduğu gerekçesiyle dikkate alınmamaktadır. (Cruz-Casas, 2007). Şekil 2.3'de ışıklı bir kavşakta zaman cinsinden aralık değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Işıklı kavşaklarda zaman cinsinden aralıklar (Cruz-Casas, 2007).

Başlangıç kaybı değerleri, zaman cinsinden aralık değeri ile zaman cinsinden doymun aralık değerlerinin bilinmesi durumunda hesaplanabilmektedir. Gerekli verilerin olmadığı durumlar için HCM 2010 başlangıç kaybı değerinin 2 saniye kabul edilmesini tavsiye etmektedir.

HCM 1965’de ağır taşıtların doayun akım değeriini değıştirdiğı ve bir ağır taşıtın trafikte 2 otomobil etkisi yaptığı fikri ortaya atıldıktan sonra, ışıklı kavşaklarda BOtE’nin belirlenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar iki yöntem üzerinde yoğunlaşmıştır; zaman cinsinden aralık yöntemi ve gecikme yöntemi. 1968 yılında Miller’ın yaptığı çalışma, BOtE’nin gözlemlenebilecek değerlerden modellenmesi üzerine yapılan ilk çalışmalardan biridir. Bu çalışmasında Miller i tipi ağır taşıtlar için ölçtüğü ortalama zaman cinsinden aralık değeri ($\bar{h}_i$) otomobillerden ölçtüğü ortalama zaman cinsinden aralık değeri ($\bar{h}_b$) ile oranlamıştır. Bu yöntemde, ön tamponlar dikkate alınarak ölçüm yapılmış, öndeki taşıtın i tipi ağır taşıt olduğu durumda zaman cinsinden aralık değeri h_i olarak ifade edilmiş, arkadaki taşıtın türü dikkate alınmamıştır. Miller tarafından modellenen yöntem denklem (2.6)’da gösterilmiştir (Molina, 1987).

$$BOtE_i = \bar{h}_i / \bar{h}_b \quad (2.6)$$

Carstens 1971 yılında Miller tarafından geliştirilen zaman cinsinden aralık yöntemini kullanmıştır. Yöntemden farklı olarak taşıtların arka tamponlarının dur çizgisi üzerinden geçme sürelerinden hesapladığı zaman cinsinden aralıkları oranlayarak BOtE belirlemiştir (Molina, 1987).

Molina 1987 yılında ışıklı kavşaklar için ağır taşıtın kuyruktaki yerine de bağı BOtE belirlemek üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılmıştır. Ağır taşıtların önlerindeki taşıtlarla bıraktıkları zaman cinsinden aralıklar gözlemler yardımıyla elde edilmiştir. Bunun yanı sıra hem uzunluklar hem de psikolojik etkileri sebebiyle ağır taşıtın arkasındaki sürücülerin ağır taşıtlar ile arasında fazladan bir zaman cinsinden aralık bırakma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Zaman cinsinden aralık yönteminin ağır taşıtın arkasında kalan taşıtlara yaptığı geciktirici etkiyi göz önünde bulundurmadığını belirtmiştir. Zaman cinsinden aralık yöntemine sebep olunan gecikmelerin etkisinin de katıldığı model, denklem (2.7)’de verilmiştir. Kuyrukta birden fazla ağır taşıt bulunması durumunda bu ağır taşıtların arkalarındaki taşıtlara yaptıkları geciktirici etkiler birbirine karışmaktadır. BOtE’si aranan ağır taşıtın etkisini görebilmek için kuyrukta yalnızca bir ağır taşıt olma durumları için BOtE değerlerini hesaplamıştır. Işıklıta duran taşıtlardan, kuyruğun önünde bulunanlarının zaman cinsinden aralık değerlerinin kuyruğun gerisinde bulunanlardan daha büyük olduğu bilindiğinden, ilk taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri hesaba katılmamıştır.

$$BOtE_i = (h_i + \Delta H) / h_b \quad (2.7)$$

BotE_i, i taşıt tipi için birim otomobil eşdeğerini ifade etmektedir. h_i i taşıt tipinin zaman cinsinden aralık değerini h_b otomobilin zaman cinsinden aralık değerlerini temsil etmektedir. ΔH ağır taşıtın arkasında kalan taşıtlara geciktirici etkisini ifade etmektedir. Örnek olarak ilk taşıtın ağır taşıt olduğu düşünülürse;

$$\Delta H = \sum_{n=2}^t \Delta h_n \quad (2.8)$$

n, ağır taşıtın arkasındaki otomobilin kuyruktaki yerini, t aynı ağır taşıttan etkilenen son otomobilin kuyruktaki yerini, Δh_n ise n. otomobilin ağır taşıttan dolayı gecikmesini ifade etmektedir.

Ağır taşıtın arkasında ağır taşıttan etkilenen her taşıt için Δh_n değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu güçlükten kurtulmak için Molina, kuyrukta yalnızca bir ağır taşıtın olduğu bir gözlem ile kuyrukta hiç ağır taşıtın bulunmadığı gözlem için belirlenen yolculuk sürelerinden yararlanarak aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

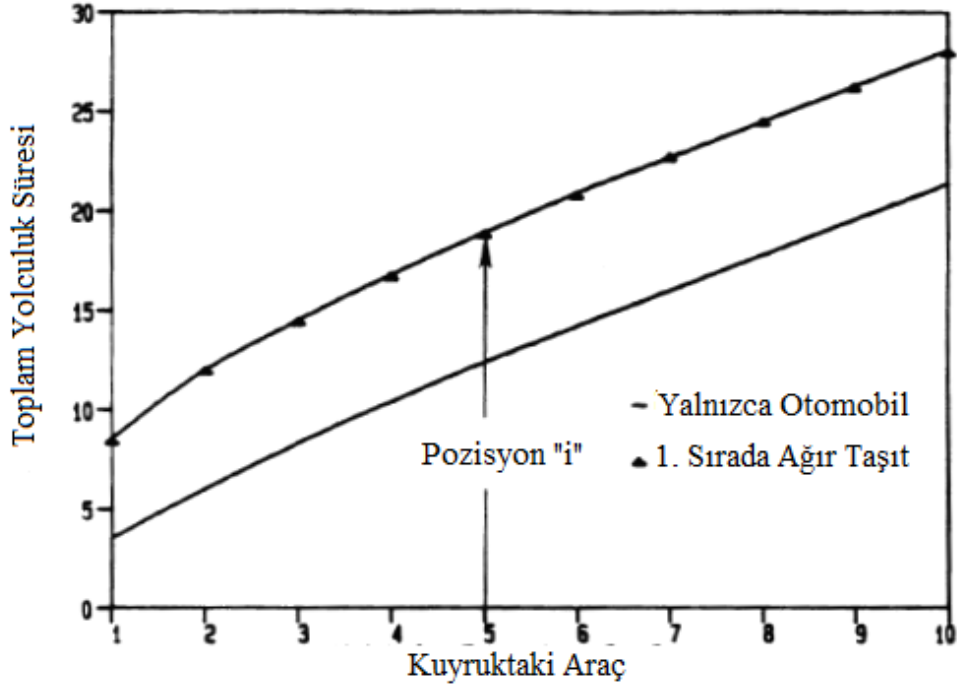
$$BOtE_{jk} = [(TT_{jk,bi} - TT_{b1,bi}) / h_b] + 1 \quad (2.9)$$

J, ağır taşıtın tipini, k, ağır taşıtın kuyruktaki yerini, h_b, otomobilin otomobili izlediği durumdaki zaman cinsinden aralık değerini, bi, ağır taşıtın etkilediği son otomobili, b1 ilk taşıtın otomobil olduğu durumu ve TT, toplam yolculuk süresini ifade etmektedir. Örneğin; kuyruktaki ilk taşıtın kamyon olduğu 7 taşıtlık bir kuyruk durumunda, j=KAMYON olup, kamyonun kuyruktaki yerine bağlı BOtE_{KAMYON1} değerini bulmak istenmektedir. Kuyruktaki tüm taşıtların kamyondan etkilenip zaman cinsinden aralık değerlerini arttırdıkları kabulü yapılmıştır. TT_{KAMYON1,b7} değeri ilk taşıtın kamyon olması durumundaki toplam yolculuk süresini, TT_{b1,b7} ilk taşıtın otomobil olduğu durumdaki toplam yolculuk süresini ifade etmektedir. BOtE değerinin belirlenmesi için kullanılacak denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$BOtE_{KAMYON1} = [(TT_{KAMYON1,b7} - TT_{b1,b7}) / h_b] + 1$$

Denklem (2.9)'da verilen i değeri; kamyonun arkasında, kamyondan etkilenen son otomobilin sırasını ifade etmektedir. i değeri, önde kamyon olması durumunda arkadaki otomobillerin zaman cinsinden aralık değerlerinin, önde bir otomobil olması durumunda arkadaki otomobillerin zaman cinsinden aralık değerine (h_b) eşit olduğu

ilk sıra numarasıdır. Bu sıra numarasına kadar kamyonu izleyen otomobillerin h_b değerleri, otomobilleri izleyen otomobillerden hep daha yüksektir. Şekil 2.4'te kuyruktaki ilk taşıtın kamyon olduğu ve kuyrukta bütün taşıtların otomobil olduğu TT değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Kuyruğun tamamının otomobil olması ve ilk taşıtın ağır taşıt olması durumlarında yolculuk süreleri (Molina, 1987).

Yukarıdaki bilgiler ışığında Teksas'da üç şehirde, 13000 gözlem ile çalışma yapılmıştır. Gözlemler sırasında kuyruktaki taşıtların dur çizgisinden geçme süreleri ölçülmüştür. Taşıtların kuyruğa dahil sayılabilmesi için tamamen durmaları gerekmektedir. Ayrıca kuyrukta onuncu taşıttan sonraki taşıtlar ihmal edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen BOtE Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3 : Ağır taşıtın kuyruktaki yerine göre BOtE (Molina, 1987).

Ağır Taşıtın Tipi	Ağır Taşıtın Kuyruktaki Sırası						
	1	2	3	4	5	6	7
2 Akslı, Tek Birim	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
3 Akslı, Tek Birim	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	-
4 Akslı	2,3	-	2,5	-	-	-	-
5 Akslı	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2	3,1

Çalışmada kuyrukta yalnızca 1 ağır taşıt bulunması durumu incelenmiş, ayrıca ağır taşıt oranı ile ilgili bir inceleme yapılmamıştır.

Cruz-Casas 2007 (Washburn, 2010) yılında yaptığı çalışmasında ışıklı kavşaklarda BOTe belirlemede genel olarak kullanılan iki yöntemden zaman cinsinden aralık yöntemini kullanmıştır. Ağır taşıtların arkasındaki taşıtlara olan etkisini incelemek için Molina'nın 1987'de geliştirdiği yaklaşımdan faydalanılmıştır. Ancak esas yöntemden farklı olarak Cruz- Casas ağır taşıtların geciktirici etkisinin yalnızca bir arkadaki taşıt için geçerli olduğunu kabul etmiştir. Bu kabul yardımıyla aynı anda kuyrukta farklı türde taşıtların olması durumunda da BOTe belirlenebilmekte, ayrıca bir ağır taşıtın arkasındaki başka bir ağır taşıta yaptığı geciktirici etki de incelenebilmiştir.

Çalışma ağır taşıtları küçük, orta ve büyük olmak üzere 3 farklı gruba ayırmıştır. Zaman cinsinden aralıklar ölçülürken toplamda 4 taşıt tipi (otomobil, küçük ağır taşıt, orta ağır taşıt, büyük ağır taşıt) için 16 farklı kombinasyon incelenmiştir. 6 kavşakta 403 devrede zaman cinsinden aralık ölçümleri yapılmıştır. Başlangıç kayıplarının etkisini ortadan kaldırma için zaman cinsinden doymuş aralıklarla işlemler yapılmış, bir devrede 4. taşıttan sonra doymuş noktasına varıldığı kabul edilmiştir. Çizelge 2.4 ise çalışmada toplanan veriler ışığında farklı taşıt tiplerinin birbirlerini izlemesi durumlarındaki ortalama zaman cinsinden aralık değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Ölçülen ortalama zaman cinsinden aralık değerleri ($\bar{h}_{i-j}$).

