

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU TRAFİĞİ ÜZERİNE BİLEŞİK BİR GÜVENLİK
İNDEKSİ GELİŞTİRME ÇALIŞMASI**

Yunus Emre YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Mühendisliği Programı

Danışman
Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Mart, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU TRAFİĞİ ÜZERİNE BİLEŞİK BİR GÜVENLİK
İNDEKSİ GELİŞTİRME ÇALIŞMASI**

Yunus Emre YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 18.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Halit ÖZEN, Jüri

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Ergün, Jüri

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Büyükşehirlerin Karayolu Trafik Güvenliği Performansları Üzerine Bir Araştırma başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yunus Emre YILMAZ

İmza

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen ve benden hiçbir yardımı esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY’a, tez sürecimde her türlü konuda fikrini aldığım İnşaat Yüksek Mühendisi Celal Tolga İmamoğlu nezdinde tüm World Resources Institute Türkiye Sürdürülebilir Şehirler’de görev alan çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte desteklerini her zaman arkamda hissettiğim arkadaşlarım Egecan Emre Hüner, Mehmet Şirin Artan ve Uğurcan Bayram’a çok teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde farklı noktalarda desteğini gördüğüm arkadaşım Beytullah Demirci’ye ayrıca çok teşekkür ederim.

Farklı şekillerde desteklerini ileten arkadaşlarım Aykut Karabulak, Erhan Yalçın ve Halil İbrahim Çelik’e de verdikleri tüm destekler için teşekkür ederim.

Son olarak beni bu günlere getiren, yaptıklarım ve yapmaya çalıştıklarımın bugüne kadar bana hep destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yunus Emre YILMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	11
1.3 Orijinal Katkı.....	14
2 METODOLOJİ	16
2.1 Seçilen Göstergeler	16
2.1.1 100 Bin Kişi Başına Düşen Trafik Kazaları, Trafik Ölümleri ve Trafik Yaralanmaları Sayısı.....	21
2.1.2 Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kazalarının Tüm Trafik Kazaları İçindeki Payı.....	21
2.1.3 Eğitim Durumu.....	22
2.1.4 Taşıt Sahipliği.....	22
2.1.5 100 Bin Kişi Başına Düşen Hastane Yatağı ve Ambulans Sayısı....	22
2.2 Yöntemler.....	21
2.2.1 Temel Bileşenler Analizi.....	24
2.2.2 Veri Zarflama Analizi.....	26
3 ANALİZ SONUÇLARI	30
3.1 Temel Bileşenler Analizi Sonuçları.....	30
3.2 Veri Zarflama Analizi Sonuçları	36
3.3 Kümeleme Analizi Sonuçları	47
3.4 Genel Analiz Bulguları	48
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	57
4.1 Sonuçlar.....	57
4.2 Öneriler	58
KAYNAKÇA	61
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	67

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
BCC	Banker, Charnes, Cooper Modeli
CCR	Charnes, Cooper, Rhodes Modeli
DEA	Data Envelopment Analysis
EGM	Emniyet Genel Müdürlüğü
ERSO	Avrupa Yol Güvenliği Gözlemevi (European Road Safety Observatory)
EuroNCAP	Avrupa Yeni Araba Değerlendirme Programı (European New Car Assessment Programme)
Eurostat	Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (European Union's Statistical Office)
GDP	Gross Domestic Product
GSYH	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
ITF	Uluslararası Ulaştırma Forumu (International Transport Forum)
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KMO	Kaiser Meyer Olkin İstatistiği
KTGİ	Karayolu Trafik Güvenliği İndeksi
KVB	Karar Verme Birimi
NZLTSA	Yeni Zelanda Ulusal Yol Güvenliği Komisyonu (New Zealand Land Transport Safety Authority)
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PCA	Principal Components Analysis
PROMETHEE-RS	Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralama Organizasyon. Yöntemi-Yol Güvenliği Modeli (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation-Road Safety Model)

RTSI	Road Traffic Safety Index
SWOV	Hollanda Yol Güvenliği Araştırma Enstitüsü (Dutch Institute for Road Safety Research)
TBA	Temel Bileşenler Analizi
TDK	Türk Dil Kurumu
TOPSIS	İdeal Çözüm Benzerliğine Göre Tercih Sıralama Tekniği (Techique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
TOPSIS-RSR	İdeal Çözüm Benzerliğine Göre Tercih Sıralama Tekniği-Rank Sum Oranı (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-Rank Sum Ratio)
TRL	Birleşik Krallık Ulaştırma Araştırma Laboratuvarı (UK's Transport Research Laboratory)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VTI	İsveç Ulusal Karayolu ve Ulaştırma Araştırma Enstitüsü (The Swedish National Road and Transport Research Institute)
VZA	Veri Zarflama Analizi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Yol güvenliği için bir hedef hiyerarşisi (NZLTSA, 2000; Koornstra vd., 2002)	2
Şekil 1.2	SafetyNet yönetim ve teknik yapı (Thomas vd., 2009).....	4
Şekil 2.1	Trafik kazalarında çarpışma hızı ve yayalar için ölüm riski arasındaki ilişki (World Resources Institute, 2015)	20
Şekil 3.1	Şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları (TBA).....	35
Şekil 3.2	Şehirlerde trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 3.3	Şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları (VZA)	41
Şekil 3.4	Şehirlerde trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması.....	41
Şekil 3.5	Şehirlerin ait oldukları kümeler	48
Şekil 3.6	Şehirlerin ait oldukları kümeler ve indeks skorları (TBA)	51
Şekil 3.7	Şehirlerin ait oldukları kümeler ve indeks skorları (VZA).....	51
Şekil 3.8	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)	52
Şekil 3.9	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA).....	53
Şekil 3.10	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik kazaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)	54
Şekil 3.11	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik kazaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA).....	54
Şekil 3.12	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)	55
Şekil 3.13	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA).....	55
Şekil 3.14	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik yaralanmaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)	56
Şekil 3.15	Şehirlerde nüfus başına düşen trafik yaralanmaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA).....	56

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Literatürde bu alanda kullanılmış olan başlıca göstergeler	11
Tablo 1.2 Türkiye ve Almanya’da taşıt sahipliği ve kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı (Eurostat, 2016; WHO, 2016; OECD, 2016)	13
Tablo 2.1 Yol güvenliğinde kullanılabilecek veriler ve göstergeler (OECD/International Transport Forum, 2016).....	16
Tablo 2.2 TBA ve VZA yöntemlerinin kullanıldığı bazı çalışmalar	22
Tablo 2.3 CCR ve BCC modelleri.....	26
Tablo 3.1 KMO ve Bartlett test sonuçları	30
Tablo 3.2 Ortak varyans.....	30
Tablo 3.3 Açıklanan toplam varyans	31
Tablo 3.4 Döndürülmüş faktör matrisi	32
Tablo 3.5 Faktörler ve değişken grupları.....	33
Tablo 3.6 Cronbach alfa katsayısı	33
Tablo 3.7 Karayolu trafik güvenliği indeksi (TBA)	33
Tablo 3.8 VZA için göstergelerin düzenlenmesi ve ilgili açıklamalar	37
Tablo 3.9 Karayolu trafik güvenliği indeksi (VZA).....	39
Tablo 3.10 Şehirlerin referans kümeleri	42
Tablo 3.11 Girdi ve çıktı ağırlıkları.....	44
Tablo 3.12 İyileşme yapılabilecek göstergeler (aylak değişkenler)	46
Tablo 3.13 Kümeleme analizi sonuçları	48
Tablo 3.14 Kümelerin kendi içerisindeki sıralamaları (TBA)	49
Tablo 3.15 Kümelerin kendi içerisindeki sıralamaları (VZA)	50

Karayolu Trafiği Üzerine Bileşik Bir Güvenlik İndeksi Geliştirme Çalışması

Yunus Emre YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Bu çalışmada 2016 yılı verilerine dayalı olarak Türkiye’deki mevcut 30 büyükşehrin karayolu trafik güvenliği performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda temel bileşenler analizi (TBA) ve veri zarflama analizi (VZA) yöntemleri uygulanarak büyükşehirlerin karayolu trafik güvenliği performansları istatistiksel olarak ölçülmüştür. Analizlerde trafik kayıpları (trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları), eğitim, sağlık ve ekonomik zenginlik alanlarından sekiz adet karayolu trafik güvenliği performans göstergesi kullanılmıştır. Daha sonra Ward kümeleme analizi yöntemi uygulanarak büyükşehirler yapısal ve kültürel özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu analizde nüfus yoğunluğu, taşıt sahipliği, kişi başına düşen gelir ve birim alana düşen karayolu uzunluğu göstergeleri kullanılmıştır. Her iki analiz sonucuna göre karayolu trafik güvenliği skoru en yüksek olan şehir İstanbul’dur. Ancak kümeleme analizi sonucuna göre şehirler dört kümeye ayrılmıştır ve bu kümelerden biri sadece İstanbul’u içeriyordu. Kümeleme analizine göre İstanbul’un tek başına yer aldığı kümenin haricinde üç küme daha vardır. İstanbul bir kenara konulursa kişi başına düşen gelirin düşük olduğu üçüncü küme en yüksek ortalama karayolu trafik güvenliği skoruna sahiptir. Üçüncü kümeyi nüfus yoğunluğunun daha yüksek olduğu ikinci küme takip etmektedir ve taşıt sahipliğinin daha yüksek olduğu dördüncü küme en düşük ortalama skora sahiptir. Taşıt sahipliğinin kat edilen taşıt-kilometreyi yansıttığı varsayıldığında

hareketliliğin daha fazla ve daha az olduğu şehirlerde karayolu trafik güvenliği skorları daha yüksek çıkmıştır. Hareketliliğin daha fazla olduğu şehirlerde bunun sebebi artan hareketliliğe bağlı olarak yaşanan trafik tıkanıklığının sebep olduğu düşük trafik işletme hızları olabilir. Hareketliliğin daha az olduğu şehirlerde ise bir trafik kazasına maruz kalma riski düşmektedir ve bu durum onu istatistiksel açıdan daha güvenli göstermiş olabilir.

Anahtar Kelimeler: Karayolu trafik güvenliği, temel bileşenler analizi, veri zarflama analizi, indeks, gösterge

A Research On Developing Composite Safety Index For Road Traffic

Yunus Emre YILMAZ

Department of Civil Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜRSOY

In this study, it is aimed to compare the road traffic safety performance of the current thirty metropolitan cities in Turkey based on 2016 data. In this direction, the road traffic safety performances of metropolitan cities were statistically measured by applying principal components analysis (PCA) and data envelopment analysis (DEA) methods. Eight road traffic safety performance indicators were used from the fields of traffic casualties (traffic accidents, fatalities, and injuries), education, health, and economic wealth in the analyses. Then, metropolitan cities were classified according to their structural and cultural characteristics by applying the Ward cluster analysis method. Population density, vehicle ownership, road length per km², and GDP per capita were used as indicators in the analysis. According to the results of both analyzes (PCA and DEA), the city with the highest road traffic safety score was Istanbul. However, according to the result of the cluster analysis, cities were divided into four clusters and one of these four clusters included only Istanbul. According to the cluster analysis, there are three more clusters besides the cluster where Istanbul is included alone. If Istanbul is excluded, the third cluster with low income per capita has the highest average road traffic safety score. The third cluster is followed by the second cluster with higher population density, and the fourth cluster with higher vehicle ownership has the lowest average score. Assuming that the vehicle ownership represents the vehicle-kilometer

traveled, the road traffic safety scores were higher in the cities with more mobility and less mobility. In cities with more mobility, the reason can be the low traffic speeds caused by the traffic congestion that occurred due to the increased mobility. In cities with less mobility, the risk of being exposed to a traffic accident decreases, which may have made it statistically safer.

Keywords: Road traffic safety, principal components analysis, data envelopment analysis, index, indicator

1.1 Literatür Özeti

Karayolu trafik güvenliği ile ilgili çalışmaların aksine bu konu üzerine indeks oluşturarak çeşitli ülkeleri, şehirleri veya diğer birimleri karşılaştırma çalışmaları çok eski tarihlere dayanmamaktadır. Konu daha çok 2000’li yıllar itibariyle ulaştırma mühendisliği ve diğer ilgili disiplinlerin ilgisini çekmeye başlamıştır. Konu ile alakalı temel çalışmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Bu bölümde bahsedilen çalışmalarda yer alan göstergeler literatür sonunda yer alan Tablo 1.1’den kontrol edilebilir. Bu tabloda çalışmalarda en çok kullanılan göstergeler görülebilir.

2000 yılında Yeni Zelanda Ulusal Yol Güvenliği Komisyonu (NZLTSA) bir rapor hazırlamıştır. Bu raporda 2010 yılına dönük yol güvenliği üzerine izlenecek stratejiler ortaya konmuştur. Daha sonra 2002 yılında İsveç, Birleşik Krallık ve Hollanda’nın ulaştırma ve yol güvenliği ile ilgili birimleri bir araya gelerek ülkelerinde yol güvenliği gelişiminin bir karşılaştırmasını yapmışlardır. SUNflower ismini verdikleri bu projede Yeni Zelanda Ulusal Yol Güvenliği Komisyonu’nun ortaya koyduğu strateji üzerinden yol güvenliği için bir hedef hiyerarşisi uyarlamışlardır. Bu hedef hiyerarşisi Şekil 1.1’de görülebilir (Koornstra vd., 2002).



Şekil 1.1 Yol güvenliği için bir hedef hiyerarşisi (NZLTSA, 2000; Koornstra vd., 2002)

Çalışmanın amacı bir yandan ülkelerin yol güvenliği performanslarını karşılaştırmak bir yandan da en önemli görünen faktörleri bulmaktır. Çalışma 2005 yılında SUNflower+6 ismiyle, altı ülkenin dahil edilmesiyle tekrar edildi. Son olarak ise 2008’de SUNflowerNext ismiyle tekrar edilen çalışmaya 27 Avrupa ülkesi dahil edilmiştir.

2002 yılındaki ilk çalışmada en düşük trafik kaza seviyelerine sahip üç ülke incelenmiştir. Çalışmanın amacı bu ülkeleri yol güvenliğinde etkili yapan politikaların ve programların altındaki temel unsurları belirlemek ve böylece bu ve diğer Avrupa ülkelerinde kazaları azaltmaya yarayabilecek en uygun politikalar ve programları tanımlamaktır. Bunu yapmak için de son 20 yıllık ulusal stratejiler incelenmiş, dört örnek vaka incelemesi (alkollü araç kullanma, emniyet kemeri ve çocuk koltuğu kullanımı, yerel altyapısal iyileştirmeler, şehirlerarası ana yollardaki güvenlik düzeyi) yapılmış ve 1980 ile 2000 yılları arasındaki konu üzerine ulusal riskler ve diğer özel riskler incelenmiştir. Bu üç farklı analize dayalı olarak, 1980 ile 2000 yılları arasındaki trafik ölümlerindeki azalma yol güvenliği önlemlerine yüklenerek bir değerlendirme yapılmıştır. Fakat çalışma kapsamında tüm alanlara detaylıca bakılamadığı bu yüzden çalışmanın tam bir açıklama sağlamayacağı belirtilmiştir. Eldeki veriler üzerinden yapılan değerlendirmeye göre üç ülkenin birbirleri benzer düzeyde yol güvenliği performansı gösterdiği bulunmuştur (Koornstra vd., 2002).

2005 yılındaki ikinci çalışmada trafik ölümleri 1980’den itibaren azalma gösteren 6 ülke (Çek Cumhuriyeti, Macaristan, Slovenya, Yunanistan, Portekiz, İspanya) daha çalışmaya dahil edilmiştir. 2002 yılındaki ilk çalışmaya ek olarak incelenen konular

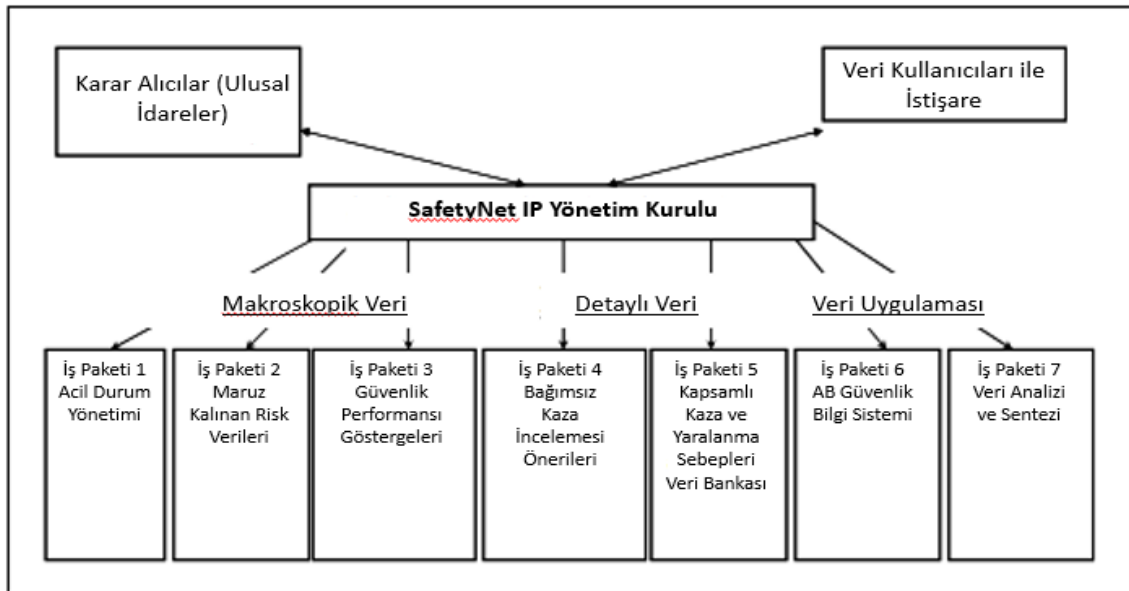
genişletilmiştir. Hız yönetimi, farklı ulaştırma türlerindeki trafik riski, yaya ve bisikletliler, motorlu iki tekerlekli araçlar, genç sürücüler ve düşük maliyetli iyileştirme uygulamaları gibi başlıklar da çalışma kapsamında incelenmiştir. Ayrıca hedef hiyerarşisinin diğeri bir basamağı olan yol güvenliğı performans göstergeleri ulaştırma türleri, kullanıcı davranışları, yol özellikleri ve travma yönetimi başlıkları altında incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda her bir ülke için bir ‘‘ayak izi’’ tanımlamayı amaçlayan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre her bir ülkenin bir referans noktasına göre durumu detaylı ve zet olarak hedef hiyerarşisine uygun bir şekilde desteklenerek incelenmektedir. Çalışmanın yol gvenliğıyle ilişkili tüm konuları kapsamadığı belirtilmiş ve ülkelerle ilgili öneriler ortaya konularak sonlandırılmıştır (Wegman vd., 2005).

2008 yılındaki son çalışma ise 27 Avrupa ülkesini kapsamaktadır. Bu alışma daha çok bir kompozit yol güvenliğı indeksi oluştırmaya odaklanmış ve ülkelerin yol güvenliğı performanslarının kapsamlı bir şekilde karşılaştırılması için bilgiye dayalı bir ereve geliştirmek amaçlanmıştır. Ayrıca tüm Avrupa lkelerinin tek bir grupta karşılaştırılmasının doğru olmayacağı ve bu yüzden bir sınıflandırma yapılması gerektiğı de belirtilmiştir. Bu nc çalışmada ilk defa trafik kazalarının sosyal maliyetlerine de yer verilmiştir. Karşılaştırma yapılması için ise temel bileşenler analizi ve faktör analizi yöntemleri kullanılmıştır. Hedef hiyerarşisine de uygun olarak dört grup gösterge kullanılmıştır. Bunlar politika ile ilgili göstergeler, yol güvenliğı performans göstergeleri (nihai ve orta düzey olmak üzere iki grup) ve son olarak yapısal ve kültürel göstergelerdir. Ek olarak zaman serisi analizleri ile de çalışma desteklenmiştir. Sonuç olarak mevcut verilerle bir çalışma yapıldığından ve bu verilerin her zaman mevcut olmadığından dolayı çalışmanın ilerleyen bir zamanda daha kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilmesi kararlaştırılmıştır. Ayrıca çalışmanın bölgesel ve şehirlerarası da uygulanması gerektiğine vurgu yapılmıştır (Wegman vd., 2008).