Kuyrukta 2-8 Aralığındaki Taşıtların Ortalama Zaman Cinsinden Aralık Değerleri																
İzleyen (j)	I				II				III				IV			
Öndeki (i)	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Sayı	417	51	37	61	45	8	5	7	36	4	4	1	65	6	7	16
$\bar{h}_{i-j}$	2,40	3,13	3,34	4,70	3,01	3,85	4,92	5,63	3,67	4,86	5,70	4,24	4,14	4,42	4,97	5,09
Kuyrukta 5-8 Aralığındaki Taşıtların Ortalama Zaman Cinsinden Aralık Değerleri																
İzleyen (j)	I				II				III				IV			
Öndeki (i)	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Sayı	232	29	21	38	28	3	4	3	21	2	3	1	39	2	3	2
$\bar{h}_{i-j}$	2,19	2,82	2,72	4,13	2,86	3,08	4,88	4,22	3,74	5,61	4,59	4,24	4,13	4,50	4,46	5,23

I: Otomobil II: Küçük Ağır Taşıt III: Orta Ağır Taşıt IV: Büyük Ağır Taşıt

Sahadan toplanan bu değerler ışığında oluşturulan model yardımıyla bulunan zaman cinsinden doğgun aralıklar ise izelge 2.5’de verilmiştir. Çizelgede verilen zaman cinsinden doğgun aralık değerlerine, ağır taşıtın arkasındaki taşıtı etkileyerek onun zaman cinsinden aralığına verdiği arttırıcı etkiyi (Δk) eklemek gerekmektedir. Bu etkinin hesaba katılmasıyla denklem (2.10) elde edilir.

$$BOtE_{i-j} = (h_{I-I} + \Delta k_{i-j}) / h_{I-I} \quad (2.10)$$

$$\Delta k_{i-j} = h_{i-j} - h_{I-I} \quad (2.11)$$

$BOtE_{i-j}$ i tipi taşıtın j tipi taşıt tarafından izlendiği durum için birim otomobil eşdeğerliğini ifade etmektedir. i ve j otomobil de dahil olmak üzere tüm taşıt türlerini kapsamaktadır. h_{I-I} otomobilin otomobili izlediği durumun zaman cinsinden aralık değerlerini temsil etmektedir. Δk_{i-j} (2.11) bir kombinasyonun en temel durum olan otomobilin otomobili izleme durumuna göre olan ilave zaman cinsinden aralık değerini ifade etmektedir. Örneğin; ndeki taşıtın orta ağır taşıt (III) tipinde arkasındaki taşıtın küçük ağır taşıt (II) tipinde olduğu kombinasyon için zaman cinsinden aralık değeri (h_{III-II}) izelge 2.5’te 4,065 olarak gösterilmiştir. Aynı izelgede en temel durum (ağır taşıtların olmadığı bir kavşakta beklenen) otomobilin otomobili izlemesi durumundaki zaman cinsinden doğgun aralık değeri (h_{I-I}) 2,029 olarak gösterilmiştir. Denklem (2.11) yardımıyla Δk_{III-II} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Delta k_{III-II} = h_{III-II} - h_{I-I} = 4,065 - 2,029$$

$$\Delta k_{III-II} = 2,036$$

$BOtE$ değerlerinin her kombinasyon için ayrı ayrı hesaplanması uygun bir yaklaşım olmadığından yalnızca öndeki taşıtın türüne göre $BOtE$ belirlenmesi için ilave zaman cinsinden aralık değerlerinin arkadaki taşıtta göre değişmemesi gerekmektedir. Bunun için arkadaki taşıtın türünün 4 taşıt için eşit olasılıklı olduğu kabulü yapılmıştır. nnde i türünden bir ağır taşıtın bulunduğu otomobil için Δh_{i-I} değeri denklem (2.12) yardımıyla hesaplanır. Bütün taşıt türleri için Δh_{i-j} değerleri aynı denklem yardımıyla bulunmuştur. Arkadaki taşıtın türüne bağlı olmayan ortalama ilave zaman cinsinden aralık değerleri ($\overline{\Delta h_i}$) denklem (2.13) yardımıyla hesaplanmıştır. $\overline{\Delta h_i}$ değerleri izelge 2.6 da gösterilmiştir.

$$\Delta h_{i-j} = h_{i-j} - h_{I-j} \quad (2.12)$$

$$\overline{\Delta h_i} = (\sum_{j=I}^{j=n} \Delta h_{i-j}) / n \quad (2.13)$$

$\overline{\Delta h_{II}}$ değerinin denklem (2.13) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\overline{\Delta h_{II}} = (\Delta h_{II-I} + \Delta h_{II-II} + \Delta h_{II-III} + \Delta h_{II-IV})/4$$

Çizelge 2.5 : Modellenen zaman cinsinden doymun aralık değerleri.

Taşıt çiftleri Öndeki-İzleyen	Zaman Cinsinden Aralık (h_{i-j})	İlave Zaman Cinsinden Aralık (Δk_{i-j})	BOtE_{i-j}
I-I	2,029	0,000	1,00
I-II	3,053	1,024	1,505
I-III	3,436	1,408	1,694
I-IV	3,852	1,824	1,899
II-I	2,619	0,590	1,291
II-II	3,56	1,531	1,755
II-III	3,95	1,921	1,947
II-IV	4,455	2,427	2,196
III-I	3,075	1,046	1,516
III-II	4,065	2,036	2,004
III-III	4,422	2,390	2,180
III-IV	4,864	2,835	2,308
IV-I	3,881	1,852	1,913
IV-II	5,022	2,994	2,476
IV-III	5,406	3,377	2,665
IV-IV	5,602	3,574	2,762

I: Otomobil II: Küçük Ağır Taşıt III: Orta Ağır Taşıt IV: Büyük Ağır Taşıt

Çizelge 2. 6 : Hesaplanan ortalama ilave zaman cinsinden aralık değerleri ($\overline{\Delta h_i}$).

Arkadaki taşıt(j)	Öndeki taşıt (i)			
		II	III	IV
	I	0,59	1,046	1,853
	II	0,507	1,012	1,97
	III	0,513	0,986	1,97
	IV	0,603	1,011	1,75
$\overline{\Delta h_i}$		0,553	1,014	1,885

I: Otomobil II: Küçük Ağır Taşıt III: Orta Ağır Taşıt IV: Büyük Ağır Taşıt

Cruz-Casas çalışmasında eklenen zaman cinsinden aralık değerlerinin ortalamalarını kullanmıştır. Bu durum, ağır taşıtın arkasından ağır taşıt ya da otomobil gelme olasılıklarının eşit olduğu kabulunun yapıldığını göstermektedir. Denklem (2.14) ve (2.15) yardımıyla elde edilen BOfE Çizelge 2.7 de gösterilmiştir.

$$H_i = h_{I-i} + \overline{\Delta h_i} \quad (2.14)$$

$$BOfE_i = H_i / h_{I-i} \quad (2.15)$$

Çizelge 2.7 : Farklı sınıflarda ağır taşıtlar için BOfE.

Taşıt Tipi	h_{I-i} (sn)	$\overline{\Delta h_i}$	H_i (sn)	BOfE _i
I	2,029	0,00	2,029	1,000
II	3,053	0,553	3,606	1,778
III	3,436	1,014	4,450	2,194
IV	3,852	1,885	5,738	2,828

I: Otomobil II: Küçük Ağır Taşıt III: Orta Ağır Taşıt IV: Büyük Ağır Taşıt

Işıklı kavşaklar için BOfE hesaplamada zaman cinsinden aralık yönteminden faydalanılan bir diğer çalışma da 2009 yılında Partha Saha ve diğ. tarafından Bangladeş’de yapılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerdeki taşıt kompozisyonu ve sürücü davranışları farklılıklarının o ülke şartları için farklı BOfE gerektirdiğinden böyle bir çalışmaya başvurulmuştur. Bu kapsamda yerel bir ulaşım aracı olan 3 tekerli motorlu taşıtlar (auto-rickshaws), minibüs ve otobüsler için BOfE değerleri belirlenmiştir.

Çalışma parklanmadan, otobüs duraklarından etkilenmeyen 10 kavşakta video kayıt yöntemi ile yapılmış, zaman cinsinden doygun aralık değerleri ölçülmüştür. Zaman cinsinden aralık yöntemini kullanmak için aşağıdaki şartların sağlanması koşulu aranmıştır.

$$\bar{h}_{I-I} + \bar{h}_{i-i} = \bar{h}_{I-i} + \bar{h}_{i-I} \quad (2.16)$$

$\bar{h}_{I-I}$, otomobilin otomobili izlediği durumda ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerini ifade etmektedir. $\bar{h}_{i-i}$, i tipindeki bir taşıtın i tipindeki bir taşıtı izlediği ortalama zaman cinsinden doygun aralık değeridir. $\bar{h}_{I-i}$ değeri otomobilin i tipindeki taşıtı izlediği, $\bar{h}_{i-I}$ değerinde ise i tipi taşıtın otomobili izlediği durumlarındaki ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerlerini ifade etmektedir. Bu koşulu yerine getirmeyen örneklerde ise düzeltme katsayısı (C) kullanılmaktadır.

$$C = \frac{abcd (w-x-y+z)}{2abc+abd+acd+bcd} \quad (2.17)$$

a= otomobilin otomobili izlediği örnek sayısı

b= otomobilin i tipindeki taşıtı izlediği örnek sayısı

c= i tipindeki taşıtın otomobili izlediği örnek sayısı

d= i tipinde taşıtın i tipinde taşıtı izlediği örnek sayısı

w= otomobilin otomobili izlediği durumda ortalama zaman cinsinden aralık

x= otomobilin i tipinde taşıtı izlediği durumda ortalama zaman cinsinden aralık

y= i tipinde taşıtın otomobili izlediği durumda ortalama zaman cinsinden aralık

z= i tipinden taşıtın i tipinden taşıtı izlediği durumda ortalama zaman cinsinden aralık

Ortalama zaman cinsinden aralık değerleri, düzeltme katsayısı (C) yardımıyla aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$\bar{h}_{D(I-I)} = \bar{h}_{(I-I)} - (C / a) \quad (2.18)$$

$$\bar{h}_{D(i-i)} = \bar{h}_{(i-i)} - (C / d) \quad (2.19)$$

$\bar{h}_D$ düzeltilmiş ortalama zaman cinsinden doygun aralık anlamına gelmektedir.

$$BOtE = \bar{h}_{D(i-i)} / \bar{h}_{D(I-I)} \quad (2.20)$$

Aşağıda Çizelge 2.8’de üç tekerlekli motorlu taşıtlar, Çizelge 2.9’da minibüsler, Çizelge 2.10 de ise otobüsler için ölçülen zaman cinsinden aralık değerleri ve hesaplanan BOtE değerleri verilmiştir. Çizelge 2.11’de ise bu taşıt tipleri için çalışma kapsamında hesaplanan BOtE’ler ile 2001 yılında Bangladeş için yayınlanan geometrik tasarım standartlarında yayınlanan BOtE’ler görülmektedir. Çalışmada üç taşıt tipi bulunmakta ve pikap gibi taşıtlar otomobil sınıfında değerlendirilmiş olmakla birlikte Dhaka şehri için BOtE belirlenmesi açısından önemli bir çalışmadır.

Çizelge 2.8 : Üç tekerlekli motorlu taşıt için zaman cinsinden aralık değerleri.

Kompozisyon	I-I	I-II	II-I	II-II
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	3545	1417	1343	623
Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,8955	1,9193	1,9341	1,411
Düzeltilmiş Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,942	2,035	2,056	1,674
BOtE (üç tekerli motorlu taşıt)	0,86			

I: Otomobil II: Üç Tekerlekli Motorlu Taşıt

Çizelge 2.9 : Minibüsler için zaman cinsinden aralık değerleri.

Kompozisyon	I-I	I-III	III-I	III-III
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	3545	393	391	52
Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,8955	1,9507	2,4713	3,2085
Düzeltilmiş Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,8877	1,8801	2,4004	2,6756
BOtE (minibüs)	1,42			

I: Otomobil III: Minibüs

Çizelge 2.10 : Otobüsler için zaman cinsinden aralık değerleri.

Kompozisyon	I-I	I-IV	IV-I	IV-IV
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	3545	656	624	371
Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,8955	2,4451	3,5941	4,0737
Düzeltilmiş Ortalama Zaman Cinsinden Aralık	1,8987	2,462	3,612	4,1046
BOtE (otobüs)	2,16			

I: Otomobil IV: Otobüs

Çizelge 2.11 : Farklı taşıt tipleri için BOtE.

Taşıt Tipi	BOtE (çalışma)	BOtE (MoC*)
Otomobil	1,00	1,00
3 tekerli Motorlu Taşıt	0,86	0,75
Minibüs	1,42	3,00
Otobüs	2,16	3,00

*Geometric Design Standards of Roads and Highways Department. Government of the People's Republic of Bangladesh. (2001).

Sarraj ve Jadili de BOtE belirlemek amacıyla 2012 yılında Filistin'nin Gazze şehrinde ışıklı kavşaklarda zaman cinsinden aralık yöntemi kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında üç kavşak incelenmiş, algılama-tepki ve hızlanma sürelerinin BOtE'yi etkilememesi için ilk üç zaman cinsinden aralık değeri göz önünde bulundurulmamıştır. Çalışma video kaydı yardımıyla her kavşakta 30 devre süresinde zaman cinsinden aralık değerlerinin ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Kayıtlar yağışın olmadığı açık havalarda yapılmıştır. Çalışma kapsamında 228 otomobil, 103 otobüs, 100 motorsuz taşıt olmak üzere toplam 403 zaman cinsinden aralık değeri ölçülmüştür. BOtE'ler denklem (2.6)'da verilen zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılarak hesaplanmış olup, Çizelge 2.12 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.12 : Otobüsler ve Çekçekler için BOtE.

Taşıt Türü	Kavşak			BOtE
	Al-Azher	Al-Samer	Asqoula	
Otobüs	1,91	2,04	2,00	2,00
Çekçek	1,76	1,52	1,58	1,60

Kockelman ve Shabih 2000 yılında ABD'de hafif hizmet kamyonlarının (light-duty trucks, LDTs) kapasiteye olan etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında BOtE'ler bulunmuş bu değerler yardımıyla kapasiteler elde edilmiştir. BOtE'yi bulmak için zaman cinsinden aralık yönteminden yararlanılmıştır. Otomobillerin yanı sıra hafif hizmet taşıtlarının sınıflandırılmasıyla oluşan 5 farklı taşıt tipi (küçük jip (small SUV), büyük jip (long SUV), minibüs (van), pikap (pickup)) için zaman cinsinden aralık değerleri ölçülmüştür. İki kavşakta sabah ve akşam zirve saatlerinde kamera ile ölçüm yapılmış, ölçümlerde kuyruktaki ilk taşıtın harekete

başladığı ilk andan kuyruktaki son taşıtın dur çizgisini geçme süresi, kuyruktaki lider taşıt tipi kuyruktaki taşıt tipleri ve sayıları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen BOfE Çizelge 2.13’de verilmiştir.

Çizelge 2.13 : Hafif hizmet taşıtları için BOfE.

Akım Yönü	Doğru Yön	Sola Dönüş	Sağa Dönüş
Küçük Jip	1,07	0,96	1,08
Büyük Jip	1,41		
Minibüs	1,34	1,06	1,19
Pikap	1,14	1,08	1,16

Rafael Perez ve Tarko 2005 yılında yaptıkları çalışmaları, HCM’de ışıklı kavşaklarda kapasite hesaplanırken kullanılan değişkenlerin bölgeden bölgeye değişebileceği varsayımıyla yola çıkmışlardır ve Hindistan için kapasite değişkenlerini hesaplamayı amaçlamışlardır. Veriler 21 kavşakta video kayıt yöntemleri ile elde edilmiştir. Yeşil ışığın başlama süresi, dördüncü taşıtın dur çizgisini geçme süresi, kuyruğun ve yeşil ışığın bitme süreleri ölçülmüştür. Ağır taşıt düzenleme katsayısında kullanılacak BOfE elde etmede denklem (2.6)’da verilen zaman cinsinden aralık yönteminden yararlanılmıştır. Zaman cinsinden aralık yönteminde kullanılmak üzere toplanan zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve çalışma kapsamında bulunan BOfE değeri Çizelge 2.14’da verilmiştir.

Çizelge 2.14 : Hindistan için BOfE.

otomobil	1,826
ağır taşıt	4,198
BOFağır taşıt	2,299

Işıklı kavşaklarda BOfE belirlemede kullanılan ikinci yöntem ise gecikme yöntemidir. Bu yöntemde amaç, ağır taşıtların neden oldukları gecikme cinsinden kaç otomobil ile ifade edileceklerini bulmaktır. İlk olarak 1976 yılında Walker ve Messer tarafından kullanılan yöntem, ağır taşıtın bulunduğu durumdaki ek gecikmeyi ağır taşıtların olmadığı duruma oranlanmasıdır. Benekohal ve Zhao’nın 1998 yılında yaptığı çalışmayla bu yöntem ışıklı kavşaklarda kullanılmaya başlanmıştır. Gecikme baz alınarak hesaplanan BOfE değeri G-BOfE değeri olarak adlandırılmıştır.

$$G-BOtE = 1 + \left(\frac{D_t - D_o}{V_t} \right) / d_o \quad (2.18)$$

Do bütün taşıtların otomobil olması durumunda ışıklı kavşaktaki toplam gecikmeleri, Dt kuyrukta ağır taşıt bulunması durumunda ışıklı kavşaktaki toplam gecikme değerini, Vt kuyruktaki toplam ağır taşıt sayısını, d_o ise bütün taşıtların otomobil olması durumunda ortalama gecikmeyi göstermektedir.

Çalışma Central Illinois’de 7 kavşaktaki 10 yaklaşımda gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ağır taşıtlar iki gruba ayrılmış, itici gücün olduğu kısım ile dorsesin ayrılmadığı taşıtlar tek birim, ayrılabilirdiği taşıtlar ise kombine olarak isimlendirilmiştir. Çalışma kapsamında taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri, tüm taşıtların gecikme değerleri, kuyrukta olan ve toplam taşıt sayıları, ağır taşıtın kuyruktaki yeri, sinyal süreleri değerleri kaydedilmiştir. İlk taşıtın zaman cinsinden aralık değeri bulunurken ışığın yeşile dönmesinden taşıtın arka tekerleklerinin dur çizgisini geçmesi esas alınmıştır. Böylece başlangıç kaybına ilk sürücünün tepki vermesi için geçen sürenin de katılması sağlanmıştır. Çalışma için toplanan veriler ışığında TRAF-NETSIM programında benzetim yapılmıştır. Tek birim ağır taşıtlar ve kombine ağır taşıtlar için Çizelge 2.15 de belirtilen G-BOtE ulaşılmıştır.

Çizelge 2.15 : Ağır taşıt oranlarına bağlı G-BOtE.

Yaklaşım Adı		A	B	C	D/E	F/G	H/I	J
Hacim (tş/sa)		302	246	286	467	256	374	80
Tek Birim	%	5,40	4,60	4,50	1,90	1,20	1,20	10,7
Ağır Taşıt	G- BOtE	1,30	1,26	1,27	1,47	1,11	1,20	1,07
Kombine	%	10,30	16,10	9,70	0,50	1,20	1,00	18,10
Ağır Taşıt	G- BOtE	1,55	1,49	1,50	1,81	1,38	1,62	1,19

Rahman ve diğ. Japonya’da 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında ışıklı kavşaklarda ağır taşıtlar için bir BOtE değeri belirlemişlerdir. Bu değeri belirlerken gecikmelerden hesaplama yapma yoluna gidilmiştir, 7 kavşakta 20 saat video kaydı alınmıştır.

Çalışmada gecikme değerlerinin doğrudan ölçülmesindeki güçlüklerden dolayı zaman cinsinden aralıklardan faydalanılmıştır. Zaman cinsinden aralık değerlerinden gecikmelere geçiş için Gerhart’ın 1976 yılında geliştirdiği zaman cinsinden aralıktan gecikme elde edilmesi yöntemi kullanılmıştır.

$$D_i = \sum_{j=1}^{j=i} H_j \quad (2.19)$$

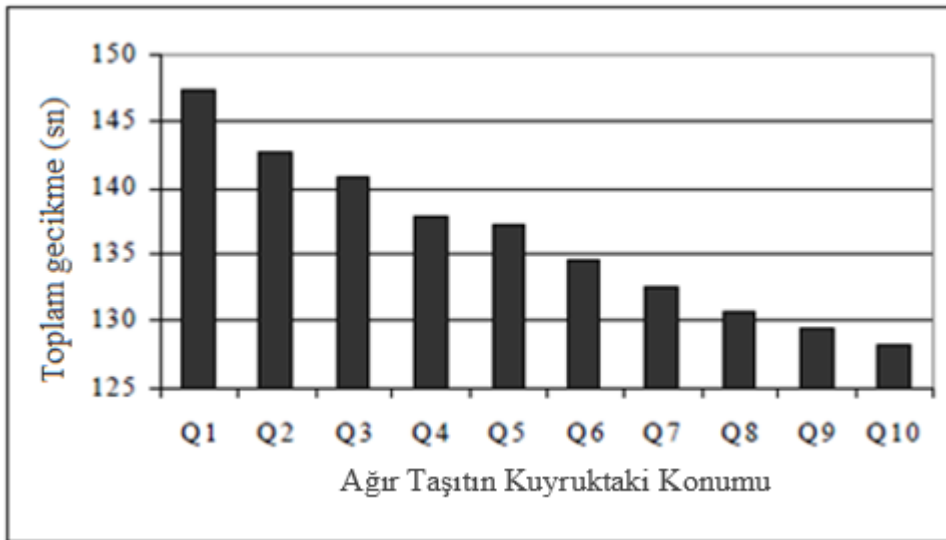
D_i , i. sıradan kuyruğu boşaltana kadar olan kısımdaki gecikmeyi, H_j , j. sıradaki taşıtın kuyruğu boşaltması sırasında önündeki taşıt ile arasındaki zaman cinsinden aralığı göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken D_i gecikme değerine ışıқта beklemlerden oluşan gecikmelerin ilave edilmediğidir. Bu çalışmada BOtE belirlenmek istendiğinden ve taşıt tipinin kırmızı ışıқта durmaktan kaynaklanan gecikmeler üzerinde etkisi olmadığından böyle bir yöntemle başvurulmuştur. Toplam gecikme değerleri (D_t) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$D_{t(m)} = \sum_{i=1}^{i=m} D_i \quad (2.20)$$

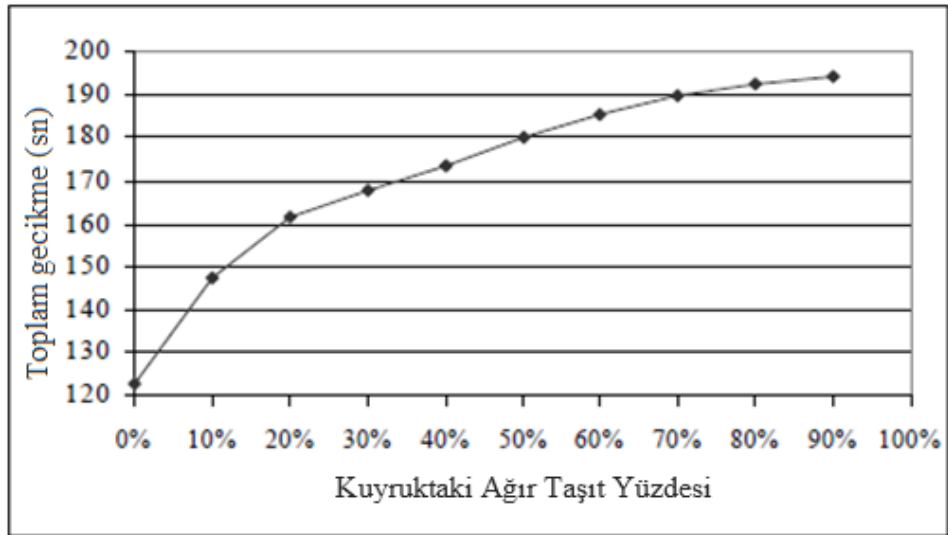
Denklem (2.19) ve (2.20) den yararlanılarak kuyrukta m adet taşıt bulunması durumunda gecikme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$D_{t(m)} = mH_1 + (m-1)*H_2 ++2H_{m-1} + H_m \quad (2.21)$$

Yukarıdaki denklemler yardımıyla tüm taşıtların otomobil olduğu durum için gecikme değeri hesaplanmıştır. Ayrıca ağır taşıtların kuyruğun farklı yerlerinde, farklı yüzdelere bulundukları durumlar için de gecikme değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2.5 de ağır taşıtın kuyruktaki pozisyonun toplam gecikmelere etkisi, Şekil 2.6 de ise ağır taşıt yüzdesinin toplam gecikmelere etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Ağır taşıtın kuyruktaki yerinin toplam gecikmeye etkisi.



Şekil 2.6 : Ağır taşıt yüzdesinin toplam gecikmeye etkisi.

Toplam gecikme değerlerinden BOfE hesaplanmasına geçilirken Zhao'nun geliştirdiği denklemlerden yararlanılmıştır.

$$G-BOtE_{LGj} = 1 + (d_{LGj}/Do) \quad (2.22)$$

$G-BOtE_{LGj}$ ağır taşıtın kuyruktaki j. sıradaki gecikme yöntemiyle hesaplanan eşdeğer birim otomobil değeridir. d_{LGj} j. sıradaki taşıttan kaynaklanılabilecek gecikmeleri ifade etmektedir. Do yalnızca otomobillerin olduğu durumdaki temel gecikmedir.

Bu çalışma gecikme yöntemi kullanılırken ağır taşıtın kuyruktaki yerinde göz önünde bulunduruluyor olmasından dolayı oldukça önemlidir. Çizelge 2.16'da %10, Çizelge 2.17'de %20 ağır taşıt bulunması durumundaki taşıtların kuyruktaki yerine bağlı $G-BOtE$ verilmiştir. Çizelge 2.16 ve Çizelge 2.17 kuyrukta 10 taşıtın olması durumu için hesaplanan değerleri göstermektedir, dolayısıyla %10 ağır taşıt, 1 ağır taşıt, %20 ağır taşıt ise 2 ağır taşıt anlamına gelmektedir. Çizelge 2.18'de ise ağır taşıt yüzdelere bağlı olarak $G-BOtE$ görülmektedir.

Çizelge 2.16 : %10 ağır taşıt bulunması durumunda kuyruktaki yerlere bağlı $G-BOtE$.

Ağır Taşıtların Kuyruktaki Sırası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BOtE	1,201	1,163	1,148	1,123	1,118	1,097	1,081	1,065	1,055	1,005

Çizelge 2.17 : %20 ağır taşıt bulunması durumunda kuyruktaki yerlere bağlı G-BOTe.

		2. Ağır Taşıtın Kuyruktaki Sırası								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Ağır Taşıtın Kuyruktaki Sırası	1	1,317	1,289	1,273	1,250	1,239	1,220	1,209	1,198	1,187
	2	X	1,249	1,234	1,216	1,204	1,193	1,175	1,163	1,153
	3	X	X	1,219	1,217	1,202	1,191	1,173	1,161	1,150
	4	X	X	X	1,194	1,183	1,175	1,161	1,150	1,139
	5	X	X	X	X	1,165	1,146	1,132	1,121	1,110
	6	X	X	X	X	X	1,134	1,113	1,104	1,095
	7	X	X	X	X	X	X	1,107	1,089	1,081
	8	X	X	X	X	X	X	X	1,082	1,065
	9	X	X	X	X	X	X	X	X	1,062

Çizelge 2.18 : Ağır taşıt oranlarına bağlı G-BOTe.