Bu hiyerarşiyi temel alan bir başka Avrupa Birliğı (AB) projesi ise Dakota projesidir. 2012 yılında gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı ülkeler arası yol güvenliğı performans karşılaştırılmasını kolaylaştıracak bir yöntem ortaya koymaktır. Bu kapsamda hedef hiyerarşisi temel alınmıştır. Yöntem olarak veri zarflama analizi kullanılmış olup faktör analizi ile de sınıflandırma yapılmıştır. 27 Avrupa ülkesinin karşılaştırıldığı bu rapor en güncel nihai göstergeler olarak trafik kayıpları ile ilgili göstergeler, orta seviye

göstergeler olarak yol kullanıcı davranışı ve taşıt ile ilgili göstergeler, yapısal ve kültürel göstergeler olarak ise nüfus, GSYH, taşıt sahipliği gibi göstergeler kullanılmıştır. Sonuç olarak ise veri zarflama analizinin indeks oluşturmadaki öneminden bahsederken etkili bir politika performansı için de göstergelerin geliştirilmesinden bahsedilmiştir (Bax vd., 2012).

Avrupa çapında gerçekleştirilen bir diğer proje de SafetyNet projesidir. Proje 2004 ile 2008 yılları arasında Avrupa Yol Güvenliği Gözlemevi (ERSO) tarafından gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı yol güvenliği verisi ve bilgisi üzerinde temel odak noktası olacak bir ERSO çerçevesi ortaya koymaktır. Bu bağlamda yol güvenliği göstergeleri kullanılarak bir yol güvenliği performansı karşılaştırma yöntemi ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu alanda kullanılacak bir veritabanı oluşturulması amaçlanmıştır. Şekil 1.2’de projenin çalışma alanları görülebilir. Özellikle bu çalışma kapsamında incelenecek olan kısım maruz kalan riskle ilgili veriler ve yol güvenliği performans göstergeleridir. SafetyNet çalışmasında öne çıkan trafik risk göstergeleri nüfus, yol ağı, araç filosu, sürücü nüfusu, taşıt-kilometre, yolcu-kilometre, yolculuk miktarları, trafikte geçirilen zaman ve harcanan yakıt miktarıdır. Yol güvenliği performans göstergeleri olarak da alkol ve uyuşturucu, hız, koruyucu sistemler, gündüz farları, araç güvenliği, yollar ve travma yönetimi olmak üzere yedi alan belirlenmiştir (Thomas vd., 2009).



Şekil 1.2 SafetyNet yönetim ve teknik yapı (Thomas vd., 2009)

Al-Haji (2003), yol güvenliği gelişmişlik indeksi çalışmasında 14 gösterge ile 9 alt indeks ortaya koymuştur. Bu 9 alt indeksin ortalamasını alarak ise genel indeks ortaya çıkarmıştır. Çalışmanın en dikkat çekici sonucu motorlu ulaşım oranının yüksek olduğu ülkelerin bu indekste daha güvenli tarafta yer almalarıdır.

Hermans ve diğerleri (2008), alkol ve uyuşturucu, hız, koruyucu sistemler, gündüz farları, taşıt, altyapı ve travma bakımı başlıklarında ortaya koydukları göstergeleri kullanarak bir yol güvenliği indeks çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 5 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar faktör analizi, analitik hiyerarşi süreci, bütçe tahsisi, veri zarflama analizi ve eşit ağırlıklandırma analizidir. Çalışmanın sonucuna göre alkol, hız ve koruyucu sistemlerin yol güvenliği indeksinde en etkili gösterge grupları oldukları bulunmuştur. Trafik kazalarında meydana gelen ölüm verilerine en uyumlu yöntemin de veri zarflama analizi olduğu belirtilmiştir.

Hermans ve diğerleri (2009a), yapmış oldukları bir diğer çalışmada yol güvenliği indeks çalışmalarının iyileştirilmesi için daha fazla önem verilmesi gerekenlerin neler olduğunu araştırmışlardır. Bu kapsamda, gösterge seçimi, ağırlıklandırma yöntemi ve uzman seçimi durumlarını incelemişlerdir. Gösterge seçimi hususunda dikkate alınan gösterge grupları alkol, hız, koruyucu sistemler, görüş mesafesi, taşıt, yol geometrisi ve travma yönetimidir. Ağırlıklandırma analizi için analitik hiyerarşi süreci ve bütçe tahsisi yöntemi dikkate alınmıştır. Sobol yöntemi ile de belirsizlik ve duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda gösterge seçiminin yol güvenliği indeks çalışmalarında en önemli parametre olduğu tahmin edilmiştir. Daha sonrasında uzman seçimi ikinci en önemli husus olarak tahmin edilmiştir. Ağırlıklandırma yönteminin ise bu üçü arasında en az öneme sahip olduğu tahmin edilmiştir.

Hermans ve diğerleri (2009b), yapmış oldukları yol güvenliği indeks çalışmasında alkol ve uyuşturucu, hız, koruyucu sistemler, travma yönetimi, altyapı ve taşıt göstergelerini girdiler; trafik kazaları ve trafik ölümleri göstergelerini de çıktılar olarak kullanıp veri zarflama analizi yöntemi kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Avusturya, Belçika, İtalya, Slovenya ve İsviçre'nin emniyet kemeri kullanma; Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti ve Portekiz'in taşıt teknolojisine yatırım yapma; Birleşik Krallık'ın travma yönetimine ve Estonya, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, Macaristan, İrlanda ve Polonya'nın da yol güvenliği arttıracak altyapılara odaklanması gerektiğini göstermiştir.

Shen ve diğerkleri (2010), yapmış oldukları yol güvenliğı indeks çalışmasında veri zarflama analizi tabanlı malmquist verimlilik indeksi yöntemi kullanılmıştır. Gösterge olarak trafik kazaları, nüfus yoğunluğu, taşıt sahipliğı ve yolcu-kilometre verileri kullanılmıştır. Çalışmada 2000-2007 arasındaki verilerle 26 Avrupa ülkesi karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda ise bu zaman diliminde birçok ülkenin yol güvenliğı konusunda gelişme kaydettiklerine dikkat çekilmiştir.

Shen ve diğerkleri (2011), yapmış oldukları çalışmada yol kullanıcı davranışlarına bağlı 3 temel gösterge (alkol, hız, koruyucu sistemler) altında 13 adet göstergeyi modelin girdisi olarak, 2 temel gösterge (trafik ölümleri ve yaralanmaları, trafik kazaları) altında 4 tane göstergeyi de modelin çıktıları olarak kullanmışlardır. Veri zarflama analizi kullanılarak 19 Avrupa ülkesi arasında yol güvenliğı değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın en önemli bulgularından biri çok katmanlı olarak çalışılan veri zarflama analizinin tek katmanlı olarak çalışılan veri zarflama analizinden daha etkin ve yararlı olduğudur.

Shen ve diğerkleri (2012), yapmış oldukları çalışmada nüfus, yolcu-km, taşıt sahipliğı göstergeleri girdi olarak, kaza sayıları çıktı olarak kullanılarak veri zarflama analizi yapılmıştır. Çalışma 27 Avrupa ülkesi için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca birbiriyle yapısal ve kültürel boyutlarda farklılık gösteren ülkeleri sınıflandırmak için kümeleme analizi yapılmış. Bu analizin yapılmasının da indeks çalışmalarında gerekli olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak ise İsveç, Birleşik Krallık ve Hollanda'nın en iyi yol güvenliğı performansı gösterdiklerini ortaya koymuştur. Kümeleme analizi sonucunda ise 4 grup ortaya çıkmıştır. Düşük performans gösteren ülkeler için pratik hedefler verilmiştir.

Bao ve diğerkleri (2012), yol güvenliğı performanslarının değerlendirilmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada alkol ve uyuşturucu, hız, koruyucu sistemler, taşıt, karayolu ve acil durum yönetimi temel başlıkları altındaki göstergeleri kullanarak bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışma 21 Avrupa ülkesini kapsamaktadır. Çalışma sonucunda yol güvenliğı performans değerlendirmelerinde bu yöntemin de çok değerli olduğu vurgulanmıştır.

Pešić ve diğerkleri (2013), yapmış oldukları çalışmada trafik güvenliğı düzeyini karşılaştırmada yeni bir yol izlemeye çalışmışlardır. Trafik kazalarının miktarı, emniyet

kemerli kullanım oranı, alkolsüz sürücü oranı ve hız limitine uyan sürücü oranı gibi göstergeler kullanarak Karşılaştırmalı Trafik Güvenliği Seviyesi adını verdikleri bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem; uygun göstergelerin seçimi, göstergelerin dönüşümü, ağırlık atama ve birleştirme işlemlerinden oluşmaktadır. Sırbistan'ın 8 şehri için bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma, hali hazırda bir incelemenin yapılmış olduğu İsveç örneğiyle karşılaştırılmış ve başarılı olduğu bulunmuştur. Ayrıca, çalışma trafik güvenliği düzeyleri tanımlamayı önermiştir.

Egilmez ve McAvoyc (2013), yapmış oldukları çalışmada karayolu güvenliğine yapılan yatırım, sistemin kullanımı, sistemin uzunluğu ve kişisel güvenlik gibi göstergeleri girdi olarak ve ölümlü trafik kazalarını da çıktı olarak kullanarak veri zarflama analizi temelli bir Malmquist indeksi oluşturmuşlardır. 2002 ve 2008 yılları arasındaki verilerle Amerika'daki 50 eyalet için karşılaştırma yapılmışlardır. Çalışma sonucunda ölüm oranlarında bir düşüş eğilimi gözlenmesine rağmen, eyaletlerin trafikte sıfır ölüm hedefi doğrultusunda toplumsal ve ekonomik kaynakları kullanmadaki verimliliğinin etkili olmadığı sonucuna varmıştır.

Oluwole ve diğerleri (2013), yapmış oldukları çalışmada kişisel risk, trafik riski, karayolu durumu, eğitim seviyesi, şehir nüfusu, sağlık durumu ve GSYH gibi göstergeler kullanılarak 10 Afrika ülkesi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. İki farklı yöntem kullanılmıştır. İlki basit ortalama yöntemi ve ikincisi ise teorilere, tecrübeler ve literatüre dayalı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışma sonucunda araştırmacılar mevcut en iyi veriler yerine en uygun olan göstergelerin ileriki çalışmalarda tercih edilmesini önermişlerdir.

Çoruh (2013), yapmış olduğu çok kapsamlı doktora tezi çalışmasında 44 adet gösterge kullanarak temel bileşenler analizi, analitik hiyerarşi süreci, veri zarflama analizi ve kanonik korelasyon analizi yöntemlerini kullanıp Türkiye'deki 81 şehri kapsayan bir yol güvenliği indeksi ortaya koymuştur. Kullanılan 44 adet gösterge ekonomik, sosyodemografik, ulaştırma, sağlık ve eğitim gibi konularda belirlenen göstergelerdir ve 2008 ile 2010 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu çalışmanın önemli yönlerinden bir tanesi trafik kazalarıyla beraber yol güvenliği üzerinde etkisi olduğu düşünülen diğer faktörlerin de dikkate alınarak bunların her şehir için etkilerinin göz önüne getirilebilmesidir. Ayrıca şehirlerin birbirlerine olan farklarını daha geniş bir açıdan görmek noktasında da çok önemlidir. Çalışmanın bir bulgusu da genel olarak motorlu

ulaşım oranının ve şehirleşme oranının yüksek olduğu şehirlerin ve ayrıca ekonomik, eğitim ve ulaştırma altyapısı açısından yetersiz kalan şehirlerin daha problemli olduğudur.

Emniyet Genel Müdürlüğü'nün (EGM) ilgili paydaşlar ile iş birliği halinde trafik güvenliği hakkında her türlü araştırma yapmak ve trafik kazalarını önlemek amacıyla bilimsel gelişmeleri takip edip öneri sunmakla görevli olan birimi Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü'nün 2014 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Psikoloji Bölümü ile ortaklaşa hazırladığı 2007-2012 yılları arasında Türkiye'deki trafik güvenliği durumunu inceleyen raporda ölüm ve yaralanma göstergeleri, genel kaza göstergeleri, kaza türlerine ilişkin durum, denetleme ve ceza durumu ve son olarak trafik güvenliğine ilişkin diğer göstergeler (taşıt başına düşen yakıt, otomobil sahipliği, motosiklet sahipliği, diğer taşıt sahipliği, toplam taşıt sahipliği) kullanılarak mevcut duruma ilişkin değerlendirmeler sayılarla ve grafiklerle gözler önüne serilmiştir. Bu çalışmanın amacı hem on yıllık eylem planının başarıya ulaşması hem de AB trafik güvenliği ortalamalarının yakalanması için gerekli değerlendirmelerin yapılıp il bazında eylem planlarının hazırlanmasıdır. Ayrıca trafik ile ilgili alınacak kararlarda illerde yer alan başta trafik birimleri olmak üzere ilgili birimlerin bu rapordan faydalanması beklenmektedir. Dikkat çekilen çok önemli bir nokta ise bu çalışmaların sistematik olarak sürdürülmesi ve yeni yıllar eklenerek düzenli olarak güncellenmesi gerektiğine yapılan vurgudur (T.C. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü, 2014).

Chen ve diğerleri (2015), çalışmalarında insan faktörleri, taşıt faktörleri, karayolu faktörleri, çevresel faktörler, yönetim faktörleri, kişisel risk ve trafik riski göstergelerini kullanmışlardır. Bu çalışmada ağırlıklandırma yöntemi olarak geliştirilmiş entropi temelli TOPSIS-RSR yöntemi kullanılmıştır. Çalışma in'in 31 ili için gerçekleştirilmiştir. Bulunan sıralama değerlerinden yararlanılarak bir sınıflandırma da yapılmıştır. Çalışma, nerilen yöntemin birkaç gösterge üzerinden değerlendirme yapan geleneksel yöntemlere göre daha geniş bir resim sunduğunu belirtmektedir. Fakat ilerleyen aşamalar için de daha kapsayıcı ve hedefe uygun göstergelerin incelenmesini ve ayrıca sonuçların seçilen göstergelerin ağırlıklarına duyarlı olabileceğini bu yüzden belirsizlik ve duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinin gerekliliğinden bahsetmektedir.

Jorge Tiago Bastos ve diğerkleri (2015), yapmış oldukları çalışmada 27 Brezilya şehrinde veri zarflama analizi kullanarak bir indeks hazırlamışlardır. Çalışmada gösterge olarak nüfus sayısı, taşıt sayısı, taşıt-km ve yolcu-km verileri kullanılmıştır. Çalışma ayrıca 27 Avrupa ülkesi için de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da kümeleme analizi yapılmıştır. Daha sonrasında ise duyarlılık analizi için bootstrap yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, veri zarflama analizinin uygulanmasının, bir sınıflandırmanın yapılmasının ve duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinin trafik kazalarında meydana gelen ölümlerin tanısını yapmada eşsiz ve değerli bilgiler sunduğunu belirtmektedir.

Aarts ve Houwing (2015), yapmış oldukları yol güvenliği performansının karşılaştırılması çalışmasında Şekil 1.1'de görülen hedef hiyerarşisi yaklaşımını benimsemişlerdir. Karayolu ağı, nüfus yoğunluğu, demografi, ekonomik durum, türel dağılım ve arazi kullanımı başlıklarından seçtikleri göstergelere temel bileşenler analizi uygulamışlardır. Daha sonra kümeleme analizi yapıp değerlendirmelerini ortaya koymuşlardır. Çalışma Hollanda'da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan en önemli bulgulardan biri şehirleşme oranının yerel bölgeleri sınıflandırmada ve yol güvenliği performanslarını belirlemede en etkin yapısal faktör olduğudur.

Doron Alper ve diğerkleri (2015), 2004 ile 2009 yılları arasındaki verileri kullanarak İsrail'deki belediyeler arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Bu karşılaştırmada belediyelerin sağlamış oldukları trafik güvenliği seviyesi değerlendirilmeye çalışılmıştır. 2 girdi, 6 çıktı ve 8 ara değişken kullanarak veri zarflama analizi ile bunu hesaplamışlardır. Bu değişkenleri kullanarak veri zarflama analizi temelli 4 model ortaya koymuşlardır. Çalışmada kümeleme analizi de yapılmıştır. Modelde girdi olarak trafik güvenliğine ayrılan bütçe ve çocuklara verilen trafik güvenliği ders saatleri dikkate alınırken, ara değişken olarak otomobil, sürücüler, ihlaller, cezalar ve yerel yönetimlerce ayrılan bütçelerin kullanım oranı, çıktı olarak ise trafik ölümleri, yaralanmaları, kazaları, kazalara karışan yayalar ve kaza maliyetleri gibi göstergeler kullanmıştır. Araştırmada belediyelerin trafik güvenliği sağlamadaki verimliliğini etkileyen en önemli faktör nüfus büyüklüğü olmuştur.

Sunil Kumar ve diğerkleri (2015), Hindistan'da yol güvenliği indeksi üzerine yapmış oldukları çalışmada ülkedeki 100 uzman trafik mühendisinden aldıkları görüşlerle inceledikleri 5 değişkene ağırlık vermişlerdir. İncelenen değişkenler ve uzmanlar tarafından ortaya konan ağırlıklar şu şekilde olmuştur. Karayolu değişkeni 0,34, trafik

değişkeni 0,26, yol kenarı değişkeni 0,18, kaldırım değişkeni 0,13 ve diğer çeşitli değişkenler 0,09 ağırlığını almıştır. Bu ağırlıklar ve ilgili değişkenlerin altında yer alan göstergelere ait puanları kullanarak yol güvenliği skorlarını hesaplamışlardır. Mevcut durumu değerlendirmede başarılı bir yöntem olduğunu belirtmektedirler.

Arıkan Öztürk (2016), yapmış olduğu çalışmada tehlike indeksi yöntemi ile trafik indeksi oluşturulmaya çalışmıştır. Trafik kaza göstergeleri, yol kullanıcı göstergeleri, sistem göstergeleri, demografik göstergeler olmak üzere 4 ana grup ve bunların altında 13 alt değişken ile çalışma yapılmıştır. Her bir alt değişkenin ağırlığı 7 uzman ile yapılan 5’li Likert derecelendirmesi sonucu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda İstanbul en risksiz, Bingöl ise en riskli şehir olarak bulunmuştur.

Rosić ve diğerleri (2017), yol güvenliği için kompozit bir indeks oluşturmada kullanılacak en ideal yöntemi bulmaya çalıştıkları çalışmada veri zarflama analizi ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yönteminden örneklerle bunu bulmaya çalışmışlardır. Çalışma Sırbistan’ın 27 polis departmanı karşılaştırılarak test edilmiştir. 4 farklı veri zarflama analizi ve 2 farklı TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler; veri zarflama analizi, girdilerinin ağırlığı eşitlenmiş veri zarflama analizi, veri zarflama analizi temelli kompozit gösterge modeli, veri zarflama analizi temelli kompozit gösterge modeli (nihai verimlilik değerleri çapraz etkinlik ile hesaplanmış), TOPSIS (ağırlıklar eşit alınan) ve TOPSIS (entropi yöntemiyle ağırlıklar hesaplanan) yöntemleridir. Trafik kazalarında meydana gelen ölümler, yaralanmalar, nüfus, motorlu taşıtlar, trafik riski gibi göstergeler kullanılmıştır. Bu 6 yöntemim PROMETHEE-RS yöntemi kullanılarak test edilmesi sonucu ilk 2 yöntemin daha başarılı sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Literatür araştırmasında görüleceği üzere karayolu trafik güvenliği performansların ölçülmesinde genel olarak bazı temel göstergeler sabit kalmak üzere çeşitli göstergeler kullanılmıştır. Burada etkili olan durumlardan biri de kuşkusuz ki çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşımlar ve seçilen yöntemlerdir. Bir diğer önemli faktör de verilerin bulunabilirliği ve kalitesi üzerinedir. Fakat genel olarak özetlemek gerekirse karayolu trafik güvenliği performansının ölçülmesinde genel olarak kullanılan göstergeler Tablo 1.1’de görülebilir. Bu tabloda görüleceği üzere çok sayıda gösterge araştırmacılar tarafından kullanılmıştır.