% Ağır Taşıt	10	20	30	40	50	60	70	80	90
BOte	1,183	1,302	1,344	1,396	1,435	1,501	1,523	1,547	1,564

Türkiye’de, ışıklı kavşaklarda BOTe değerinin belirlenmesi ile ilgili çalışma bulunmamakla birlikte Gedizlioğlu’nun 1978 yılındaki çalışmasında denetimsiz kavşaklarda, yan yol akımında, BOTe belirlemek için ortalama anayol hacmine karşılık olan yanyol kapasitesini kullanmıştır. İki kavşakta yapılan gözlemler ile otobüsler için belirlenen BOTe değerini 1,17-1,74 olarak belirlemiştir (Gedizlioğlu, 1979). Tanyel’in 2013 çalışmasında dönel kavşaklarda, minibüsler için BOTe değeri yan yol akımında 1,22, anayol akımında 1,08, otobüsler için BOTe değerini yanyol akımında körüksüz 1,83, körüklü 1,93, anayol akımında körüksüz 1,45, körüklü 1,83 olarak belirlemiştir (Tanyel, 2013). Ayrıca Türk Standartları TS 6407’de farklı taşıt türleri için farklı BOTe değerleri gösterilmiştir. Kullanılan değerler Çizelge 2.19 ’da verilmiştir.

Çizelge 2.19 : Türk standartların'da yer alan BOtE'ler (TS 6407).

Taşıt Tipi	Şehir İçi Yolda	Dönel Kavşakta	Işıklı Kavşakta
Özel Otomobil, Taksi, SepetliMotosiklet,Triportör Yüksüz 1500kg'a Kadar olan Pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, Dolmuş, Taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500 kg'dan Ağır Ticari kamyon, At arabası	2,00	2,80	1,75
Kent içi ve dışı Yolcu Otobüsü (körüklü dâhil) Servis Otobüsü, Trolleybüs, Tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet, Mopet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

3. BİRİM OTOMOBİL EŞDEĞERLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Bu tez kapsamında, ışıklı kavşaklarda, doğru giden akımlarda BOTe'nin belirlenmesi amaçlanmış, bu bağlamda iki kavşakta gözlemler yapılmıştır. Önceki bölümde belirtildiği üzere, ışıklı kavşaklarda BOTe'nin belirlenmesi için “Zaman Cinsinden Aralık” ve “Gecikme” temelli iki farklı yöntem geliştirilmiş olup, bu tez kapsamında bu yöntemlerden veri toplaması daha basit olan ve diğer yöntemlere göre önemli bir zayıflığı belirtilmeyen zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılmıştır.

BOTe'nin hesaplanması için zaman cinsinden aralık yönteminin ilk kullanıldığı çalışmada (Miller) ağır taşıtların arkalarındaki taşıta olan geciktirici etkileri ihmal edilmiştir. Bu etkinin de hesaplarda yer alması açısından 1987 yılında Molina tarafından zaman cinsinden aralık yöntemi geliştirilmiştir. Aynı yöntem Cruz-Casas'ın 2007 yılındaki çalışmasında da kullanılmış, Molina'nın geliştirdiği yaklaşımdan farklı olarak ağır taşıtların yalnızca arkasındaki bir taşıtı etkilediği kabulü yapılmıştır.

Tez kapsamında iki ışıklı kavşakta doğru giden akımlarda Miller yaklaşımı ve geciktirici etkinin göz önünde bulundurulduğu Molina ve Cruz-Casas yaklaşımı kullanılarak BOTe belirlenmiş ve değerler kıyaslanmıştır. Gözlem sayılarındaki farklılıkların BOTe üzerindeki etkisini incelemek için çalışma kapsamında daha önce 2009 yılında Partha Saha tarafından kullanılan başka bir yaklaşım daha kullanılarak çalışma tamamlanmıştır.

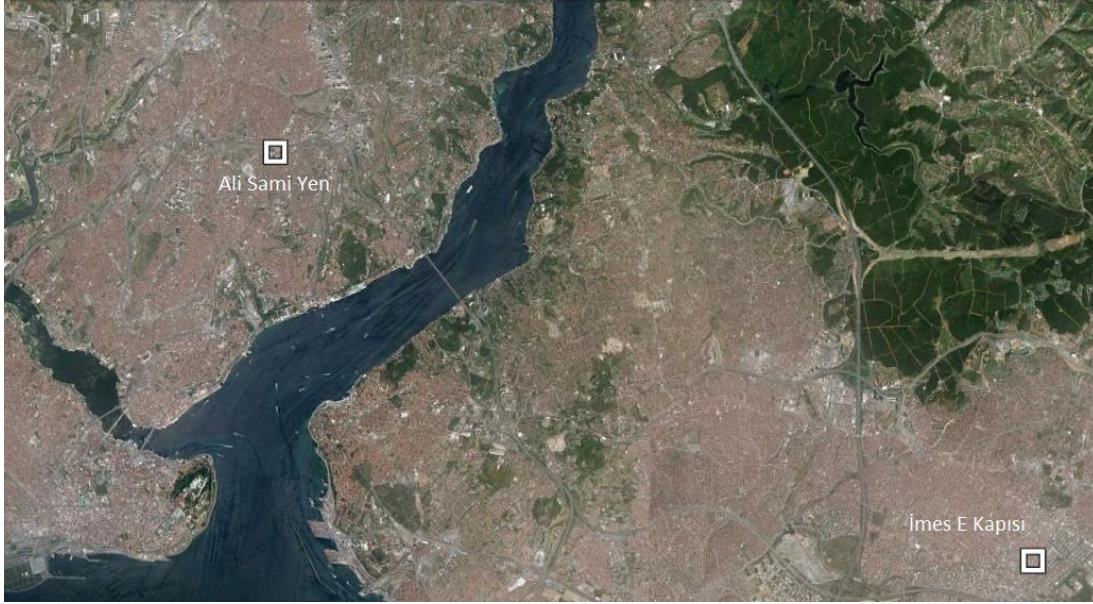
3.1 Çalışma Alanları

Çalışma, zaman cinsinden aralık yöntemi kullanılarak doğru giden akımlarda BOTe'nin hesaplanması olduğundan, incelenecek ışıklı kavşaklar, aşağıdaki özellikler göz önüne alınarak belirlenmiştir.

- Taşıt kompozisyonlarının çeşitlilik göstermesi.
- Kırmızı ışıkta 4'ten fazla taşıtın kuyruklanması.
- Sağa ve sola dönüşlerin yasaklanmış ya da ihmal edilebilecek derecede az olması.
- Verilerin kendi içinde değerlendirilebilmesi için şerit sayısının aynı olması.
- Kavşak bölgesinde otobüs durağının bulunmaması.
- Kavşak bölgesinde parklanma olmaması.

- Kuyruk erimesini engelleyecek, akım aşağı yönde trafik yoğunluğunun veya yaya hareketliliğinin bulunması.
- Kavşaklarda boyuna eğim değerinin ve yolun yatay eğriliğinin ihmal edilebilecek seviyede olması.

Yukarıda belirtilen kısıtlar doğrultusunda belirlenen kavşaklar Mecidiyeköy ve Ümraniye semtlerinde olup konumları Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.

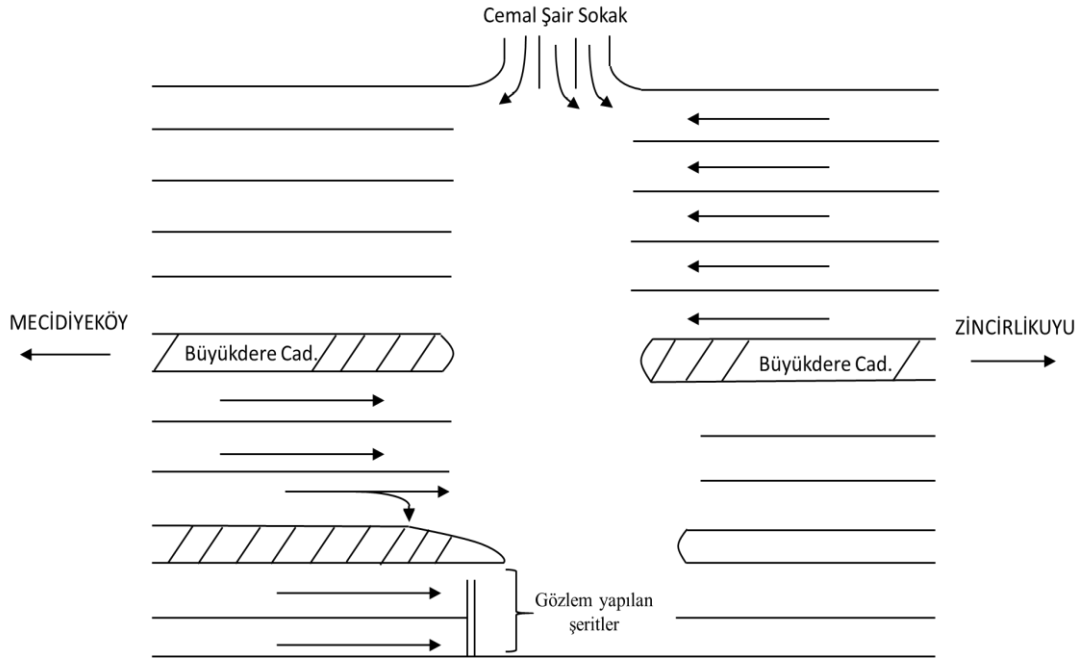


Şekil 3.1 : Çalışmadaki ışıklı kavşakların konumları.

Ölçüm yapılan kavşaklardan ilki Şişli ilçesi Mecidiyeköy semtinde Büyükdere Caddesi üzerinde eski Ali Sami Yen Stadı’nın önünde yer almaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından verilen ışıklı kavşak numarası “2242”dir. Bu kavşağın seçilmesinde otobüs ve minibüslerin akım içinde fazla olması etkili olmuştur. Ölçümler kavşağın Mecidiyeköy’den Zincirlikuyu yönüne giden kolunda yapılmıştır. Büyükdere Caddesi bölünmüş yol özelliğinde olup, 2 orta ayırıcı ve toplam 10 şeride sahiptir. Şerit ve orta ayırıcıların konumları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görülmektedir. Işıklı kavşaktaki devre süresi 120 sn, ölçümlerin yapıldığı koldaki yeşil süresi ise 60 sn’dir.



Şekil 3.2 : Eski Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşağın fotoğrafı.



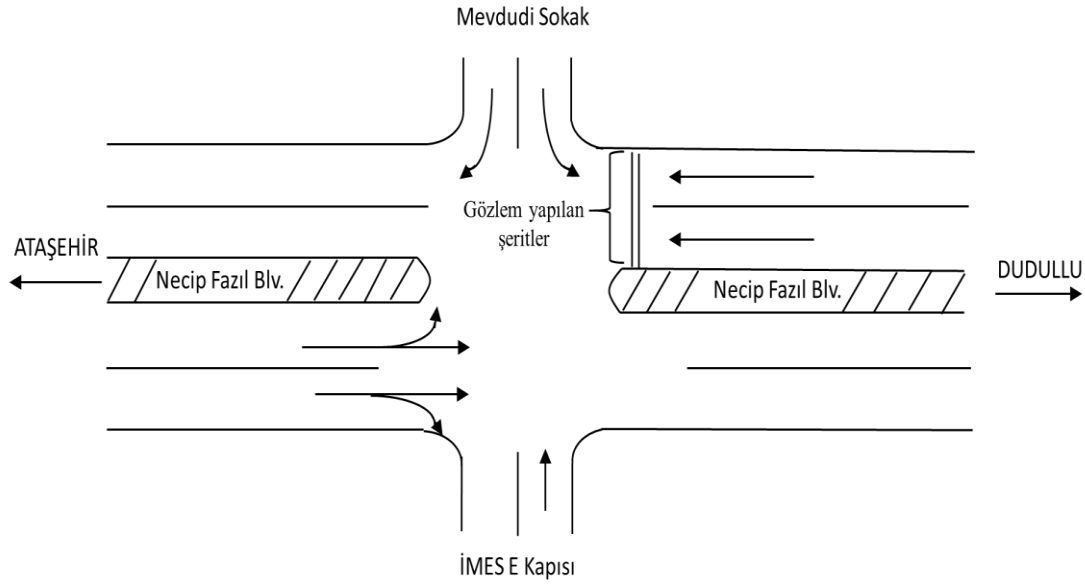
Şekil 3.3 : Eski Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşağın krokisi.

Ölçüm için belirlenen ikinci ışıklı kavşak ise Ümraniye ilçesinin Dudullu semtinde bulunan İstanbul Madeni Eşya Sanatkarları Sanayi Sitesi (İMES)’nin E kapısı önünde bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından verilen ışıklı kavşak numarası “3479”dur. Bu kavşağın seçilmesinde gerekçe kamyon, kamyonet ve tırların akım içinde fazla olmasıdır. Kavşak Necip Fazıl Bulvarı üzerinde bulunmaktadır. Necip Fazıl Bulvarı 2x2 özellikle çift platformlu bir yoldur. Ölçümler bu kavşağın

Dudullu-Ataşehir yönündeki kolunda yapılmıştır. Kavşağın ölçüm yapılan kolu sola dönüşlerin yasaklandığı ve sağa dönüşlerin ise ihmal edilebilecek kadar az olduğu 2 şeritli bir yoldur. Işıklı kavşaktaki devre süresi 120 sn, ölçümlerin yapıldığı koldaki yeşil süresi fazı ise 55 sn'dir. Bu ışıklı kavşağın görünümü Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.4 : İMES E kapısı önünde bulunan kavşağın fotoğrafı.



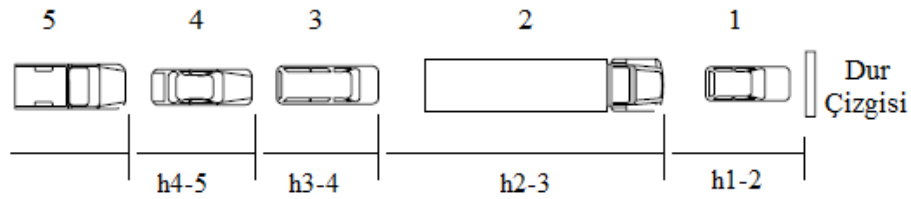
Şekil 3.5 : İMES E kapısı önünde bulunan kavşağın krokisi.

3.2 Çalışmanın Özellikleri

Zaman cinsinden aralık yöntemi ile BOfE belirlenirken, algılama- tepki ve hızlanma sürelerinin BOfE'yi etkilememesi için doygun zaman cinsinden aralık değerleri kullanılmaktadır. Zaman cinsinden aralık değerlerinin 4 ila 6. taşıttan sonra doygun değerine ulaştığı farklı çalışmalarda belirtilmiş, bu tez çalışması kapsamında ilk 4 taşıttan doygun zaman cinsinden aralıklara sahip olmadığı 5. taşıttan itibaren doygun değerine ulaştığı kabul edilmiştir. Analizlerde kuyruktaki 5. ve daha büyük sıradaki taşıtların zaman cinsinden aralık değerleri kullanılmıştır.

Çalışma hava koşullarının uygun olduğu (yağışsız) günlerde yapılmıştır. Işıklı kavşakta yeterince kuyruklanma gözlenebilmesi için hafta içi saat 9:00-11:00 aralığı tercih edilmiştir. Gözlemler tek gözlemci tarafından, yerinde kronometre ölçümü ve ses kaydı ile yapılmıştır. Zaman cinsinden aralık değerleri kronometre yardımıyla elde edilirken, türel dağılımlar gözlemci tarafından ses kaydı yardımıyla belirtilmiştir. Daha sonrasında ses kayıtları dinlenip kronometre değerleri ile taşıt türleri eşleştirilmiştir.

Zaman cinsinden aralık değerleri ölçülürken belirlenen nokta dur çizgisidir. Bir taşıttan ön tamponunun dur çizgisini geçmesi ile arkasındaki taşıttan ön tamponunun dur çizgisini geçmesi arasında geçen süre bu iki taşıttan zaman cinsinden aralık değerini ifade etmektedir. Zaman cinsinden aralık değerlerin belirlenmesi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Zaman cinsinden aralık değerlerinin kompozisyonlara bağlı ölçümü.

Ölçümler Ali Sami Yen Stadı önünde bulunan kavşakta sol şerit için 14 Nisan ve 21 Nisan 2014 tarihlerinde, sağ şerit için 25 Mart ve 24 Eylül 2014 tarihlerinde yapılmıştır. İMES E kapısı önünde bulunan kavşakta ise sağ şerit için 30 Eylül 2014, sol şerit için ise 22 Ekim 2014 tarihlerinde yapılmıştır.

3.3 Taşıt Türlerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında BOtE'lerin ayrıntılı olarak araştırılmasına karar verilmiş, bunun için otomobil dışında 6 adet taşıt türü belirlenmiştir.

Bu taşıt türleri şunlardır;

- I - Otomobil
- II - Minibüs
- III - Kamyonet
- IV - Midibüs
- V - Kamyon
- VI - Otobüs
- VII - Tır

Otomobil olarak belirlenen taşıt türü sürücünden başka en çok 7 oturma yeri olan insan taşımak için imal edilmiş motorlu taşıtlardır. Özel taşıtlar ve ticari taksiler gibi binek taşıtları bu gruba girmektedir.

Minibüs olarak belirtilen taşıt türü yapısı itibariyle sürücüsünden başka 8-14 oturma yeri olan insan taşımak için imal edilmiş motorlu taşıtlardır. Ara toplu taşıma (paratransit) taşıtlar, servis taşıtları ve yolcu taşıma amaçlı kullanılan panelvan taşıtlar bu taşıt türünde bulunmaktadır.

Kamyonet olarak belirtilen taşıt türü ise 3500 kg'ı geçmeyen yükleri taşımak için kullanılan açık kasalı taşıtlar ve yük taşıma amaçlı kullanılan panelvan türü taşıtları kapsamaktadır.

Midibüs minibüslerden daha büyük, otobüslerden daha küçük boyuttaki yolcu taşıma taşıtlarıdır. Uzunlukları 8-11 m arasında değişmektedir.

Kamyon, izin verilen azami yük ağırlığı 3500 kg'dan fazla olan ve yük taşımak için imal edilmiş motorlu taşıttır. Otomobil prensibine göre çalıştıklarından teknik sınıflandırmada büyük yük otomobili olarak tanımlanırlar.

Otobüs yapısı itibariyle sürücüsünden başka en az onbeş oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş bulunan motorlu taşıtlardır. Bu taşıt türünde ise körüklü ve körüksüz belediye otobüsleri bulunmaktadır.

Tır olarak ifade edilen taşıt türü ise iki parçadan oluşan taşıtlardır. İtici motor gücü ilk kısmında bulunurken, ikinci kısım yük taşımak için kullanılan treyleri (dorse) içermektedir. Bu çalışma kapsamında gözlemlenen tırlar tek treylere sahip olup iki ya da daha fazla treylere sahip taşıt verisi elde edilememiştir (Karayolları Trafik Kanunu, 1988).

3.4 Zaman Cinsinden Doygun Aralık Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında Ali Sami Yen Stadı önündeki kavşakta 137, İMES E kapısı önündeki kavşakta 66 olmak üzere iki kavşakta toplam 203 devre ölçüm yapılmıştır. Ali Sami Yen Stadı kavşağında bu devrelerden 44 tanesinde, İMES E kapısı kavşağında ise 10 devrede yalnızca otomobiller gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında Ali Sami Yen Stadı önü kavşağında 940 zaman cinsinden aralık ölçülmüş bu aralık değerlerinden 521'inin doygun olduğu, İMES E kapısı önü kavşağında ise 795 zaman cinsinden aralık ölçülmüş bunların 558'inin doygun olduğu belirlenmiştir.

BOtE'leri belirlenecek 6 taşıt türü ve otomobil ile toplam 7 taşıtın önündeki taşıtın türüne bağlı olarak zaman cinsinden aralık değerleri belirlenmiştir. 49 farklı taşıt türü kombinasyonu için zaman cinsinden aralık değerleri elde edilmiştir. Bu kombinasyonlar Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Zaman cinsinden aralık değerleri iki kavşağın sağ ve sol şeritleri için farklı günlerde ayrı ayrı toplanmıştır. İki şerit için yapılan gözlemler ve ölçülen zaman cinsinden aralık değerleri Ali Sami Yen Stadı için Çizelge 3.2'de, İMES E kapısı kavşağı için Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan taşıt kompozisyonları.

Kompozisyon	Öndeki Taşıt	Arkadaki Taşıt	Kompozisyon	Öndeki Taşıt	Arkadaki Taşıt
I-I	Otomobil	Otomobil	V-I	Kamyon	Otomobil
I-II		Minibüs	V-II		Minibüs
I-III		Kamyonet	V-III		Kamyonet
I-IV		Midibüs	V-IV		Midibüs
I-V		Kamyon	V-V		Kamyon
I-VI		Otobüs	V-VI		Otobüs
I-VII		Tır	V-VII		Tır
II-I	Minibüs	Otomobil	VI-I	Otobüs	Otomobil
II-II		Minibüs	VI-II		Minibüs
II-III		Kamyonet	VI-III		Kamyonet
II-IV		Midibüs	VI-IV		Midibüs
II-V		Kamyon	VI-V		Kamyon
II-VI		Otobüs	VI-VI		Otobüs
II-VII		Tır	VI-VII		Tır
III-I	Kamyonet	Otomobil	VII-I	Tır	Otomobil
III-II		Minibüs	VII-II		Minibüs
III-III		Kamyonet	VII-III		Kamyonet
III-IV		Midibüs	VII-IV		Midibüs
III-V		Kamyon	VII-V		Kamyon
III-VI		Otobüs	VII-VI		Otobüs
III-VII		Tır	VII-VII		Tır
IV-I	Midibüs	Otomobil			
IV-II		Minibüs			
IV-III		Kamyonet			
IV-IV		Midibüs			
IV-V		Kamyon			
IV-VI		Otobüs			
IV-VII		Tır			

Çizelge 3.2 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı zaman cinsinden ortalama doygun aralık değerleri.

Sağ Şerit								Sol Şerit							
ÖT (i)	AT (j)	GS	h_{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h_{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h_{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h_{i-j}
I	I	148	2,25	V	I	1	2,37	I	I	176	2,10	V	I	2	2,81
	II	13	2,79		II	0	-		II	21	2,27		II	0	-
	III	6	2,70		III	0	-		III	10	2,22		III	0	-
	IV	1	4,10		IV	0	-		IV	2	3,41		IV	0	-
	V	1	3,20		V	0	-		V	1	3,48		V	0	-
	VI	28	3,02		VI	0	-		VI	3	2,88		VI	0	-
	VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-
II	I	14	2,70	VI	I	27	3,81	II	I	17	2,36	VI	I	3	3,64
	II	1	4,20		II	3	4,17		II	3	3,20		II	0	-
	III	0	-		III	3	3,76		III	1	2,84		III	0	-
	IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-
	V	0	-		V	0	-		V	0	-		V	0	-
	VI	5	3,07		VI	8	4,53		VI	1	3,25		VI	1	3,77
	VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-
III	I	7	2,55	VII	I	0	-	III	I	10	2,64	VII	I	0	-
	II	0	-		II	0	-		II	0	-		II	0	-
	III	0	-		III	0	-		III	2	3,98		III	0	-
	IV	1	3,72		IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-
	V	0	-		V	0	-		V	0	-		V	0	-
	VI	2	3,02		VI	0	-		VI	0	-		VI	0	-
	VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-
IV	I	0	-					IV	I	2	2,73				
	II	1	2,89						II	0	-				
	III	0	-						III	0	-				
	IV	0	-						IV	0	-				
	V	0	-						V	0	-				
	VI	0	-						VI	0	-				
	VII	0	-						VII	0	-				

ÖT: Öndeki taşıt, AT: Arkadaki taşıt, GS: Gözlem sayısı, h_{i-j} : Zaman cinsinden ortalama doygun akım değeri
I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

Çizelge 3.3 : İMES E kapısı kavşağı zaman cinsinden doygun aralık değerleri.

Sağ Şerit								Sol Şerit							
ÖT (i)	AT (j)	GS	h _{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h _{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h _{i-j}	ÖT (i)	AT (j)	GS	h _{i-j}
I	I	140	2,09	V	I	8	2,69	I	I	178	1,89	V	I	4	2,34
	II	12	2,65		II	0	-		II	6	2,24		II	0	-
	III	20	2,53		III	1	3,12		III	30	2,23		III	0	-
	IV	2	3,50		IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-
	V	10	3,28		V	1	4,58		V	4	3,01		V	0	-
	VI	10	3,27		VI	1	3,41		VI	0	-		VI	1	3,41
	VII	4	5,77		VII	0	-		VII	4	5,94		VII	0	-
II	I	13	2,34	VI	I	11	3,29	II	I	5	1,93	VI	I	0	-
	II	0	-		II	0	-		II	0	-		II	0	-
	III	2	2,60		III	4	4,11		III	1	2,25		III	0	-
	IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-
	V	0	-		V	1	4,24		V	0	-		V	0	-
	VI	0	-		VI	0	-		VI	0	-		VI	0	-
	VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-		VII	0	-
III	I	20	2,17	VII	I	1	3,71	III	I	34	2,16	VII	I	3	3,39
	II	1	2,74		II	0	-		II	0	-		II	0	-
	III	5	2,25		III	1	4,45		III	8	2,21		III	1	3,55
	IV	1	3,7		IV	0	-		IV	0	-		IV	0	-
	V	1	4,14		V	0	-		V	0	-		V	0	-
	VI	6	3,33		VI	0	-		VI	0	-		VI	0	-
	VII	0	-		VII	0	-		VII	1	3,89		VII	0	-
IV	I	1	3,01					IV	I	0	-				
	II	0	-						II	0	-				
	III	0	-						III	0	-				
	IV	0	-						IV	0	-				
	V	0	-						V	0	-				
	VI	1	3,42						VI	0	-				
	VII	0	-						VII	0	-				

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

3.5 Veri Toplulaştırmasının İrdelenmesi

Bir önceki bölümde iki farklı kavşak ve iki şerit için ayrı ayrı toplanan zaman cinsinden doygun aralık değerleri verilmiştir. Toplanan bu zaman cinsinden doygun aralık değerlerinin gerek şeritler açısından gerekse kavşaklar açısından birleştirip, tek ve daha geniş bir örneklem oluşturmanın uygun olup olmadığı araştırılacaktır. Bu araştırma için hangi istatistiksel testin kullanılacağı, verilerin dağılımının normal olup olmamasına göre değişmektedir. Bu nedenle ilk olarak toplanan verinin normal dağılıma uyup uymadığı kontrol edilmiştir.