Tablo 1.1 Literatürde bu alanda kullanılmış olan başlıca göstergeler

Alan	Gösterge
Ulaştırma	• Kişi başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları • Taşıt başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları • Taşıt-kilometre başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları • Trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmalarında yıllık ortalama değişim • Trafik kazaları sonucu gerçekleşen yaya ölümlerinin oranı • Trafik kazaları sonucu gerçekleşen iki tekerlekli taşıtlarda meydana gelen ölümlerin oranı • Türel dağılım
Eğitim	• Okuma yazma bilenlerin toplam nüfusa oranı • Belli bir seviye üzerinde diplomaya sahip insanların toplam nüfusa oranı • Okullaşma oranı
Sağlık	• Ortalama tepki süresi • Kişi başına düşen doktor, hastane yatağı, ambulans, vb. sayısı • Sağlık harcamalarının gayrisafi milli hasılaya oranı
Demografi	• Nüfus yoğunluğu • Genç nüfus oranı (0 ile 24 yaş arası) • Yaşlı nüfus oranı (65 ve üzeri)
Sosyo-ekonomik	• Taşıt sahipliği • Kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla
Kullanıcı Davranışı	• Emniyet kemeri kullanım oranı • Yasal alkol limitini aşım oranı • Yasal hız limitini aşım oranı • Kırmızı ışık ihlali oranı • Trafik ışık ve işaretleri ihlali oranı
Taşıt	• Taşıt filosunun EuroNCAP (Avrupa Yeni Araba Değerlendirme Programı) skorları • Taşıtların ortalama yaşları
Altyapı	• Bariyerli yol ağının tüm yol ağına oranı • Kavşak türlerinin (dönel, T, vb.) oranı • Kaplanmış yolların oranı

1.2 Tezin Amacı

Gelişmekte olan ülkelerde nüfusun, alım gücünün artması gibi etkenler taşıt sayılarında da artışa neden olmuştur. Artan taşıt sayısının oluşturduğu trafiğin azaltılması için daha fazla yol yapma yöntemine başvurulmaktadır. Yapılan yollar kısa süreliğine trafik problemlerine bir çözüm sunmuş gibi dursa da bu durum çok uzun sürmemiştir. Çünkü yeni yapılan yollar potansiyel kullanıcılar için bir teşvik oluşturarak artık daha fazla taşıt ile aynı trafik durumları yaşanmaya başlamıştır. Bu taşıt-yol kısır döngüsü artan

nüfus ve şehirleşme oranının yükselmesi gibi sebeplerden dolayı beraberinde bazı sıkıntılar da getirmiştir. Bu sıkıntıların başında gelenlerden biri şüphesiz ki trafik kazalarıdır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2015 yılında yayınlamış olduğu rapora göre dünya genelinde 1 yılda trafik kazaları sonucu meydana gelen ölümler 1,25 milyon kişiye ulaşmıştır. Aynı süreçte dünya genelinde trafik kazaları sonucu meydana gelen yaralanmalar ise 50 milyona ulaşmıştır. Ayrıca bu verilerin kalite standartları altında olduğu düşünüldüğü için gerçekte bu sayıların daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla bu durumun sağlık ve ekonomi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Öyle ki aynı raporda trafik kazaları sonucu meydana gelen ölümlerin 15-29 yaş arasındaki insanlar için birincil ölüm sebebi olduğu görülmektedir. Diğer yaş grubundaki insanlar için de başta gelen ölüm sebepleri arasındadır. Ekonomik açıdan bakıldığında ise trafik kazalarının ülkelere ekonomik zararı gayrisafi milli hasıllarının yaklaşık %3'üne denk gelmektedir.

Trafik kazaları en çok düşük ve orta düzeyde gelire sahip ülkelerde görülmektedir. Bu ülkelerde hızlı bir şekilde yükselen taşıt sahipliği oranı güvensiz yollarla, düşük eğitim düzeyi gibi diğer faktörlerle birleşince trafik kazaları kaçınılmaz olmaktadır. Nitekim Dünya Sağlık Örgütü'nün yayınladığı raporda da dünyada trafik kazalarında dolayı meydana gelen ölümlerin %90'ının düşük ve orta düzeyde gelire sahip ülkelerde görüldüğü belirtilmektedir.

Türkiye'de ise 2016 trafik kaza istatistikleri verisine bakılırsa toplam 1.182.491 adet trafik kazası meydana gelmiştir. Bunların 997.363'ü maddi hasarlı kazaları oluştururken 185.128'i ölümlü ve yaralanmalı kazaları içermektedir. Trafik kazalarında hayatını kaybedenlerin sayısı 7.300 iken bu kazalarda yaralananların sayısı 303.812'yi bulmuştur. Bu ise günlük olarak yaklaşık 20 kişinin hayatını trafik kazalarında kaybettiğini göstermektedir. 2016 yılında meydana gelen trafik kazalarında günlük olarak yaklaşık 820 kişi de yaralanmıştır.

Türkiye'yi taşıt sahipliği ve trafik kazalarında meydana gelen ölüm sayılarına göre daha doğru şekilde değerlendirebilmek için nüfus bakımında kendisine en yakın bulunan ülkelere Almanya ile karşılaştırılırsa aşağıdaki Tablo 1.2'de görülen sonuçlar bulunur. Aynı tabloda görüleceği üzere Türkiye'de 1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı

Almanya'nın neredeyse 3'te 1'ine denk geliyor. Fakat trafik kazalarında 1 milyon kişi başına düşen ölümler açısından kıyaslanırsa Türkiye'de bu oran Almanya'nın neredeyse 2,5 katına denk gelmektedir.

Türkiye'de taşıt sahipliğinin Almanya ile aynı seviyeye gelmesi durumunda kişi başına düşen kaza oranının hangi noktada olacağı düşünülmelidir. Buradan görüldüğü ki Türkiye'de karayolu trafik güvenliği alanında atılması gereken adımlar mevcuttur. Doğru adımların atılması için ise konu gerçekçi verilerle desteklenerek analizler yapılmalı ve bu alandaki araştırmalar yoğunlaştırılmalıdır.

Tablo 1.2 Türkiye ve Almanya'da taşıt sahipliği ve kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı (Eurostat, 2016; WHO, 2016; OECD, 2016)

Ülkeler	1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı	1 milyon kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı
Türkiye	236	91,8
Almanya	661	38,8

Türkiye'de karayolu ulaşımının türel dağılımda yaklaşık %90'luk paya sahip olduğu gerçeği ve trafik kazalarından kaynaklanan ölüm ve yaralanmaların en çok bu ulaşım türünde meydana geldiği göz önüne alınırsa karayolu trafik güvenliği Türkiye için çok önemli bir sosyoekonomik problemdir.

Karayolu trafik güvenliğini belirleyen 3 temel unsur; yol kullanıcıları, karayolu altyapısı ve taşıtlardır denilebilir. Her ne kadar trafik kazalarının asıl sorumluları yol kullanıcıları olarak görülse de trafik kazalarına neden olan başka unsurlar da vardır. Karayolu altyapısı ve taşıtlar haricinde eğitim durumu, sağlık imkanlarına erişilebilirlik, yol tasarımları, denetimler ve cezalar, yönetmelik gibi unsurların hepsi bir bütün olarak karayolu trafik güvenlik performansını etkilemektedir. Bu unsurlardan bazıları doğrudan bazıları da dolaylı olarak trafik kazalarında meydana gelen ölümlere ve yaralanmalara etki etmektedir.

Trafik kazalarının meydana getirdiği özellikle sosyal ve ekonomik olarak olumsuz durumun önüne geçmek için sorun bir sistem yaklaşımıyla bütün olarak ele alınmalıdır. Önlemler kısa dönemde etki edecek şekilde değil, geleceğe dönük ve sürdürülebilir olacak şekilde ele alınmalıdır. Bunun için bu soruna neden olan unsurlar doğru belirlenmelidir.

Bu çalışmada da karayolu trafik güvenliğine etki ettiği düşünülen veriler ışığında Türkiye’de yer alan 30 büyükşehir belediyesinin karşılaştırmalı olarak karayolu trafik güvenliği performans ölçülecek ve analiz sonrasında problem bir bütün olarak ortaya konulup politika yapıcılar ve uygulamacılar tarafından konu çok boyutlu olarak ele alınacak ve karayolu ulaştırma altyapısı ve politikaları daha doğru şekilde yönetilmiş olabilecektir.

Bu doğrultuda karayolu trafik güvenliği performansına etki ettiği düşünülen göstergelerin belirlenerek bileşik bir KTGİ oluşturulması yolu izlenmiştir. KTGİ’de kullanılacak göstergelerin 30 büyükşehir belediyesi için de bulunabilir olması çalışma için mühimdir. Ayrıca bu göstergelerin karşılaştırılabilir ve ölçülebilir olması da çalışmanın doğru yorumlanması açısından önemlidir.

Analizler sonucunda elde edilmek istenenlerden biri de şehirlerin birbirlerine kıyasla hangi açıdan ne durumda olduğu ve birbirlerinin eksik olduğu noktalarda aralarında fikir alışverişi yaparak bu eksikliklerini tamamlamalarıdır. Bu açıdan şehirlerin sadece kendi tecrübelerinden değil aynı zamanda birbirlerinin tecrübelerinden de birtakım bilgiler öğrenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Bu çalışmanın sunmaya çalıştığı en büyük katkı Türkiye’de karayolu trafik güvenliği alanında yapılan çalışmalara dikkat çekmektir. Bugüne kadar özellikle trafik kazalarının analizi ile ilgili çalışmalar literatürde kendine çokça yer bulmuştur. Fakat daha geniş bir açıdan bakılırsa karayolu trafik güvenliğine etki eden faktörler üzerine yapılan çalışmalar trafik kaza analizi çalışmalarından görece geri planda kaldığı söylenebilir. Trafik kazalarının analizini inceleyen çalışmalar yol geometrisi, hava durumu, zaman dilimi (gündüz, gece, yaz, kış) ve benzeri faktörleri inceleyerek trafik kazalarına ilişkin daha çok kaza bölgesine ilişkin tahminler içermektedir. Fakat trafik kazalarının sonuçları üzerinde şu faktörlerin de etkili olabileceği unutulmamalıdır: ilk yardım yönetimi (zellikle kaza sonrası sonucu etkiler), eğitim seviyesi, taşıt sahipliği, ilgili şehirdeki karayolu uzunluğu vb. faktörler. Bu faktörlerin genelini düşündüğümüzde 4 başlık altında toplanabilir. Trafik lmleri ve yaralanmaları, ulaşım talebi ve etkisi, karayolu trafik güvenliği performans göstergeleri ve demografik ve sosyo-ekonomik göstergeler olarak sıralanabilir.

Türkiye’de karayolu trafik güvenliğinde büyük resme odaklanan çalışmaların trafik kaza analizi çalışmalarına göre daha kısıtlı olması karayolu trafik güvenliğine ilişkin olan bilgimizi ve belki de bu bilgiler sayesinde uygulayabileceğimiz önlemlerin önüne geçmektedir. Halbuki bu konu ile ilgili bir yöntem oluşturulmalı ve karayolu trafik güvenliğine etki eden faktörler ulusal ve yerel ölçekte incelenmeli, bu konuda her yıl düzenli bir şekilde en uygun görülen veriler toplanmalı ve bunlar en uygun yöntemlerle analiz edilmelidir. Bu şekilde her yıl hangi önlemlere ağırlık verileceği, karayolu trafik güvenliği konusunda alınacak politikaların hangi yönde olması gerektiği gibi sorulara ulusal ve yerel ölçeklerde cevaplar bulunabilecektir.

Bu çalışmanın da tam olarak vermeye çalıştığı katkı 2016 yılındaki verilerden hareketle ilgili yıldaki en öne çıkan problemleri ortaya koymak ve bu konuda kullanılabilecek 2 adet yöntemin bulgularını tartışmaktır. Konu ile alakalı kapsamlı bir çalışma en son 2013 yılında Emine Çoruh tarafından hazırlanmıştır. İlgili çalışmada kullanılan veriler ise 2008 ile 2010 yılları arasını kapsamaktadır.

Çalışmanın bir kısıdı ise istenilen tüm verilere ulaşılamaması olmuştur. Daha kapsamlı ve detaylı bir araştırma için ihtiyaç duyulan tüm verilere ulaşılabiliyor olması çalışmayı daha etkili kılacaktır. Farklı faktörlerin etkilerinin görülmesi açısından önemlidir.

Özet olarak çalışmanın KTGİ indeksi üzerine yapılmış en güncel çalışma olma özelliği kazanması beklenilmektedir. Hem kendisinden sonraki yapılacak çalışmalar için hem de karar vericiler için bir örnek ve referans teşkil etmesi beklenmektedir.

2 METODOLOJİ

Bu bölümde KGTİ analizlerinde kullanılan veri setinden bahsedilecektir. Daha sonra bu veri setinden elde edilen göstergeler kullanılarak uygulanan temel bileşenler analizi ve veri zarflama analizi yöntemlerinden ve nasıl bu yöntemleri kullanarak bir KTGİ oluşturulduğu anlatılacaktır. Analizdeki verilerin tutarlı, yeterli ve güvenilir olup olmadıkları ölçülecektir.

2.1 Seçilen Göstergeler

Bir indeks oluşturulacağı zaman veri gereklidir. Özellikle, sağlıklı bir indeks oluşturabilmek için yüksek kaliteli verilerin bulunması önemlidir. Yüksek kaliteli verilerin bulunması göstergelerin seçimini de etkileyecektir. Bununla birlikte, gerçekte güvenilir ve karşılaştırılabilir veriler bulmak zor olduğundan en uygun olduğu düşünülen veriler kullanılır.

Literatür bölümünde karayolu trafik güvenliği performansı ölçümü üzerine yapılan ve ortaya bir indeks çıkarılan çalışmalarda genel olarak kullanılan karayolu trafik güvenliği performans göstergeleri Tablo 1.1’de verilmişti. Bu tarz indeks oluşturma çalışmalarından farklı olarak hazırlanan çalışmalar da vardır. Bunlardan birisi de Uluslararası Ulaştırma Forumu (ITF) ve Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) işbirliğinde hazırlanan Daha Güvenli Sokaklar: Veritabanı ve Ağı Geliştirme Metodolojisi (Safer City Streets: Methodology for Developing the Database and Network) raporudur. Bu raporda da yol güvenliği analizleri gerçekleştirilirken kullanılabilecek veriler ve göstergeler paylaşılmıştır. İlgili veriler ve göstergeler Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu raporda paylaşılan yol güvenliği göstergelerinin literatür araştırmasında yer alan karayolu trafik güvenliği performans ölçümü göstergeleri ile genel olarak uyumlu oldukları gözükmemektedir.

Tablo 2.1 Yol güvenliğinde kullanılabilecek veriler ve göstergeler (OECD/International Transport Forum, 2016)

Bileşen	Temel Veri	Ek Veri	Hesaplanan
---------	------------	---------	------------

			Göstergeler
Trafik Ölümleri ve Yaralanmaları	• Yol kullanıcı türüne göre trafik ölümleri sayısı • Yol kullanıcı türüne göre ağır trafik yaralanmaları sayısı • Trafik ölümleri ve ağır yaralanmaların değişimi (zaman serileri)	• Yol kullanıcı ve kaza türüne göre trafik ölümleri sayısı • Yol kullanıcı ve kaza türüne göre ağır trafik yaralanmaları sayısı	• Yolcu-kilometre başına düşen trafik ölümleri ve ağır yaralanmaları sayısı (yol kullanıcı türüne göre) • Birim yol ağı başına düşen trafik ölümleri ve ağır yaralanmaları sayısı (yol türüne göre) • Birim taşıt başına düşen trafik ölümleri ve yaralanmaları sayısı • Birim nüfus başına düşen trafik ölümleri ve yaralanmaları sayısı (her yaş ve cinsiyet grubu için)
Ulaşım Talebi ve Etkisi	• Ulaşım türüne göre yolculuk sayıları • Ulaşım türüne göre kat edilen yolcu-kilometre miktarları • Moped ve motosikletler dahil olmak üzere şehirde türüne göre taşıt sayıları	• Erkekler tarafından kat edilen yolcu-kilometre miktarları • Kadınlar tarafından kat edilen yolcu-kilometre miktarları • Yaş grubuna göre yolcu-kilometre miktarları	

Tablo 2.1 Yol güvenliğinde kullanılabilecek veriler ve göstergeler (OECD/International Transport Forum, 2016) (devamı)

Yol Güvenliğı Performans Göstergeleri	- İki tekerlekli motorlu taşıt sürücüleri ve yolcuları için gündüzleri kask kullanım oranları (mopedler ve motosikletler) - Taşıtların ön koltuklarında bulunanların gündüzleri emniyet kemeri kullanım oranları (sürücü ve öndeki yolcu için toplu halde) - Taşıtların arka koltuklarında bulunanların gündüzleri emniyet kemeri kullanım oranları	- Yol kenarı trafik denetimlerinde yasal alkol limitinin üzerinde alkollü bulunan sürücülerin yüzdesi - Binek taşıt filosunun ortalama yaşı - Motosiklet filosunun ortalama yaşı - Başlıca ana yollardaki ortalama trafik işletme hızı - Başlıca ana yollardaki 85. yüzdelik dilime düşen hız (işletme hızı, ortalama hız, %85'lik hız) - Ana şehir içi yollarda standart hızın sapması - Bakımı yapılmış yüksek riskli bölgelerin oranı - Trafik sakinleştirici önlemlerin uygulanmış olduğu yol kesimlerinin uzunluğu - Acil tıbbi hizmetlerin ortalama tepki süresi	
Demografik ve Sosyo-ekonomik Göstergeler	- Kişi başına düşen gayrı safı yurtiçi hasıla - İşsizlik oranı - Nüfus yoğunluğu - Toplu taşıma ağı uzunluğu - Yol ağının toplam uzunluğu - Şehir içi otoyolların uzunluğu - Kaplanmamış yolların uzunluğu - Yaş ve cinsiyete göre toplam nüfus	- Mesai saatlerinde gündüz nüfusu - Başlıca ana yolların uzunluğu - İkincil ana yolların uzunluğu - Yerleşim yollarının uzunluğu - Nüfus başına düşen hastane/doktor/yoğun bakım yatağı sayısı	1.000 km yol ağı başına düşen otoyolların uzunluğu 1.000 km yol ağı başına düşen kaplanmamış yolların uzunluğu 1.000 km yol ağı başına düşen raylı toplu taşıma ağı uzunluğu

Veri kaynaklarının, veri toplama ve göstergelerin seçimi üzerinde etkisi vardır. Veri setleri 30 büyükşehir belediyesi için de aynı kalitede olmalıdır. Çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) ve Sağlık Bakanlığı'ndan 30 büyükşehir belediyesi için eşit kalitede olduğu düşünülen 2016 yılına ait veriler toplanmıştır.

Türk Dili Kurumu (TDK) tarafından yapılan tanımına göre gösterge, bir şeyi belirtmeye yaran şey, belirti, im, işarettir.

Bu bölümde, çalışmada kullanılan karayolu trafik güvenliği göstergeleri tanımlanacaktır.

Bir indeks oluşturulacağı zaman ilk adım göstergeleri seçmektir. Bu adım esas olarak teori odaklıdır. Olası göstergeler bir dizi seçim kriterine göre listelenebilir ve değerlendirilebilir.

Günümüzde literatürde bulunabilen indekslerin çoğunun genel amacı, bazı toplu boyutlara göre şehirlerin sıralanması ve kıyaslanmasıdır. Sonuç olarak, bu indekslerin oluşturulma ve kullanılma şekli hem teorik hem de işleyiş açısından çok önemli bir araştırma konusu gibi görünmektedir. Daha spesifik olarak, bir indeksin oluşturulması birkaç metodolojik aşamayı içerir: göstergelerin seçimi, veri toplama ve hazırlama (normalizasyon, eksik değerlerin ölçülmesi, vb.), farklı göstergelere ağırlıkların atanması, toplama modellerinin seçimi gibi.

Araştırmacının ilgisi ve odağına da bağlı olarak karayolu trafik güvenliği araştırmalarında şu alanlardan göstergeler kullanılmaktadır. İlk olarak trafik kazaları, ölümleri, yaralanmaları ve bununla ilişkili riskleri ölçmeye çalışan bir ilk grubun varlığından söz edilebilir. İkincil olarak yol mühendisliği, denetim, eğitim, sağlık gibi alanlardaki durumlar ve gelişmişlikler göstergelere yansımaktadır. Üçüncü bir grup olarak şehirlerin veya ülkelerin karayolu trafik güvenliği ile ilgili attığı adımlar, geliştirdikleri politikalar görülmektedir. Dördüncü bir grupta ilgili şehirlerin veya ülkelerin demografik, sosyal ve kültürel özellikleri olarak görülmektedir. Ancak bu göstergelerin bazılarını ölçmek kolay değildir. Bu çalışmada da ölçülebilir ve karşılaştırılabilir olduğu düşünülen şu göstergeler kullanılmıştır.