Öndeki ve arkadaki taşıtın türüne göre yapılan kombinasyonlardaki gözlem sayıları kavşak ve şeritlere göre farklılık göstermektedir. Otomobilin otomobili izlemesi durumu dışındaki kombinasyonlarda gözlem sayısı, her bir şerit için ayrı ayrı bakıldığında 30'un altında kalmaktadır. Bu durumda, zaman cinsinden doygun aralık değerlerinin normal dağılıma uygunluğu yalnızca otomobilin otomobili izleme durumu için araştırılmış, incelenen şeritte bu verinin normal dağılıma uyması halinde, diğer taşıt kombinasyonları için de normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında yer alan 2 kavşakta sağ ve sol şeritler için, otomobilin otomobili izlediği durumlarda, zaman cinsinden doygun aralık değerlerine ait istatistikler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Otomobillerin otomobilleri izlemesi durumunda zaman cinsinden doygun aralık değerlerine ait istatistikler.

	Ali Sami Yen Stadı Kavşağı		İMES E Kapısı Kavşağı	
	Sağ Şerit	Sol Şerit	Sağ Şerit	Sol Şerit
Veri Sayısı	148	176	140	178
Ortalama	2,25	2,10	2,09	1,89
Medyan	2,19	2,05	2,01	1,83
Standart Sapma	0,53	0,46	0,66	0,40
Çarpıklık	0,67	0,68	1,81	0,99

Verilerin normal dağılıma uygunluğunun sınanması için χ^2 testi kullanılmıştır. Çizelge 3.5'te Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ şerit için eşit olasılıklı χ^2 testinin hesaplanması gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ şerit için χ^2 testi

I Sınıf Aralığı	II Gözlem Sayısı	III Z	IV p_i (kümü)	V p_i	VI $b(N \cdot p_i)$	VII $(g-b)^2$	VIII $(g-b)^2/b$
$\leq 1,575$	9	-1,282	0,10	0,10	14,80	33,64	2,27
1,575-1,806	23	-0,842	0,20	0,10	14,80	67,24	4,54
1,806-1,974	20	-0,524	0,30	0,10	14,80	27,04	1,83
1,974-2,117	14	-0,253	0,40	0,10	14,80	0,64	0,04
2,117-2,250	20	0,000	0,50	0,10	14,80	27,04	1,83
2,250-2,384	10	0,253	0,60	0,10	14,80	23,04	1,56
2,384-2,526	9	0,524	0,70	0,10	14,80	33,64	2,27
2,526-2,694	11	0,842	0,80	0,10	14,80	14,44	0,98
2,694-2,925	16	1,282	0,90	0,10	14,80	1,44	0,10
$\geq 2,925$	16	3,990	1,00	0,10	14,80	1,44	0,10
Hesaplanan χ^2 değeri							15,51

Çizelgede I. sütun eşit olasılıklara (p_i) sahip aralık değerlerini, II. sütun bu aralıkta gözlenen veri sayısını, III. Sütun olasılık değerine denk gelen Z tablo değerini, VI. Sütun beklenen değeri (toplam gözlem sayısı (N)*gözlem olasılığı(p_i))'nı ifade etmektedir. Bu değerler yardımıyla hesaplanan χ^2 değeri % 5 anlamlılık düzeyi ve 8 serbestlik derecesi için okunan χ^2 tablo (kritik) değerine (15,51) eşit olduğundan bu verinin normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir.

Ali Sami Yen Stadı kavşağı sol şerit için eşit olasılıklı 10 dilim kullanılarak hesaplanan χ^2 değeri 3,54'tür. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyi ve 8 serbestlik derecesi için okunan χ^2 tablo (kritik) değerinden (15,51) küçük olduğundan bu verinin normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir.

İMES E kapısı kavşağı sağ şerit için eşit olasılıklı 10 dilim kullanılarak hesaplanan χ^2 değeri 30,14'tür. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyi ve 8 serbestlik derecesi için okunan χ^2 tablo (kritik) değerinden (15,51) büyük olduğundan bu verinin normal dağılıma uymadığı belirlenmiştir.

İMES E kapısı kavşağı sol şerit için eşit olasılıklı 10 dilim kullanılarak hesaplanan χ^2 değeri 15,81'dir. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyinde 8 serbestlik derecesi için okunan χ^2 tablo (kritik) değerinden (15,51) büyük olduğundan bu verinin normal dağılıma uymadığı belirlenmiştir.

Normal dağılıma uyan seriler arasında aynı toplumdan gelip gelmediklerinin kontrol edilmesi için t testi, herhangi biri normal dağılıma uymayan seriler arasında kontrol yapmak için ise K-W (Kruskal-Wallis) testi kullanılmıştır. Çizelge 3.6'da Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ ve sol şeritlerinin aynı toplumdan gelip gelmediğini araştırmak için uygulanan t testi gösterilmiştir. Çizelge 3.7'de ise İMES E kapısı kavşağı sağ ve sol şeritlerinin aynı toplumdan gelip gelmediğini araştırmak için uygulanan K-W testi gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı sağ ve sol şeritleri için t testi

	Değişken 1 (Sağ Şerit)	Değişken 2 (Sol Şerit)
Ortalama	2,25	2,10
Varyans	0,28	0,22
Gözlem	148	176
Öngörülen Ortalama Farkı	0,00	
Serbestlik D.	296,00	
t Stat	2,64	
P(T<=t) tek-uçlu	0,00	
t Kritik tek-uçlu	1,65	
P(T<=t) iki-uçlu	0,01	
t Kritik iki-uçlu	1,97	

Çizelge 3.7 : İMES E kapısı kavşağı sağ ve sol şeritleri için K-W testi

Grup		N	Ortalama Sıra
Zaman Cinsinden Doygun Aralık (oo)	1,00 (Sağ Şerit)	140	174,51
	2,00 (Sol Şerit)	178	147,70
	Toplam	318	
Test Statistikleri ^{a,b}			
	oo		
H (χ^2)	6,663		
Serbestlik D.	1		
p (Asymp. Sig.)	,010		
a. Kruskal Wallis Test			
b. Gruplama değişkeni: grup			

Yapılan ilk karşılaştırma, kavşaklar için sağ ve sol şeritlerin aynı toplumdan gelip gelmediğinin belirleyip, kavşak için, şerit konumundan bağımsız bir BOTE belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Ali Sami Yen Stadı kavşağında sağ ve sol şeritler normal dağılıma uyduğu için bu iki seri arasında t testi yapılmıştır. Farklı varyanslı t istatistiği Çizelge 3.6'da görüldüğü üzere 2,64 olarak hesaplanmış ve bu değer % 5 anlamlılık düzeyinde iki kollu t tablo değeri olan 1,96'dan büyük çıktığından istatistiksel olarak Ali Sami Yen Stadı kavşağında bulunan bir taşıtın hangi şeritte bulunduğunun, taşıtlar arasındaki zaman cinsinden doygun aralık değerlerini etkilediği kabul edilmiştir.

İMES E kapısı kavşağında sağ ve sol şeritler normal dağılıma uymadığı için bu iki seri arasında K-W testi yapılmıştır. Çizelge 3.7'de görüldüğü üzere yapılan test sonucunda H değeri 6,663, olarak hesaplanmıştır. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyi ve 1 serbestlik derecesi için okunan H (χ^2) tablo değerinden (3,84) büyük olduğundan sağ ve sol şeritten toplanan verilerin farklı toplumlardan geldiği, İMES E kapısı kavşağında bulunan bir taşıtın hangi şeritte bulunduğunun taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerini etkilediği kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan ikinci karşılaştırmalar ise kavşaktan bağımsız bir şekilde sağ ve sol şeritlerin aynı toplumdan gelip gelmediklerini belirleyip, şeritler için kavşaklara bağlı olmayan bir BOTE belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Ali Sami Yen Stadı kavşağında ve İMES E kapısı kavşağında sağ şeritlerden toplanan veriler normal dağılıma uymadığı için bu iki seri arasında K-W testi yapılmıştır. Yapılan test sonucunda H değeri 9,885 olarak hesaplanmıştır. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyi ve 1 serbestlik derecesi için okunan H (χ^2) tablo değerinden (3,84) büyük olduğundan sağ şeritler için Ali Sami Yen Stadı kavşağında ve İMES E kapısı kavşağında toplanan verilerin farklı toplumdan geldiği, sağ şeritte bulunan bir taşıtın hangi kavşakta bulunduğunun taşıtlar arasındaki zaman cinsinden doygun aralık değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Ali Sami Yen Stadı kavşağında ve İMES E kapısı kavşağında sol şeritlerden toplanan veriler normal dağılıma uymadığı için bu iki seri arasında da K-W testi yapılmıştır. Yapılan test sonucunda H değeri 21,947 olarak hesaplanmıştır. Bu değer; % 5 anlamlılık düzeyi ve 1 serbestlik derecesi için okunan

H (χ^2) tablo değerinden (3,84) büyük olduğundan sol şeritler için Ali Sami Yen Stadı kavşağında ve İMES E kapısı kavşağında toplanan verilerin farklı toplumdan geldiği, sol şeritte bulunan bir taşıtın hangi kavşakta bulunduğu taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerini etkilediği belirlenmiştir.

3.6 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Miller Yaklaşımı

Miller yaklaşımı, zaman cinsinden aralık yönteminin ilk ve en temel kullanımudur. Bu yaklaşımda hatırlanacağı üzere öndeki ve/veya arkadaki taşıt türüne göre bir değerlendirme yapılmamaktadır. 7 tür için zaman cinsinden doygun aralık değerleri belirlenmiş, denklem (2.6) yardımıyla BOfE'leri hesaplanmıştır. Ali Sami Yen Stadı kavşağı için Çizelge 3.8'de, İMES E kapısı kavşağı için Çizelge 3.9'da, bütün çalışma için hesaplanan BOfE değerleri ise Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı için BOfE.

Şerit	Taşıt Türü	Gözlem Sayısı	$\bar{h}_i$	BOfE _i
Sağ	I (Otomobil)	148	2,25	1,00
	II (Minibüs)	13	2,80	1,24
	III (Kamyonet)	6	2,71	1,20
	IV (Midibüs)	1	4,15	1,84
	V (Kamyon)	1	3,21	1,43
	VI (Otobüs)	28	3,02	1,34
Sol	I (Otomobil)	176	2,10	1,00
	II (Minibüs)	21	2,27	1,34
	III (Kamyonet)	10	2,22	1,31
	IV (Midibüs)	2	3,41	1,92
	V (Kamyon)	1	3,48	1,99
	VI (Otobüs)	3	2,88	1,95
Tümü (sağ+sol)	I (Otomobil)	324	2,17	1,00
	II (Minibüs)	34	2,47	1,14
	III (Kamyonet)	16	2,40	1,11
	IV (Midibüs)	3	3,66	1,68
	V (Kamyon)	2	3,35	1,54
	VI (Otobüs)	31	3,01	1,39

Çizelge 3.9 : İMES E kapısı kavşağı için BOtE.

Şerit	Taşıt Türü	Gözlem Sayısı	$\bar{h}_I$	BOtE_i
Sağ	I (Otomobil)	140	2,09	1,00
	II (Minibüs)	12	2,65	1,27
	III (Kamyonet)	20	2,53	1,21
	IV (Midibüs)	2	3,50	1,67
	V (Kamyon)	10	3,28	1,56
	VI (Otobüs)	10	3,27	1,56
	VII (Tır)	4	5,77	2,76
Sol	I (Otomobil)	178	1,89	1,00
	II (Minibüs)	6	2,24	1,19
	III (Kamyonet)	30	2,23	1,18
	IV (Midibüs)	0	-	-
	V (Kamyon)	4	3,01	1,60
	VI (Otobüs)	0	-	-
	VII (Tır)	4	5,94	3,15
Tümü (sağ+sol)	I (Otomobil)	318	1,98	1,00
	II (Minibüs)	18	2,52	1,27
	III (Kamyonet)	50	2,53	1,28
	IV (Midibüs)	2	3,50	1,77
	V (Kamyon)	14	3,20	1,62
	VI (Otobüs)	10	3,27	1,65
	VII (Tır)	8	5,85	2,96

Çizelge 3.10 : Çalışma kapsamında toplanan tüm veriler için BOtE.

Taşıt Türü	Gözlem Sayısı	$\bar{h}_i$	BOtE _i
I (Otomobil)	642	2,07	1,00
II (Minibüs)	52	2,49	1,20
III (Kamyonet)	66	2,36	1,14
IV (Midibüs)	5	3,59	1,73
V (Kamyon)	16	3,22	1,55
VI (Otobüs)	41	3,07	1,48
VII (Tır)	8	5,85	2,82

3.7 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Molina ve Cruz-Casas Yaklaşımı

Bu yaklaşımda ölçülen zaman cinsinden doygun aralık değerleri ile (2.10) denklemi kullanılarak BOtE elde edilir.

Çizelge 3.11’de Ali Sami Yen Stadı kavşağında bütün taşıt kombinasyonlar için denklem (2.11) yardımıyla Δk_{i-j} değerleri hesaplanmıştır. Bu kavşakta hiç tır gözlemlenmediğinden VII numaralı taşıt türü için Δk değerleri bulunamamıştır.

Δk değerleri kullanılarak her tür kombinasyonda BOtE’ler hesaplanabilir. BOtE’leri kompozisyonlardan bağımsız yalnızca taşıt türlerine bağlı bir hale getirmek için ağır taşıtın arkasında hangi türden taşıt olursa olsun ağır taşıtın bu taşıta yaptığı geciktirici etkiyi ($\bar{\Delta h}_i$) belirlemek amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda izlenen yaklaşım; otomobilden farklı olan bütün taşıt tipleri için (II-III-IV-V-VI-VII) bütün kompozisyonların, idael durum olan otomobilin arkasında olması durumuna göre ilave zaman değerlerinin (Δh_{i-j}) denklem (2.12) yardımıyla hesaplanması ve ortalama bir ilave zaman değeri ($\bar{\Delta h}_i$) denklem (2.13) yardımıyla belirlenmesidir. Aynı kavşak için belirlenen $\bar{\Delta h}_i$ değerleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı bütün kombinasyonlar için h_{i-j} , Δk_{i-j} 'ler.

Sağ						Sol					
Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}
I-I	2,25	0,00	IV-I	-	-	I-I	2,10	0,00	IV-I	2,73	0,62
I-II	2,80	0,54	IV-II	2,89	0,63	I-II	2,27	0,16	IV-II	-	-
I-III	2,71	0,46	IV-III	-	-	I-III	2,22	0,12	IV-III	-	-
I-IV	4,15	1,89	IV-IV	-	-	I-IV	3,41	1,31	IV-IV	-	-
I-V	3,21	0,96	IV-V	-	-	I-V	3,48	1,38	IV-V	-	-
I-VI	3,02	0,77	IV-VI	-	-	I-VI	2,88	0,78	IV-VI	-	-
I-VII	-	-	IV-VII	-	-	I-VII	-	-	IV-VII	-	-
II-I	2,66	0,41	V-I	2,37	0,11	II-I	2,36	0,25	V-I	2,81	0,71
II-II	4,21	1,95	V-II	-	-	II-II	3,20	1,09	V-II	-	-
II-III	-	-	V-III	-	-	II-III	2,84	0,74	V-III	-	-
II-IV	-	-	V-IV	-	-	II-IV	-	-	V-IV	-	-
II-V	-	-	V-V	-	-	II-V	-	-	V-V	-	-
II-VI	3,07	0,81	V-VI	-	-	II-VI	3,25	1,15	V-VI	-	-
II-VII	-	-	V-VII	-	-	II-VII	-	-	V-VII	-	-
III-I	2,55	0,30	VI-I	3,81	1,56	III-I	2,64	0,54	VI-I	3,64	1,54
III-II	-	-	VI-II	4,17	1,92	III-II	-	-	VI-II	-	-
III-III	-	-	VI-III	3,76	1,51	III-III	3,98	1,87	VI-III	-	-
III-IV	3,72	1,47	VI-IV	-	-	III-IV	3,72	1,47	VI-IV	-	-
III-V	-	-	VI-V	-	-	III-V	-	-	VI-V	-	-
III-VI	3,02	0,77	VI-VI	4,53	2,28	III-VI	-	-	VI-VI	3,77	1,66
III-VII	-	-	VI-VII	-	-	III-VII	-	-	VI-VII	-	-

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

Çizelge 3.12 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı taşıt türleri için ek zaman değerleri (Δh_{i-j}) ve ortalama ilave zaman değerleri ($\overline{\Delta h}_i$).

			Öndeki Taşıt (i)				
			II	III	IV	V	VI
Sağ	Arkadaki Taşıt (j)	I	0,41	0,3	-	0,11	1,53
		II	1,41	-	0,09	-	1,38
		III	-	-	-	-	1,05
		IV	-	-	-	-	-
		V	-	-	-	-	-
		VI	0,05	0	-	-	1,51
	$\overline{\Delta h}_i$		0,62	0,15	0,55	0,11	1,56
Sol	Arkadaki Taşıt (j)	I	0,25	0,54	0,62	0,71	1,54
		II	0,93	-	-	-	-
		III	0,62	-	-	-	-
		IV	-	-	-	-	-
		V	-	-	-	-	-
		VI	0,37	0	-	-	0,89
	$\overline{\Delta h}_i$		0,54	0,54	0,62	0,71	1,56

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

Hesaplanan $\overline{\Delta h}_i$ değerleri ve ölçülen zaman cinsinden doygun aralık değerlerinden faydalanılarak (2.14) ve (2.15) numaralı denklemler yardımıyla BOtE belirlenebilmektedir. Çizelge 3.13’de Ali Sami Yen Stadı Önü için hesaplanan BOtE verilmiştir. Bu kavşakta VII numaralı taşıt türüne rastlanmadığı için VII numaralı taşıt türü için BOtE belirlenememiştir. Çizelge 3.14’te İMES E kapısı kavşağında bütün taşıt kombinasyonlar için denklem (2.11) yardımıyla Δk_{i-j} değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.15’te İMES E kapısı kavşağı için hesaplanan $\overline{\Delta h}_i$ değerleri, Çizelge 3.16’da ise İMES E kapısı kavşağı için aynı yöntemle hesaplanan BOtE’ler verilmiştir.

Çizelge 3.13 : Ali Sami Yen Stadı kavşağı için BÖtE.

Şerit	Taşıt Türü	$\bar{h}_i$	$\Delta\bar{h}_i$	H_i	BÖtE _i
Sağ	I	2,25	0,00	2,25	1,00
	II	2,80	0,62	3,42	1,52
	III	2,71	0,15	2,86	1,27
	IV	4,15	0,09	4,23	1,88
	V	3,21	0,11	3,32	1,48
	VI	3,02	1,37	4,39	2,03
Sol	I	2,10	0,00	2,10	1,00
	II	2,27	0,54	2,69	1,34
	III	2,22	0,54	2,70	1,31
	IV	3,41	0,62	4,03	1,92
	V	3,48	0,71	4,19	1,99
	VI	2,88	1,21	4,09	1,95
Tümü (sağ+sol)	I	2,17	0,00	2,17	1,00
	II	2,47	0,46	2,93	1,35
	III	2,40	0,39	2,79	1,29
	IV	3,66	0,49	4,14	1,94
	V	3,35	0,49	3,84	1,77
	VI	3,01	1,53	4,54	2,12

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

Çizelge 3.14 : İMES E kapısı kavşağı bütün kombinasyonlar için h_{i-j} ve Δk_{i-j} 'ler.

Sağ						Sol					
Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}	Kombinasyon	h_{i-j}	Δk_{i-j}
I-I	2,09	0	V-I	2,69	0,60	I-I	1,89	0	V-I	2,34	0,45
I-II	2,65	0,56	V-II	-	-	I-II	2,24	0,36	V-II	-	-
I-III	2,53	0,43	V-III	3,12	1,02	I-III	2,23	0,35	V-III	-	-
I-IV	-	-	V-IV	-	-	I-IV	-	-	V-IV	-	-
I-V	3,28	1,18	V-V	4,58	2,49	I-V	3,01	1,13	V-V	-	-
I-VI	3,27	1,17	V-VI	3,41	1,32	I-VI	-	-	V-VI	3,41	1,53
I-VII	-	-	V-VII	-	-	I-VII	-	-	V-VII	-	-
II-I	2,34	0,25	VI-I	3,29	1,20	II-I	1,93	0,05	VI-I	-	-
II-II	-	-	VI-II	-	-	II-II	-	-	VI-II	-	-
II-III	2,60	0,51	VI-III	4,11	2,01	II-III	-	-	VI-III	-	-
II-IV	-	-	VI-IV	2,50	0,40	II-IV	-	-	VI-IV	-	-
II-V	-	-	VI-V	4,24	2,15	II-V	-	-	VI-V	-	-
II-VI	-	-	VI-VI	-	-	II-VI	-	-	VI-VI	-	-
II-VII	-	-	VI-VII	-	-	II-VII	-	-	VI-VII	-	-
III-I	2,17	0,08	VII-I	3,71	1,62	III-I	2,16	0,27	VII-I	3,39	1,50
III-II	2,74	0,64	VII-II	-	-	III-II	-	-	VII-II	-	-
III-III	2,25	0,16	VII-III	4,45	2,36	III-III	2,21	0,33	VII-III	3,55	1,66
III-IV	-	-	VII-IV	-	-	III-IV	-	-	VII-IV	-	-
III-V	4,14	2,05	VII-V	-	-	III-V	-	-	VII-V	-	-
III-VI	3,33	1,24	VII-VI	-	-	III-VI	-	-	VII-VI	-	-
III-VII	-	-	VII-VII	-	-	III-VII	3,89	2,01	VII-VII	-	-
IV-I	3,01	0,91				IV-I	-	-			
IV-II	-	-				IV-II	-	-			
IV-III	-	-				IV-III	-	-			
IV-IV	-	-				IV-IV	-	-			
IV-V	-	-				IV-V	-	-			
IV-VI	3,42	1,33				IV-VI	-	-			
IV-VII	-	-				IV-VII	-	-			

Çizelge 3.15 : İMES E kapısı kavşağı taşıt türleri için ek zaman değerleri ($\Delta h_{i,j}$) ve ortalama ilave zaman değerleri ($\overline{\Delta h_i}$).

			Öndeki Taşıt (i)					
			II	III	IV	V	VI	VI
Sağ	Arkadaki Taşıt (j)	I	0,25	0,08	0,91	0,60	1,20	1,62
		II	-	0,08	-	-	-	-
		III	0,08	1,62	-	0,59	1,58	1,92
		IV	-	-	-	-	-	-
		V	-	0,87	-	1,31	0,97	-
		VI	-	0,07	0,16	0,15	-	-
		VI	-	0	-	-	-	-
	$\overline{\Delta h_i}$		0,17	0,54	0,54	0,66	1,25	1,77
Sol	Arkadaki Taşıt (j)	I	0,25	0,08	0,91	0,60	1,20	1,62
		II	-	0,08	-	-	-	-
		III	0,08	1,62	-	0,59	1,58	1,92
		IV	-	-	-	-	-	-
		V	-	0,87	-	1,31	0,97	-
		VI	-	0,07	0,16	0,15	-	-
		VI	-	0	-	-	-	-
	$\overline{\Delta h_i}$		0,17	0,54	0,54	0,66	1,25	1,77

Çizelge 3.16 : İMES E kapısı kavşağı için BOtE.

Şerit	Taşıt Türü	$\bar{h}_i$	$\Delta \bar{h}_i$	H_i	BOtE _i
Sağ	I	2,09	0,00	2,09	1,00
	II	2,65	0,17	2,82	1,35
	III	2,53	0,54	3,07	1,47
	IV	3,50	0,54	4,03	1,93
	V	3,28	0,66	3,94	1,88
	VI	3,27	1,25	4,52	2,16
	VII	5,77	1,77	7,54	3,60
Sol	I	1,89	0,00	1,89	1,00
	II	2,24	0,03	2,27	1,21
	III	2,23	0,27	2,50	1,33
	IV	-	-	-	-
	V	3,01	1,93	4,94	2,62
	VI	-	-	-	-
	VII	5,94	1,41	7,35	3,90
Tümü (sağ+sol)	I	1,98	0,00	1,98	1,00
	II	2,52	0,20	2,71	1,37
	III	2,35	0,64	2,99	1,51
	IV	3,50	0,59	4,09	2,07
	V	3,20	0,57	3,77	1,91
	VI	3,27	1,37	4,64	2,35
	VII	5,85	1,57	7,43	3,76

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

Ayrıca çalışmanın geneli için her ne kadar istatistiksel açıdan aynı toplumdan gelmedikleri tesbit edilmişse de genel bir BOtE belirlemek amacıyla toplanan tüm veriler bir araya getirilmiştir ve iki kavşak için BOtE değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 3.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.17 : Çalışma kapsamında iki kavşak birlikte incelendiğinde hesaplanan BOtE.

Taşıt Türü	$\bar{h}_i$	$\Delta \bar{h}_i$	H_i	BOtE _i
I	2,07	0,00	2,07	1,00
II	2,49	0,38	2,87	1,38
III	2,36	0,66	3,03	1,46
IV	3,59	0,50	4,09	1,97
V	3,22	0,59	3,81	1,84
VI	3,07	1,45	4,52	2,18
VII	5,85	1,52	7,37	3,55

I: Otomobil II:Minibüs III:Kamyonet IV:Midibüs V:Kamyon VI: Otobüs VII: Tır

3.8 Zaman Cinsinden Aralık Yöntemi: Partha Saha Yaklaşımı

Bir önceki bölümde anlatılan Molina yaklaşımına göre BOtE belirlenirken, farklı taşıt kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu kombinasyon sayıları ise trafikteki ağır taşıt oranının otomobil oranına kıyasla çok daha az olmasından dolayı çok farklıdır. Bu tez çalışması kapsamında iki kavşakta toplam 827 otomobil 61 minibüs 7 midibüs 19 kamyon 96 kamyonet 66 otobüs ve 9 tır gözlemlenmiştir.

BOtE belirlerken bu gözlem sayılarının da dikkate alınması amacıyla veriler ayrıca Partha Saha ve diğ.'nin çalışmasında önerdiği düzeltme katsayısı da kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yöntem kapsamında (2.16)'da verilen şartların sağlanması koşulu aranmıştır. Çizelge 3.18'de iki kavşakta gözlemlenen toplam otomobil-otomobil, otomobil-minibüs, minibüs-otomobil ve minibüs-minibüs zaman cinsinden aralık değerleri verilmiştir. Bu değerler yardımıyla ve (2.17)'de verilen denklemle düzeltme katsayısı (C) 2,197 olarak hesaplanmıştır. Bu düzeltme katsayısı ile düzeltilmiş zaman cinsinden aralık değerleri denklem (2.19) yardımıyla hesaplanmıştır. Örneğin ; minibüsün minibüsü izlemesi durumu için gözlemlenen zaman cinsinden aralık değeri 3,45'dir. Düzeltilmiş zaman cinsinden aralık değerinin hesaplanması ise aşağıda gösterilmiştir.

$$\bar{h}_{D(II-II)} = 3,45 - (2,197 / 4) = 2,90$$

BOtE belirlemede kullanılan zaman cinsinden aralık değerleri yönteminde (2.15) düzeltilmiş zaman cinsinden aralık değerlerinin kullanılması ile belirlenen BOtE_{minibüs} 1,40 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.18 : Minibüsler için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BOtE.