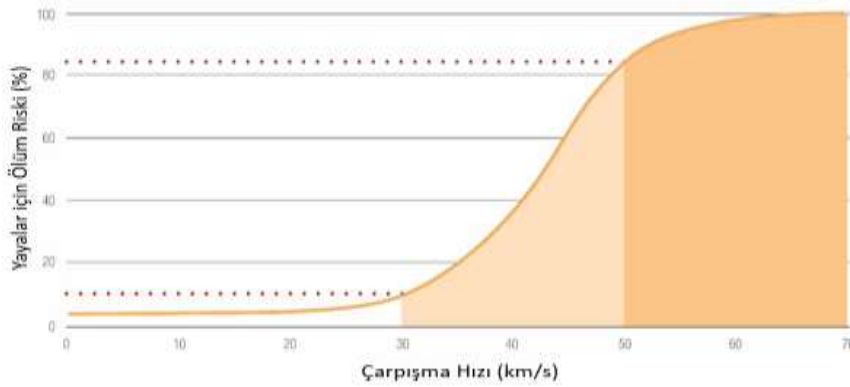
2.1.1 100 Bin Kişi Başına Düşen Trafik Kazaları, Trafik Ölümleri ve Trafik Yaralanmaları Sayısı

Trafik kazaları sayısı, trafik kazalarında meydana gelen ölümlerin ve yaralanmaların sayısı bir bölgedeki karayolu trafik güvenliği performansını gösteren en önemli çıktılardandır. Karayolu trafik güvenliğinde meydana gelecek birtakım gelişmeler bu oranları düşürmeye yarayacaktır. Göstergelerin karşılaştırılabilir olması için ise nüfus

ile oranlanması gerekmektedir. Nüfus dışında taşıt sayısı veya yol ağı uzunluğu ile de oranlanarak kullanılmaktadır.

2.1.2 Ölümlü ve Yaralanmalı Trafik Kazalarının Tüm Trafik Kazaları İçindeki Payı

Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının tüm trafik kazaları içindeki payı ile kaza şiddet seviyesi ölçülmeye çalışılmıştır. Yüksek kaza şiddet seviyesi ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaların oranının artması demektir. Bu birçok nedenden yüksek çıkabilmektedir. Bunlardan biri taşıt hızı olarak düşünülebilir. Şekil 2.1’de görüleceği üzere taşıt hızlarının artmasıyla can kaybı riskinin artmaktadır. Çünkü taşıt hızının artması demek olası bir kaza anında çarpışma hızının da yüksek olması demektir. Örneğin ortalama taşıt hızının %1 artması kazanın ölümcül kaza riskini %4 oranında arttırmaktadır (World Health Organization, 2020). Bu göstergenin de yüksek olması karayolu trafik güvenliği açısından istenilen bir durum değildir. Özellikle taşıt-yaya kazalarında düşük hızlar bile ölümcül olabilmekte veya kalıcı sakatlıklara yol açabilmektedir.



Şekil 2.1 Trafik kazalarında çarpışma hızı ve yayalar için ölüm riski arasındaki ilişki
(World Resources Institute, 2015)

2.1.3 Eğitim Durumu

Eğitim durumu göstergesi olarak en az ön lisans ve üzeri diplomaya sahip nüfusun toplam nüfusa oranı tercih edilmiştir. Eğitim seviyesinin yüksek olduğu toplumlarda bilincin daha yüksek olduğu ve bu nedenle sürücülerin daha dikkatli davrandığı literatürde kabul görmüş bir gerçektir. Fakat eğitim seviyesini düzgün ifade etmede üzerinde anlaşılan tek bir gösterge yoktur. Bazı çalışmalarda okuma yazma bilen nüfusun oranı şeklinde bile kullanılmıştır. Bu anlamda çeşitli çalışmalarda farklı

göstergeler kullanılmıştır. Bu çalışmada ise ön lisans ve üzeri diplomaya sahip nüfusun şehrin geri kalanına olan nüfusu dikkate alınmıştır. Bu oranın yüksek olmasının KTGİ üzerinde pozitif etki yaratacağı varsayılmıştır.

2.1.4 Taşıt Sahipliği

Taşıt sahipliği bir sayı olarak değil de bir oran olarak ifade edilmektedir. Belirli bir bölgede kişi başına düşen taşıt sayısını göstermektedir. Bu oranın yüksek veya düşük olması bölgede taşıt kullanımıyla ilgili bir fikir verebilmektedir. Özellikle taşıt-km verilerinin yeterince kapsayıcı olarak toplanmadığı düşünülen bölgelerde bu gösterge üzerinden de bazı tahminler yapılabilmektedir. Bu tahminlerde taşıt başına eşit düzeylerde kullanım yapıldığı varsayılacağından bölgedeki yüksek taşıt sahipliği oranı yüksek taşıt kullanımı yapıldığı anlamına gelecektir. Taşıt kullanımının fazla olması bir karayolu trafik güvenliği riski barındırdığı için bu göstergenin yüksek olması onu KTGİ oluşturulurken negatif bir etken olarak düşündürecektir. Burada önemli olan nokta, eğer varsa taşıt-km verilerinin ilgili bölgede taşıt kullanımını göstermede bize daha doğru bir bilgi vereceğidir.

2.1.5 100 Bin Kişi Başına Düşen Hastane Yatağı ve Ambulans Sayısı

Trafik kazalarının önlenmesinde bütüncül bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği bugüne kadar yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Bu açıdan önem verilmesi gereken bir diğer konu da sağlık göstergeleridir. Nitekim kazalarda olay yerinde gerçekleştirilecek ilk müdahaleden sonra kazazedinin en kısa sürede hastaneye yetiştirilmesi kazazede için hayati bir önem arz etmektedir. 100 bin kişi başına düşen hastane yatak sayısı göstergesi de bu amaçla kullanılmıştır.

Sağlık göstergesi olarak kullanılabilecek bir diğer gösterge de 100 bin kişi başına düşen ambulans sayısıdır. Kişi başına düşen ambulans sayısının yüksek olması bir kaza anında olay yerine gelebilecek daha fazla ambulans olma ihtimali anlamına geleceğinden kazazedinin sağlık durumunu etkileyen bir göstergedir. Hem hastane yatak sayısı göstergesini hem de bu göstergeyi etkileyecek diğer unsurlar da vardır. Fakat bu bir veri analizi çalışması ve istenilen her türlü veriye erişmek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden erişilebilen veriler üzerinden bir analiz gerçekleştirildiği unutulmamalıdır.

2.2 Yöntemler

Karayolu trafik güvenliği performans ölçümü için kullanılan çeşitli istatistiksel yöntemler vardır. Literatürde temel bileşenler analizi ve veri zarflama analizi en çok kullanılan iki yöntemdir. Bu iki analizin kullanıldığı çeşitli çalışmalar Tablo 2.2’de görülebilir.

Tablo 2.2 TBA ve VZA yöntemlerinin kullanıldığı bazı çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Yöntem
SunflowerNext – Towards a composite road safety performance index (Wegman vd., 2008)	Temel bileşenler analizi
Combining road safety information in a performance index (Hermans vd., 2008)	Veri zarflama analizi (Ayrıca faktör analizi, analitik hiyerarşi süreci, bütçe tahsisi, eşit ağırlıklandırma)
SafetyNet – Building the European Road Safety Observatory (Thomas vd., 2009)	Temel bileşenler analizi
Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis (Hermans vd., 2009b)	Veri zarflama analizi
A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation (Shen vd., 2011)	Veri zarflama analizi
DaCoTa – Developing a Road Safety Index (Bax vd., 2012)	Veri zarflama analizi
Türkiye Karayollarında Yol Güvenliği İçin Bir Endeks Geliştirme (Çoruh, 2013)	Temel bileşenler analizi, veri zarflama analizi (Ayrıca analitik hiyerarşi süreci, kanonik korelasyon analizi)

Tablo 2.2 TBA ve VZA yöntemlerinin kullanıldığı bazı çalışmalar (devamı)

Benchmarking road safety performance by grouping local territories: A study in the Netherlands (Aarts ve Houwing, 2015)	Temel bileşenler analizi
Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the Data Envelopment Analysis (Alper vd., 2015)	Veri zarflama analizi

Yöntemlere ait detaylar bu bölümde görülebilir.

2.2.1 Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi büyük bir değişken kümesini içindeki bilgilerin çoğunu hala içeren küçük bir değişken kümesine indirgemek için kullanılabilecek bir boyut

küçültme aracıdır. Elde edilen küçük kümede yer alan değişkenleri de temel bileşenler olarak adlandırır. Ana amaçları; veri indirgemesi yapma, tahmin yapma, veri setini bazı yöntemlerin analiz edebileceği bir formata dönüştürme (temel bileşenler analizi, faktör analizi, regresyon analizi) ve ilgili değişken kümelerinden birimlerin temel bileşen skorlarını hesaplamak ve bu skorlara göre birimleri sıralamaktır (Dincer vd., 2003; Thorne, 2018).

Temel bileşenlerin her biri büyük değişken kümesindeki göstergelerden, birbirleri ile en güçlü ilişkiye sahip olanlar kümesini ortaya koymaktadır. Bu yönü ile çok fazla sayıda değişken içeren veri analizlerinde bu verileri hala açıklayan anlamlı temel bileşenler ortaya koyarak analiz sürecini kolaylaştırmaktadır (Dincer vd., 2003).

Temel bileşenler analizi farklı değişkenlerin birbirleriyle nasıl değiştikleri ve birbirleriyle nasıl ilişkili olduklarını ortaya çıkarmaktır. Bunu da kovaryans veya korelasyon matrisi kullanarak birbirleriyle ilişkili değişkenleri yeni bir birbirleriyle ilişkili olmayan değişkenler grubuna dönüştürerek elde eder (Nardo vd., 2008).

Temel bileşenler analizi, kabaca, çok sayıdaki özelliklerin belli bir nitelik yönünden özetlenmesi ve ortak nitelik ve biçimlerden bir soyutlama yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. Bu özelliğiyle temel bileşenler analizi, çok sayıda ve farklı boyuttaki bilgi setinin kapsadığı ortak ve temel anlamı veya bilgi özünü açığa çıkarabilme, görebilme ve tanımlayabilmeyi sağlayan istatistiksel bir tekniktir (Dincer vd., 2003).

TBA'nın matematiksel ifadesi ise şu şekildedir (Huber vd., 2019). Bir p değişkenleri $(x=(x_1, x_2, \dots, x_p))$ vektörü üzerinde n gözlem örneğinden oluşan bir veri seti düşünölsün. Bu veri setinin birinci temel bileşeni şu şekilde bulunur.

$$z_1 = (a_1)^t x = \sum_{i=1}^p a_{i1} x_i \quad (2.1)$$

Burada $a_1 = (a_{11}, a_{21}, \dots, a_{p1})$ katsayılar vektörü birinci temel bileşen z_1 'in varyansını $(a_1)^t a_1 = 1$ kısıdına bağlı olarak maksimum yapacak şekilde belirlenmektedir. Bu Lagrange çarpanı λ kullanılarak şu şekilde çözülebilir.

$$\max a_1 = [(a_1)^t S a_1 - \lambda ((a_1)^t a_1 - 1)] \quad (2.2)$$

Burada S, x'in kovaryans matrisidir. Yukarıdaki problemin türevinin alınmasıyla a_1 'in, karşılık gelen öz değeri λ_1 olan S'nin bir öz vektörü olduğu görülür. Bu λ_1 , z_1 'in varyansını maksimuma çıkardığından S'nin en büyük öz değeridir.

$$\text{var}(z_1)=(a_1)^t S a_1=(a_1)^t \lambda_1 a_1=\lambda_1 \quad (2.3)$$

Diğer bir deyişle, birinci temel bileşen (z_1) en büyük miktarda veri varyasyonunu, yani örneklem çeşitliliği hakkındaki bilgileri tutar.

Benzer şekilde, x'in k'ncı temel bileşeni şu dönüşüm ile verilir.

$$z_k=(a_k)^t x \rightarrow k=1,\dots,p \quad (2.4)$$

Burada $a_k=(a_{1k},a_{2k},\dots,a_{pk})$ katsayılar vektörü şu şekilde verilir.

$$\text{var}(z_k)=(a_k)^t S a_k=\lambda_k \quad (2.5)$$

Bu, S'nin k'ncı en büyük öz değerinin, veri kümesindeki varyasyonun en büyük kısmını tutan k'ncı temel bileşen z_k 'nin varyansı olduğu anlamına gelir.

Asıl veri setindeki toplam varyasyonun mümkün olan maksimum oranını koruyarak bir dizi bireysel göstergesi özetleyebilmesi yöntemin güçlü yönlerinden biridir. Göstergelerin korelasyon derecelerine göre gruplandırılabilmesi de bir diğer güçlü yönüdür. Korelasyonların, bireysel göstergelerin ölçülen fenomen üzerindeki gerçek etkisini göstermemesi de yöntemin zayıf yönlerinden biridir (Nardo vd., 2005).

Değişkenlerin birimleri farklı olduğunda (TL, kişi, kg, m², cm vb.) ve sayısal değerleri arasında da büyük farklılıklar varsa bu durum analizi etkileyebilmektedir. Bunu engellemek için verileri standartlaştırıp kullanmak gerekmektedir. Herhangi bir değişkenin ağırlığının dikkate alınmamasının önüne geçmek için standartlaştırma işlemi 0,1 ile 1 arasında yapılmıştır (Dincer vd., 2003).

Çalışmada kullanılacak değişkenlerin grupla ne kadar ilişkili ve tutarlı olduğunu ölçmek için Cronbach alfa güvenilirlik katsayısı kullanılmıştır. 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Cronbach alfa katsayısı ne kadar yüksek ise o kadar güvenilirlerdir. Katsayının yüksek bir değere sahip olması, ölçeğin tek boyutlu olduğu anlamına gelmez. Ayrıca teknik olarak cronbach alfa katsayısı istatistiksel bir test değildir, bir güvenilirlik veya tutarlılık katsayısıdır (UCLA: Statistical Consulting Group, 2018).

2.2.2 Veri Zarflama Analizi

Veri zarflama analizi modeli ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında geliştirilmiştir (Charnes vd., 1978).

Karar vericiler için karar verme birimlerinin (KVB) görelî etkinliklerini ölçmek için kullanılan bir performans ölçümü yöntemidir. Veri zarflama analizi, çok sayıda girdi ve çıktının olduğu durumlarda da ölçüm yapabilmektedir. Bu açıdan diğer yöntemlerden farklılaşmaktadır.

Veri zarflama analizinde etkinlik, girdilerin ağırlıklı toplamının çıktıların ağırlıklı toplamına oranı olarak tanımlanır. KVB'lerin görelî etkinliği ise çıktıların ağırlıklı toplamının, girdilerin ağırlıklı toplamına oranlanması ile bulunur. Görelî etkinliğin ölçüldükten sonra KVB'lerin hepsi için ayrı ayrı 0 ve 1 arasında etkinlik değeri bulunur. Etkinlik değerinin 1 olması durumunda KVB'ler etkin, bu değer 1'den küçük ise KVB'ler etkin değildir denir (Oruç, 2008).

VZA, temel olarak ölçüğe göre sabit getiri varsayımına sahip CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) ve ölçüğe göre değişken getiri varsayımına sahip BCC (Banker, Charnes, Cooper) yöntemlerinden oluşmaktadır. Bu yöntemler girdi veya çıktı odaklı olarak değerlendirmektedir. Bir diğer temel yöntem de toplamsal yöntemdir. Bu yöntem, diğer 2 yöntemden farklı olarak bu iki tür odaklanmayı beraber değerlendirmektedir (Yaralıoğlu, 2004).

Veri zarflama analizi uygulanacağında kullanılacak değişken sayısı ile karar verme birimi sayısı arasındaki ilişki üzerine farklı görüşler bulunmaktadır.

Girdi sayısı **m**, çıktı sayısı **s** ve karar verme birimi sayısı **n** olmak üzere;

$$1. \quad n \geq \max \{ (m + s + 1), 2 \times (m + s) \} \quad (\text{Dyson vd., 2001}) \quad (2.6)$$

$$2. \quad n \geq \max \{ (m \times s), 3 \times (m + s) \} \quad (\text{Cooper vd., 2001}) \quad (2.7)$$

şeklinde iki farklı eşitlik kullanılarak KVB sayısına karar verilebilir.

CCR ve BCC modellerinin matematiksel ifadeleri de Tablo 2.3'te görülebilir. Bu tabloda kullanılan simgeler ve karşılıkları şu şekildedir (Cooper vd., 2011; Çakmak ve Örkücü, 2016; Oruç, 2008; Özden, 2008; Sarı, 2015).

n : Karar verme birimi sayısı

- s : Çıktı sayısı
- m : Girdi sayısı
- u_r : o. karar verme birimi tarafından r. çıktıya verilen ağırlık
- v_i : o. karar verme birimi tarafından i. girdiye verilen ağırlık
- u_o : o. karar verme birimine ait serbest işaretli değişken
- v_o : o. karar verme birimine ait serbest işaretli değişken
- x_{io} : o. karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı
- y_{ro} : o. karar verme biriminin ürettiği r. çıktı miktarı
- x_{ij} : j. karar verme biriminin kullandığı i. girdi miktarı
- y_{rj} : j. karar verme biriminin ürettiği r. çıktı miktarı
- θ, ϕ : İlgili karar verme biriminin teknik etkinlik değeri (etkinlik skoru)
- λ_j : Girdi odaklı ve çıktı odaklı modeller için j. KVB'nin aldığı ağırlık
- s_i^- : KVB_o'nun i. girdisine ait aylak değişken
- s_r^+ : KVB_o'nun r. çıktısına ait aylak değişken
- ε : Girdinin kullanılması ya da çıktının üretilmesine rağmen KVB_o'ya atanan ağırlıkların (u_r, v_i) pozitif değer alması (sıfır olmasını engellemek) için doğrusal modelde kullanılan herhangi bir pozitif sayıdan daha küçük bir sayı ($\varepsilon > 0$).

Tablo 2.3 CCR ve BCC modelleri

Girdi Odaklı CCR Yöntemi	
Çarpan Modeli	Zarflama Modeli

<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\max z = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon > 0$	<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$
Çıktı Odaklı CCR Yöntemi	
Çarpan Modeli	Zarflama Modeli
<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon > 0$	<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$

Tablo 2.3 CCR ve BCC modelleri (devamı)

Girdi Odaklı BCC Yöntemi	
Çarpan Modeli	Zarflama Modeli
<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_o$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_o \leq 0$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, u_o \text{ serbest}$	<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad r = 1, 2, \dots, s$
Çıktı Odaklı BCC Yöntemi	
Çarpan Modeli	Zarflama Modeli
<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\min \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v_o \geq 0$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, v_o \text{ serbest}$	<i>Amaç Fonksiyonu</i> $\max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ <i>Kısıtlar</i> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad r = 1, 2, \dots, s$

VZA'nın olumlu ve olumsuz taraflarına değinmek gerekirse şöyle bir değerlendirme yapılabilir (Oruç, 2008).

Olumlu tarafları olarak şunlar gösterilebilir:

- Çok fazla sayıda girdi ve çıktıyı işleme yeteneğine sahiptir.

- Girdiler ve çıktıların birimleri çok çeşitli olabilir. Bu durumda onları beraber ölçmek için başka bir işleme gerek duymaz.
- VZA nesnelliğe dayanmaktadır. Öznel görüşleri içerisinde barındırmaz.
- VZA, etkinsiz çıkan karar verme birimleri için dolaylı olarak öneriler de vermektedir.

Olumsuz tarafları olarak ise şunlar gösterilebilir:

- Ölçüm hatalarına karşı duyarlıdır.
- Parametrik olmayan bir tekniktir. Bu yüzden istatistiksel testlerin uygulanması zordur.
- Her KVB için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözülmesi gerekmektedir. Bundan dolayı büyük boyutlu problemlerde hesap yapmak zaman alabilir.
- Analiz için önemli bir girdi veya çıktının eksikliği sonucu yanıltıcı yapabilir.
- Mutlak etkinlik değerlendirmesi için yeterli değildir.

Analiz süreci için izlenmesi gereken adımlar şöyle sıralanabilir:

1. Karar noktaları belirlenir.
2. Girdi ve çıktı göstergeleri seçilir.
3. Model türü seçilir.
4. Sonuçlar yorumlanır.

Karar noktalarının belirlenmesi analizin sağlığı açısından çok önemlidir. Hatalı olarak seçilecek karar birimleri tüm analizi etkileyebilir. Bu yüzden karar birimlerinin, kullandıkları girdiler ve ürettikleri çıktılar açısından benzer olmalıdır. Karar birimleri aynı veri setini kullanmalıdır.

Bir diğer husus da model seçimidir. Model seçilirken girdi ve çıktıların kontrol edilebiliyor olup olmadıkları belirleyici olmaktadır. Girdiler üzerinde kontrol az ise çıktı odaklı bir model, çıktılar üzerinde kontrol az ise girdi odaklı bir model kullanılır. Bu şekilde karar verilemeyen durumlarda toplamsal yöntem kullanılabilir. Fakat karar verici, karar noktalarının etkinlik durumlarıyla ilgileniyorsa ve etkinlik türünü önemsemiyorsa tüm modeller kullanılabilir. Eğer etkinlik türünü önemsiyorsa da toplamsal modellerden uzak durmak gerekmektedir (Dinc ve Haynes, 1999).

3.1 Temel Bileşenler Analizi Sonuçları

Analizde kullanılacak karayolu trafik güvenliği performansı göstergeleri önceki bölümde belirtilmişti. Seçilen toplam 8 adet göstergeye IBM SPSS 23 yazılımı aracılığıyla temel bileşenler analizi ve pyDEA yazılımı aracılığıyla veri zarflama analizi uygulanmıştır. Bu bölümde ise uygulama süreçlerini adım adım gösterecek şekilde önce temel bileşenler analizi sonuçlarına daha sonra ise veri zarflama analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Bundan sonra ise Ward kümeleme analizi sonuçları paylaşılmıştır. Son olarak ise genel analiz bulgularına yer verilmiş ve bölüm sonlandırılmıştır.

Tablo 3.1’de Kaiser Meyer Olkin (KMO) ve Bartlett test sonuçları paylaşılmıştır. Bu tabloda görüleceği üzere KMO testi sonucu 0,621 bulunmuştur. Buradan hareketle veri setimizin analizi gerçekleştirmek için yeterli olduğu söylenebilir. Bartlett testi sonucu ise 0,05’ten küçük çıkmıştır. Buradan da veri kümesinin analizle uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 3.1 KMO ve Bartlett test sonuçları

Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliliği Testi		0,621
Bartlett Küresellik Testi	Ki-Kare	251,070
	Serbestlik Derecesi	28
	P Değeri	0,000

Tablo 3.2’de ise ortak varyans tablosu görülebilir. Tablonun “çıkartım” sütunundaki değerler, temel bileşenlerin açıklayabileceği her değişkenin varyans oranını gösterir. Yüksek değerlere sahip değişkenler, ortak faktör alanında iyi temsil edilirken, düşük değerli değişkenler iyi temsil edilmez (UCLA: Statistical Consulting Group, 2018). Bu çalışmada düşük değerler yoktur.

Tablo 3.2 Ortak varyans

Değişken	Başlangıç	Çıkarım
100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı	1,000	0,893
100 bin kişi başına düşen trafik yaralanmaları sayısı	1,000	0,935
100 bin kişi başına düşen ölümlü veya yaralanmalı trafik kazaları sayısı	1,000	0,965
1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı	1,000	0,923
Ölümlü veya yaralanmalı trafik kazalarının tüm kazalar içindeki payı	1,000	0,907
En az bir ön lisans diplomasına sahip nüfusun oranı	1,000	0,881
100 bin kişi başına düşen hastane yatağı sayısı	1,000	0,888
100 bin kişi başına düşen ambulans sayısı	1,000	0,884

Özdeğerler temel bileşenlerin varyansıdır (UCLA: Statistical Consulting Group, 2018). Temel bileşenler analizimizi korelasyon matrisi üzerinde yaptığımız için, değişkenler standartlaştırılmıştır. Yani her değişkenin varyansı 1 olduğu ve toplam varyansın analizde kullanılan değişken sayısına eşit olduğu anlamına gelir, bu durumda 8 adet değişken olduğu için toplam varyans 8 olur.

Tablo 3.3'te yer alan “çıkarım sonrası karesel yüklerin toplamı” kısmı, Tablo 3.3'te yer alan “başlangıç özdeğerleri” kısmındaki değerleri yeniden üretir. “Çıkarım sonrası karesel yüklerin toplamı” kısmında özdeğerleri 1'den büyük olan temel bileşenler belirlenir. Bu bize temel bileşen sayımızı verir (UCLA: Statistical Consulting Group, 2018).

Tablo 3.3'te yer alan “faktörleştirme sonrası karesel yüklerin toplamı” kısmı, varimax döndürmesinden sonra varyansın dağılımını temsil eder. Varimax döndürmesi, her bir faktörün varyansını en üst düzeye çıkarmaya çalışır, dolayısıyla hesaplanan toplam varyans miktarı, çıkartılan üç faktörün üzerine yeniden dağıtılır (UCLA: Statistical Consulting Group, 2018). Bu kısımda görüleceği üzere 3 temel bileşenin varyansları toplamı %90,938'tir. Birinci, ikinci ve üçüncü temel bileşenin varyansa katkısı sırasıyla; %45,425, %26,129 ve %19,384'tür.

Tablo 3.3 Açıklanan toplam varyans

Faktör	Başlangıç Özdeğerleri	Çıkarım Sonrası Karesel Yüklerin Toplamı	Faktörleştirme Sonrası Karesel Yüklerin Toplamı
---------------	------------------------------	---	--

	Topla m	% Varyan s	% Birikim li	Topla m	% Varyan s	% Birikim li	Topla m	% Varyan s	% Birikim li
1	3,690	46,126	46,126	3,690	46,126	46,126	3,634	45,425	45,425
2	2,057	25,717	71,844	2,057	25,717	71,844	2,090	26,129	71,554
3	1,528	19,094	90,938	1,528	19,094	90,938	1,551	19,384	90,938
4	0,301	3,764	94,702						
5	0,214	2,681	97,383						
6	0,119	1,486	98,869						
7	0,083	1,042	99,911						
8	0,007	0,089	100,00						

Tablo 3.4'te üç faktör altında göstergelerin aldığı ağırlıklar gösterilmektedir. Göstergeler ve faktörler arasındaki korelasyon Tablo 3.4'te görülebilir. Eğer bir gösterge mutlak değer içinde yüksek bir değere sahipse o faktörle ilişkisi yüksektir. Genel olarak, 0,50 üzeri değerler uygun görülür.

Tablo 3.4 Döndürülmüş faktör matrisi

Değişken	Faktör		
	1	2	3
100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı	0,918	0,212	-0,074
100 bin kişi başına düşen trafik yaralanmaları sayısı	0,946	0,196	-0,029
100 bin kişi başına düşen ölümlü veya yaralanmalı trafik kazaları sayısı	0,968	0,123	0,110
1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı	0,905	-0,201	0,252
Ölümlü veya yaralanmalı trafik kazalarının tüm kazalar içindeki payı	0,030	0,952	0,002
En az bir ön lisans diplomasına sahip nüfusun oranı	-0,389	0,854	-0,026

Tablo 3.4 Döndürülmüş faktör matrisi (devamı)

100 bin kişi başına düşen hastane yatağı sayısı	-0,144	0,429	0,826
100 bin kişi başına düşen ambulans sayısı	-0,150	-0,316	0,873

Ortaya çıkan faktörler ve gösterge grupları ise Tablo 3.5'te görülebilir.

Tablo 3.5 Faktörler ve değişken grupları

1. Faktör	100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı 100 bin kişi başına düşen trafik yaralanmaları sayısı 100 bin kişi başına düşen ölümlü veya yaralanmalı trafik kazaları sayısı 1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı
2. Faktör	- Ölümlü veya yaralanmalı trafik kazalarının tüm kazalar içindeki payı - En az bir ön lisans diplomasına sahip nüfusun oranı
3. Faktör	100 bin kişi başına düşen hastane yatağı sayısı 100 bin kişi başına düşen ambulans sayısı

Cronbach alfa katsayısı değerleri ise faktör grupları için Tablo 3.6’da olduğu gibi bulunmuştur. Tüm gruplar için bu değer eşik değerinin üzerinde çıkmıştır.

Tablo 3.6 Cronbach alfa katsayısı

Gruplar	Cronbach Alfa Katsayısı	Değişken Sayısı
1. Faktör	0,950	4
2. Faktör	0,842	2
3. Faktör	0,663	2

Genel faktör skoru ise (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$GFS = \frac{C_1 \times FAKTÖR_1 + C_2 \times FAKTÖR_2 + C_3 \times FAKTÖR_3}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (3.1)$$

C_n = n’inci temel bileşenin varyansa katkısı

$FAKTÖR_n$ = ilgili değişkene (bu çalışmada şehirlere) karşılık gelen n’inci temel bileşenin faktör skoru

$$GFS = \frac{0,45425 \times FAKTÖR_1 + 0,26129 \times FAKTÖR_2 + 0,19384 \times FAKTÖR_3}{0,90938}$$

Temel bileşenler analizi uygulandıktan sonra ortaya çıkan sıralama Tablo 3.7’de görülebilir. Bu tabloda daha önce hesabı yapılan faktör grupları ve genel faktör skoru sonuçları görülmektedir. Genel faktör skorunu 50 ile 100 arasında normalize ederek sıralamayı istediğimiz aralıklarda görmüş oluyoruz.

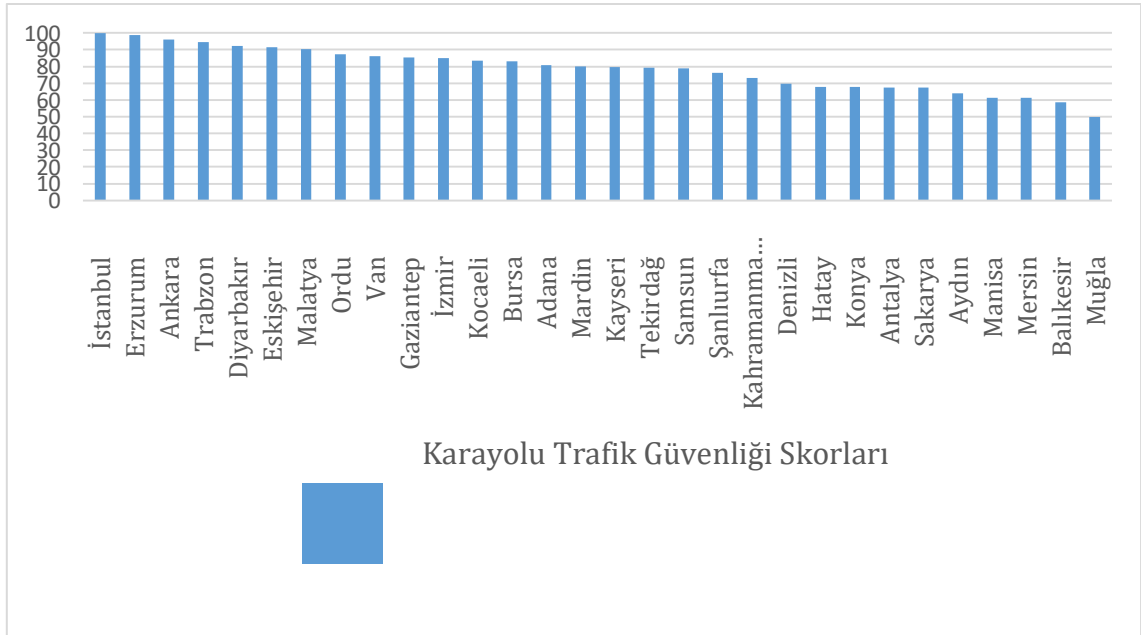
Tablo 3.7 Karayolu trafik güvenliği indeksi (TBA)

Sıra	Şehir	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Genel Faktör	Karayolu Trafik Güvenliği İndeksi
1	İstanbul	1,45064	2,03486	-1,35325	1,021	100
2	Erzurum	0,62574	0,06129	3,00584	0,971	98,95
3	Ankara	0,20863	2,49170	0,02995	0,827	95,92
4	Trabzon	0,37270	0,56639	1,91140	0,756	94,45
5	Diyarbakır	1,54836	-0,57443	0,23226	0,658	92,38
6	Eskişehir	-0,07227	1,21691	1,41213	0,615	91,47
7	Malatya	0,38183	-0,06152	1,81142	0,559	90,31
8	Ordu	0,87414	-0,45412	0,52149	0,417	87,33
9	Van	1,40600	-1,57517	0,55267	0,368	86,29
10	Gaziantep	0,84862	-0,12202	-0,32336	0,320	85,29
11	İzmir	0,16095	1,40872	-0,80695	0,313	85,14
12	Kocaeli	0,40179	0,77667	-0,90606	0,231	83,41
13	Bursa	0,40020	0,90234	-1,13277	0,218	83,14
14	Adana	0,16964	0,48209	-0,55076	0,106	80,79
15	Mardin	1,51985	-1,50460	-1,23265	0,064	79,92
16	Kayseri	-0,14585	0,43850	-0,00185	0,053	79,68
17	Tekirdağ	0,05429	0,02620	-0,03294	0,028	79,15
18	Samsun	-0,23336	0,22348	0,32972	0,018	78,95
19	Şanlıurfa	1,18972	-1,83943	-0,87669	-0,121	76,03
20	Kahramanmaraş	0,14700	-1,08946	-0,05047	-0,250	73,31

Tablo 3.7 Karayolu trafik güvenliği indeksi (TBA) (devamı)

21	Denizli	-1,09251	0,07738	0,49598	-0,418	69,80
22	Hatay	-0,22368	-1,04861	-0,42990	-0,505	67,98
23	Konya	-1,05647	-0,15545	0,24063	-0,521	67,63
24	Antalya	-1,01061	0,65824	-0,98941	-0,527	67,52
25	Sakarya	-0,45285	-0,38596	-0,93678	-0,537	67,30
26	Aydın	-1,10879	-0,28230	-0,27822	-0,694	64,00
27	Manisa	-1,30256	-0,65709	0,06740	-0,825	61,25
28	Mersin	-1,08175	-0,47898	-0,69360	-0,826	61,23
29	Balıkesir	-1,48472	-0,57501	-0,23201	-0,956	58,50
30	Muğla	-2,49467	-0,56065	0,21677	-1,361	50

Şekil 3.1’de ise şehirlerin TBA sonucu bulunan karayolu trafik güvenliği skorları çubuk grafik olarak gösterilmiştir.

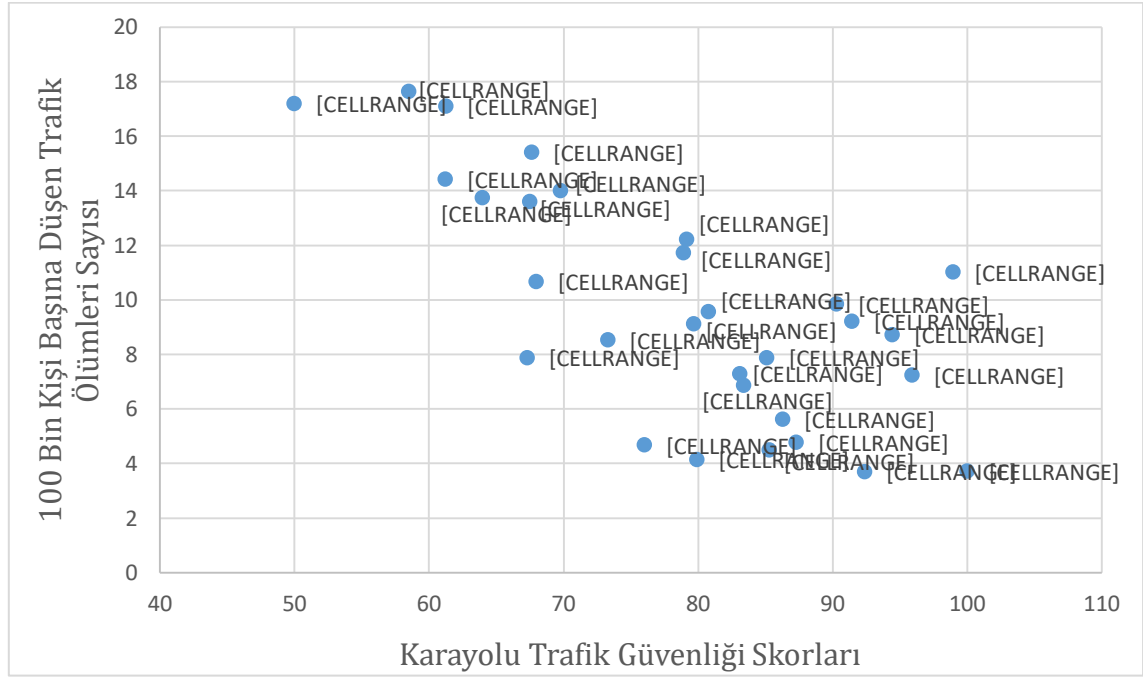


Şekil 3.1 Şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları (TBA)

Analiz sonuçları incelendiğinde birinci faktör grubunda yer alan trafik ölümleri, yaralanmaları, kazaları ve taşıt sahipliği en belirleyici göstergeler olmuşlardır. Trafik kazaların şiddetine ilişkin kullanılan gösterge ve şehirlerin eğitim derecelerine ilişkin

seçilen ikinci faktör grubu göstergeleri orta derecede belirleyici olmuştur. Sağlık durumuna ilişkin tercih edilen 2 göstergenin yer aldığı üçüncü faktör grubu karayolu trafik güvenliği performansı üzerinde en az belirleyici grup olmuştur.

Ayrıca şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları karşılaştırılırsa da analizin bu sonuçlarla uyumlu olduğu görülecektir. Şekil 3.2’de de görüleceği üzere nüfus başına düşen trafik ölümleri azaldıkça şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları artmaktadır.



Şekil 3.2 Şehirlerde trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması

3.2 Veri Zarflama Analizi Sonuçları

Bölüm 2’de bahsedildiği üzere veri zarflama analizinde girdilere ve çıktılara ihtiyaç vardır. Bunu sağlamak için veri setini girdiler ve çıktılar haline dönüştürmek gerekmektedir. Çalışma içerisinde tutarlılığı sağlamak amacıyla temel bileşenler analizinde kullanılan göstergeler veri zarflama için de kullanılmıştır. Buradaki bir önemli nokta da veri zarflama analizinde seçilen modele göre girdilerin minimize ve çıktılarının maksimize edilmeye çalışılmasıdır. Bundan dolayı bazı değişkenlerin dönüştürülmesi gerekmektedir. Trafik ölümleri, trafik yaralanmaları ve trafik kazaları ile ilgili göstergeler için 100 bin kişi başına düşen 2 trafik ölümü/yaralanması/kazası arasında geçen süre dikkate alınmıştır. Kalan göstergelerin bir kısmı için çarpma

işlemine göre tersine alma yöntemi kullanılırken diğer kısmı için bir dönüşüm yapılmaya ihtiyaç olmamıştır. Tablo 3.8’de dönüştürme işlemiyle ilgili tüm detaylar görülebilir.

Tablo 3.8 VZA için göstergelerin düzenlenmesi ve ilgili açıklamalar

TBA Değişkenleri	VZA İçin Dönüştürülmüş Değişkenler	Girdi-Çıktı (VZA)	Açıklama
100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı	100 bin kişi başına düşen 2 trafik ölümü arasında geçen süre	Çıktı-1	VZA’da çıktılar maksimize edilmeye çalışıldığından 100 bin kişi başına düşen trafik ölümlerinin sayısı 365 güne bölünerek bu değer elde edilmiştir.
100 bin kişi başına düşen trafik yaralanmaları sayısı	100 bin kişi başına düşen 2 trafik yaralanması arasında geçen süre	Çıktı-2	VZA’da çıktılar maksimize edilmeye çalışıldığından 100 bin kişi başına düşen trafik yaralanmalarının sayısı 365 güne bölünerek bu değer elde edilmiştir.
100 bin kişi başına düşen ölümlü veya yaralanmalı trafik kazaları sayısı	100 bin kişi başına düşen 2 trafik kazası arasında geçen süre	Çıktı-3	VZA’da çıktılar maksimize edilmeye çalışıldığından 100 bin kişi başına düşen trafik kazalarının sayısı 365 güne bölünerek bu değer elde edilmiştir.
Ölümlü veya yaralanmalı trafik kazalarının tüm trafik kazalarının içindeki payı	1/ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının tüm trafik kazaları içindeki payı	Çıktı-4	VZA’da çıktılar maksimize edilmeye çalışılır. Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının tüm trafik kazaları içindeki payının yüksek olması kaza şiddet seviyesinin yüksek olduğu şeklinde varsayılmıştır. Fakat karayolu trafik güvenliği açısından bu oranın minimize edilmeye çalışılması gereklidir. Bu yüzden bu göstergenin çarpma işlemine göre tersi kullanılmıştır. Burada farklı bir gösterge olarak sadece maddi hasarlı kazaların tüm trafik kazalarına oranı da kullanılabilir. Fakat TBA’da ölümlü ve yaralanmalı kazaların oranı dikkate alındığından ve bu iki analizin sonucunun şehirlerin arasındaki oransal ilişkiyi bozmadan daha doğru karşılaştırılması için bu gösterge tercih edilmiştir.

Tablo 3.8 VZA için göstergelerin düzenlenmesi ve ilgili açıklamalar (devamı)

100 bin kişi başına düşen hastane yatağı sayısı	100 bin kişi başına düşen hastane yatağı sayısı	Girdi-1	VZA’da girdiler minimize edilmeye çalışılır. Kişi başına daha az hastane yatağı ile benzer performansları göstermesi bu şehirlerin diğerlerine oranla daha iyi performans gösterdiği şeklinde varsayılmıştır.
100 bin kişi başına düşen ambulans sayısı	100 bin kişi başına düşen ambulans sayısı	Girdi-2	VZA’da girdiler minimize edilmeye çalışılır. Kişi başına daha az ambulans ile benzer performansları göstermesi bu şehirlerin diğerlerine oranla daha iyi performans gösterdiği şeklinde varsayılmıştır.
En az bir ön lisans diplomasına sahip nüfusun oranı	En az bir ön lisans diplomasına sahip nüfusun oranı	Girdi-3	VZA’da girdiler minimize edilmeye çalışılır. Eğitim seviyesinin artmasının bilinci de artırdığı varsayılmıştır. Bu bağlamda eğitim göstergesinin bu şekilde kullanılması tercih edilmiştir. Daha düşük eğitim seviyesine sahip şehirlerin benzer performansları göstermesi bu şehirlerin diğerlerine oranla daha iyi performans gösterdiği şeklinde varsayılmıştır.
1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı	1/1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı	Girdi-4	VZA’da girdiler minimize edilmeye çalışılır. Taşıt sahipliğinin artması karayolu trafik güvenliğinde riski artıracak bir durum olduğu için bu göstergenin çarpma işlemine göre tersi kullanılmıştır. Burada farklı bir gösterge olarak 1.000 kişiden kaçının taşıt sahibi olmadığı da kullanılabilir. Fakat TBA’da taşıt sahipliği göstergesi kullanıldığından ve bu iki analizin sonucunun şehirlerin arasındaki oransal ilişkiyi bozmadan daha doğru karşılaştırılması için bu gösterge tercih edilmiştir.

Çalışma 30 büyükşehir arasında gerçekleştirilmiştir. 4 adet girdi ve 4 adet çıktı kullanılmıştır. Buradan hareketle KVB sayısı ile girdi ve çıktı sayısı arasındaki ilişkiyi iki farklı eşitlik (2.6; 2.7) için de hesaplırsak şu sonuçlar bulunur.

$$1. \quad n \geq \max \{ (m + s + 1), 2 \times (m + s),$$

$$30 \geq \max \{ (4 + 4 + 1), (2 \times (4 + 4)),$$

$$30 \geq 16.$$

$$2. \quad n \geq \max \{ (m \times s), 3 \times (m + s)$$

$$30 \geq \max \{ (4 \times 4), 3 \times (4 + 4).$$

$30 \geq 24$.

KVB sayısı ile girdi ve çıktı sayıları arasındaki ilişkinin bu analiz için yukarıdaki iki görüş için de uygun olduğu görülmektedir.

Veri zarflama analizinde ölçeğe göre sabit getirili model ve hem girdi odaklı hem de çıktı odaklı model tercih edilmiştir. Ölçeğe göre sabit getirili modelin tercih edilmesinin sebebi bu konuda literatürde çok fazla tartışmanın olması ve ölçeğe göre değişken getirili modelin daha az tercih edilmesidir. Girdi odaklı modelin tercih edilmesinin sebebi ise girdiler üzerinde kontrolümüz olduğundan dolayıdır. Çıktı odaklı modelin de dahil edilmesinin sebebi ikisi arasındaki farklılığı görmektir. Analiz sonuçları Tablo 3.9’da görülebilir. Bu tablodan görüleceği üzere modelin girdi odaklı veya çıktı odaklı olması sonuçları değiştirmemiştir.

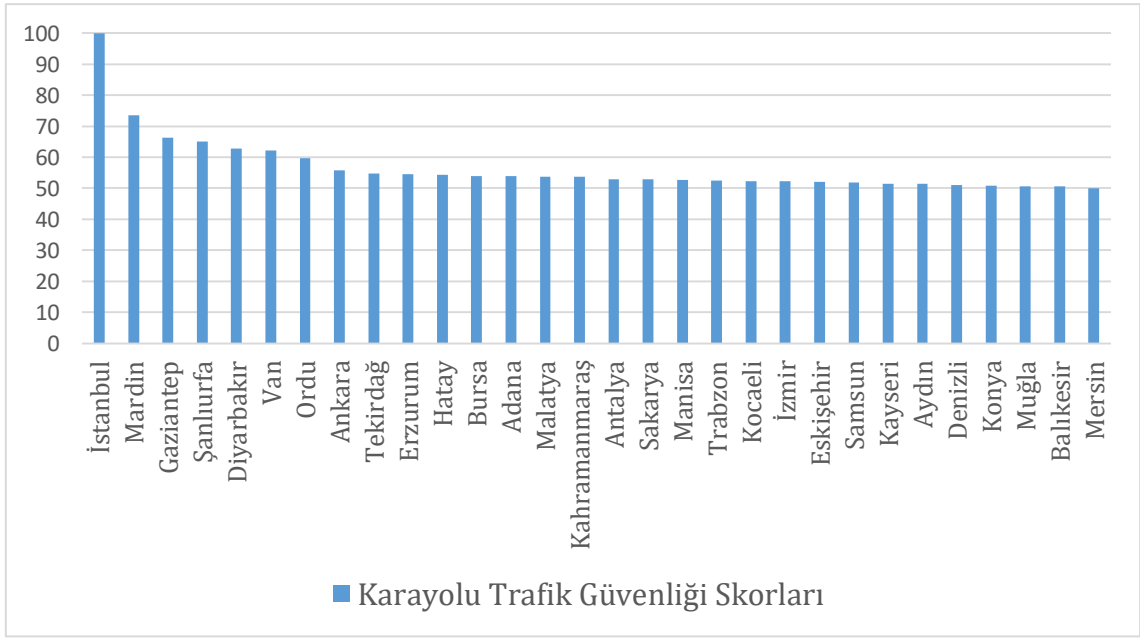
Tablo 3.9 Karayolu trafik güvenliği indeksi (VZA)

Sıra	Şehir	Girdi Odaklı Model Etkinlik Skoru	Karayolu Trafik Güvenliği İndeksi	Çıktı Odaklı Model Etkinlik Skoru	Karayolu Trafik Güvenliği İndeksi
1	İstanbul	2,72675570	100,00	2,72675571	100,00
2	Mardin	1,49540110	73,58	1,49540112	73,58
3	Gaziantep	1,15932740	66,37	1,15932738	66,37
4	Şanlıurfa	1,09849810	65,07	1,09849811	65,07
5	Diyarbakır	0,99697293	62,89	0,99697289	62,89
6	Van	0,96729554	62,25	0,96729554	62,25
7	Ordu	0,85267612	59,80	0,85267615	59,80
8	Ankara	0,66981895	55,87	0,66981897	55,87
9	Tekirdağ	0,62156354	54,84	0,62156353	54,84
10	Erzurum	0,60384750	54,46	0,60384749	54,46
11	Hatay	0,60051793	54,39	0,60051793	54,39

Tablo 3.9 Karayolu trafik güvenliği indeksi (VZA) (devamı)

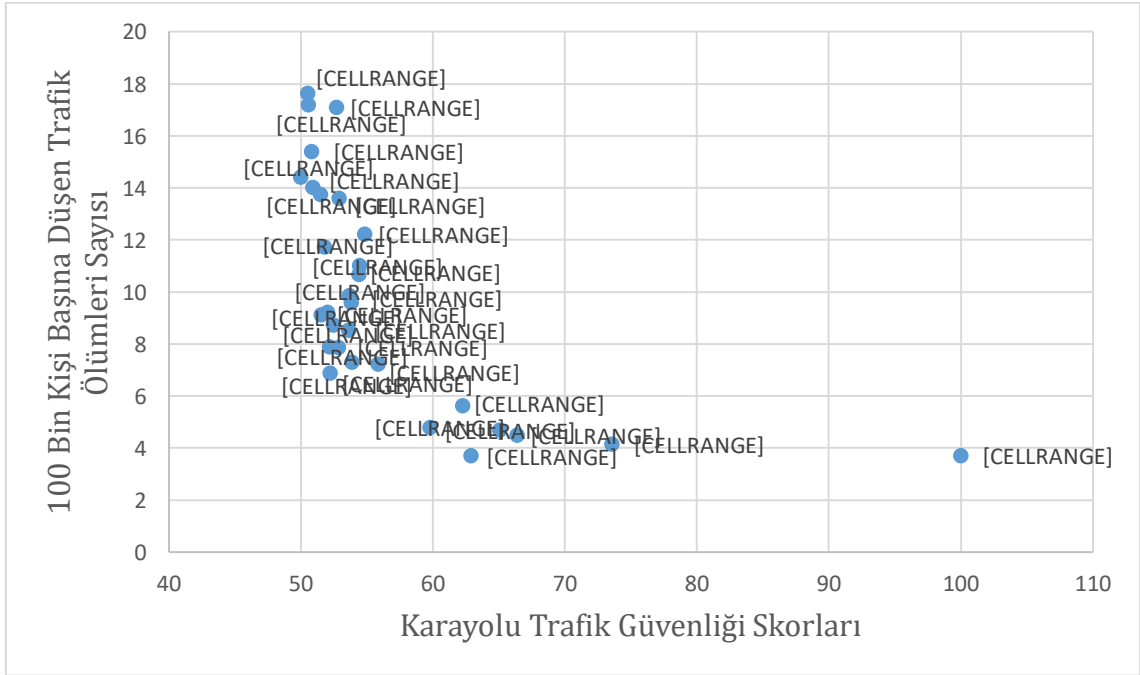
12	Bursa	0,57692432	53,88	0,57692432	53,88
13	Adana	0,57520146	53,84	0,57520147	53,84
14	Malatya	0,56816780	53,69	0,56816781	53,69
15	Kahramanmaraş	0,56591456	53,64	0,56591456	53,64
16	Antalya	0,53163629	52,91	0,53163629	52,91
17	Sakarya	0,52859888	52,84	0,52859889	52,84
18	Manisa	0,52253939	52,71	0,52253940	52,71
19	Trabzon	0,51189402	52,49	0,51189401	52,49
20	Kocaeli	0,50027032	52,24	0,50027032	52,24
21	İzmir	0,49747793	52,18	0,49747794	52,18
22	Eskişehir	0,49146419	52,05	0,49146420	52,05
23	Samsun	0,47872341	51,77	0,47872340	51,77
24	Kayseri	0,46714930	51,53	0,46714929	51,53
25	Aydın	0,46673936	51,52	0,46673936	51,52
26	Denizli	0,43946257	50,93	0,43946258	50,93
27	Konya	0,43524235	50,84	0,43524236	50,84
28	Muğla	0,42236819	50,56	0,42236818	50,56
29	Balıkesir	0,42159825	50,55	0,42159824	50,55
30	Mersin	0,39605811	50,00	0,39605811	50,00

Şekil 3.3'te ise şehirlerin VZA sonucu bulunan karayolu trafik güvenliği skorları çubuk grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları (VZA)

Şekil 3.4 incelenirse şu yorumlar çıkarılabilir. Veri zarflama analizine göre nüfus başına belli bir miktardan fazla ölüm oranı varsa bu aralıktaki şehirlerin birbirleri arasındaki karayolu trafik güvenliği performansı hakkında bir karar vermek oldukça zordur. Fakat nüfus başına düşen ölüm oranı belli bir miktardan aşağı düşünce şehirlerin karayolu trafik güvenliği performansı katlanarak artmaktadır.



Şekil 3.4 Şehirlerde trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması

Veri zarflama analizi sonuçlarına da değinecek olunursa ilk göze çarpan İstanbul'un diğer şehirlerin çok fazla önüne geçmesidir. Bu durumu yorumlarken iki farklı noktaya değinilebilir. Birincisi İstanbul, veri setinde kullanılan göstergeler dikkate alındığında çok iyi performans göstermektedir. Özellikle trafik ölümleri, yaralanmaları, kazaları ve trafik kazalarının şiddet seviyesi göz önüne alındığında bu zaten çok açıktır. Karşıt bir yorum olarak da şu düşünülebilir. İstanbul sahip olduğu nüfusu itibariyle diğer şehirlere kıyasla haksız rekabet göstermektedir. Dünyanın trafik sıkışıklığı en yüksek şehirlerinden biridir ve bu durum trafik işletme hızını düşürdüğü için böyle bir görüntü ortaya koymaktadır. Bu iki görüşten hangisinin daha gerçekçi olduğu ileriki çalışmalarda araştırılmalıdır.

Tablo 3.10'da şehirlerin hangi diğer şehirleri ne oranda referans alması gerektiği gösterilmektedir. Analiz sonucunda karayolu trafik güvenliği performansı açısından en üst sırada yer alan İstanbul'un 29 kez yani diğer tüm büyükşehirler tarafından örnek alınması gerektiği görülmektedir. Ardından Şanlıurfa'nın 20 kez, Mardin'in 4 kez ve Gaziantep'in 3 kez örnek büyükşehir olarak gösterildiği görülmektedir. Örneğin Adana'nın yaklaşık %40 oranında İstanbul'u yaklaşık %7 oranında da Şanlıurfa'yı referans alması gerektiği görülmektedir.

Tablo 3.10 Şehirlerin referans kümeleri

Şehir	Etkinlik Skoru	Referans Kümesi	Referans Alınma Sıklığı
Adana	0,57520146	İstanbul (0,395), Şanlıurfa (0,072)	0
Ankara	0,66981895	İstanbul (0,523)	0
Antalya	0,53163629	İstanbul (0,331)	0
Aydın	0,46673936	İstanbul (0,315)	0
Balıkesir	0,42159825	İstanbul (0,297)	0
Bursa	0,57692432	İstanbul (0,424), Şanlıurfa (0,062)	0
Denizli	0,43946257	İstanbul (0,307)	0

Tablo 3.10 Şehirlerin referans kümeleri (devamı)

Diyarbakır	0,99697293	İstanbul (0,037), Mardin (0,249), Şanlıurfa (1,021)	0
Erzurum	0,60384750	İstanbul (0,230), Şanlıurfa (0,419)	0
Eskişehir	0,49146419	İstanbul (0,412)	0
Gaziantep	1,15932740	İstanbul (0,487), Şanlıurfa (0,392)	3
Hatay	0,60051793	İstanbul (0,334), Şanlıurfa (0,101)	0
İstanbul	2,72675570	Mardin (0,002)	29
İzmir	0,49747793	İstanbul (0,428)	0
Kahramanmaraş	0,56591456	İstanbul (0,208), Şanlıurfa (0,286)	0
Kayseri	0,46714930	İstanbul (0,323), Şanlıurfa (0,078)	0
Kocaeli	0,50027032	İstanbul (0,362), Şanlıurfa (0,136)	0
Konya	0,43524235	İstanbul (0,280), Şanlıurfa (0,040)	0
Malatya	0,56816780	İstanbul (0,368), Şanlıurfa (0,188)	0
Manisa	0,52253939	İstanbul (0,309), Şanlıurfa (0,018)	0
Mardin	1,49540110	İstanbul (0,494), Şanlıurfa (0,585)	4
Mersin	0,39605811	İstanbul (0,288), Şanlıurfa (0,018)	0
Muğla	0,42236819	İstanbul (0,223)	0
Ordu	0,85267612	Gaziantep (0,451), İstanbul (0,080), Şanlıurfa (0,389)	0

Tablo 3.10 Şehirlerin referans kümeleri (devamı)

Sakarya	0,52859888	Gaziantep (0,088), İstanbul (0,276), Şanlıurfa (0,069)	0
Samsun	0,47872341	İstanbul (0,302), Şanlıurfa (0,100)	0
Şanlıurfa	1,09849810	Gaziantep (0,041), İstanbul (0,070), Mardin (0,735)	20
Tekirdağ	0,62156354	İstanbul (0,378), Şanlıurfa (0,125)	0
Trabzon	0,51189402	İstanbul (0,374), Şanlıurfa (0,114)	0
Van	0,96729554	İstanbul (0,010), Mardin (0,100), Şanlıurfa (0,922)	0

İstanbul'un diğer büyükşehirlerin hepsi tarafından referans alınması gerektiğini görmekle beraber İstanbul'un hangi yönleriyle referans alınması gerektiği veya hangi temel nedenin İstanbul'u örnek alınması gereken büyükşehir yapmış olduğunu incelemekte yarar vardır. Tablo 3.11'de İstanbul'un ve diğer büyükşehirlerin hangi değişkenler itibariyle ön plana çıktığını hangileri ile geri plana atıldığı görülmektedir. Ayrıca Tablo 3.12'de, Tablo 3.11'de verilenler haricinde nelerin iyileştirebileceği görülebilir.

Bu iki tablo (Tablo 3.11 ve Tablo 3.12) incelendiğinde; örneğin Antalya'yı karayolu trafik güvenliği performansı indeksinde olumsuz olarak etkileyen girdilerden %100 oranında taşıt sahipliği (girdi 4), çıktılardan da %53 oranında 100 bin kişi başına düşen 2 ölümlü ve yaralanmalı kaza arasındaki süre (çıkıtı 3) olmuştur. Ayrıca Antalya'nın hastane yatağı sayısında (girdi 1) yaklaşık 52 birimlik azalma, ambulans sayısında (girdi 2) yaklaşık 1 birimlik azalma, 100 bin kişi başına düşen 2 trafik ölümü arasındaki sürede (çıkıtı 1) yaklaşık 15 birimlik artış ve kaza şiddet seviyesinin çarpma işlemine göre tersini ifade eden göstergede (çıkıtı 4) yaklaşık 1,5 birimlik artış ile etkin olacağı görülmektedir. Şehirleri karayolu trafik güvenliği performansı anlamında olumsuz olarak etkilemiş tüm girdi ve çıktıların ağırlıkları ve aylak değişkenler Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11 Girdi ve çıktı ağırlıkları

Şehir	Girdi 1	Girdi 2	Girdi 3	Girdi 4	Çıktı 1	Çıktı 2	Çıktı 3	Çıktı4
Adana	0,00	0,00	0,71	0,29	0,00	0,00	0,58	0,00
Ankara	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,67
Antalya	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,53	0,00
Aydın	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,47	0,00
Balıkesir	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,42	0,00
Bursa	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,32
Denizli	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,44	0,00
Diyarbakır	0,00	0,09	0,91	0,00	0,84	0,00	0,00	0,16
Erzurum	0,00	0,00	0,54	0,46	0,00	0,00	0,60	0,00
Eskişehir	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,49	0,00
Gaziantep	0,00	0,00	0,67	0,33	1,16	0,00	0,00	0,00
Hatay	0,00	0,00	0,68	0,32	0,00	0,00	0,60	0,00
İstanbul	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,93	0,00	0,80
İzmir	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,00
Kahramanmaraş	0,00	0,00	0,56	0,44	0,00	0,00	0,57	0,00
Kayseri	0,00	0,00	0,70	0,30	0,00	0,00	0,47	0,00
Kocaeli	0,00	0,00	1,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,24
Konya	0,00	0,00	0,72	0,28	0,00	0,00	0,44	0,00
Malatya	0,00	0,00	0,65	0,35	0,00	0,00	0,57	0,00
Manisa	0,00	0,00	0,74	0,26	0,00	0,00	0,52	0,00
Mardin	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00
Mersin	0,00	0,00	0,74	0,26	0,00	0,00	0,40	0,00

Tablo 3.11 Girdi ve çıktı ağırlıkları (devamı)

Muğla	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,42	0,00
Ordu	0,00	0,00	0,80	0,20	0,74	0,00	0,00	0,12

Sakarya	0,24	0,00	0,56	0,19	0,53	0,00	0,00	0,00
Samsun	0,00	0,00	0,68	0,32	0,00	0,00	0,48	0,00
Şanlıurfa	0,00	0,00	0,48	0,52	0,46	0,00	0,64	0,00
Tekirdağ	0,00	0,00	0,68	0,32	0,00	0,00	0,62	0,00
Trabzon	0,00	0,00	0,68	0,32	0,00	0,00	0,51	0,00
Van	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,19

Tablo 3.12 İyileşme yapılabilir göstergeler (aylak değişkenler)

Şehir	Girdi 1	Girdi 2	Girdi 3	Girdi 4	Çıktı 1	Çıktı 2	Çıktı 3	Çıktı 4
Adana	-57,45	-0,67	0,00	0,00	17,58	0,05	0,00	2,79
Ankara	-108,35	-1,40	-0,06	0,00	11,66	0,26	0,16	0,00
Antalya	-51,74	-1,10	-0,03	0,00	15,39	0,04	0,00	1,43
Aydın	-48,68	-1,56	-0,01	0,00	13,70	0,06	0,00	2,76
Balıkesir	-31,30	-1,56	0,00	0,00	17,88	0,07	0,00	2,58
Bursa	-24,02	-0,43	0,00	0,00	5,09	0,07	0,00	0,00
Denizli	-60,91	-1,98	0,00	0,00	13,10	0,08	0,00	1,29
Diyarbakır	-18,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,95	0,00
Erzurum	-127,15	-3,33	0,00	0,00	35,87	0,17	0,00	0,27
Eskişehir	-95,00	-2,27	-0,01	0,00	10,97	0,14	0,00	2,34
Gaziantep	-136,51	-2,08	0,00	0,00	0,00	0,54	0,80	6,13
Hatay	-45,18	-1,71	0,00	0,00	17,11	0,02	0,00	4,18
İstanbul	-105,53	0,00	-0,19	0,00	0,01	0,00	0,33	0,00
İzmir	-30,18	-0,65	-0,01	0,00	4,32	0,00	0,03	0,17

Tablo 3.12 İyileşme yapılabilir göstergeler (aylak değişkenler) (devamı)

Kahramanmaraş	-32,14	-1,43	0,00	0,00	7,75	0,07	0,00	1,69
---------------	--------	-------	------	------	------	------	------	------

Kayseri	-48,08	-1,00	0,00	0,00	6,04	0,15	0,00	0,98
Kocaeli	-4,10	-0,23	0,00	0,00	0,00	0,16	0,12	0,00
Konya	-65,65	-1,18	0,00	0,00	16,18	0,09	0,00	1,63
Malatya	-66,59	-3,25	0,00	0,00	26,75	0,18	0,00	3,47
Manisa	-76,79	-1,85	0,00	0,00	20,50	0,09	0,00	2,84
Mardin	0,00	-2,63	0,00	-0,01	8,12	0,14	0,00	8,57
Mersin	-11,61	-1,12	0,00	0,00	13,19	0,03	0,00	2,13
Muğla	-36,56	-2,89	-0,03	0,00	7,42	0,02	0,00	1,16
Ordu	-8,45	-1,92	0,00	0,00	0,00	0,20	0,41	0,00
Sakarya	0,00	-1,04	0,00	0,00	0,00	0,18	0,19	1,72
Samsun	-69,87	-0,97	0,00	0,00	16,37	0,09	0,00	1,55
Şanlıurfa	-70,63	-1,44	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	1,16
Tekirdağ	-47,34	-1,86	0,00	0,00	30,58	0,12	0,00	2,59
Trabzon	-96,15	-2,42	0,00	0,00	14,18	0,12	0,00	2,76
Van	-58,17	-1,88	0,00	-0,01	25,48	0,00	0,00	0,00

3.3 Kümeleme Analizi Sonuçları

Şehirleri sınıflandırmak için Ward kümeleme analizi yöntemi uygulanmıştır. Uygulama için seçilen dört gösterge nüfus yoğunluğu (km² başına düşen kişi sayısı), taşıt sahipliği (1000 kişi başına düşen taşıt miktarı), kişi başına düşen GSYH ve birim alana düşen yol ağı uzunluğudur. Analiz sonucunda şehirler Tablo 3.13'te görülebileceği gibi dört kümeye ayrılmışlardır.

Ward kümeleme analizi sonuçlarına göre İstanbul tek başına birinci kümeyi oluşturmuştur. Bunda özellikle nüfus yoğunluğunun etkisi olmuştur. İkinci kümede nüfus yoğunluğu yüksek olan şehirlerin toplanmış olduğu gözlemlenmiştir. Bu kümede yer alan şehirlerin bir diğer ortak özelliği de taşıt sahipliği oranlarının ortalamaya yakın olmasıdır. Üçüncü kümedeki şehirlerin ortak özelliği ise kişi başına düşen GSYH miktarlarının düşük olmasıdır. Dördüncü kümedeki şehirlerin ortak özelliği ise taşıt sahipliği oranlarının diğer şehirlere göre yüksek olmasıdır. Ward kümeleme analizi

sonucu ortaya çıkan tüm kümeler ve hangi şehirlerin hangi kümede yer aldığı Tablo 3.13'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Kümeleme analizi sonuçları

Birinci Küme	İstanbul
İkinci Küme	Ankara, Bursa, Gaziantep, Hatay, İzmir, Kocaeli, Sakarya
Üçüncü Küme	Diyarbakır, Erzurum, Kahramanmaraş, Kayseri, Malatya, Mardin, Ordu, Şanlıurfa, Trabzon, Van
Dördüncü Küme	Adana, Antalya, Aydın, Balıkesir, Denizli, Eskişehir, Konya, Manisa, Mersin, Muğla, Samsun, Tekirdağ

Şekil 3.5'te ise ArcGIS ile hazırlanan haritada şehirlerin ait olduğu kümeler görülebilir.



Şekil 3.5 Şehirlerin ait oldukları kümeler

3.4 Genel Analiz Bulguları

Her iki analiz yöntemine göre ölçülen karayolu trafik güvenliği performans skorları kümeleme analizi dikkate alınarak her bir küme için tekrar değerlendirilirse ortaya Tablo 3.14'te ve Tablo 3.15'te görülen sonuçlar çıkacaktır. İstanbul tek başına bir küme oluşturduğu için bu sıralamalara eklenmedi. Burada sıralama kümeler içerisinde değerlendirilerek birbirine karakteristik özellikleri açısından benzer şehirlerin birbirlerine göre konumları daha iyi gözlemlenmeleri sağlanmıştır.

TBA sonuçlarının kümeleme analizi sonuçları ile bir araya getirilmesiyle ikinci kümede yer alan şehirlerden en iyi karayolu trafik güvenliği performansını gösteren Ankara

olmuştur. Üçüncü kümede en iyi performansı gösteren Erzurum olurken dördüncü kümede ise Eskişehir en iyi performansı göstermiştir. Diğer şehirlere oranla daha olumsuz performans gösterenler ise ikinci kümede Sakarya, üçüncü kümede Kahramanmaraş ve dördüncü kümede Muğla olmuştur. Aynı incelemeyi VZA sonuçları ve kümeleme analizi sonuçları arasında yaparsak bu sefer en iyi karayolu trafik güvenliği performansını ikinci kümede Gaziantep göstermiştir. Üçüncü kümede Mardin en iyi performansı gösterirken dördüncü kümede ise Tekirdağ en iyi performansı göstermiştir. Diğerlerine göre daha olumsuz performanslar gösterenler ise ikinci kümede İzmir, üçüncü kümede Kayseri ve dördüncü kümeden Mersin olmuştur.

Hem genel indeks sonuçlarının hem de kümeleme analizi sonrası ortaya çıkan kümelerin kendi içlerindeki sıralamayı gösteren sonuçların birbirine benzemediği görülmektedir. Bu duruma sonuç ve öneriler bölümünde değinilmiştir.

Tablo 3.14 Kümelerin kendi içerisindeki sıralamaları (TBA)

İkinci Küme		Üçüncü Küme		Dördüncü Küme	
Şehir	Skor	Şehir	Skor	Şehir	Skor
Ankara	100,000	Erzurum	100,000	Eskişehir	100,000
Gaziantep	81,420	Trabzon	91,216	Adana	87,125
İzmir	81,172	Diyarbakır	87,185	Tekirdağ	85,145
Kocaeli	78,149	Malatya	83,143	Samsun	84,900
Bursa	77,672	Ordu	77,336	Denizli	73,873
Hatay	51,178	Van	75,298	Konya	71,258
Sakarya	50,000	Mardin	62,876	Antalya	71,119

Tablo 3.14 Kümelerin kendi içerisindeki sıralamaları (TBA) (devamı)

		Kayseri	62,410	Aydın	66,875
		Şanlıurfa	55,292	Manisa	63,564
		Kahramanmaraş	50,000	Mersin	63,545
				Balıkesir	60,243

				Muğla	50,000
--	--	--	--	-------	--------

Tablo 3.15 Kümelerin kendi içerisindeki sıralamaları (VZA)

İkinci Küme		Üçüncü Küme		Dördüncü Küme	
Şehir	Skor	Şehir	Skor	Şehir	Skor
Gaziantep	100,000	Mardin	100,000	Tekirdağ	100,000
Ankara	63,020	Şanlıurfa	80,700	Adana	89,720
Hatay	57,784	Diyarbakır	75,763	Antalya	80,061
Bursa	56,002	Van	74,320	Manisa	78,044
Sakarya	52,351	Ordu	68,747	Eskişehir	71,154
Kocaeli	50,211	Erzurum	56,647	Samsun	68,329
İzmir	50,000	Malatya	54,912	Aydın	65,672
		Kahramanmaraş	54,803	Denizli	59,624
		Trabzon	52,176	Konya	58,688
		Kayseri	50,000	Muğla	55,834
				Balıkesir	55,663
				Mersin	50,000

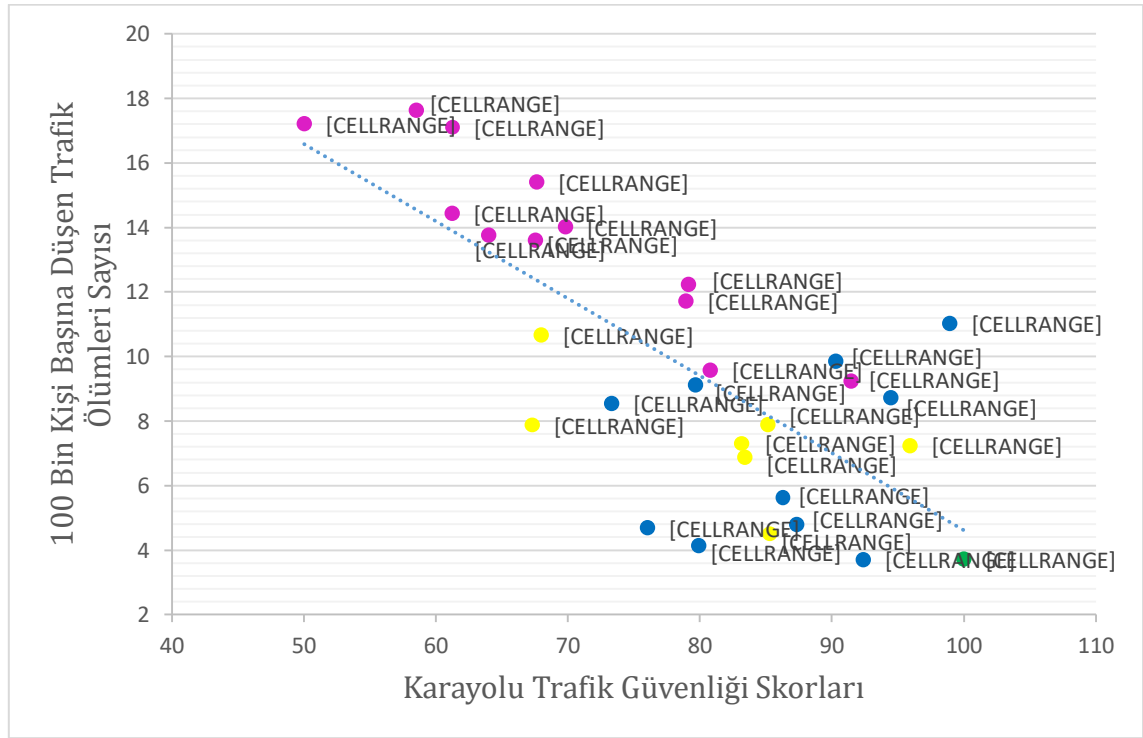
Şekil 3.6’da ve Şekil 3.7’de ise kümeleme analizi sonuçları ile KTGİ sonuçları beraber verilmiştir. TBA sonuçlarına göre Şekil 3.6’da sarı renkle gösterilen ikinci kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 81,17, mavi renkle gösterilen üçüncü kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 85,86, pembe renkle gösterilen dördüncü kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 69,19’dur. VZA sonuçlarına göre ise ikinci kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 55,40, üçüncü kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 58,94, dördüncü kümenin karayolu trafik güvenliği skorları ortalaması 51,88’dir. VZA sonuçlarının daha düşük olmasının sebebi İstanbul’un diğer şehirlerin çok önünde yer almasıdır. Bu bakımdan VZA ile TBA sonuçlarını karşılaştırmak çok anlamlı olmaz. Fakat iki analiz sonucuna göre de üçüncü küme birinci kümeden (İstanbul) sonra en yüksek karayolu trafik güvenliği skoruna sahip olmuştur. Dördüncü küme ise en düşük karayolu trafik

[illegible][illegible]

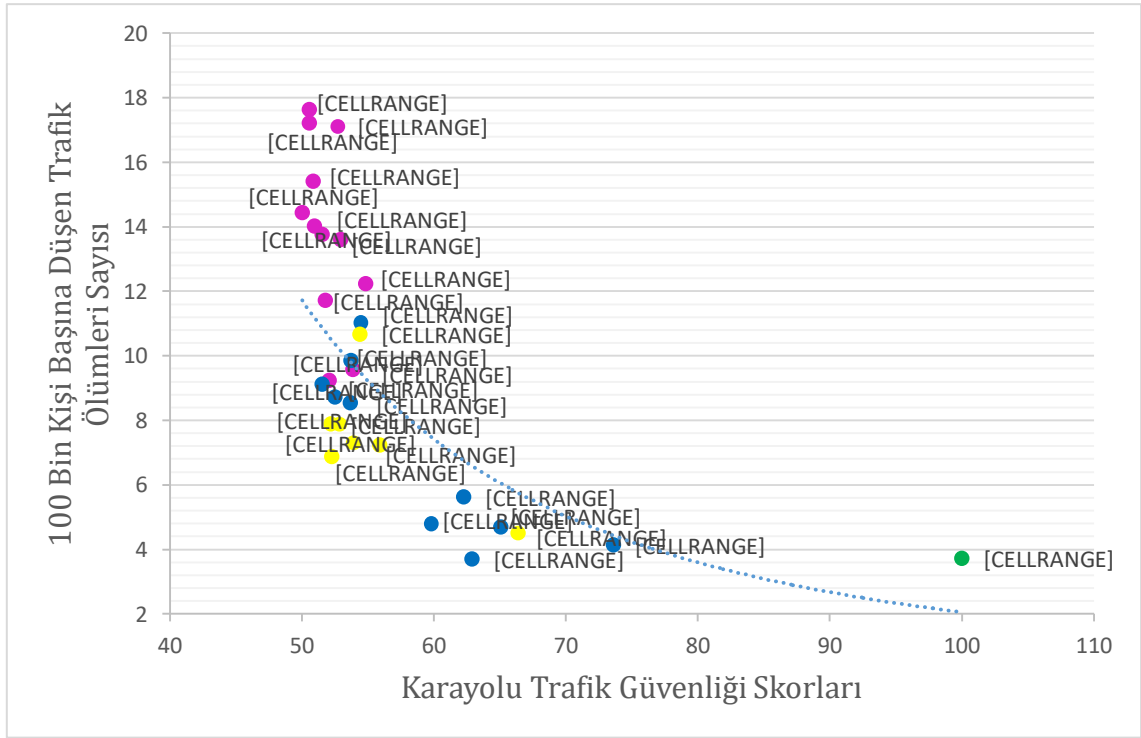
Şekil 3.8’de ve Şekil 3.9’da ise her iki analiz yöntemine göre şehirlerin karayolu trafik güvenliği skorları ile şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri beraber gösterilmiştir. Şekillerdeki renkli noktalar kümeleri göstermektedir. Yeşil renk birinci kümeyi, sarı renk ikinci kümeyi, mavi renk üçüncü kümeyi ve pembe renk dördüncü kümeyi göstermektedir. TBA yöntemiyle elde edilmiş indeks sonuçları ve nüfus başına düşen trafik ölümleri arasında daha doğrusal bir ilişki varken VZA yöntemiyle elde edilmiş indeks sonuçları ve nüfus başına düşen trafik ölümleri arasında daha üstel bir ilişkiden söz edilebilir. VZA yöntemiyle elde edilmiş sonuçlara göre İstanbul diğer

şehirlerden çok daha fazla etkindir. Bu yüzden üstel bir ilişki görülmektedir. Bu iki şekilden görülmektedir ki her ne kadar farklı biçimlerde olsa da trafik ölümleri ve indeks sonuçları arasında bir ilişki yakalanabilmiştir.

Şekil 3.8’de ve Şekil 3.9’da ayrıca kümelerin hangi konumda olduğu görülmektedir. Kabaca İstanbul’un ardından mavi renkle gösterilen üçüncü kümenin, daha sonra sarı renkle gösterilen ikinci kümenin ve en son pembe renkle gösterilen dördüncü kümenin geldiği görülebilir.

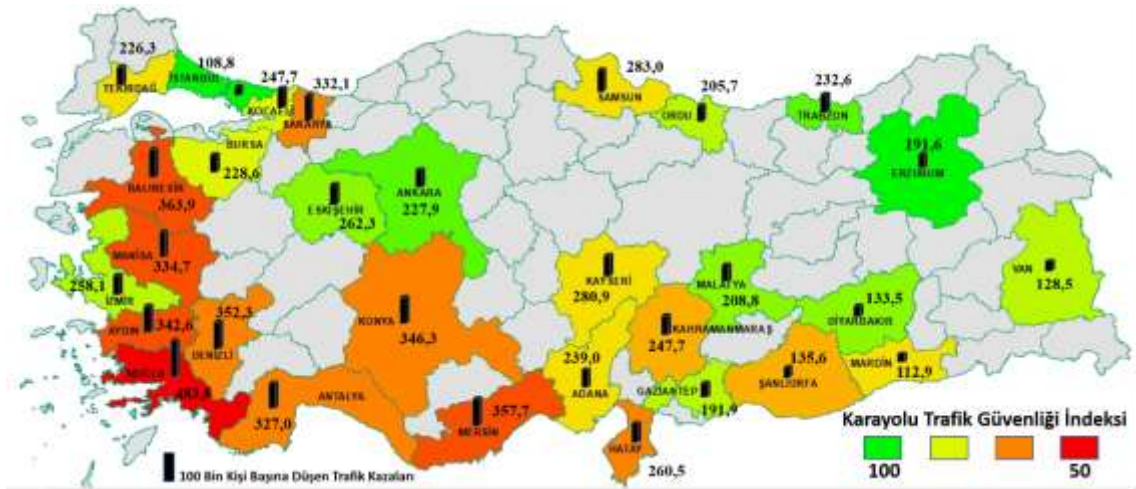


Şekil 3.8 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)

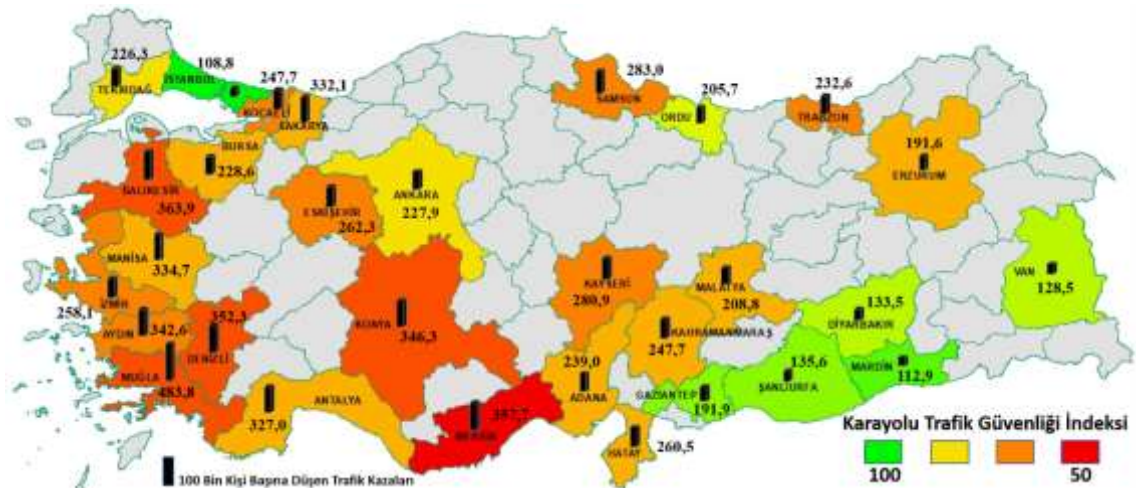


Şekil 3.9 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik ölümleri ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA)

Trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları tek başlarına kullanıldığında bir ülkenin veya şehrin karayolu trafik güvenliği performansını tam olarak açıklayamasa da konuyla ilgili çoğu yaklaşımda performans göstergeleri olarak her zaman dikkate alınan ilk göstergelerdir. Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de TBA ve VZA indeks sonuçları ile nüfus başına düşen trafik kazaları beraber gösterilmiştir. Buradan görüleceği üzere nüfus başına düşen trafik kazaları ile KTGİ skorları arasında bir ters orantı olduğu görülebilir. Böyle bir ilişki beklenen bir durumdu. Her iki analiz kapsamında kullanılan göstergelerin karayolu trafik güvenliği temel performans göstergesi olarak nitelendirilebilecek 100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı ile belirli bir oranda örtüşmektedir. Karayolu trafik güvenliği indeksi (TBA) sonuçları ile 100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı arasındaki korelasyon değeri -0,732 bulunurken karayolu trafik güvenliği indeksi (VZA) sonuçları ile 100 bin kişi başına düşen trafik ölümleri sayısı arasındaki korelasyon değeri -0,611 bulunmuştur.

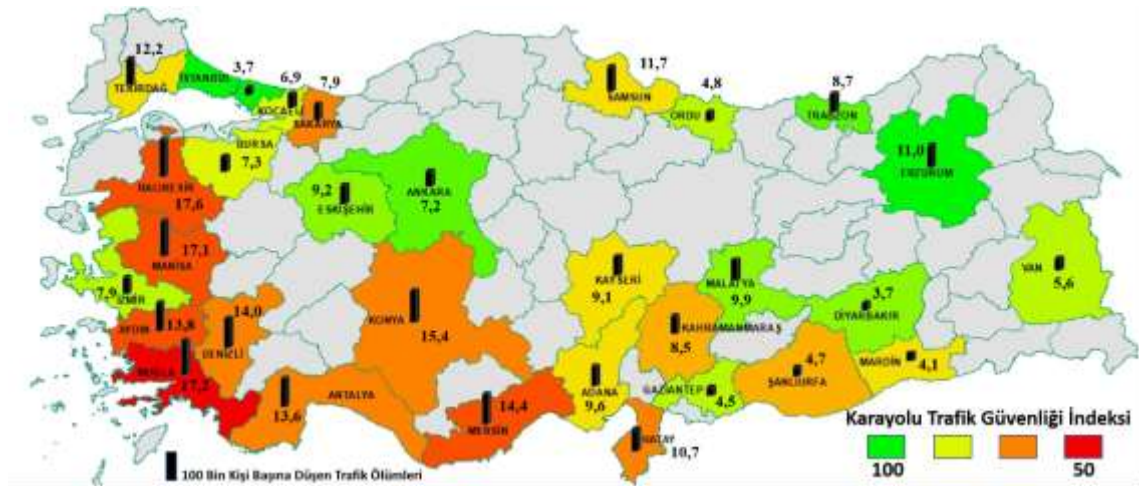


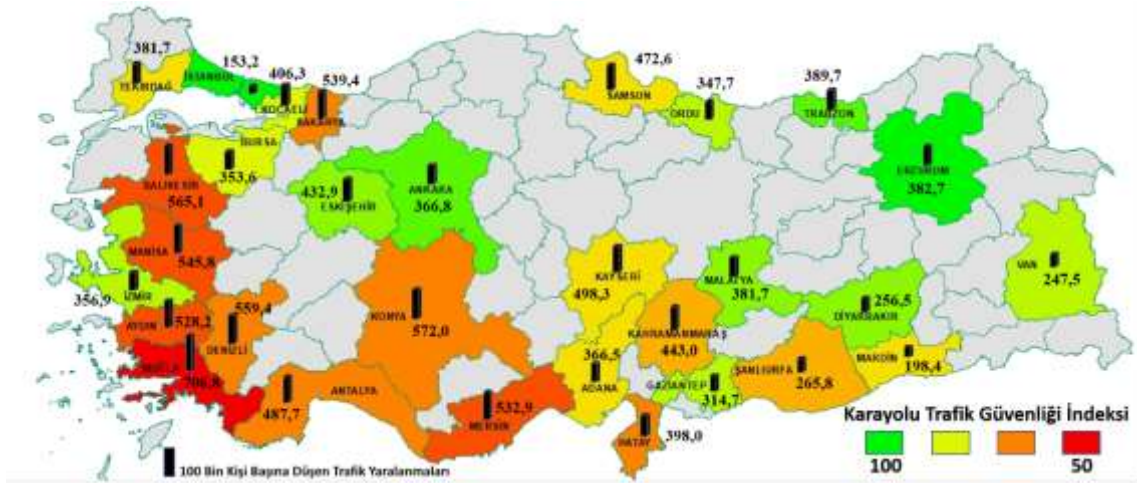
Şekil 3.10 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik kazaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)



Şekil 3.11 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik kazaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA)

Şekil 3.12’de ve Şekil 3.13’te TBA ve VZA indeks sonuçları ile nüfus başına düşen trafik ölümleri beraber gösterilmiştir. Buradan çıkan sonuca göre de nüfus başına düşen trafik ölümleri ve KTGİ skorları arasında bir ters orantı mevcuttur.





Şekil 3.14 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik yaralanmaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (TBA)



Şekil 3.15 Şehirlerde nüfus başına düşen trafik yaralanmaları ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması (VZA)

Bu altı şeklin hepsinde görüleceği üzere nüfus başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları ile KTGİ skorları arasında ters bir orantı mevcuttur. Analizde farklı alanlardan kullanılan göstergeler mevcut olsa da temel karayolu trafik güvenliği göstergeleri olan trafik kayıplarının (trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları) diğer göstergelerden bağımsız olarak da yaklaşık benzer sonuçları verdiği görülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan mevcut 30 büyükşehrin karayolu trafik güvenliği performanslarının ölçümüne dair bir temel oluşturulmaya çalışılmıştır. Karşılaştırmada kullanılmak üzere çeşitli alanlardan 2016 yılına ait 8 gösterge kullanılmıştır. Bu göstergeler temel bileşenler analizi ve veri zarflama analizi yöntemleri ile analiz edilerek ortaya bir KTGİ çıkarılmıştır. Ayrıca şehirlerin bazı karakteristik özellikleri kullanılarak bir kümeleme analizi de uygulanmıştır. Bu bölümde de çalışmaya ait genel sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.

4.1 Sonuçlar

Bu çalışma karayolu trafik güvenliği üzerine Türkiye’de bulunan mevcut 30 büyükşehri kapsayan en güncel çalışmadır. Benzer çalışmalardan ayrıldığı en belirgin nokta verilerin arzu edilen düzeyde ve yeterlilikte olmadığı durumlarda çalışmanın KTGİ hakkında ne kadar açıklayıcı olabileceğini göstermesidir.

Öncelikle TBA ve VZA sonuçlarının birbirleri ile uyuşmadığı görülmektedir. Bunun sebebi her iki yöntemin sürece olan yaklaşımlarından ibarettir. Şöyle ki TBA daha çok her bir göstergeyi ayrı olarak ele alıp ve daha sonra bunları kendi aralarındaki ilişkilere göre gruplayıp bir değerlendirme yapmaktadır. Yani TBA her bir göstergeyi ayrı olarak inceleyerek genel bir kanıya varmaktadır. VZA ise sonuca giderken girdileri ve çıktıları kullanmaktadır. Yani TBA’dan farklı olarak elde olan girdi miktarı ile üretilen çıktı miktarı arasındaki ilişkiyi inceleyip bir kanıya varmaktadır. Dolayısıyla sonuçlarda farklılıklar olması normaldir. Öneriler bölümünde bununla alakalı bir öneri de ortaya konulmuştur.

Hem TBA hem de VZA sonuçları ortak olarak göstermektedir ki kişi başına düşen gelirin ortalamaya (30 büyükşehrin ortalaması) yakın olduğu şehirler birkaç istisna dışında daha düşük karayolu trafik güvenliği performansına sahiptirler. Kişi başına gelir ortalamadan yükseldikçe ve azaldıkça şehirlerin karayolu trafik güvenliği puanları artmaktadır. Bu durum biraz daha incelendiğinde görülmektedir ki kişi başına gelirin

yüksek olduğu şehirlerde taşıt sahipliği oranı ortalamanın üzerinde, kişi başına düşen gelirin düşük olduğu şehirlerde de taşıt sahipliği oranı ortalamanın altındadır. Taşıt sahipliğinin kat edilen taşıt-kilometreyi yansıttığı varsayıldığında hareketliliğin en çok ve en az olduğu şehirlerde karayolu trafik güvenliği performansları daha yüksektir. Hareketliliğin yüksek olduğu şehirlerde bunun sebebi artan hareketliliğe bağlı olarak yaşanan trafik tıkanıklığı ve bunun getirdiği düşük trafik işletme hızlarıdır. Hareketliliğin az olduğu şehirlerde ise bir trafik kazasına maruz kalma riski düşmektedir ve bu durum onu istatistiksel açıdan daha güvenli göstermiştir.

Bir başka dikkat çeken nokta ise özellikle yaz turizminde turistler tarafından sıklıkla ziyaret edilen şehirlerin KTGİ'nde daha alt sıralarda yer almasıdır. Bu şehirlerde nüfus başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları genel olarak ortalamanın üzerindedir.

Bu çalışmada kullanılan göstergeler maalesef istenilen düzeyde ve yeterlilikte değildir. Literatürde kabul edilmiş mevcut yaklaşımlar dikkate alındığında bu göstergeler eksik kalmaktadır. Örneğin nüfus veya taşıt başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları gibi göstergeler yerine taşıt-kilometre başına düşen trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları gibi göstergeler daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Fakat veri eksikliği sebebiyle hem bu çalışmada hem de benzeri çalışmalarda taşıt-kilometre başına düşen istatistikler yerine nüfus ya da taşıt başına düşen istatistikler göz önüne alınmıştır. Aynı şekilde bu çalışmada acil durum yönetimini göstermek üzere nüfus başına düşen ambulans ve hastane yatağı sayısı gibi göstergeler kullanılmıştır. Fakat acil durumda gösterilen tepki süresi gibi bir gösterge daha gerçekçi olacaktır. Yine de bu çalışmada kullanılan göstergeler literatürde daha önce sıklıkla kullanılmıştır.

Yol güvenliğini 4 E (engineering-mühendislik, education-eğitim, enforcement-denetim, emergency-acil durum) ile ifade eden yaklaşıma göre denetim alanında kullanılabilecek bir veriye talep edilmesine rağmen ulaşılamamıştır. Bu çalışmamızda yer alan bir eksikliktir.

4.2 Öneriler

Ülkelerin GSYH'nın yaklaşık %3'üne denk gelen bir kayba neden olan trafik kazalarının önlenmesinde uygun çözümleri üretebilmek için uygulanacak başarılı ve kapsamlı bir veri analizi çok önemlidir (WHO, 2015). Ayrıca bu analizler her zaman

doğru kararları alabilmek, alınan önlemlerin etkisini ölçmek ve durumu sürekli olarak takip ederek kontrol altında tutabilmek adına çok önemlidir.

Bu çalışmanın bir amacı da şehirlerin birbirlerinden neler öğrenebileceğini göstermek ve bu sayede karar vericiler ve uygulayıcılar için fikir sağlamaktır. Bu açıdan bakıldığında kümeleme analizinin önemi de ortaya çıkmaktadır. Bu sayede benzer şehirler birbirleriyle iletişime geçip konu üzerine karşılıklı fikir alışverişi yürütebilirler. Kümeleme analizi daha kapsamlı verilerle geliştirilip tekrarlanabilir.

Her ne kadar Karayolları Genel Müdürlüğü ve Emniyet Genel Müdürlüğü altında çalışan trafik güvenliği birimleri mevcut olsa da ülke genelinde karayolu trafik güvenliği üzerine çalışan ve ilgili tüm disiplinleri içinde barındıran bir kurumun eksikliği görülmektedir. Bu alandaki iletişimi ve iş birliğini kolaylaştıracak ve sorumluluğun kendisinde olduğu bir kuruma ihtiyaç vardır. Karayolu trafik güvenliği üzerine başarılı işler çıkaran ülkelerden esinlenilip bir kurum oluşturulabilir. İsveç Ulusal Karayolu ve Ulaştırma Araştırma Enstitüsü (VTI), Hollanda Yol Güvenliği Araştırma Enstitüsü (SWOV) ve Birleşik Krallık Ulaştırma Araştırma Laboratuvarı (TRL) bu bağlamda örnek alınabilir.

Bu ve benzeri çalışmaların daha anlamlı olması ve literatüre daha fazla katkı yapabilmesi için kaliteli verilerin üretilmesi ve araştırmacılara açık bir şekilde paylaşılması gerekmektedir.

Arzu edilen veriler sağlandığında bu çalışma güncellenebilir. Güncellenmiş çalışma ile eski çalışma karşılaştırılarak önemli çıkarımlar yapılabilir.

Sonuçlar bölümünde görüleceği üzere TBA ve VZA yönteminin yaklaşımları sebebiyle analiz sonuçları farklılaşmaktadır. TBA göstergeleri ayrı olarak ele almakta ve VZA girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkileri incelemektedir. Bu durumda bu iki yöntemin de sonuca kattığı değerler çok önemlidir. O yüzden gelecek çalışmalarda bu iki yöntemin sonuçlarının bir araya getirilmesi üzerine çalışılabilir.

Farklı analiz yöntemleri de gelecek çalışmalarda uygulanarak yöntemlerin birbirleri üzerindeki avantajları ve dezavantajları değerlendirilebilir. Belki bu sayede bir önceki paragrafta önerilen, yöntemlerin sonuçlarının bir araya getirilmesi fikrine katkı sağlayacak diğer yöntemler de ortaya çıkarılabilir ve sonuçları bir araya getirilmesi planlanan yöntem sayısı artırılabilir.

Son olarak temel karayolu trafik güvenliği göstergelerinin (trafik kazaları, ölümleri ve yaralanmaları) diğer göstergelerden bağımsız olarak yaklaşık benzer sonuçları verdiği görülmektedir. Eğer gösterge sayısı daha fazla artırılıp daha çok alandan gösterge analize dahil edilse yine bu ilişki elde edilebilir miydi sorusu gelecek çalışmalarda incelenmelidir.

- Aarts, L., & Houwing, S. (2015). Benchmarking road safety performance by grouping local territories: A study in the Netherlands. *Transportation Research Part A*, 74, 174–185.
- Al-Haji, G. (2003). Road Safety Development Index (RSDI). *16th ICTCT workshop*. Soesterberg: International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety (ICTCT).
- Alper, D., Sinuany-Stern, Z., & Shinar, D. (2015). Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the Data Envelopment Analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 78, 39–50.
- Arıkan Öztürk, E. (2016). Türkiye'deki illerin trafik risk endeksi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 405-412.
- Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., & Janssens, D. (2012). Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. *Knowledge-Based Systems*, 32, 84–90.
- Bastos, J., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A. (2015). Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 61–73.
- Bax, C., Wesemann, P., Gitelman, V., Shen, Y., Goldenbeld, C., Hermans, E., . . . Aarts, L. (2012). *Developing a Road Safety Index*. Loughborough: Deliverable 4.9 of the EC FP7 project DaCoTa.
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Chen, F., Wang, J., & Deng, Y. (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS–RSR. *Safety Science*, 79, 39–54.
- Cooper, W., Li, S., Seiford, L., Tone, K., Thrall, R., & Zhu, J. (2001). Sensitivity and Stability Analysis in DEA: Some Recent Developments. *Journal of Productivity Analysis*, 15(3), 217-246.

- Cooper, W., Seiford, L., & Zhu, J. (2011). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Springer Science & Business Media.
- Çakmak, E., & Örkücü, H. (2016). Türkiye'deki İllerin Etkinliklerinin Sosyo-Ekonomik Temel Göstergelerle Veri Zarflama Analizi Kullanarak İncelenmesi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 30-48.
- Çoruh, E. (2013). *Türkiye karayollarında yol güvenliği için bir endeks geliştirme*. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dinc, M., & Haynes, K. E. (1999). Sources of regional inefficiency An integrated shift-share, data envelopment analysis and input-output approach. *The Annals of Regional Science*, 33(4), 469-489.
- Dincer, B., Özaslan, M., & Kavasoğlu, T. (2003). *İllerin ve Bölgelerin Sosyo-ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (2003)*. Devlet Planlama Teşkilatı (Şimdi Strateji ve Bütçe Başkanlığı).
- Dyson, R., Allen, R., Camanho, A., Podinovski, V., Sarrico, C., & Shale, E. (2001). Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 245-259.
- Egilmez, G., & McAvoy, D. (2013). Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis and Prevention*, 53, 55– 64.
- European Union's Statistical Office. (2016). *Products Datasets - Stock of vehicles by category and NUTS 2 regions*. European Union's Statistical Office Web site: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=tran_r_vehst adresinden alındı
- Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009b). Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 174-182.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2008). Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1337-1344.

- Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2009a). Uncertainty assessment of the road safety index. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(7), 1220–1228.
- Huber, S., Geiger, M., & De Almeida, A. (2019). *Multiple Criteria Decision Making and Aiding: Cases on Models and Methods with Computer Implementations*. Cham: Springer Nature Switzerland AG.
- Koornstra, M., Lynam, D., Nilsson, G., Noordzij, P., Petterson, H.-E., Wegman, F., & Wouters, P. (2002). *SUNflower: a comparative study of the development of road safety in Sweden, the United Kingdom, and the Netherlands*. Leidschendam: Institute for Road Safety Research (SWOV).
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). *Tools for Composite Indicators Building*. Ispra: European Commission Joint Research Center.
- New Zealand Land Transport Safety Authority. (2000). *Road Safety Strategy 2010: A Consultation Document*. California: National Road Safety Committee.
- OECD/International Transport Forum. (2016). *Safer City Streets: Methodology for Developing the Database and Network*. OECD/International Transport Forum.
- Oluwole, A., Abdul Rani, M., & Mohd Rohani, J. (2013). Integrating road safety indicators into performance road safety index. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(9), 693-698.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). *Data - Road Accidents*. Organisation for Economic Co-operation and Development Web site: <https://data.oecd.org/transport/road-accidents.htm> adresinden alındı
- Oruç, K. (2008). *Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama*. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Özden, Ü. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.
- Pešić, D., Vujanić, M., Lipovac, K., & Antić, B. (2013). New method for benchmarking traffic safety level for the territory. *Transport*, 28(1), 69-80.
- Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., & Božović, M. (2017). Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis and Prevention*, 98, 277–286.
- Sarı, Z. (2015). *Veri Zarflama Analizi ve Bir Uygulama*. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 430– 441.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Vanhoof, K., Brijs, T., & Wets, G. (2010). A DEA-based Malmquist productivity index approach in assessing road safety performance.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., & Vanhoof, K. (2011). A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15262–15272.
- Sunil Kumar , U., Gowtham, T., & Pooja, M. (2015). Study on Road Safety Index. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(8), 6879-6889.
- T.C. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü. (2014). *Türkiye'de İllerin Trafik Güvenliği Durumu: 2007-2012*. Ankara: T.C. Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü. http://www.trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/Arsiv/SiteAssets/Yayinlar/Kitaplar/EGM_Tamm_05_Titgd.pdf adresinden alındı
- T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. (2017). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2017*. Ankara: T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.

- Thomas, P., Chambers-Smith, D., Morris, A., Yannis, G., Evgenikos, P., Duchamp, G., . . . Martensen, H. (2009). *Building the European Road Safety Observatory*. Loughborough: Vehicle Safety Research Centre (VSRC).
- Thorne, J. (2018, March). *Introduction to Principal Components and Factor Analysis*. North Carolina State University Web site: <ftp://statgen.ncsu.edu/pub/thorne/molevoclass/AtchleyOct19.pdf> adresinden alındı
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2016). *Haber Bültenleri - Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu İnternet sayfası: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=TQxPpz2hM294Bgjq7F2ZRj1pKRRWWzTQFf1JTvvzjyQnFDGTYyJd!-1980405263?id=24606> adresinden alındı
- UCLA: Statistical Consulting Group. (2018, March). *Principal Component Analysis*. UCLA: Statistical Consulting Group Web site: https://stats.idre.ucla.edu/spss/output/principal_components/ adresinden alındı
- UCLA: Statistical Consulting Group. (2018, March). *What Does Cronbach's Alpha Mean?* UCLA: Statistical Consulting Group Web site: <https://stats.idre.ucla.edu/spss/faq/what-does-cronbachs-alpha-mean/> adresinden alındı
- Wegman, F., Commandeur, J., Doveh, E., Eksler, V., Gitelman, V., Hakkert, S., . . . Oppe, S. (2008). *SUNflowerNext: Towards a composite road safety performance index*. Leidschendam: Institute for Road Safety Research (SWOV).
- Wegman, F., Eksler, V., Hayes, S., Lynam, D., Morsink, P., & Oppe, S. (2005). *SUNflower+6. A comparative study of the development of road safety in the SUNflower+6 countries: Final report*. Leidschendam: Institute for Road Safety Research (SWOV).
- World Health Organization. (2015). *Global Status Report on Road Safety 2015*. Geneva: World Health Organization.

- World Health Organization. (2016). *Data - Population Data by Country*. World Health Organization Web site: <https://apps.who.int/gho/data/view.main.POP2040?lang=en> adresinden alındı
- World Health Organization. (2020). *Road traffic injuries*. World Health Organization Web site: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> adresinden alındı
- World Resources Institute. (2015). *Cities Safer by Design: Guidance and Examples to Promote Traffic Safety through Urban and Street Design*. Washington: World Resources Institute.
- Yaralıoğlu, K. (2004). *Uygulamada Karar Destek Yöntemleri*. İzmir: İlkem Ofset.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: y.emre.ylmz7@gmail.com

Makaleler

1. Yılmaz, Y. E., & Gürsoy, M., (2020). Development of a Composite Road Traffic Safety Performance Index: A Basis for Comparing Turkish Metropolitan Cities. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol.38, 769-784.