Taşıt Kombinasyonu	I-I	I-II	II-I	II-II
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	642	52	49	4
$\bar{h}$	2,07	2,49	2,40	3,45
$\bar{h}_D$	2,07	2,44	2,35	2,90
BOtE	1,40			

I: Otomobil II:Minibüs

Aynı şekilde gözlemlenen tüm verilerle kamyonet türü için belirlenen BOtE çizelge 3.19’da, kamyon için ortalama zaman cinsinden doygun aralık ve BOtE çizelge 3.20’de, otobüs için ortalama zaman cinsinden doygun aralık ve BOtE çizelge 3.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.19 : Kamyonet için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BOtE.

Taşıt Kombinasyonu	I-I	I-III	III-I	III-III
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	642	66	71	15
$\bar{h}$	2,07	2,36	2,26	2,61
$\bar{h}_D$	2,07	2,35	2,25	2,57
BOtE	1,24			

I: Otomobil III:Kamyonet

Çizelge 3.20 : Kamyonlar için ortalama zaman cinsinden doygun aralık değerleri ve BOtE.

Taşıt Kombinasyonu	I-I	I-V	V-I	V-V
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	642	16	15	1
$\bar{h}$	2,07	3,22	2,59	4,58
$\bar{h}_D$	2,07	3,17	2,54	3,83
BotE	1,85			

I: Otomobil V:Kamyon

Çizelge 3.21 : Otobüs için ortalama zaman cinsinden doymun aralık değeri ve BOtE.

Taşıt Kombinasyonu	I-I	I-VI	VI-I	VI-VI
Zaman Cinsinden Aralık Sayısı	642	41	41	9
$\bar{h}$	2,07	3,07	3,66	4,44
$\bar{h}_D$	2,08	3,10	3,69	4,59
BOtE	2,21			

I: Otomobil VI: Otobüs

3.9 Farklı Yaklaşımların Karşılaştırılması

Tez kapsamında üç farklı yaklaşım ile BOtE değeri belirlenmiştir. Bu yaklaşımlar pratiklik, kesin sonuç verme ve büyük ölçekte veriye ihtiyaç duyma gibi ölçütler açısından birbirlerinden farklılık göstermektedir. Çizelge 3.22’de ölçüm yapılan iki kavşakta Miller ve Molina yaklaşımları ile belirlenen BOtE değeri verilmiştir.

Çizelge 3.22 : Miller ve Molina yaklaşımları ile belirlenen BOtE’ler.

		Ali Sami Yen Stadı Kavşağı			İMES E Kapısı Kavşağı		
		Sağ Şerit	Sol Şerit	Tümü	Sağ Şerit	Sol Şerit	Tümü
Miller Yaklaşımı	I (Otomobil)	1	1	1	1	1	1
	II (Minibüs)	1,24	1,34	1,14	1,27	1,19	1,27
	III (Kamyonet)	1,2	1,31	1,11	1,21	1,18	1,28
	IV (Midibüs)	1,84	1,92	1,68	1,67	-	1,77
	V (Kamyon)	1,43	1,99	1,54	1,56	1,60	1,62
	VI (Otobüs)	1,34	1,95	1,39	1,56	-	1,65
	VII (Tır)	-	-	-	2,76	3,15	2,96
Molina Yaklaşımı	I (Otomobil)	1	1	1	1	1	1
	II (Minibüs)	1,52	1,34	1,35	1,35	1,21	1,37
	III (Kamyonet)	1,27	1,31	1,29	1,47	1,33	1,51
	IV (Midibüs)	1,88	1,92	1,94	1,93	-	2,07
	V (Kamyon)	1,48	1,99	1,77	1,88	2,62	1,91
	VI (Otobüs)	2,03	1,95	2,12	2,16	-	2,35
	VII (Tır)	-	-	-	3,6	3,9	3,76

Çizelge 3.22’de görüldüğü üzere Miller yaklaşımında ağır taşıtın arkasındaki taşıta yaptığı geciktirici etkinin dikkate alınmaması BOtE değerinde büyük değişikliklere sebep olmaktadır. Bu sakıncasının yanında Miller yaklaşımında veri toplamak ve verileri değerlendirmek pratikken, Molina yaklaşımında ağır taşıt türü çoğaldıkça veri toplamak için çok uzun gözlemler yapmak gerekmektedir.

Çizelge 3.23’te ise çalışma kapsamında toplanan bütün veriler yardımıyla hesaplanan BOtE’ler üç yaklaşım için verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere Miller yaklaşımı ile bulunan değerler diğer iki yaklaşımla bulunan değerlere göre beklenenden düşük kalmıştır. Ayrıca Partha Saha yaklaşımı, daha uygulanabilir olmakla birlikte daha fazla veri gerektirmektedir. Midibüs ve tır türü taşıtlar için BOtE’lerin bu yaklaşım ile belirlenememesinin sebebi, yeterli gözlemlerin yapılamamış olmasıdır.

Çizelge 3.23 : Toplam veri için bütün yaklaşımlarla belirlenen BOtE’ler

	I Otomobil	II Minibüs	III Kamyonet	IV Midibüs	V Kamyon	VI Otobüs	VII Tır
Miller Yaklaşımı	1,00	1,20	1,14	1,73	1,55	1,48	2,82
Molina Yaklaşımı	1,00	1,38	1,46	1,97	1,84	2,18	3,55
Partha Saha Yaklaşımı	1,00	1,40	1,24	-	1,85	2,22	-

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında 2 ışıklı kavşakta doğru giden akımlar için zaman cinsinden aralık gözlemleri yapılmış ve bu gözlemler yardımıyla, daha önceden belirlenen 6 farklı taşıt türü olan minibüs, kamyonet, midibüs, kamyon, otobüs, tır için BOTe'ler 3 farklı yaklaşım ile hesaplanmıştır.

Birinci yaklaşım Miller tarafından 1968'de kullanılmaya başlanan ilk zaman cinsinden aralık yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, pratikliği açısından günümüzde hala kullanılmaktadır. Miller tarafından geliştirilen zaman cinsinden aralık yönteminin sonuçları Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

İkinci yaklaşım 1987 yılında Molina tarafından geliştirilmiş, zaman cinsinden aralık değerlerine arkadaki taşıtın zaman cinsinden aralık değerindeki gecikme etkisinin de eklenmesiyle elde edilir. Bu yöntem yardımıyla hesaplanan BOTe değerleri Çizelge 3.117'de gösterilmiştir. Çizelge 3.10 ile yapılan karşılaştırma sonucunda pratiklik için kabul edilen yöntem Miller yaklaşımı ile BOTe değerleri hesaplanırken büyük farklılıkların olabileceği gözlemlenmiştir.

Üçüncü yaklaşım ise, gözlemlenen kombinasyon sayıları arasındaki farklılıkların BOTe değeri belirlemeye olan etkisini azaltmak için, zaman cinsinden aralık değerlerinin bir katsayısı ile düzeltilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım ile belirlenen BOTe değerleri Çizelge 3.13-3.16 da gösterilmiştir. Sonuçların 2. Yaklaşım ile yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.

HCM 2010'da kavşaklar için de BOTe belirlenmiş, dönel ve ışıklı kavşaklar ayrı ayrı irdelenmiştir. Her iki kavşak türü için BOTe değeri 2 olarak gösterilmiştir. Ancak BOTe değerleri ağır taşıtlar için genel olarak belirlenmiş kamyon- karavan ayrımı yapılmamış, ayrıca ağır taşıtların oranlarının BOTe üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.

TS 6407 standardında belirtilen BOTe ile çalışma kapsamında belirlenen değerler kıyaslandığında minibüs, kamyon ve otobüs için belirlenen değerlerin birbirine paralel olduğu görülmektedir. TS 6407 kamyonet, tır ve midibüsler için BOTe değeri belirlenmemiştir.

Çalışma kapsamında ışıklı kavşaklarda BOTe belirleme yöntemleri tanıtılmış, İstanbul'da iki kavşakta BOTe değerleri elde edilmiştir. Şeritler için (sağ, sol olarak)

veya kavşaklar için ortak bir BOtE değerin belirlenmesi için istatistik araştırmalar yapılmıştır. İstatistiksel olarak şeritler için ayrı ayrı toplanan verilerin birleştirilmesi uygun olmasa da, pratiklik açısından çalışma kapsamında şerit bazında BOtE değerleri yanında şerit verilerinin birleştirilmesiyle hesaplanan BOtE'ler de belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, daha fazla gözlem ile ışıklı kavşaklarda BOtE'lerin İstanbul geneli için belirlenmesi söz konusu olabilir. Çalışma kapsamında yalnızca iki şeritli doğru giden akımlar irdelenmiştir, sağ ve sola dönüşlerde BOtE değerinin nasıl değiştiği araştırılabilir, ayrıca şerit sayısı ile BOtE değeri arasındaki ilişki irdelenebilir. BOtE'lerin farklı hava koşullarından (yağışlı, sisli ve karlı) etkilenip etkilenmediği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Al-Kaisy, A., Hall, F., and Reisman, E.** (2002). "Developing Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles on Freeways during Queue Discharge Flow". In *Transportation Research*, Vol. 36A, pp. 725-742.
- Benekohal, R and Zhao, W.** (2000). "Delay-Based Truck Equivalencies at Signalized Intersections". *Transportation Research*, Vol. 34A, pp. 437-457.
- Cruz-Casas, C. O.** (2007). "Development of Passenger Car Equivalency Values For Trucks At Signalized Intersections". Master Thesis. University Of Florida. USA.
- Cunagin, W. D., and C. J. Messer** (1982). "Passenger Car Equivalents for Rural Highways". Report FHWA/RD-82/132, FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Elefteriadou, L., Torbic, D., and Webster, N.** (1997). "Development of Passenger Car Equivalents for Freeways, Two-Lane Highways, and Arterials". *Transportation Research Record* 1572. Paper No. 970950, pp. 51-58.
- Gedizlioğlu, E.** (1979). "Kentiçi Eşdüzey Kavşak Kullanımlarına Toplutaşım Araçları Yönünden Bir Yaklaşım". 2. Toplutaşım Kongresi. Ankara.
- Highway Capacity Manual** (2000). Transportation Research Board (TRB), National Research Council, Washington, D.C.
- Highway Capacity Manual** (2010). Transportation Research Board (TRB), National Research Council, Washington, D.C.
- Ingle, A.** (2004). "Development of Passenger Car Equivalents for Basic Freeway Segments". Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia. USA.
- Karayolları Trafik Kanunu** (1983). Tarih: 18.10.1983. Sayı:2918.
- Kockelman, K and Shabih, R.** (2000). "Effect of Light-Duty Trucks on the Capacity of Signalized Intersections". *Journal of Transportation Engineering: American Society of Civil Engineers*, Volume: 126 Issue: 6 pp. 506-512.
- Metkari, M., Budhkar A. K. ve Maurya A. K.** (2012). "Review of Passenger Car Equivalence Studies in Indian Context". *International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area (EFITRA)*. pp 19-23.
- Molina, CJ, Jr.** (1987). "Development of Passenger Car Equivalencies for Large Trucks at Signalized Intersections". *Institute of Transportation Engineers, Journal* vol. 57 Issue 11. pp. 33-37.
- Perez-Cartagena, R. and Tarko, A.** (2005). "Calibration of Capacity Parameters for Signalized Intersections in Indiana". 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 9-13, Washington D.C.
- Rahman, M. M., Okura I. and Nakamura, F.** (2003). "Measuring Passenger Car Equivalents (Pce) For Large Vehicles At Signalized Intersections". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5. pp. 1223-1233.

- Saha, P., Hossain, Q.S., Mahmud, H.M.I. and Islam, Md. Z.** (2009). "Passenger Car Equivalent (PCE) of Through Vehicles at Signalized Intersections in Dhaka metropolitan city, Bangladesh". In IATSS Research Vol.33 No.2. pp. 99-104.
- Sarraj, Y. and Jadili, I.** (2012). "Estimating Passenger Car Unit Factors For Buses And Animal Driven Carts In Gaza City, Palestine". The 4th International Engineering Conference –Towards engineering of 21st century GAZA.
- Tanyel, S., Çalışkanelli, S.P., Aydın, M. M. ve Utku, S. B.** (2013) "Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi". İMO Teknik Dergi,6479-6504, Yazı 406
- Türk Standartları Enstitüsü** (1989). "Kentsel Alanlarda Otomobil Eşdeğerliği" (Türk Standartları TS6407), Ankara.
- Washburn, S. S. and Cruz-Casas, C. O.** (2010). "Impact of Trucks on Signalized Intersection Capacity". Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 25. pp. 452–467
- Webster, N., and Elefteriadou, L.** (1999). "A Simulation Study of Truck Passenger Car Equivalents (PCE) on Basic Freeway Sections". In Transportation Research. Vol. 33B. pp. 323-336.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Sümeyye Şeyma KUŞAKCI

Doğum Yeri ve Tarihi : Erzincan 10/10/1990

E-posta: seymakusakci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans : 2012, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü