

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KULLANARAK OTOMOBİLLERİN ÇOK
BOYUTLU DEĞERLENDİRMESİ

MEHMET FURKAN YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. KEMAL SARICA

ŞUBAT 2026

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ KULLANARAK OTOMOBİLLERİN ÇOK
BOYUTLU DEĞERLENDİRMESİ

MEHMET FURKAN YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. KEMAL SARICA

ŞUBAT 2026

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**MULTIDIMENSIONAL EVALUATION OF AUTOMOBILES USING
DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**



MEHMET FURKAN YILDIZ

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. KEMAL SARICA

FEBRUARY 2026

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 13/01/2026 tarih ve 2026/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/02/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mehmet Furkan YILDIZ'ın tez çalışması Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Kemal SARICA

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Figen ÖZTOPRAK TOPKAYA

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe CİLACI TOMBUŞ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

*Bütün yolumun rehberi canım babam Celal Yıldız'a ve
göz aydınlığım Kerem Efe ve Celal Erdem'e.*

02.02.2026

ÖZET

Otomotiv sektörü, elektrifikasyon süreci ve değişen tüketici öncelikleriyle birlikte köklü bir yapısal dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşüm, araçların performans değerlendirmesinde tek boyutlu göstergelerin (yalnızca fiyat veya yakıt tüketimi gibi) yetersiz kalmasına neden olmuş; teknik, ekonomik ve performans kriterlerini aynı anda ele alan çok boyutlu analizleri zorunlu kılmıştır. Bu tez çalışması, Türkiye otomotiv pazarında satışta bulunan B, C ve D segmentindeki 66 adet içten yanmalı ve elektrikli binek otomobilin göreceli etkinlik düzeylerini, kullanım bağlamına (context of use) göre değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada araçlar; Şehir İçi, Şehir Dışı ve Karma olmak üzere üç farklı sürüş senaryosu altında analiz edilmiştir. Analizin özgünlüğü, her senaryonun dinamiklerine uygun veri setlerinin kullanılmasında yatmaktadır. Tüm senaryolarda satış fiyatı ve dolmuş/şarj süresi ortak girdi olarak kullanılırken; yakıt/enerji tüketimi verisi her senaryo için o sürüş döngüsüne özgü (şehir içi için şehir içi tüketim, şehir dışı için şehir dışı tüketim vb.) değerlerden seçilmiştir. Benzer şekilde çıktı değişkenleri de senaryoya göre farklılaştırılmış; Şehir İçi senaryosunda manevra kabiliyetini temsilen araç uzunluğunun tersi ($1/\text{uzunluk}$), Şehir Dışı senaryosunda uzun yol konforunu temsilen bagaj hacmi, Karma senaryoda ise genel performansı temsilen motor gücü kullanılmıştır. Yöntem olarak, genel teknik etkinliği ölçen radyal tabanlı CCR modeli ile değişken bazlı verimsizlik kaynaklarını (slacks) tespit eden SBM (Slack-Based Measure) modeli bütünleşik bir çerçevede uygulanmıştır. Araştırma bulguları, verimliliğin statik bir değer olmadığını kanıtlamaktadır. Şehir İçi senaryosunda, kompakt boyutları ve düşük maliyetleri sayesinde B segmenti araçlar ve hibrit teknolojisi verimlilik liderliğini üstlenirken; Şehir Dışı senaryosunda geniş bagaj hacmi ve yüksek motor performansı sayesinde D segmenti araçlar maliyet dezavantajlarını tolere ederek öne çıkmıştır. En zorlu koşul olan Karma senaryoda ise elektrikli araçların, içten yanmalı motorların mevcut termodinamik sınırları dahilinde ulaşması zor yeni bir verimlilik standardı belirlediği tespit edilmiştir. Metodolojik olarak, CCR ve SBM modellerinde tam etkin araç kümesinin birebir aynı çıkması, pazar lideri araçların "Güçlü Etkinlik" sergilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca segment bazlı (yerel) ve pazar geneli (küresel) analizler arasındaki farklar, bazı modellerin kendi sınıfında lider olsa da küresel teknolojik rekabette ölçek dezavantajı yaşadığını göstermiştir.

Sonuç olarak bu çalışma; Türkiye'ye özgü yüksek vergi ve yakıt maliyetleri altında rasyonel araç tercihinin kullanım senaryosuna ve o senaryoya özgü teknik parametrelere göre nasıl şekillendiğini somut verilerle ortaya koyarak; tüketiciler, üreticiler ve politika yapıcılar için stratejik bir karar destek zemini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri Zarflama Analizi (VZA), Senaryo Bazlı Analiz, CCR ve SBM Modelleri, Otomotiv Sektörü, Çok Boyutlu Performans Değerlendirme.

ABSTRACT

The automotive sector is undergoing a radical structural transformation driven by electrification and shifting consumer priorities. This transformation has rendered one-dimensional indicators (such as price or fuel consumption alone) insufficient for performance evaluation, necessitating multidimensional analyses that simultaneously consider technical, economic, and performance criteria. This thesis aims to evaluate the relative efficiency levels of 66 internal combustion and electric passenger cars in the B, C, and D segments available in the Turkish automotive market, based on their context of use.

The vehicles were analyzed under three different driving scenarios: Urban, Intercity, and Combined. A key feature of the methodology is the use of scenario-specific datasets; while purchase price and refueling/charging time were used as common inputs, the fuel/energy consumption data was selected specifically for each driving cycle (e.g., urban consumption for the urban scenario). Similarly, output variables were differentiated according to scenario dynamics: the inverse of vehicle length ($1/\text{length}$) was used in the Urban scenario to represent maneuverability, luggage capacity in the Intercity scenario for long-distance comfort, and horsepower in the Combined scenario for general performance. Methodologically, the radial-based CCR model was used to measure overall technical efficiency, while the SBM (Slack-Based Measure) model was employed within an integrated framework to identify variable-based sources of inefficiency (slacks).

Research findings demonstrate that efficiency is not a static value. In the Urban scenario, B-segment vehicles and hybrid technology took the efficiency lead due to their compact dimensions and low costs; whereas in the Intercity scenario, D-segment vehicles stood out by tolerating cost disadvantages through large luggage capacity and high engine performance. In the Combined scenario, representing the most challenging condition, it was determined that electric vehicles set a new efficiency standard that internal combustion engines cannot reach within current thermodynamic limits. Methodologically, the identical set of fully efficient vehicles in both CCR and SBM models revealed that market leaders exhibit "Strong Efficiency." Furthermore, differences between segment-based (local) and market-wide (global) analyses showed that, some models may lead within their class but face scale disadvantages in global technological competition.

In conclusion, this study provides a strategic decision support basis for consumers, manufacturers, and policymakers by concretely demonstrating how rational vehicle preference in Turkey, under high tax and fuel costs, is shaped according to usage scenarios and scenario-specific technical parameters.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA), Scenario-Based Analysis, CCR and SBM Models, Automotive Sector, Multidimensional Performance Evaluation.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgisiyle beni yönlendiren, tezin planlanmasından sonuçlandırılmasına kadar her aşamada desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Kemal Sarıca hocama saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İyi insan olmanın her şeyden daha kıymetli olduğunu öğreten ve ömrü boyunca dayanak noktam olan canım, yoldaşım babam Celal Yıldız'a özlem ve hasretimi sunuyorum.

Akademik çalışmalarım süresince gösterdiği sabır, anlayış ve sonsuz fedakârlık için sevgili eşim Rana'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışma masamın neşesi, geleceğe dair en güzel umudum olan evlatlarım Kerem Efe ve Celal Erdem'e sevgilerimi sunuyorum.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, dualarını ve desteklerini her daim hissettiğim, fedakâr canım anneme ve ablalarımın minnettarım.

Son olarak, akademik gelişimime katkı sunan Gebze Teknik Üniversitesi'nin değerli öğretim üyelerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Problemin Tanımı	2
1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Yöntemsel Çerçevesi	2
1.3. Türkiye Bağlamında Literatür Boşluğu	3
1.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yapısı	4
2. TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Temel Kavramlar	5
2.2. Veri Zarflama Analizi'nin Yapısı ve Temel İlkeleri	6
2.3. Literatürde VZA ve Otomotiv Uygulamaları	7
2.4. Literatürün Özeti ve Araştırma Boşlukları	8
3. YÖNTEM VE VERİ SETİ	9
3.1. Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı	9
3.1.1. Model Seçimi (CCR ve SBM)	9
3.1.2. Girdi ve Çıktı Yönelimli Modellerin Karşılaştırması	11
3.2. Araştırma Tasarımı ve Senaryolar	12
3.2.1. Şehir İçi Senaryosu	12
3.2.2. Şehir Dışı Senaryosu	13
3.2.3. Karma Senaryo	14
3.3. Veri Toplama ve Kaynaklar	15
3.4. Model Kurulumu ve Çözüm Süreci	16
3.5. Korelasyon Analizi ve Değişken Seçimi	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Genel Bulguların Değerlendirilmesi	21
4.2. Şehir İçi Bulgular	27
4.2.1. Şehir İçi – B Segmenti Bulguları	28
4.2.2. Şehir İçi – C Segmenti Bulguları	31
4.2.3. Şehir İçi – D Segmenti Bulguları	34
4.3. Şehir Dışı Bulgular	36
4.3.1. Şehir Dışı – B Segmenti Bulguları	38
4.3.2. Şehir Dışı – C Segmenti Bulguları	41
4.3.3. Şehir Dışı – D Segmenti Bulguları	43
4.4. Karma Senaryosu Bulguları	45
4.4.1. Karma – B Segmenti Bulguları	47
4.4.2. Karma – C Segmenti Bulguları	49
4.4.3. Karma – D Segmenti Bulguları	52
4.5. Segmentler Arası Karşılaştırma ve Türkiye Bağlamı	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
5.1. Çalışmanın Genel Bulguları	56

5.2. Pratik Katkılar	57
5.3. Çalışmanın Kısıtları	58
5.4. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	63



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ACEA	: Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği (European Automobile Manufacturers' Association)
BCC	: Banker, Charnes ve Cooper Modeli (Değişken Getirili VZA)
CCR	: Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli (Sabit Getirili VZA)
CRS	: Ölçeğe Göre Sabit Getiri (Constant Returns to Scale)
DMU	: Karar Verme Birimi (Decision Making Unit)
EV	: Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç (Hybrid Electric Vehicle)
ICE	: İçten Yanmalı Motor (Internal Combustion Engine)
KDV	: Katma Değer Vergisi
KVB	: Karar Verme Birimi
ODMD	: Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği
OICA	: Uluslararası Motorlu Araç Üreticileri Örgütü (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles)
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
SBM	: Aylak Değişken Bazlı Ölçüm (Slack-Based Measure)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VRS	: Ölçeğe Göre Değişken Getiri (Variable Returns to Scale)
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WLTP	: Dünya Çapında Uyumlu Hafif Araçlar Test Prosedürü (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Şehir İçi Girdi ve Çıktı Değişkenleri	12
Şekil 3.2 Şehir Dışı Girdi ve Çıktı Değişkenleri	13
Şekil 3.3: Karma Girdi ve Çıktı Değişkenleri	14
Şekil 4.1: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Skorları (CCR Modeli)	24
Şekil 4.2: Senaryo x Segment Etkinlik Oranları (CCR).	25
Şekil 4.3: Şehir İçi Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar	27
Şekil 4.4: Şehir İçi - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	29
Şekil 4.5: Şehir İçi - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli)	32
Şekil 4.6: Şehir İçi - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	35
Şekil 4.7: Şehir Dışı Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar.	37
Şekil 4.8: Şehir Dışı - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli)	39
Şekil 4.9: Şehir Dışı - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	41
Şekil 4.10: Şehir Dışı - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	44
Şekil 4.11: Karma Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar.	46
Şekil 4.12: Karma - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	47
Şekil 4.13: Karma - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	50
Şekil 4.14: Karma - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).	52

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Değişkenler, Ölçü Birimleri ve Senaryo Bazında Kullanımları	18
Tablo 3.2: Girdi ve Çıktı Değişkenleri Arasındaki Korelasyon Matrisi	19
Tablo 4.1: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Sonuçları (CCR Modeli)	22
Tablo 4.2: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Sonuçları (SBM Modeli)	26
Tablo 4.3: Şehir İçi-Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	30
Tablo 4.4: Şehir İçi-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	33
Tablo 4.5: Şehir İçi-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	36
Tablo 4.6: Şehir Dışı-Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	40
Tablo 4.7: Şehir Dışı-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	42
Tablo 4.8: Şehir Dışı-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	45
Tablo 4.9: Karma - Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	48
Tablo 4.10: Karma-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	51
Tablo 4.11: Karma-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri	53

1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sektörü, teknolojik dönüşümün en hızlı yaşandığı alanlardan biri hâline gelmiştir. Elektrifikasyon, dijitalleşme ve çevresel sürdürülebilirlik gereksinimleri, üretimden tüketime kadar tüm süreçleri yeniden şekillendirmektedir. Bu dönüşüm, otomobil modellerinin değerlendirilmesinde tek boyutlu göstergelerin yetersiz kalmasına yol açmıştır. Artık yalnızca yakıt tüketimi veya satış fiyatı değil; enerji verimliliği, dolum/şarj süresi, motor gücü, konfor düzeyi ve boyutsal özellikler gibi birden fazla değişkenin birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Bu çok boyutlu yapı, araçların göreceli performanslarının nesnel biçimde analiz edilebilmesi için sistematik ve veri temelli yöntemlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çerçevede Veri Zarflama Analizi (VZA), çoklu girdi ve çıktı içeren sistemlerin göreceli etkinliklerini ölçmede güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. VZA'nın parametrik olmayan yapısı, üretim fonksiyonuna önsel bir form dayatmadan etkinlik sınırının doğrudan veriden elde edilmesine imkân vermektedir. Böylece farklı ölçü birimlerinde tanımlanmış değişkenler aynı analiz çerçevesinde değerlendirilebilmekte; farklı segment ve teknolojiye sahip araçlar ortak bir etkinlik sınırında karşılaştırılabilmektedir. Bu özellik, ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu otomotiv sektörü için yöntemi son derece uygun hâle getirmektedir.

Türkiye otomotiv pazarı ise yüksek vergiler, motor hacmine dayalı vergilendirme sistemi, yakıt ve enerji maliyetleri gibi özgün yapısal özellikleri nedeniyle Avrupa pazarlarından ayrılmaktadır. Tüketiciler, yalnızca teknolojik niteliklere değil, aynı zamanda fiyat, vergi yükü ve işletme maliyetlerine karşı yüksek duyarlılık göstermektedir. Bu nedenle, Türkiye pazarında satışta bulunan araçların çok boyutlu bir etkinlik analiziyle değerlendirilmesi hem akademik hem sektörel hem de politika yapıcılar açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında, Türkiye pazarında satışta bulunan binek otomobillerin çok boyutlu performansı, içten yanmalı ve elektrikli araçları birlikte kapsayacak biçimde senaryo temelli VZA yaklaşımıyla analiz edilmektedir. Böylece hem geleneksel motor teknolojileri hem de elektrikli araçlar, aynı metodolojik çerçeve altında göreceli etkinlik bakımından karşılaştırılmaktadır.

1.1. Araştırmanın Arka Planı ve Problemin Tanımı

Küresel otomotiv pazarı, son yıllarda enerji dönüşümü, karbon azaltım hedefleri ve tüketici taleplerindeki değişimlerle birlikte çok katmanlı bir rekabet alanına dönüşmüştür. Özellikle elektrikli araçların yükselişi, içten yanmalı motorlu araçların üretim ve satış stratejilerinde köklü farklılıklar yaratmıştır. Buna paralel olarak araçların teknik, ekonomik ve çevresel performanslarının birlikte değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Türkiye otomotiv pazarında ise yüksek ÖTV ve KDV oranları, motor hacmine dayalı vergilendirme yapısı ve yakıt/enerji maliyetleri hem üretici hem tüketici tercihlerini doğrudan etkileyen unsurlardır. Tüketiciler, araç tercihlerinde yalnızca teknolojik özelliklere değil; satın alma fiyatına, vergiler dâhil toplam maliyete ve kullanım sürecindeki yakıt/enerji giderlerine yüksek duyarlılık göstermektedir. Bu özgün yapı, Türkiye pazarındaki araçların performansının yalnızca teknik açıdan değil, ekonomik ve kullanıcı odaklı değişkenlerle de birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda araştırmanın temel problemi şu şekilde özetlenebilir:

Türkiye pazarında satışta bulunan içten yanmalı ve elektrikli binek araçların, farklı sürüş senaryoları (şehir içi, şehir dışı, karma) altında; fiyat, enerji/yakıt tüketimi, dolum süresi, motor gücü ve boyutsal özellikler gibi çok sayıda değişken dikkate alınarak göreceli etkinliklerinin nasıl ölçülebileceği ve karşılaştırılabileceğidir.

Bu çalışma, söz konusu problemi ürün/araç düzeyinde ele alarak, tüketici bakış açısından çok boyutlu etkinlik analizi sunmayı amaçlamaktadır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Yöntemsel Çerçevesi

Bu çalışmada, Türkiye pazarında satışta bulunan binek otomobiller üç farklı kullanım senaryosu altında analiz edilmiştir: şehir içi, şehir dışı ve karma sürüş koşulları. Analiz kapsamında içten yanmalı ve elektrikli araçlar dâhil olmak üzere B, C ve D segmentlerinde toplam 66 model yer almaktadır. Fiyat verileri 2023–2024 dönemi kataloğundan; yakıt ve enerji tüketimi değerleri ise WLTP standartlarına dayalı katalog verilerinden elde edilmiştir.

Girdi değişkenleri olarak senaryo özelinde farklılaşan araç fiyatı, enerji veya yakıt tüketimi ve dolum/şarj süresi; çıktı değişkenleri olarak ise motor gücü, gövde uzunluğu

ve bagaj hacmi kullanılmıştır. Elektrikli araçlarda enerji tüketimi, literatürde yaygın olarak kullanılan dönüşüm katsayıları temel alınarak litre eşdeğerine dönüştürülmüş; böylece tüm araç tipleri ortak bir ölçekte karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir.

Bu çalışmanın analiz aşamasında, otomobillerin performansını çok boyutlu olarak değerlendirebilmek ve bulguların güvenilirliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla iki aşamalı bir Veri Zarflama Analizi (VZA) stratejisi izlenmiştir. İlk aşamada, karar verme birimlerinin genel teknik etkinlik skorlarını hesaplamak ve oransal girdi azaltım potansiyellerini belirlemek üzere girdi yönelimli CCR modeli uygulanmıştır. Takip eden aşamada ise, klasik CCR modelinin gözden kaçırabileceği "atıl değerleri" (slacks) hesaba katmak ve ilk modelden elde edilen etkinlik skorlarını daha katı bir süzgeçten geçirmek amacıyla SBM (Slack-Based Measure) modeli kullanılmıştır. Bu ikili yaklaşım hem sonuçların doğrulanmasına hem de radyal ve radyal olmayan ölçümler arasındaki olası verimlilik farklarının detaylıca analiz edilmesine olanak tanımıştır. Bu yaklaşım, yalnızca etkin/etkin olmayan ayrımını yapmakla kalmayıp, aynı zamanda etkin olmayan bir aracın hangi girdilerde ne kadar azaltım veya hangi çıktılarda ne kadar artış yapması gerektiğini de ortaya koymaktadır. Üç farklı sürüş senaryosunun ayrı ayrı değerlendirilmesi, araçların farklı kullanım bağlamlarındaki performans farklılıklarını görünür kılmakta ve analizin çok boyutlu yapısına bütünlük kazandırmaktadır.

1.3. Türkiye Bağlamında Literatür Boşluğu

Veri Zarflama Analizi literatürde özellikle enerji, ulaştırma, çevre ve üretim sistemleri gibi alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak otomotiv sektöründe yapılan çalışmaların büyük bölümü, firma veya ülke düzeyinde etkinlik analizlerine odaklanmakta; ürün düzeyinde, doğrudan araç modellerini karşılaştıran çok boyutlu analizlerin sınırlı olduğu görülmektedir.

Türkiye bağlamında ise bu eksiklik daha belirgindir. Yerel pazarın vergilendirme yapısı, fiyat dinamikleri ve tüketici davranışları dikkate alınarak hazırlanmış, araç modeli düzeyinde kapsamlı etkinlik analizleri oldukça az sayıdadır. İçten yanmalı ve elektrikli araçları birlikte ele alan, senaryo temelli ve geniş veri setine dayalı çalışmalara rastlanmamaktadır.

Bu nedenle, Türkiye pazarında satışta bulunan binek araçları çok boyutlu bir yöntemle değerlendiren, senaryo bazlı ve ürün düzeyinde tasarlanmış bu çalışma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

1.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yapısı

Bu tezin temel amacı, Türkiye otomotiv pazarında satışta bulunan binek araçların çok boyutlu performanslarını, senaryo temelli Veri Zarflama Analizi yöntemiyle değerlendirmektir.

Bu amaç doğrultusunda çalışma şu araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

1. Türkiye pazarında satışta bulunan binek araçlar, üç farklı sürüş senaryosunda göreceli etkinlik bakımından nasıl bir dağılım göstermektedir?
2. İçten yanmalı ve elektrikli araçlar, farklı senaryolar altında fiyat, tüketim, dolum süresi ve performans değişkenleri açısından nasıl karşılaştırılmaktadır?
3. Etkin olmayan araçların hangi girdilerde ne kadar azaltım ve hangi çıktılarda ne kadar artış yapması gerektiği nasıl belirlenmektedir?

Tezin katkıları üç başlık altında özetlenebilir:

- **Akademik katkı:** Türkiye pazarına özgü güncel veri seti üzerinden ürün düzeyinde çok boyutlu etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir.
- **Yöntemsel katkı:** CCR ve SBM modellerinin birlikte kullanılması hem genel etkinlik skorunun hem de elde edilen sonuçların iyileştirme gereksinimlerinin ortaya konmasını sağlamaktadır.
- **Pratik katkı:** Fiyat ve tüketim gibi tüketici kararlarında belirleyici unsurların çok boyutlu analizi; üreticiler, tüketiciler ve politika yapıcılar için karar destek niteliği taşımaktadır.

Bu tez, toplamda beş ana bölümden oluşmaktadır. Araştırmanın genel çerçevesinin sunulduğu birinci bölümü takiben, ikinci bölüm konuyla ilgili literatür incelemesine ayrılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın veri seti, kullanılan yöntem ve analiz süreci detaylandırılırken; dördüncü bölümde analizden elde edilen bulgular ve bunlara ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır. Çalışma, sonuçların, kısıtların ve geleceğe yönelik önerilerin sunulduğu beşinci bölüm ile tamamlanmaktadır.

2. TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR TARAMASI

Otomotiv sektörü, çoklu girdi ve çoklu çıktı yapısıyla performans ölçümünün en karmaşık olduğu endüstrilerden biridir. Bir aracın fiyatı, motor gücü, enerji tüketimi, batarya kapasitesi, tork, dolum süresi veya ağırlık gibi unsurlar hem teknik hem ekonomik yönleriyle birbirini etkilemektedir. Bu nedenle tek boyutlu değerlendirme yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmanın temelini oluşturan Veri Zarflama Analizi (VZA), farklı ölçü birimlerine sahip değişkenleri ortak bir yapıda değerlendirmeye olanak sağlayarak araçların göreceli etkinliklerini nesnel şekilde ortaya koymaktadır. Bu bölümde temel kavramlar açıklanmakta, VZA modelleri tanıtılmakta ve otomotiv sektöründeki uygulamalar literatür kapsamında değerlendirilmektedir.

2.1. Temel Kavramlar

Verimlilik, elde edilen çıktının bu çıktıyı üretmek için kullanılan girdilere oranı olarak tanımlanır. Otomotiv bağlamında verimlilik; bir aracın belirli enerji, maliyet ve teknik donanımlarla ne kadar performans üretebildiğini ifade etmektedir. Enerji tüketimi daha düşük veya menzili daha yüksek bir araç, benzer sınıftaki rakiplerine göre daha yüksek verimlilik sunmaktadır.

Etkinlik kavramı, verimlilikten farklı olarak mevcut girdilerin ne ölçüde ideal çıktıya dönüştürülebildiğini değerlendirir. Etkinlik, bir karar biriminin gözlenen performansının mümkün olan en iyi performansa ne kadar yakın olduğunu gösterir. VZA'nın temel prensibi, etkin olan karar birimlerinin oluşturduğu sınırın (frontier) referans alınması ve diğer birimlerin bu sınıra göre değerlendirilmesidir. Etkinlik değeri 1 olan araçlar tam etkin kabul edilirken, 1'in altındaki değerler iyileştirme potansiyelini göstermektedir.

Etkililik, hedeflenen performansın ne ölçüde sağlandığını ifade eder. Bir aracın düşük emisyon hedeflerini karşılaması veya şehir içi kullanımda talep edilen tüketim düzeyine ulaşması etkililik göstergesidir. Otomotiv sektöründe performans değerlendirmesi, verimlilik, etkinlik ve etkililik kavramlarının birlikte ele alınmasını gerektirir. VZA, bu çok boyutlu yapıyı tek bir etkinlik skoruna indirger. Böylece hem içten yanmalı hem de elektrikli araçlar farklı teknik ve ekonomik göstergeler dikkate alınarak ortak bir yapıda karşılaştırılabilir hale gelir. Ayrıca model çıktıları hangi

değişkenlerde iyileştirme gerektiğini gösterdiği için üretim, AR-GE ve fiyatlandırma stratejilerine katkı sağlar.

2.2. Veri Zarflama Analizi'nin Yapısı ve Temel İlkeleri

Veri Zarflama Analizi, çoklu girdi ve çoklu çıktı yapısına sahip karar birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek için kullanılan parametrik olmayan doğrusal programlama temelli bir yöntemdir. Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından geliştirilen CCR modeli, sabit getiri varsayımı altında çalışmakta ve tüm karar birimlerinin aynı ölçek yapısına sahip olduğunu kabul etmektedir. Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından geliştirilen BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getiri varsayımıyla farklı büyüklüklerdeki karar birimlerinin daha adil karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

VZA, regresyon gibi istatistiksel yöntemlerden farklı olarak üretim fonksiyonuna ilişkin önsel bir varsayımda bulunmaz. Bunun yerine gözlenen verilerden bir etkinlik sınırı oluşturur ve karar birimlerinin bu sınıra olan uzaklığını ölçer. Etkinlik skorunun 1'e eşit olması birimin etkin olduğunu, 1'in altında olması iyileştirme potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. Girdi yönelimli modeller girdilerin minimize edilmesini, çıktı yönelimli modeller ise çıktıların maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmada tüketici bakış açısı temel alındığından girdi yönelimli yaklaşım tercih edilmiş; böylece fiyat, enerji tüketimi ve dolum süresi gibi girdilerin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

[**Tone, 2001**] tarafından geliştirilen Slacks-Based Measure (SBM) modeli, klasik radyal modellerin (örneğin CCR) aksine radyal olmayan bir yapıya sahiptir. Radyal modellerde etkinlik skoru, girdilerin yalnızca oransal olarak azaltılmasıyla hesaplanır ve geriye kalan atıl değerler (slacks) skora yansıtılmaz. Buna karşın SBM modeli, girdi ve çıktı fazlalıklarını (slacks) doğrudan amaç fonksiyonuna dahil ederek hesaplama yapar. Bu sayede, sadece oransal iyileştirmeleri değil, tüm 'karışık etkinliksizlikleri de kapsayan, daha katı ve gerçekçi bir etkinlik skoru elde edilir.

2.3. Literatürde VZA ve Otomotiv Uygulamaları

VZA'nın otomotiv sektörüne uygulanması son yıllarda hız kazanmıştır. [Liu, Lu ve Lu, 2016] tarafından yapılan kapsamlı bir inceleme, enerji verimliliği ve araç performans analizlerinde VZA'nın en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olduğunu göstermektedir. [Sueyoshi, Goto ve Yuan, 2017], çevresel etkinliği değerlendirmek üzere karbon emisyonunu modele dahil ederek otomotivde çevresel performansı analiz etmişlerdir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, VZA'nın araç performans değerlendirmesinde farklı bakış açılarıyla ele alındığı görülmektedir. [Güral ve Buğatekin, 2018], Türkiye pazarındaki otomobilleri doğrudan tüketici perspektifiyle analiz ederek fiyat ve yakıt tüketimi gibi temel kriterlerin satın alma kararlarındaki rolünü vurgulamışlardır. Ürün tasarımı boyutunda ise [Parque vd. ,2019], araçların boyutsal ve ağırlık parametrelerini tasarım değişkeni olarak modele dahil etmiş ve mühendislik odaklı bir performans değerlendirmesi sunmuşlardır.

Son yıllarda çevresel faktörlerin ve yasal düzenlemelerin etkisi de çalışmalara yansımıştır. [Stefanoni ve Voltes-Dorta, 2021], otomotiv üreticilerinin teknik etkinliklerini analiz ederken finansal göstergelerin yanı sıra Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (ESG) skorlarını da modele katarak sürdürülebilirlik boyutuna dikkat çekmişlerdir. Benzer şekilde [Lim ve Yang, 2019], emisyon regülasyonlarının motor teknolojileri üzerindeki etkisini inceleyerek, küçülen motor hacmi ve turbo teknolojilerinin verimlilik üzerindeki teknolojik baskısını boylamsal olarak değerlendirmişlerdir.

[Dai, Li, Lei, An ve Tang, 2019], Çin otomobil pazarında araç bakım maliyetleri, yakıt tüketimi ve satış fiyatı gibi değişkenleri kullanarak tüketici bazlı etkinlik değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. [Lee, Kim ve Park, 2023] ise elektrikli ve içten yanmalı araçları SBM modeliyle karşılaştırmış ve elektrikli araçların özellikle şehir içi kullanımda daha yüksek enerji etkinliği sağladığını ortaya koymuştur.

Bunun yanında dinamik DEA modelleri [Chung, Färe & Grosskopf, 1997], zaman bağımlı performans değişimlerini analiz etmek için; ağ (network) DEA modelleri, üretim süreçlerinin çok aşamalı yapısını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe batarya üretimi, enerji dönüşüm süreçleri ve tedarik zinciri analizleri gibi alanlarda ağ DEA uygulamalarına rastlanmaktadır.

Türkiye’de otomobil düzeyinde ürün bazlı DEA uygulamaları sınırlıdır. Mevcut çalışmalar çoğunlukla üretici firmaların finansal etkinliği, verimlilik analizi veya emisyon performansı üzerine yoğunlaşmaktadır. Yapılan incelemelerde araç modellerinin teknik, ekonomik ve enerji göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesine yönelik güncel ve kapsamlı bir çalışma bulunamamıştır. Bu durum, Türkiye pazarına özgü vergilendirme yapısı (ÖTV, MTV), enerji maliyetleri ve kullanıcı tercihleri dikkate alındığında önemli bir literatür boşluğunu işaret etmektedir.

2.4. Literatürün Özeti ve Araştırma Boşlukları

Literatür genel olarak VZA’nın çok boyutlu performans analizinde güçlü bir yöntem olduğunu göstermektedir. CCR modeli genel etkinliği belirlerken, SBM modeli değişken bazlı iyileştirmeleri ayrıntılı şekilde analiz edebilmektedir. Ancak çalışmaların önemli bir kısmı firma düzeyinde gerçekleşmiş olup araç bazlı çalışmalar sınırlıdır. Mevcut araştırmalar çoğunlukla yakıt tüketimi veya emisyon performansı gibi tekil göstergelere odaklanmakta, çoklu kriterli kullanıcı bazlı değerlendirmeler ihmal edilmektedir. Bu çalışma, Türkiye pazarında satışta bulunan binek otomobillerin fiyat, enerji tüketimi, dolum süresi, boyut ve performans gibi çoklu değişkenlerle birlikte değerlendirilmesini sağlayarak literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Ayrıca şehir içi, şehir dışı ve karma sürüş senaryolarının ayrı ayrı analiz edilmesi, araçların kullanım bağlamına göre farklılaşan etkinliklerini ortaya koyarak literatüre özgün katkı sunmaktadır.

3. YÖNTEM VE VERİ SETİ

Bu bölümde araştırmada kullanılan yöntemsel çerçeve ve uygulama adımları ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Öncelikle seçilen analiz yöntemi olan Veri Zarflama Analizi (VZA) açıklanmış, ardından model seçimi, yönelimi, veri seti, değişkenler ve senaryolar tanıtılmıştır. Son olarak, veri kaynakları, ön işleme süreci ve analiz adımları aktarılmıştır.

3.1. Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı

Bu çalışmada araçların göreceli etkinlik düzeylerini ölçmek amacıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılmıştır. VZA, aynı türdeki karar verme birimlerinin (Decision Making Units – DMU) çoklu girdi ve çoklu çıktı yapıları altında etkinliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendiren parametrik olmayan bir yöntemdir. İlk olarak [Charnes, Cooper ve Rhodes, 1978] tarafından geliştirilen bu yöntem, her birim için gözlemlenen girdi ve çıktı kombinasyonlarını kullanarak bir etkinlik sınırı oluşturur ve her bir birimin bu sınıra göre ne ölçüde etkin olduğunu belirler.

VZA'nın otomotiv sektörüne uygulanması, farklı segmentlerdeki araçların teknik, ekonomik ve performans özelliklerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlar. Özellikle hem içten yanmalı hem de elektrikli araçların bir arada bulunduğu günümüz pazarında, çoklu kriterlerin birlikte ele alınması bu yöntemi oldukça uygun hale getirmektedir.

3.1.1. Model Seçimi (CCR ve SBM)

Bu tezde, iki farklı VZA modeli uygulanmıştır: CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) modeli ve SBM (Slack-Based Measure) modeli.

CCR modeli, [Charnes, Cooper ve Rhodes, 1978] tarafından geliştirilen ve sabit getiri varsayımı (constant returns to scale) altında çalışan klasik modeldir. Bu model, her karar biriminin mevcut çıktısını sabit tutarak girdilerini ne ölçüde azaltabileceğini belirler. Girdi yönelimli CCR modelinin matematiksel formülasyonu aşağıda sunulmaktadır.

Denklem (1): Amaç Fonksiyonu

$$\min \theta \quad (3.1)$$

Denklem (2): Girdi ve Çıktı Kısıtları

$$\sum \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3.2)$$

$$\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \quad (r = 1, \dots, s) \quad (3.3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.4)$$

Burada θ etkinlik katsayısını temsil eder; $\theta = 1$ değeri tam etkinliği göstermektedir. Model, girdileri orantılı olarak azaltarak DMU'nun etkinlik seviyesini ölçer. Çıktıların mevcut düzeyinin korunması ise çıktı kısıtlarıyla sağlanmaktadır.

SBM modeli ise [Tone, 2001] tarafından geliştirilmiş olup, CCR modelinden farklı olarak “slack” değerlerini doğrudan dikkate alır. Bu sayede yalnızca girdilerin oransal olarak azaltılması değil, hangi girdi veya çıktıda ne kadar iyileştirme yapılması gerektiği de belirlenebilir. SBM modeli, özellikle etkin olmayan araçlarda hangi alanlarda optimizasyon potansiyeli bulunduğunu ayrıntılı biçimde göstermesi açısından çalışmalara derinlik kazandırmaktadır.

CCR modeli, etkinlik düzeyini tek bir radyal katsayıyla ölçerken; SBM modeli bu katsayının yanında artık (slack) değerleri de dikkate alarak birim bazında daha ayrıntılı sonuçlar üretir. Dolayısıyla CCR modeli genel etkinlik yapısını, SBM modeli ise hem CCR modeliyle kıyaslama hem de etkin olmayanların incelenmesi için birlikte kullanılmıştır.

Denklem (3): SBM Amaç Fonksiyonu

$$\min \rho = 1 - (1/m) \sum (s_i^- / x_{i0}) \quad (3.5)$$

Denklem (4): SBM Girdi ve Çıktı Kısıtları

$$\sum \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3.6)$$

$$\sum \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad (r = 1, \dots, s) \quad (3.7)$$

$$\lambda_j \geq 0, s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0 \quad (3.8)$$

Burada ρ , SBM etkinlik katsayısını ifade eder. s_i^- girdilerdeki fazlalığı (girdi slack), s_r^+ ise çıktılardaki eksikliği (çıkıtı slack) temsil eder. CCR modeli sadece oransal bir etkinlik katsayısı üretirken, SBM modeli her bir girdi ve çıktı için spesifik iyileştirme elde edilmesini sağlar.

3.1.2. Girdi ve Çıkıtı Yönelimli Modellerin Karşılaştırması

VZA analizlerinde yönelim seçimi, modelin amacına ve bakış açısına bağlı olarak belirlenir. Girdi yönelimli modelde amaç, mevcut çıktıyı sabit tutarak girdileri en düşük düzeye indirmektir. Çıkıtı yönelimli modelde ise mevcut girdiler sabitken çıktının artırılması hedeflenir.

Bu çalışmada girdi yönelimli model tercih edilmiştir. Bunun temel nedeni, analizde üretici değil, tüketici bakış açısının benimsenmiş olmasıdır. Bir tüketici, aracın teknik çıktıları üzerinde (örneğin motor gücü, bagaj hacmi, araç uzunluğu) doğrudan değişiklik yapamaz. Ancak fiyat, enerji tüketimi veya dolum süresi gibi girdiler üzerinde karar verebilir.

Bu açıdan bakıldığında, tüketici davranışı doğası gereği “çıkıtı sabitken girdileri azaltma” yaklaşımına dayanmaktadır. Tüketici, benzer performans düzeyine sahip iki araç arasında daha düşük maliyetli, daha az yakıt tüketen veya daha kısa sürede şarj olan modeli tercih eder. Bu davranış biçimi, girdi yönelimli modelin mantığıyla birebir örtüşmektedir.

Diğer yandan çıkıtı yönelimli model, üretici veya mühendislik bakış açısından anlamlıdır. Bu tür bir modelde amaç, sabit kaynaklarla araç performansını artırmak, yani daha güçlü, daha hızlı veya daha geniş kapasiteli araçlar üretmektir. Ancak bu tezde değerlendirme, üretici değil, tüketici merkezli yapıldığı için çıkıtı yönelimli yaklaşım uygun görülmemiştir.

Sonuç olarak, girdi yönelimli modelin seçilmesi hem teorik hem pratik olarak çalışmanın hedefiyle uyumludur. Tüketici perspektifinden bakıldığında, fiyat, yakıt tüketimi ve dolum süresi gibi girdilerin minimize edilmesi; benzer performans sunan araçlar arasında en etkin seçeneklerin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Böylece model, tüketici karar davranışını gerçekçi bir biçimde temsil etmektedir.

3.2. Araştırma Tasarımı ve Senaryolar

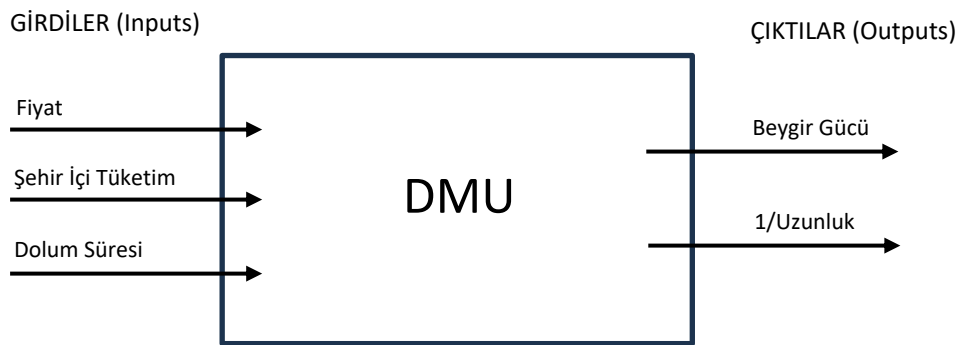
Bu çalışmada, araçların kullanım amacına ve sürüş koşullarına bağlı olarak üç farklı senaryo tanımlanmıştır: şehir içi, şehir dışı ve karma (ortalama) sürüş koşulları. Bu senaryolar, tüketicilerin araç tercihlerinde öne çıkan farklı öncelikleri ve çevresel koşulları yansıtmaktadır.

Her senaryoda, tüketicinin aracı kullanma biçimi, beklentileri ve performans kriterleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle Veri Zarflama Analizi (VZA) modeline dahil edilen girdi ve çıktı değişkenleri, her bir senaryonun koşullarına göre yeniden yapılandırılmıştır. Böylece, araçların yalnızca genel değil, kullanım bağlamına özgü etkinlikleri de değerlendirilebilmiştir.

Bu yaklaşım, literatürde önerilen çok senaryolu VZA modelleriyle uyumludur [Sueyoshi, Goto ve Yuan, 2017; Li, Chen, Zhang ve Zhu, 2018] ve araçların kullanım ortamına göre değişen performans göstergelerini daha doğru biçimde yansıtmayı amaçlamaktadır.

3.2.1. Şehir İçi Senaryosu

Şehir içi senaryosu, düşük hız, sık dur-kalk trafiği ve sınırlı park alanlarıyla tanımlanan metropol yaşamını temsil etmektedir. Özellikle büyük şehirlerde araç kullanıcıları, yakıt veya enerji verimliliği, ekonomik maliyet, manevra kabiliyeti ve park kolaylığı gibi unsurları ön planda değerlendirmektedir. Şehir içi senaryosunun girdi ve çıktı değişkenleri şunlardır:



Şekil 3.1 Şehir İçi Girdi ve Çıktı Değişkenleri

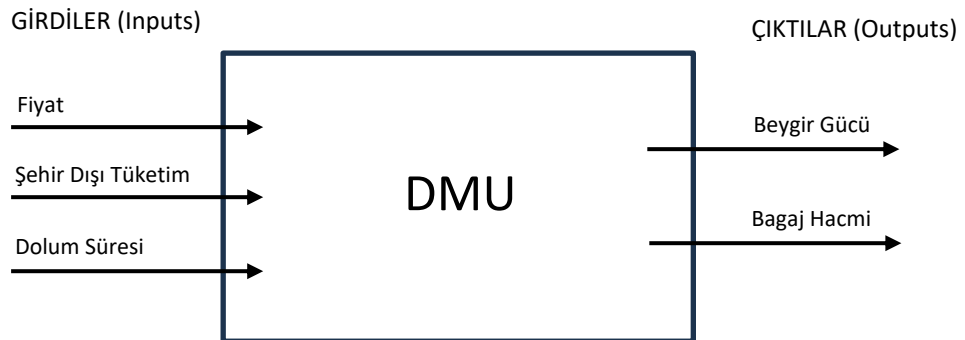
Bu koşullar altında kompakt araçlar, daha kısa gövde boyutları sayesinde park ve hareket kolaylığı sağlamakta; bu nedenle araç uzunluğu değişkeni modelde istenmeyen çıktı olarak ele alınmıştır. Uzunluk ters çevrilerek ($1/\text{Uzunluk}$) modele dahil edilmiş ve kısalan araç boyutunun etkinliği artırıcı bir faktör olduğu varsayılmıştır.

Şehir içi sürüşte enerji tüketimi oldukça kritik bir göstergedir. Sürekli dur-kalk döngüleri, rejeneratif frenleme farkları ve düşük hızlarda verimlilik kayıpları, araçların gerçek kullanım performansını belirlemektedir.

Dolum süresi bu senaryoda yalnızca teknik bir değişken değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimini ve satın alma davranışını etkileyen bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Özellikle elektrikli araçlarda, kısa şarj süreleri günlük kullanım kolaylığını doğrudan artırmakta ve müşteri tercihinde belirleyici olabilmektedir. Bu nedenle dolum süresi değişkeni hem enerji verimliliğini dengeleyen hem de tüketici davranışını etkileyen bir girdi olarak modele dahil edilmiştir.

3.2.2. Şehir Dışı Senaryosu

Şehir dışı senaryosu, uzun mesafeli ve sabit hız koşullarında gerçekleşen yolculukları temsil etmektedir. Bu tür sürüşlerde kullanıcıların öncelikleri; konfor, performans, güvenlik, depolama kapasitesi ve menzil sürekliliği gibi unsurlardır. Şehir dışı senaryosunun girdi ve çıktı değişkenleri şunlardır:



Şekil 3.2 Şehir Dışı Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Sabit hızlarda seyir, enerji tüketiminin daha dengeli olduğu bir sürüş profilini oluşturur. Bu nedenle şehir dışı koşullarda yakıt veya enerji tüketimi değeri, aracın enerji verimliliğini ölçmede uygun bir girdi olarak kullanılmıştır.

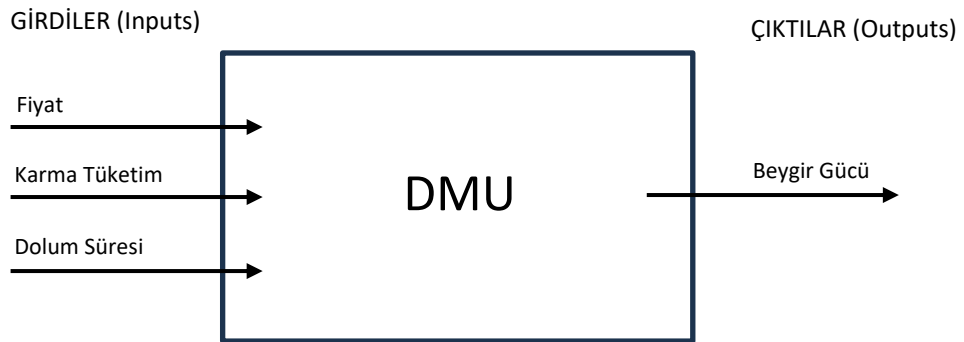
Bagaj hacmi, uzun yolculuklarda kullanıcılar açısından önemli bir çıktı değişkenidir. Aile veya grup seyahatlerinde taşıma kapasitesi, konforun ayrılmaz bir parçası olduğundan, şehir dışı senaryosunda etkinliği belirleyici faktörlerden biri olarak modele dahil edilmiştir.

Dolum süresi değişkeni bu senaryoda da önemli bir rol oynamaktadır. Uzun yolculuklarda şarj veya yakıt ikmali süresinin kısa olması, toplam seyahat süresini azaltmakta ve kullanıcı memnuniyetini artırmaktadır. Ayrıca, elektrikli araçların şehir dışı menzilleri içten yanmalı araçlara göre farklılık gösterdiğinden, bu değişken teknolojik dengeleme faktörü olarak da işlev görmektedir.

3.2.3. Karma Senaryo

Karma senaryo, kullanıcıların ortalama sürüş alışkanlıklarını yansıtır ve hem şehir içi hem şehir dışı koşulların birleşiminden oluşur. Bu yaklaşım, üretici kataloglarında yer alan karma tüketim değerini doğrudan modele entegre ederek, araçların genel enerji verimliliğini temsil etmesini sağlar.

Bu senaryoda beygir gücü, genel performans göstergesi olarak tek çıktı değişkeni biçiminde kullanılmıştır. Böylece araçların güç ve verimlilik dengesini temsil eden bütüncül bir etkinlik değerlendirmesi yapılabilmiştir. Karma senaryosunun girdi ve çıktı değişkenleri şunlardır:



Şekil 3.3: Karma Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Karma senaryo, özellikle şehir merkezlerinde yaşayan ancak haftalık olarak şehir dışı yolculuklar yapan kullanıcı profillerini temsil etmektedir. Bu kullanıcı grubu için fiyat, enerji tüketimi ve dolum süresi birlikte değerlendirildiğinde, aracın genel ekonomik ve operasyonel etkinliğini belirleyen önemli göstergeler elde edilmiştir.

3.3. Veri Toplama ve Kaynaklar

Analiz kapsamında, Türkiye pazarında aktif olarak satışta bulunan toplam 66 araç modeli incelemeye alınmıştır. Çalışmada kullanılan verilerden motor gücü, araç uzunluğu ve bagaj hacmi gibi teknik özellikler üretici kataloglarından; satış fiyatları ise distribütörlerin 2023–2024 yılı fiyat listelerinden derlenmiştir. Yakıt ve enerji tüketim değerleri, WLTP standartları ile gerçek kullanım senaryolarını baz alan EV Database platformundan temin edilmiştir. Veri setindeki karşılaştırılabilirliği sağlamak adına, elektrikli araçların enerji tüketim değerleri benzin litre eşdeğerine dönüştürülerek normalize edilmiştir. Bu dönüşüm işleminde Natural Resources Canada (2025) verileri referans alınmıştır. Bu çalışmada tüketici merkezli bir etkinlik değerlendirmesi yapılırken; satın alma kararında belirleyici olan fiyat, enerji/yakıt tüketimi ve dolum/şarj süresi girdileri birlikte ele alınmıştır. Elektrikli araçların enerji tüketimi verileri (kWh/100 km) ile içten yanmalı araçların yakıt tüketimi verilerinin (L/100 km) aynı ölçeğe karşılaştırılabilir olması adına, literatürde yaygın biçimde kullanılan enerji eşdeğerliği yaklaşımı benimsenmiştir. Dönüşüm katsayısı olarak 1 litre benzinin yaklaşık 8,9 kWh elektrik enerjisine eşdeğer kabul edildiği termodinamik dönüşüm uygulanmıştır. Bu dönüşüm, bir maliyet paritesi oluşturmaktan ziyade, farklı teknolojilere sahip araçların ortak bir fiziksel tüketim ölçeğinde kıyaslanabilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla çalışma, 'ekonomik etkinliği' doğrudan değişken ve volatil olan işletme maliyetleri (TL/km) üzerinden değil; araç fiyatı, teknik enerji verimliliği ve zaman maliyetini içeren çok boyutlu bir teknik etkinlik yaklaşımıyla temsil etmektedir. Belirlenen bu karar verme birimi sayısı (n=66), analizin güvenilirliği açısından kritiktir; nitekim DEA literatürüne göre örneklem büyüklüğü aşağıdaki kuralı sağlamalıdır:

$$n \geq \max(3(m + s), m \times s) \quad (3.9)$$

Bu çalışmada m=3 girdi, s=1–2 çıktı kullanılan senaryolara göre n=66 yeterlidir.

3.4. Model Kurulumu ve Çözüm Süreci

Analizlerin matematiksel çözümleri, DEA Solver Pro 4.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözümleme öncesinde, veri setinde yer alan (örneğin milyonluk fiyat verileri ile tek haneli yakıt tüketim değerleri gibi) yüksek ölçek farklarının hesaplama hassasiyetini olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla Maksimum Normalizasyonu uygulanmış ve tüm veriler [0-1] aralığına indirgenmiştir. Normalizasyon işleminin ardından hem genel veri seti üzerinde hem de araç segmentleri (B, C, D) özelinde Girdi Yönelimli CCR modeli çalıştırılmıştır. Analiz sürecinin son aşamasında ise, etkin bulunmayan araçların hangi değişkenlerde ne düzeyde iyileştirme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiş ve referans set analizi yapılarak bu araçlar için kıyas noktası (benchmark) oluşturacak etkin modeller tanımlanmıştır.

3.5. Korelasyon Analizi ve Değişken Seçimi

VZA (Veri Zarflama Analizi) uygulamalarında modelde yer alacak girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi, analiz sonuçlarının doğruluğu ve istatistiksel sağlamlığı açısından kritik bir aşamadır. Değişkenler arasındaki yüksek doğrusal ilişkiler, modelin etkinlik skorlarını bozarak yanlış sonuçlara yol açabilmektedir [Tone, 2001]. Bu nedenle analiz öncesinde değişkenler arasında korelasyon analizi gerçekleştirilmiş, çoklu doğrusal ilişki (multicollinearity) riski sistematik olarak değerlendirilmiştir.

Korelasyon analizi kapsamında otomobil performansını yansıtan çok sayıda değişken incelenmiştir: fiyat, motor gücü (beygir gücü), maksimum tork, hızlanma süresi (0–100 km/s), enerji tüketimi (şehir içi, şehir dışı ve karma), dolum süresi, araç uzunluğu, bagaj hacmi ve boş ağırlık gibi göstergeler hem ekonomik hem de teknik boyutlarıyla değerlendirilmiştir. Bu değişkenler literatürde otomotiv etkinlik analizlerinde en sık kullanılan göstergelerden seçilmiştir [Dai vd., 2019; Lim, 2016; Lee, Kim & Park, 2023]. Böylece değişkenlerin hem istatistiksel uygunluğu hem de kuramsal geçerliliği gözetilmiştir.

Elde edilen korelasyon matrisi, değişkenler arasında oldukça güçlü ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Özellikle:

- **Beygir gücü ile 0–100 km/s hızlanma süresi** arasında $r = -0.80$ düzeyinde yüksek negatif korelasyon bulunmuştur. Bu, performansın iki göstergesinin birbirini neredeyse tamamen açıkladığını göstermektedir. Dolayısıyla çıktı değişkeni olarak yalnızca beygir gücü modele dâhil edilmiş, hızlanma süresi çıkarılmıştır.
- **Şehir içi, şehir dışı ve karma tüketim** değerleri arasında $r = 0.92–0.97$ aralığında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Bu değerler aynı fiziksel büyüklüğü (enerji tüketimi) farklı sürüş koşulları altında temsil ettiğinden, her biri yalnızca kendi senaryosunda (şehir içi, şehir dışı veya karma) kullanılmıştır.
- **Beygir gücü ile maksimum tork** arasında $r = 0,83$ düzeyinde güçlü ilişki saptanmış; iki değişkenin de motor performansını temsil ettiği değerlendirilerek çıktı tarafında yalnızca beygir gücü bırakılmıştır.
- **Uzunluk ile bagaj hacmi** arasında $r = 0.85$ aralığında korelasyon görülmüştür. Ancak bu değişkenler birbirinden farklı işlevleri (konfor, taşıma kapasitesi, kütle) yansıttığından, literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi [Sueyoshi, Goto & Yuan, 2017; Banker vd., 1984] modelde korunmuştur.

Korelasyon analizi yalnızca istatistiksel bir eleme yöntemi değil, aynı zamanda modelin teorik yapısını doğrulama aracı olarak da kullanılmıştır. Literatürde DEA modellerinde genellikle 3–6 arası değişkenle analiz yapılmasının önerildiği [Liu, Lu & Lu, 2016] dikkate alınarak, bu çalışmada da değişken sayısı dengelenmiş ve modelin aşırı parametrik hale gelmesi önlenmiştir. Bu yaklaşım, “parsimony” ilkesiyle (gerektiği kadar ama yeterli değişkenle model kurma ilkesi) uyumludur.

Yüksek korelasyon gösteren değişkenlerin çıkarılması, modelin ayırma yeteneğini artırmış; böylece etkin ve etkin olmayan araçlar arasındaki farkların daha net ortaya çıkması sağlanmıştır. Ayrıca korelasyon bulguları, VZA’nın doğrusal varsayımına uygun bir veri yapısının elde edilmesine katkıda bulunmuştur. Korelasyon sonuçları Tablo 3.2: Girdi ve Çıktı Değişkenleri Arasındaki Korelasyon Matrisi’nde gösterilmiştir. Çalışmanın çıktı değişkenleri belirlenirken, tüketicinin araçtan elde ettiği faydayı maksimize etme amacı güdülmüştür. Bu kapsamda; 1/Uzunluk literatürde genellikle fiziksel bir kısıt olarak ele alınan araç uzunluğu, bu çalışmada özellikle şehir içi kullanım senaryosu için 'park kolaylığı' ve 'manevra kabiliyeti'

faydasını temsilen tersine çevrilerek ($1/\text{Uzunluk}$) bir çıktı (fayda) olarak modele dâhil edilmiştir. Beygir gücü performans çıktısı olarak ise, veri seti üzerinde yapılan korelasyon analizi sonucunda 'Tork' ve '0-100 Hızlanma' verileriyle yüksek korelasyon gösterdiği belirlenen 'Beygir Gücü', tüm performans metriklerini temsilen ana çıktı olarak seçilmiştir.

Bununla birlikte; menzil, güvenlik skoru veya bakım maliyeti gibi ilave çıktılarla kurulacak alternatif modellerin, özellikle elektrikli araçların performans boyutunu daha geniş bir perspektifle yansıtabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu çalışma, mevcut veri setindeki en ayırt edici temel performans göstergelerine odaklanmış olup, söz konusu diğer değişkenlerin eklendiği genişletilmiş modeller gelecek çalışmalar için öneri niteliğindedir.

Sonuç olarak hem literatür desteği hem de istatistiksel analizler sonucunda modelde kullanılan değişkenler şu şekilde optimize edilmiştir:

- **Girdiler:** Fiyat, enerji tüketimi (senaryoya göre şehir içi / dışı / karma), dolum süresi
- **Çıktılar:** Beygir gücü, bagaj hacmi (şehir dışı senaryosu için), araç uzunluğu (şehir içi senaryosu için)

Bu yapı sayesinde, farklı segmentlerdeki (B, C, D) içten yanmalı ve elektrikli araçlar, her biri için anlamlı ve karşılaştırılabilir etkinlik sınırlarında değerlendirilmiştir. Bu özellik farklı ölçü birimlerini birlikte değerlendirebilme imkanı sunmaktadır. Analizde kullanılan ölçü birimleri ve kullanım senaryoları aşağıda ifade edildiği gibidir.

Tablo 3.1: Değişkenler, Ölçü Birimleri ve Senaryo Bazında Kullanımları

Değişken	Tanım	Ölçü Birimi	Senaryo
Fiyat	Anahtar teslim satış fiyatı	₺	Tümü
Şehir İçi Tüketim	Dur-kalk trafiğinde enerji tüketimi	L/100 km veya kWh/100 km	Şehir İçi
Şehir Dışı Tüketim	Sabit hızlardaki tüketim değeri	L/100 km veya kWh/100 km	Şehir Dışı
Karma Tüketim	Ortalama tüketim değeri	L/100 km veya kWh/100 km	Karma
Dolum Süresi	Yakıt ikmali veya batarya şarj süresi	dk(%20'den %80'e dolum süresi)	Tümü
Beygir Gücü	Motor gücü	PS	Tümü
Uzunluk	Gövde uzunluğu (1/uzunluk olarak)	mm	Şehir İçi
Bagaj Hacmi	Depolama kapasitesi	L	Şehir Dışı

Tablo 3.2: Girdi ve Çıktı Değişkenleri Arasındaki Korelasyon Matrisi

Input/Output	Korelasyon	Fiyatı (TL)	Silindir Hacmi (cc)	Beygir Gücü (hp)	Maksimum Tork (nm)	0-100 Hızlanma (sn)	Maksimum Hız (km/s)	Şehir İçi Ort. Tüketim (lt)	Şehir Dışı Ort. Tüketim (lt)	Karma Yakıt Tüketimi (lt)	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Bagaj Hacmi (lt)	Boş Ağırlık (kg)	Yakıt Deposu	Co2 Emisyon Oranı (gr/km)	Euro Ncap Puanı	Aks Mesafesi
Input	Fiyatı (TL)	1,00	0,62	0,66	0,68	- 0,54	0,50	0,29	0,15	0,24	0,46	0,43	0,33	0,31	0,65	0,33	0,18	0,34	0,40
Input	0-100 Hızlanma (sn)	- 0,54	- 0,51	- 0,80	- 0,81	1,00	- 0,61	- 0,00	0,07	0,05	- 0,48	- 0,28	- 0,13	- 0,33	- 0,62	- 0,39	0,15	- 0,41	- 0,44
Input	Şehir İçi Ort. Tüketim (lt)	0,29	0,33	0,28	0,08	- 0,00	0,47	1,00	0,92	0,97	0,29	0,12	0,01	0,14	- 0,11	0,53	0,93	0,11	- 0,00
Input	Şehir Dışı Ort. Tüketim (lt)	0,15	- 0,01	0,12	0,05	0,07	0,10	0,92	1,00	0,97	0,06	0,01	0,01	- 0,10	- 0,08	0,56	0,93	0,05	0,33
Input	Karma Yakıt Tüketimi (lt)	0,24	0,29	0,19	0,01	0,05	0,44	0,97	0,97	1,00	0,23	0,13	- 0,08	0,06	- 0,21	0,47	0,95	0,08	- 0,06
Input	Yakıt Deposu	0,33	0,25	0,43	0,53	- 0,39	0,36	0,53	0,56	0,47	0,71	0,48	0,31	0,66	0,58	1,00	0,55	0,23	0,71
Input	Co2 Emisyon Oranı (gr/km)	0,18	0,36	0,13	0,05	0,15	0,34	0,93	0,93	0,95	0,14	0,04	- 0,04	0,05	- 0,26	0,55	1,00	- 0,07	- 0,06
Output	Silindir Hacmi (cc)	0,62	1,00	0,59	0,51	- 0,51	0,47	0,33	- 0,01	0,29	0,50	0,25	0,18	0,31	0,57	0,25	0,36	0,33	0,46
Output	Beygir Gücü (hp)	0,66	0,59	1,00	0,83	- 0,80	0,75	0,28	0,12	0,19	0,52	0,23	0,13	0,43	0,63	0,43	0,13	0,38	0,52
Output	Maksimum Tork (nm)	0,68	0,51	0,83	1,00	- 0,81	0,66	0,08	0,05	0,01	0,53	0,43	0,30	0,49	0,76	0,53	0,05	0,36	0,57
Output	Maksimum Hız (km/s)	0,50	0,47	0,75	0,66	- 0,61	1,00	0,47	0,10	0,44	0,55	0,25	- 0,19	0,40	0,29	0,36	0,34	0,35	0,47
Output	Uzunluk (mm)	0,46	0,50	0,52	0,53	- 0,48	0,55	0,29	0,06	0,23	1,00	0,53	0,15	0,85	0,64	0,71	0,14	0,48	0,90
Output	Genişlik (mm)	0,43	0,25	0,23	0,43	- 0,28	0,25	0,12	0,01	0,13	0,53	1,00	0,32	0,50	0,52	0,48	0,04	0,33	0,50
Output	Yükseklik (mm)	0,33	0,18	0,13	0,30	- 0,13	- 0,19	0,01	0,01	- 0,08	0,15	0,32	1,00	0,29	0,55	0,31	0,04	0,06	0,19
Output	Bagaj Hacmi (lt)	0,31	0,31	0,43	0,49	- 0,33	0,40	0,14	- 0,10	0,06	0,85	0,50	0,29	1,00	0,58	0,66	0,05	0,34	0,78
Output	Boş Ağırlık (kg)	0,65	0,57	0,63	0,76	- 0,62	0,29	- 0,11	- 0,08	- 0,21	0,64	0,52	0,55	0,58	1,00	0,58	- 0,26	0,41	0,65
Output	Euro Ncap Puanı	0,34	0,33	0,38	0,36	- 0,41	0,35	0,11	0,05	0,08	0,48	0,33	0,06	0,34	0,41	0,23	0,07	1,00	0,36
Output	Aks Mesafesi	0,40	0,46	0,52	0,57	- 0,44	0,47	0,00	0,33	- 0,06	0,90	0,50	0,19	0,78	0,65	0,71	- 0,06	0,36	1,00

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, araştırmada kullanılan Veri Zarflama Analizi (VZA) modelleri aracılığıyla elde edilen etkinlik sonuçları bütüncül biçimde ele alınmaktadır. Analiz, CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) ve SBM (Slack-Based Measure) yaklaşımlarının birlikte uygulanmasıyla gerçekleştirilmiş hem radyal etkinlik skorları hem de değişken bazlı iyileştirme potansiyelleri tespit edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, tüketicilere satın alma kararlarında rehberlik edecek rasyonel ve anlaşılır bir kıyaslama zemini sunmaktır. Bu doğrultuda, araçların mevcut girdi bileşimini (fiyat, yakıt, dolum süresi) oransal olarak ne kadar iyileştirmesi gerektiğini gösteren CCR (Input-Oriented) modelinin projeksiyon sonuçları, iyileştirme önerilerinin temelini oluşturmuştur.

Literatürde genellikle verimsiz birimlere daha katı hedefler koymak için kullanılan SBM (Slack Based Measure) modeli ise bu çalışmada bir 'Doğrulama (Cross-Validation)' aracı olarak konumlandırılmıştır. Analiz sonucunda hem CCR hem de SBM modellerinde 'Tam Etkin' çıkan araç kümesinin birebir aynı olması; belirlenen pazar liderlerinin (Benchmark) sadece radyal olarak değil, tüm değişkenlerde 'Güçlü Etkinlik' (Strong Efficiency) sergilediğini kanıtlamıştır. İki model arasındaki bu tutarlılık, tüketicilere sunulan CCR tabanlı iyileştirme hedeflerinin ve referans araç tavsiyelerinin matematiksel güvenilirliğini pekiştirmiştir.

Çalışmada üç farklı sürüş senaryosu tanımlanmıştır: şehir içi, şehir dışı ve karma (ortalama kullanım). Her senaryoda aynı araç kümesi (toplam 66 model) değerlendirilmiş olup, girdiler (fiyat, tüketim, dolum süresi) ve çıktılar (beygir gücü, uzunluk veya bagaj hacmi) senaryoya özgü koşullara göre yeniden tanımlanmıştır. Böylece çalışma yalnızca performans karşılaştırması değil, aynı zamanda kullanım bağlamına göre çok boyutlu bir etkinlik analizi niteliği kazanmıştır.

CCR modeli sonuçları, her senaryo ve segmentte araçların göreceli etkinlik düzeylerini ortaya koymuştur. Ortalama skorlar şehir içi senaryoda 0,86, şehir dışı senaryoda 0,84 ve karma senaryoda 0,68 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, şehir içi ve şehir dışı koşullarda araçların kendi kullanım bağlamına uygun performans profilleri sergilediğini, karma koşullarda ise bu dengeyi korumanın daha zorlaştığını göstermektedir.

SBM modelinin sonuçları, CCR modelini tamamlayıcı biçimde, girdi fazlalıkları ve çıktı eksiklikleri üzerinden ayrıntılı bir değerlendirme sağlamıştır. SBM analizinde özellikle fiyat ve tüketim değişkenlerinde yüksek “slack” değerleri gözlenmiş; bu durum, araçların maliyet ve enerji verimliliği bakımından geliştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. CCR ile SBM arasındaki farklar incelendiğinde, SBM modelinin özellikle etkin olmayan araçlarda iyileştirme miktarını daha duyarlı şekilde yansıttığı belirlenmiştir.

Bulguların sunumunda, önce her senaryo için genel dağılımlar (tüm araçlar), ardından segment (B, C, D) kırımları verilmiştir. Her alt başlıkta CCR skorlarının dağılımı, etkin araç oranları ve sonuçları birlikte değerlendirilerek; hangi senaryoda hangi değişkenlerin etkinliği belirleyici olduğu ve nerelerde iyileştirme gereksinimi bulunduğu tartışılmıştır.

4.1. Genel Bulguların Değerlendirilmesi

Araştırma kapsamında toplam 66 araç modeli; şehir içi, şehir dışı ve karma sürüş koşullarını temsil eden üç farklı senaryo altında değerlendirilmiştir. Bu araçlar hem içten yanmalı motorlu hem de elektrikli modelleri içermekte olup, analizde farklı segmentlerdeki (B, C, D) performans özellikleri dikkate alınmıştır. Veri Zarflama Analizi (VZA) sonuçları, her senaryonun kendi kullanım bağlamı içinde araçların göreceli etkinlik düzeylerini ortaya koymuştur.

CCR modeli bulgularına göre; şehir içi senaryosunda 11 araç (%16,67), şehir dışı senaryosunda 9 araç (%13,64) ve karma senaryoda 4 araç (%6,06) tam etkin olarak belirlenmiştir. Ortalama etkinlik değerleri sırasıyla 0,86, 0,84 ve 0,68 olarak hesaplanmıştır. Bu fark, şehir içi ve şehir dışı koşulların kendi dinamikleriyle daha dengeli bir performans ortaya koyduğunu, karma koşullarda ise farklı sürüş gereksinimlerinin aynı anda karşılanmasının zorluk yarattığını göstermektedir.

Segment bazında incelendiğinde, B segmenti araçlar düşük fiyat, kısa dolum süresi ve kompakt boyut avantajı sayesinde özellikle şehir içi kullanımda yüksek etkinlik oranlarına ulaşmıştır. Bu segmentte ortalama skor 0,96 düzeyindedir. C segmenti araçlar, geniş model çeşitliliği nedeniyle daha yaygın bir skor dağılımı göstermiş ve ortalama etkinlik 0,82 civarında hesaplanmıştır. D segmentinde ise yüksek fiyat ve yakıt tüketimi dezavantajlarına rağmen, güçlü motor performansı ve yüksek bagaj

hacmi gibi çıktıların etkisiyle etkinlik oranları şehir dışı ve şehir içi koşullarda %80'e kadar çıkmıştır. Bu sonuçlar, uzun yol koşullarında konfor ve performansın maliyet faktörlerini dengeleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

Karma senaryo, araçların hem şehir içi hem de dışı koşullardaki performanslarını birlikte değerlendirdiği için daha düşük ortalama etkinlik (0,68) değeriyle öne çıkmıştır. Fiyat, tüketim ve dolum süresinin aynı anda optimize edilmesi zor olduğundan, çoğu araç bu koşullarda etkinlik sınırının altında kalmıştır. Bu sonuç hem içten yanmalı hem de elektrikli modellerin mevcut teknolojik yapılarının karma kullanım gereksinimlerini tam olarak karşılayamadığını da göstermektedir.

Tablo 4.1: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Sonuçları (CCR Modeli)

Senaryo	Segment	DMU Sayısı	Etkin Sayısı (=1.0)	Etkinlik Oranı (%)	Ortalama Skor	Medyan Skor	Std. Sapma	Min. Skor	Mak. Skor
Karma	B	13	2	15,38	0,74	0,70	0,15	0,49	1
Karma	C	48	6	12,50	0,82	0,81	0,12	0,53	1
Karma	D	5	2	40,00	0,83	0,77	0,17	0,64	1
Karma	TÜM	66	4	6,06	0,68	0,67	0,13	0,44	1
Şehir Dışı	B	13	6	46,15	0,96	1,00	0,07	0,82	1
Şehir Dışı	C	48	14	29,17	0,89	0,90	0,09	0,75	1
Şehir Dışı	D	5	4	80,00	1,00	1,00	0,01	0,98	1
Şehir Dışı	TÜM	66	9	13,64	0,84	0,83	0,11	0,53	1
Şehir İçi	B	13	6	46,15	0,96	1,00	0,05	0,87	1
Şehir İçi	C	48	14	29,17	0,92	0,92	0,07	0,73	1
Şehir İçi	D	5	4	80,00	0,99	1,00	0,02	0,96	1
Şehir İçi	TÜM	66	11	16,67	0,86	0,87	0,11	0,61	1

Analiz sonucunda elde edilen Tablo 4.1, 66 adet Karar Verme Birimi (DMU) üzerindeki CCR modeli sonuçlarını; Karma, Şehir Dışı ve Şehir İçi senaryoları ile B, C ve D segmentleri kırılımında özetlemektedir. Ayrıca, CCR ve SBM modellerinin her ikisinde de tam etkin (skor=1.00) çıkan araç kümesinin birebir aynı olması dikkat çekicidir. Bu durum, etkin araçların 'Güçlü Etkinlik' sergilediğini; yani verimlilik sınırında herhangi bir girdi fazlalığı veya çıktı yetersizliği olmadan çalıştıklarını kanıtlamaktadır. Modeller arasındaki skor farkı, sadece verimsiz araçlardaki gizli dengesizliklerden kaynaklanmaktadır.

Senaryo Bazlı Karşılaştırma:

Karma Senaryonun Zorlayıcılığı: En düşük ortalama etkinlik skoru (0,68) ve en düşük etkinlik oranı (%6,06) Karma Senaryo 'da (TÜM) gözlemlenmiştir. Bu durum,

araçların hem şehir içi (ekonomi/manevra) hem de şehir dışı (performans/konfor) beklentilerini aynı anda karşılamasının zor olduğunu; karma modelin değişken setinin daha katı bir etkinlik sınırı çizdiğini göstermektedir.

Araçlar, belirli kullanım koşullarına (sadece Şehir İçi veya sadece Şehir Dışı) göre değerlendirildiğinde etkinlik skorları belirgin şekilde yükselmiştir. Şehir İçi senaryosu 0,86 genel ortalama ile en yüksek verimlilik skoruna sahip senaryo olmuştur. Bunu 0,84 ile Şehir Dışı senaryosu takip etmektedir.

Segment Bazlı Değerlendirme:

Segment özelinde değerlendirme ile araçlar kendi grupları içerisinde değerlendirilmiştir.

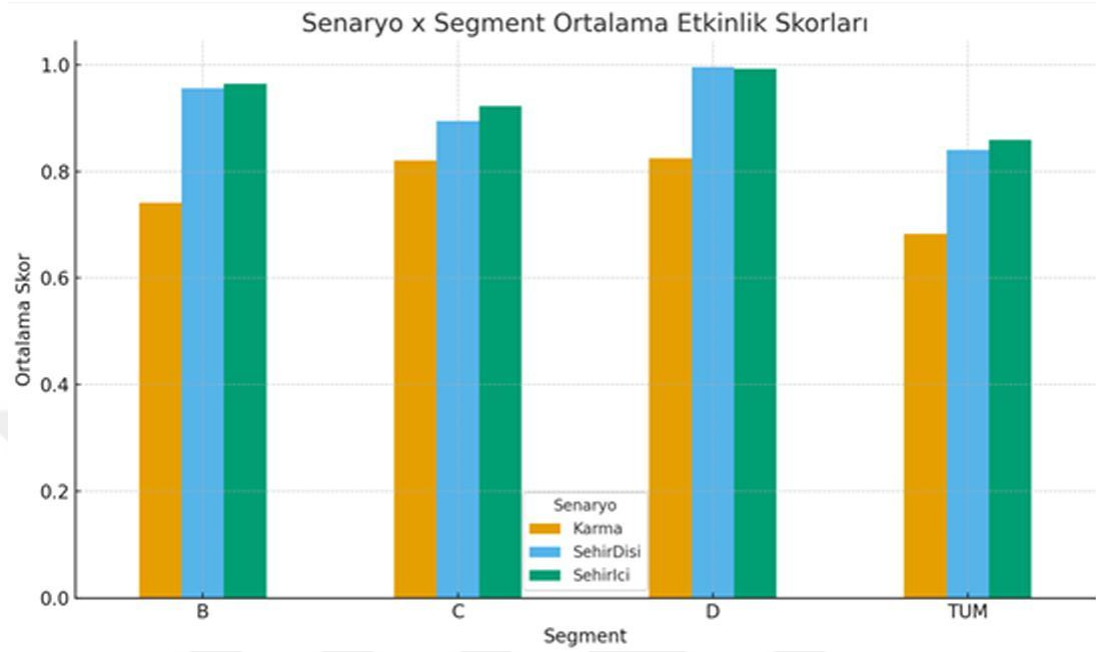
D Segmenti: D segmenti araçlar, az sayıda olmalarına (5 DMU) rağmen oransal olarak en yüksek başarıyı göstermiştir. Özellikle Şehir Dışı senaryosunda 1,00 ortalama skor ve %80 etkinlik oranı ile tam etkinlik düzeyine ulaşmışlardır. Bu, D segmenti araçların yüksek fiyat ve yakıt girdilerine rağmen; beygir gücü ve bagaj hacmi gibi çıktılarda sağladıkları yüksek performansla bu girdileri kompanse ettiğini göstermektedir.

B Segmentinin Şehir İçi Performansı: B segmenti, Şehir İçi ve Şehir Dışı senaryolarında 0,96 gibi çok yüksek bir ortalama etkinlik skoruna sahiptir. Bu segmentin başarısı, D segmentinden farklı olarak yüksek çıktı üretmekten ziyade; fiyat, yakıt tüketimi ve dolum süresi gibi girdileri minimize etme başarısından kaynaklanmaktadır.

C Segmentinin Dağılımı: En kalabalık grup olan C segmenti (48 DMU), Karma senaryoda 0,82 ortalama ile dengeli bir profil çizmiştir. Ancak standart sapmanın düşüklüğü (0,12), bu segmentteki araçların birbirine çok yakın performans ve fiyat aralıklarında konumlandığını, rekabetin yoğun olduğunu işaret etmektedir.

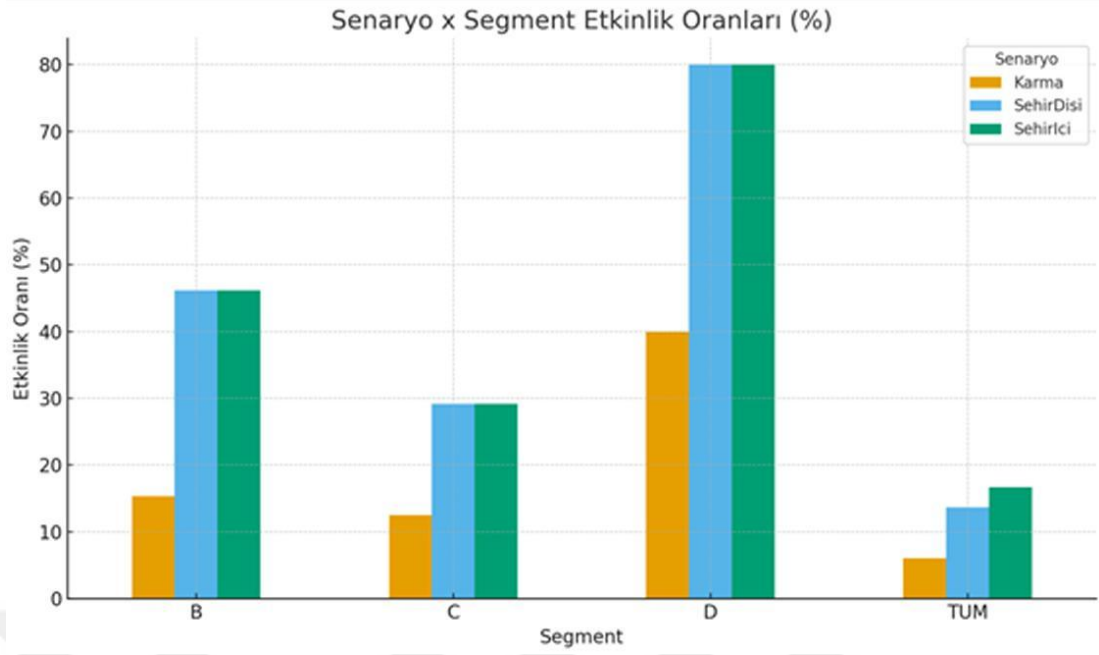
Sonuçlardaki standart sapmalara baktığımızda en yüksek standart sapma (0,17) Karma senaryodaki D segmentinde görülürken, en düşük sapma (0,01) Şehir Dışı D segmentinde görülmüştür. Bu veri, Şehir Dışı koşullarda D segmenti araçların neredeyse tamamının benzer ve yüksek bir etkinlik sergilediğini; ancak Karma koşullarda segment içinde ciddi performans ayrışmaları yaşandığını (etkin olanlar ve olmayanlar arasındaki makasın açıldığını) kanıtlamaktadır.

Elde edilen CCR sonuçlarının senaryo ve segment bazındaki dağılımını görsel olarak daha net ortaya koymak amacıyla, ortalama etkinlik skorları ve etkinlik oranları aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.1: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Skorları (CCR Modeli)

Şekil 4.1 incelendiğinde, D segmenti araçların hem şehir içi hem de şehir dışı senaryolarda 1,00'e çok yakın ortalama etkinlik skorlarına ulaştığı görülmektedir. Bu durum, D segmentinin yüksek performansı ve donanım özellikleriyle her iki uç senaryoda da (hız/konfor veya dur-kalk/manevra) optimum verimliliği yakalayabildiğini göstermektedir. Buna karşın, karma senaryoda tüm segmentlerde ortalama skorların belirgin şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. Özellikle B segmentinin karma senaryodaki düşüşü, bu segmentteki araçların çok yönlü kullanımda zorlandığını işaret etmektedir.



Şekil 4.2: Senaryo x Segment Etkinlik Oranları (CCR).

Şekil 4.2, etkinlik oranlarının segment büyüklüğü ve senaryo yapısına göre nasıl farklılaştığını somutlaştırmaktadır. B segmenti araçların şehir içi ve şehir dışı koşullarda yaklaşık %46 oranında etkin olduğu görülürken, D segmentinin şehir dışı ve şehir içi koşullarda %80 gibi çok yüksek bir etkinlik oranına ulaştığı dikkat çekmektedir. Karma senaryoda ise etkinlik oranlarının her segmentte dramatik şekilde düştüğü görülmektedir.

Genel olarak grafikler, tüketici tercihleri ve segment özellikleri ile uyumlu bir tablo çizmektedir; küçük araçlar (B segmenti), şehir içi kullanımda yüksek verimlilik potansiyeline sahiptir. Büyük araçlar (D segmenti), şehir dışı kullanımda üstün performans ve verimlilik sunmaktadır. Orta sınıf araçlar (C segmenti), karma kullanımda dengeleyici bir rol üstlenmekle birlikte, her iki uç senaryonun gerekliliklerini aynı anda karşılamakta zorlanmaktadır.

SBM analizinden elde edilen sonuçlar, CCR modelinde gözlemlenen genel eğilimleri desteklemiştir. Ancak SBM modelinde, özellikle fiyat ve tüketim değişkenlerinde daha yüksek “slack” (aylak değişken) değerleri hesaplanmıştır. Bu durum, araçların maliyet ve enerji verimliliği açısından iyileştirme potansiyeli taşıdığını ve CCR modelinde etkin görünen tüm modellerin SBM yaklaşımıyla değerlendirildiğinde de etkin olduğunu ortaya koymuştur. Böylece SBM, CCR sonuçlarını tamamlayıcı nitelikte ek bir derinlik kazandırmış ve hangi değişkenlerde daha fazla optimizasyon gerektiğini göstermiştir.

Tablo 4.2: Senaryo ve Segment Bazında Etkinlik Sonuçları (SBM Modeli)

Senaryo	Segment	DMU Sayısı	Etkin Sayısı (=1.0)	Etkinlik Oranı (%)	Ortalama Skor	Medyan Skor	Std. Sapma	Min. Skor	Mak. Skor
Karma	B	13	2	15,38	0,66	0,56	0,19	0,46	1
Karma	C	48	6	12,50	0,73	0,71	0,15	0,42	1
Karma	D	5	2	40,00	0,74	0,70	0,25	0,49	1
Karma	TÜM	66	4	6,06	0,58	0,55	0,13	0,37	1
Şehir Dışı	B	13	6	46,15	0,93	0,94	0,08	0,80	1
Şehir Dışı	C	48	14	29,17	0,86	0,83	0,11	0,69	1
Şehir Dışı	D	5	4	80,00	0,98	1,00	0,05	0,88	1
Şehir Dışı	TÜM	66	9	13,64	0,81	0,81	0,12	0,46	1
Şehir İçi	B	13	6	46,15	0,93	0,99	0,10	0,73	1
Şehir İçi	C	48	14	29,17	0,90	0,89	0,09	0,68	1
Şehir İçi	D	5	4	80,00	0,97	1,00	0,07	0,83	1
Şehir İçi	TÜM	66	11	16,67	0,80	0,78	0,14	0,50	1

Tablo 4.1 (CCR) ve Tablo 4.2 (SBM) verileri birlikte değerlendirildiğinde, modeller arasındaki yapısal farkların etkinlik skorlarına belirgin şekilde yansıdığı görülmektedir:

Ortalama Skorlarda Düşüş: Tüm senaryolarda SBM ortalama skorları, CCR skorlarının altında kalmıştır. Örneğin, Karma Senaryo (TÜM) için CCR ortalaması 0,68 iken, SBM ortalaması 0,58'e gerilemiştir. Bu düşüş, CCR modelinin "etkinliğe yakın" olarak nitelendirdiği bazı araçların, aslında belirli girdilerde (örneğin sadece fiyatta veya sadece yakıt tüketiminde) dengesizlikler barındırdığını kanıtlamaktadır. SBM, bu gizli verimsizlikleri (slacks) cezalandırarak daha gerçekçi bir tablo sunmuştur.

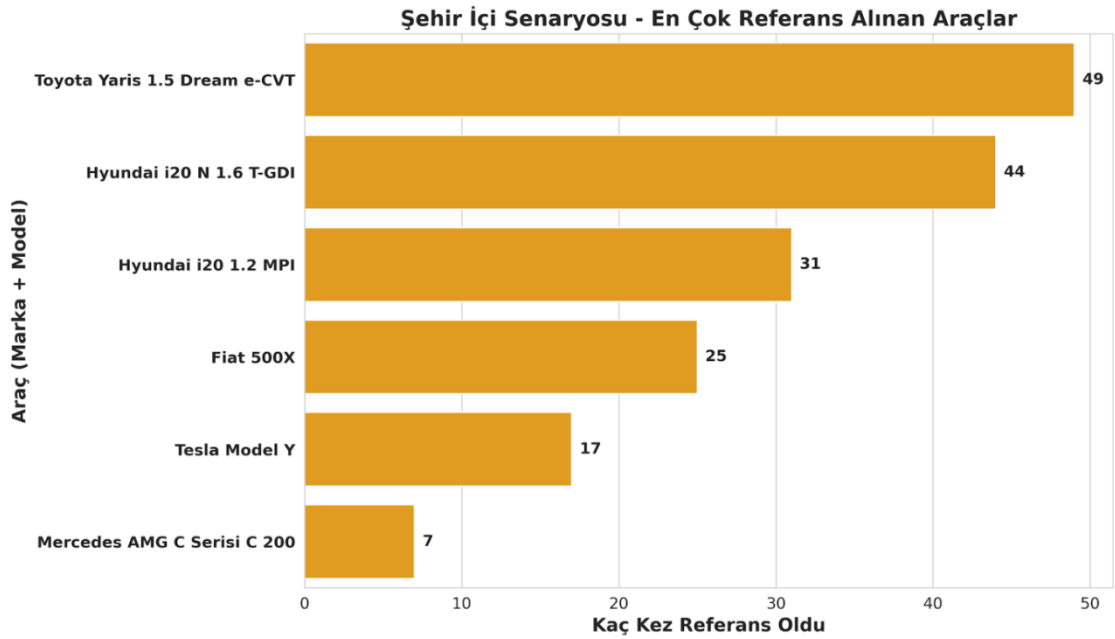
Segment Bazlı Değişimler: CCR modelinde Şehir Dışı senaryosunda 1,00 ortalama ile tam etkinlik gösteren D segmenti, SBM modelinde 0,98 seviyesine gerilemiştir. Bu durum, D segmentindeki araçların performans açısından mükemmel olsalar bile, "girdi fazlalığı" (örneğin gereğinden yüksek fiyat veya marjinal tüketim fazlası) taşıdıklarını göstermektedir.

Veri Dağılımı ve Ayırt Edicilik: SBM sonuçlarında standart sapma değerlerinin bazı senaryolarda arttığı gözlemlenmiştir (Örn: Karma-D segmenti CCR: 0,17 > SBM: 0,25). Bu bulgu, SBM modelinin araçlar arasındaki performans farklarını daha net açığa çıkardığını ve ayırt edicilik gücünün CCR'dan daha yüksek olduğunu göstermektedir.

4.2. Şehir İçi Bulgular

Şehir içi senaryosu, düşük hız aralıklarında, sık dur-kalk trafiğinde ve sınırlı park alanlarının bulunduğu kullanım koşullarını temsil etmektedir. Bu bağlamda tüm araçların değerlendirildiği Veri Zarflama Analizi (VZA) sonuçları, özellikle hibrit teknolojisine sahip ve kompakt performans araçlarının bu senaryoda belirgin bir etkinlik üstünlüğü gösterdiğini ortaya koymuştur.

CCR modeline göre şehir içi koşullarında segment ayrımı olmadan referans kümesi (reference set) analizi yapıldığında, en çok referans alınan araç Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT olmuştur. Bu model, toplam 49 farklı durumda referans noktası (benchmark) olarak belirlenerek şehir içi kullanımda ulaşılması gereken verimlilik standardını temsil etmiştir. Toyota Yaris'in hibrit motor yapısının sağladığı düşük yakıt tüketimi ve dur-kalk trafiğindeki enerji geri kazanım avantajı, bu liderliğin temel nedeni olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.3: Şehir İçi Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar

Şekil 4.3 incelendiğinde, ikinci sırada 44 kez referans alınan Hyundai i20 N 1.6 T-GDI yer almaktadır. Performans odaklı bir model olmasına rağmen bu aracın yüksek referans sıklığına sahip olması, güçlü motor performansı ile kompakt gövde yapısının şehir içinde başarılı bir şekilde dengelendiğini göstermektedir. Üçüncü sırada ise 31 kez referans alınan Hyundai i20 1.2 MPI bulunmaktadır; bu model özellikle düşük fiyat avantajıyla maliyet odaklı bir verimlilik sınırı çizmektedir.

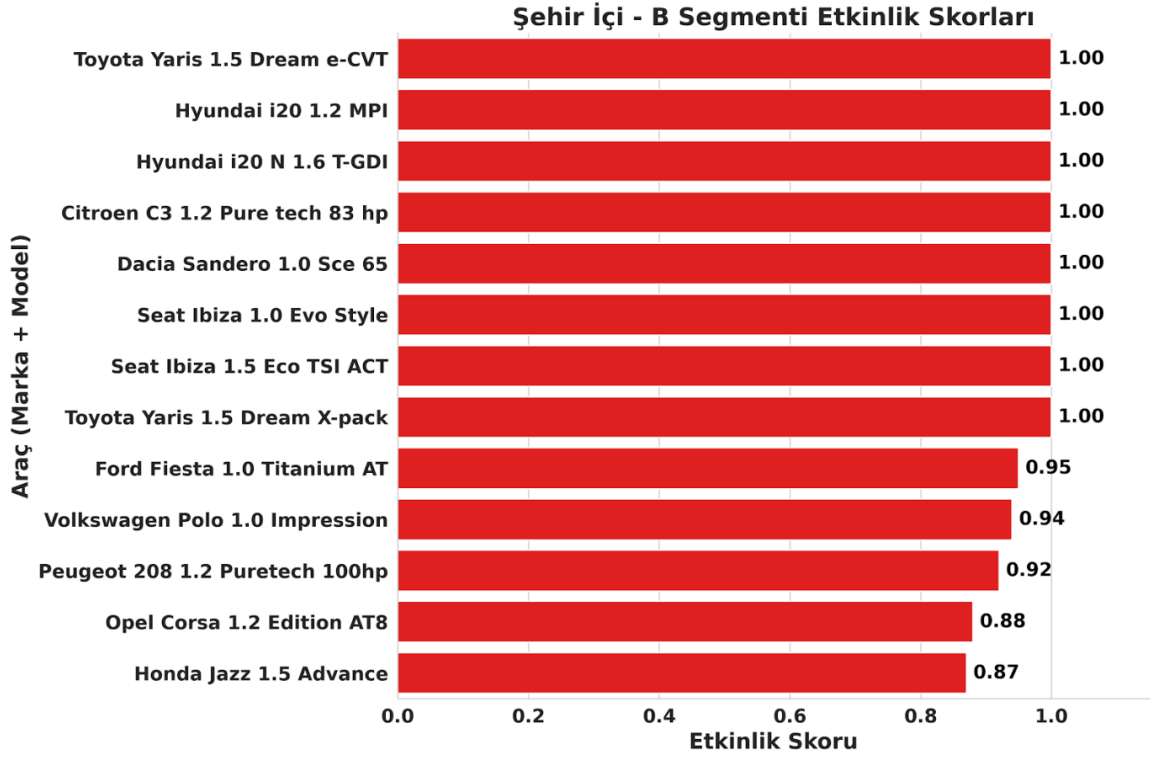
Dikkat çekici bir diğer bulgu, Fiat 500X (25 kez) ve Tesla Model Y (17 kez) modellerinin de referans setinde güçlü bir yer edinmesidir. Tesla Model Y'nin listeye girmesi, elektrikli araçların yüksek fiyatlarına rağmen düşük işletme maliyetleri ve "dolum süresi" avantajlarıyla şehir içi kullanımda içten yanmalı araçlara ciddi bir alternatif ve referans oluşturduğunu kanıtlamaktadır.

Genel olarak şehir içi senaryosunda B segmenti ve hibrit/elektrikli araçlar, enerji verimliliği ve boyut avantajlarıyla diğer segmentlere kıyasla daha baskın bir etkinlik profili çizmiştir.

4.2.1. Şehir İçi – B Segmenti Bulguları

B segmenti, şehir içi kullanım koşullarında en yüksek ortalama etkinlik skoruna (0,96) ulaşan araç grubunu temsil etmektedir. Bu segmentte yer alan 13 modelden 8'i tam etkin (1.00) skora ulaşarak segmentin verimlilik potansiyelini ortaya koymuştur. Küçük gövde yapısı, düşük yakıt/enerji tüketimi ve erişilebilir fiyat düzeyi, bu segmenti şehir içi etkinlik açısından en avantajlı grup haline getirmiştir.

CCR analizine göre; Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT, Hyundai i20 1.2 MPI, Hyundai i20 N 1.6 T-GDI, Citroen C3, Dacia Sandero, Seat Ibiza 1.0 Evo ve Seat Ibiza 1.5 Eco TSI modelleri tam etkin araçlar arasında yer almıştır. Bu modellerin ortak özelliği, fiyat-tüketim-performans üçgeninde optimum dengeyi yakalamalarıdır. Özellikle Toyota Yaris'in hibrit teknolojisi ve Dacia Sandero'nun maliyet avantajı, farklı stratejilerle aynı etkinlik zirvesine ulaşılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 4.4: Şehir İçi - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.4 incelendiğinde, segmentteki araçların tamamının 0,85 ve üzeri etkinlik skorlarına sahip olduğu görülmektedir. Etkinlik sınırının (1.00) hemen altında yer alan Ford Fiesta (0.95), Volkswagen Polo (0.94) ve Peugeot 208 (0.92) gibi modeller, çok küçük iyileştirmelerle tam etkin konuma gelebilecek potansiyeldedir. Listenin sonunda yer alan Honda Jazz (0.87) ve Opel Corsa (0.88) ise segment ortalamasının biraz altında kalsa da genel VZA standartlarına göre oldukça yüksek bir verimlilik sergilemektedir.

Sonuç olarak, B segmenti şehir içi sürüş senaryosunda homojen ve yüksek performanslı bir yapı sergilemiştir. Segment içindeki rekabetin yoğunluğu ve araçların birbirine yakın verimlilik skorları, bu sınıftaki araçların şehir içi kullanım amacı için optimize edildiğini doğrulamaktadır.

Veri Zarflama Analizi (VZA), yalnızca hangi karar birimlerinin etkin olduğunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda etkin olmayan birimlerin hangi girdilerde ne ölçüde iyileştirme yapması veya hangi çıktılarda artış sağlaması gerektiğini de ortaya koyar. Bu yönüyle yöntem, etkinlik ölçümünün ötesine geçerek performans geliştirme açısından yol gösterici bir araç niteliği taşımaktadır.

CCR modelinin çıktılarından elde edilen “projeksiyon” değerleri, her bir etkin olmayan aracın mevcut durumuna göre hedef değerlerini göstermektedir. B segmenti için yapılan şehir içi analizde, etkin olmayan araçların büyük bölümü fiyat ve şehir içi tüketim değişkenlerinde görece iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Tablo 4.3: Şehir İçi-Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
6	Honda Jazz 1.5 Advance	0,87			
	Fiyat	0,36	0,31	- 0,05	-13,02%
	ŞehirİçiTüketim	0,52	0,24	- 0,28	-53,88%
	DolumSuresi	0,04	0,04	- 0,01	-13,02%
	Uzunluk	0,87	0,87	-	0,00%
	BeygirGucu	0,31	0,32	0,01	3,86%
7	Opel Corsa 1.2 Edition AT8	0,87			
	Fiyat	0,28	0,25	- 0,04	-12,71%
	ŞehirİçiTüketim	0,62	0,53	- 0,09	-14,40%
	DolumSuresi	0,05	0,04	- 0,01	-12,71%
	Uzunluk	0,88	0,88	-	0,00%
	BeygirGucu	0,29	0,29	-	0,00%
11	Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT	1,00			
	Fiyat	0,33	0,33	-	0,00%
	ŞehirİçiTüketim	0,24	0,24	-	0,00%
	DolumSuresi	0,04	0,04	-	0,00%
	Uzunluk	0,91	0,91	-	0,00%
	BeygirGucu	0,33	0,33	-	0,00%

Tablo 4.3 incelendiğinde, 0,87 etkinlik skoruna sahip Honda Jazz 1.5 Advance modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde yaklaşık %13,02, dolum süresinde %13,02, şehir içi tüketimde ise %53,88 oranında iyileştirme (azaltım) yapması gerektiği görülmektedir. Özellikle tüketimdeki bu yüksek iyileştirme ihtiyacı, modelin güçlü motor performansına karşın şehir içi verimlilik açısından enerji tüketimi boyutunda dezavantaj taşıdığını göstermektedir. Buna karşılık modelin motor gücü çıktısında %3,86'lık bir artış potansiyeli olduğu, yani mevcut girdilerle aslında daha yüksek bir güç üretmesinin beklendiği de analizden anlaşılmaktadır.

Benzer bir skorla (0,87) etkin olmayan Opel Corsa 1.2 Edition AT8 modelinde ise iyileştirme gereksinimlerinin daha dengeli dağıldığı görülmektedir. Bu modelin etkin olabilmesi için fiyat, tüketim ve dolum süresi değişkenlerinin tamamında ortalama %12-14 bandında bir iyileştirme yapması gerekmektedir. Tabloda referans olarak sunulan Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT (Skor: 1.00) modelinde ise mevcut değerler ile hedef değerler birebir aynıdır (Değişim %0). Bu durum, aracın mevcut kaynaklarını

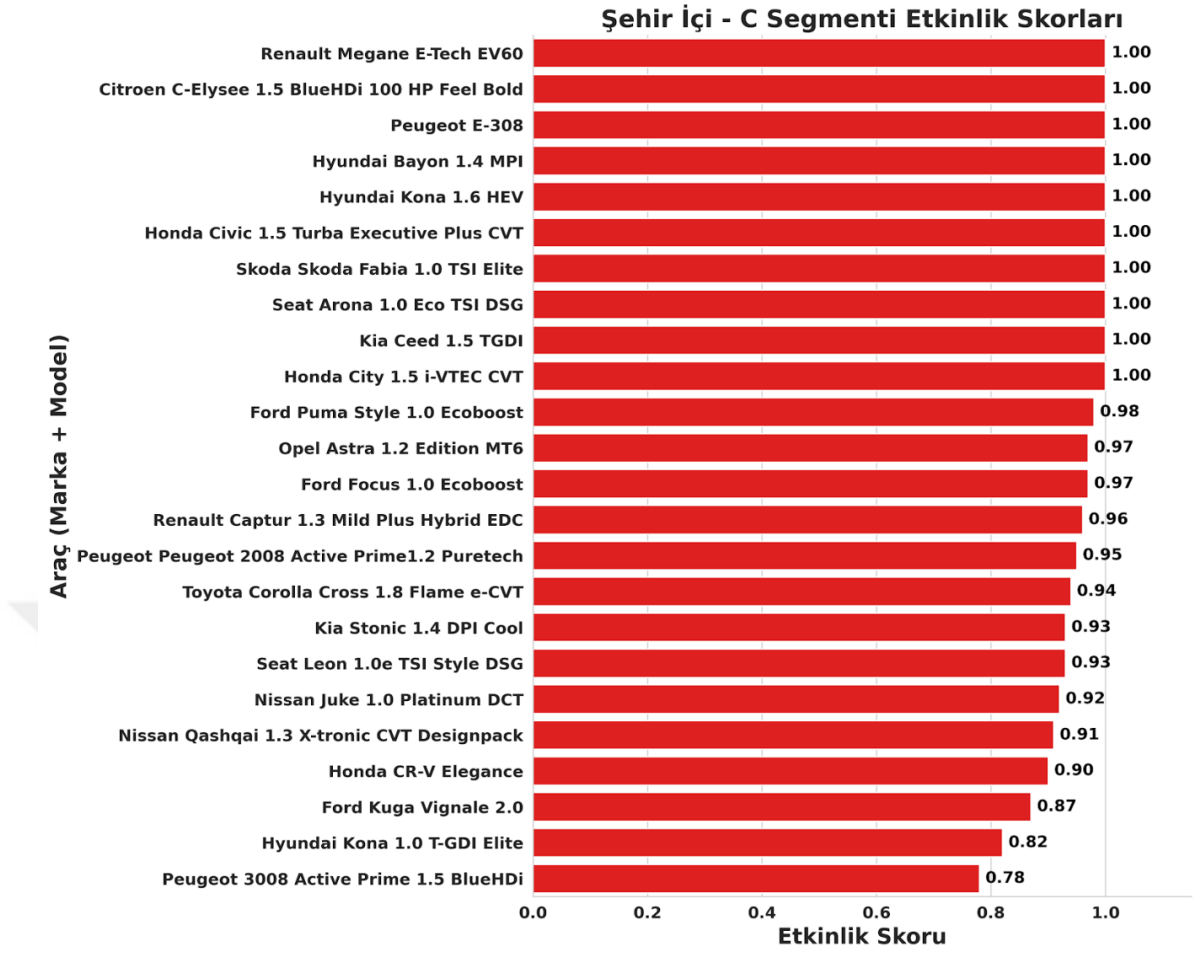
en verimli şekilde kullandığını ve segmentindeki diğer araçlar için bir kıyaslama noktası (benchmark) oluşturduğunu doğrulamaktadır.

Bu sonuçlar, B segmentinde dahi fiyat ve enerji tüketiminin etkinlik üzerinde belirleyici rol oynadığını; performansın artırılmasının yalnızca motor gücüyle değil, aynı zamanda ekonomik parametrelerin iyileştirilmesiyle mümkün olduğunu göstermektedir.

4.2.2. Şehir İçi – C Segmenti Bulguları

C segmenti, şehir içi kullanımda dengeleyici bir rol üstlenmekle birlikte, araçların büyük gövde yapıları nedeniyle B segmenti kadar yüksek bir verimlilik ortalamasına ulaşamamıştır. Ancak segment içindeki rekabetin yoğunluğu ve araç çeşitliliği, geniş bir etkinlik dağılımı ortaya çıkarmıştır.

CCR analizine göre C segmentinde; Renault Megane E-Tech EV60, Citroen C-Elysee, Peugeot E-308, Hyundai Bayon 1.4 MPI ve Hyundai Kona 1.6 HEV gibi modeller tam etkinlik (1.00) skoruna ulaşarak segmentin zirvesinde yer almıştır. Özellikle elektrikli ve hibrit modellerin (Megane E-Tech, Kona HEV) yanı sıra, uygun fiyatlı içten yanmalı modellerin (C-Elysee, Bayon) de etkinlik sınırında olması, C segmentinde başarının tek bir formüle bağlı olmadığını hem teknoloji hem de maliyet avantajıyla verimliliğin yakalanabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.5: Şehir İçi - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli)

Şekil 4.5 incelendiğinde, segmentteki araçların çok büyük bir kısmının 0,90 ve üzeri etkinlik skorlarına sahip olduğu görülmektedir. Etkinlik sınırının hemen altında yer alan Ford Puma (0.98), Opel Astra (0.97) ve Ford Focus (0.97) gibi modeller, rekabetçi yapılarını korumaktadır. Listenin alt sıralarında yer alan Peugeot 3008 ve Hyundai Kona 1.0 T-GDI gibi modellerin ise görece düşük skorlarında, yüksek fiyat ve yakıt tüketimi dengesizliğinin etkili olduğu değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar, C segmentinde şehir içi verimliliğin; elektrikli/hibrit motor teknolojisi veya düşük maliyetli kompakt yapı olmak üzere iki ana stratejiyle sağlandığını ortaya koymaktadır.

C segmenti için yapılan analizde, etkin olmayan araçların büyük bir kısmının SUV gövde tipine sahip olduğu ve fiyat ile şehir içi yakıt tüketimi değişkenlerinde yüksek oranda iyileştirme (azaltım) yapmaları gerektiği tespit edilmiştir. CCR modelinin

projeksiyon sonuçları, bu araçların verimli hale gelebilmesi için maliyet ve tüketim parametrelerinde ciddi bir optimizasyona ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4: Şehir İçi-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
14	Peugeot 3008 Active Prime 1.5 BlueHDi	0,75			
	Fiyat	0,48	0,36	- 0,12	-25,00%
	Şehir İçi Tüketim	0,75	0,56	- 0,19	-25,00%
	Dolum Süresi	0,05	0,04	- 0,01	-25,00%
	Uzunluk	0,80	0,80	-	0,00%
	Beygir Gücü	0,37	0,37	-	0,00%
30	Ford Kuga Style 1.5 Ecoboost	0,73			
	Fiyat	0,38	0,28	- 0,10	-27,00%
	Şehir İçi Tüketim	0,77	0,56	- 0,21	-27,00%
	Dolum Süresi	0,05	0,04	- 0,01	-27,00%
	Uzunluk	0,77	0,77	-	0,00%
	Beygir Gücü	0,34	0,34	-	0,00%
38	Kia Sportage 4x4	0,77			
	Fiyat	0,64	0,49	- 0,15	-24,00%
	Şehir İçi Tüketim	0,73	0,56	- 0,17	-23,00%
	Dolum Süresi	0,06	0,05	- 0,01	-23,00%
	Uzunluk	0,79	0,79	-	0,00%
	Beygir Gücü	0,43	0,43	-	0,00%
2	Citroen C-Elysee 1.5 BlueHDi	1,00			
	Fiyat	0,24	0,24	-	0,00%
	SehirIciTuketim	0,48	0,48	-	0,00%
	DolumSuresi	0,06	0,06	-	0,00%
	Uzunluk	0,81	0,81	-	0,00%
	BeygirGucu	0,29	0,29	-	0,00%

Tablo 4.4 incelendiğinde, 0,75 etkinlik skoruna sahip Peugeot 3008 Active Prime modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat, şehir içi tüketim ve dolum süresi girdilerinin tamamında %25 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Benzer şekilde Ford Kuga Style 1.5 Ecoboost modeli 0,73 skor ile segmentin en düşük etkinlik değerlerinden birine sahip olup, tüm girdi kalemlerinde %27 oranında azaltım yapması gerekmektedir.

Dört çeker özelliğiyle öne çıkan Kia Sportage 4x4 modelinde ise fiyat değişkeninde %24, yakıt tüketiminde %23 oranında iyileştirme ihtiyacı bulunmaktadır. Bu bulgular, C segmentindeki SUV modellerin yüksek motor hacmi, ağırlık ve maliyet yapıları

nedeniyle şehir içi verimlilikte dezavantajlı olduğunu; bu araçların sedan rakipleriyle (Örn: Citroen C-Elysee) rekabet edebilmeleri için ciddi bir maliyet ve yakıt optimizasyonuna ihtiyaç duyduklarını ortaya koymaktadır.

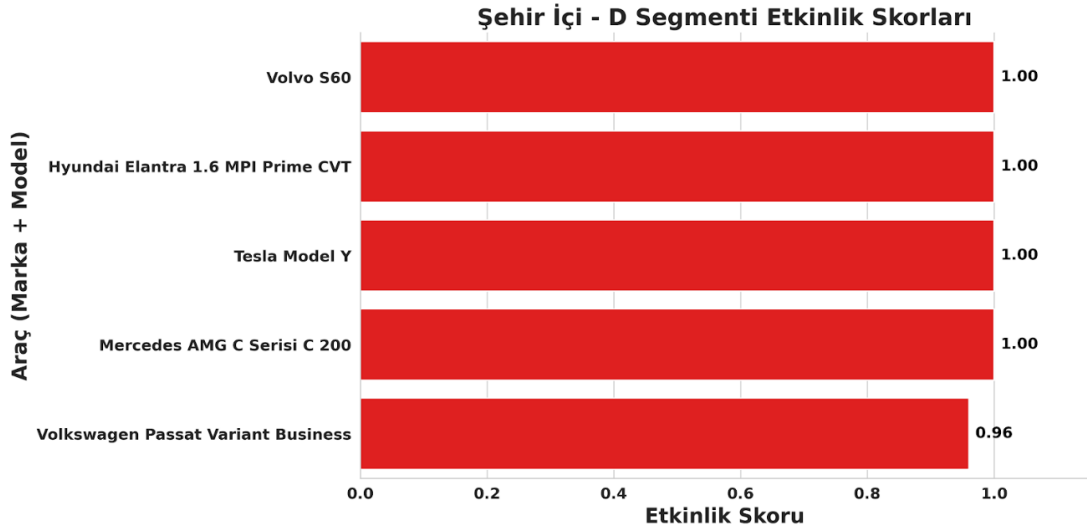
Tabloda referans olarak sunulan Citroen C-Elysee 1.5 BlueHDi (Skor: 1.00) modelinde ise mevcut ve hedef değerler arasında bir fark bulunmamaktadır. Düşük yakıt tüketimi ve uygun fiyatı ile bu model, segmentindeki diğer araçlar, özellikle de verimsiz SUV'lar için ulaşılması gereken bir verimlilik standardı oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, C segmentinde şehir içi verimliliği artırmak için yakıt ekonomisinin ve maliyet optimizasyonunun birlikte ele alınması gerektiği; yüksek performanslı SUV modellerin ise şehir içi kullanıma yönelik daha ekonomik varyantlara ihtiyaç duyduğu değerlendirilmektedir.

4.2.3. Şehir İçi – D Segmenti Bulguları

D segmenti, şehir içi kullanım koşullarında yüksek motor performansı, geniş iç hacim ve konfor öncelikli donanım yapısıyla öne çıkan araç grubudur. Bu segmentte yer alan araçlar genellikle üst sınıf modellerden oluştuğu için, etkinlik analizinde yüksek performans ile maliyet ve enerji tüketimi arasındaki denge belirleyici hale gelmiştir.

Şehir içi senaryoda D segmentine ait ortalama etkinlik skoru 0,99, etkin araç oranı ise %80 olarak hesaplanmıştır. CCR modeli bulgularına göre; Tesla Model Y, Mercedes AMG C Serisi C200, Hyundai Elantra 1.6 MPI Prime CVT ve Volvo S60 modelleri şehir içi koşullarda tam etkinlik (1.00) düzeyine ulaşmıştır. Bu araçlar, yüksek performans düzeylerini korurken enerji tüketimi, dolum süresi ve uzunluk değişkenlerinde dengeli bir profil sergilemiştir.



Şekil 4.6: Şehir İçi - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.6 incelendiğinde, segmentteki araçların tamamının 0,96 ve üzeri etkinlik skorlarına sahip olduğu görülmektedir. Özellikle Tesla Model Y, sıfır emisyonlu yapısı ve dolum süresi avantajı sayesinde şehir içi koşullarda en yüksek etkinlik düzeyini göstermiştir. Volkswagen Passat Variant Business modeli ise yüksek gövde yapısına ve güçlü motoruna rağmen yakıt tüketimi optimizasyonu sayesinde 0,96 skor ile etkinlik sınırına oldukça yakın bir performans sergilemiştir. Şehir içi D segmentinde elde edilen SBM sonuçları da CCR modeli ile yüksek düzeyde uyum göstermiştir. Segmentte yer alan araçlar arasındaki teknolojik homojenlik ve genel kalite düzeyi nedeniyle SBM skorları CCR değerlerinden anlamlı ölçüde sapmamıştır. Bu sonuç, D segmentinde etkinliğin büyük ölçüde teknolojik verimlilikten ve yüksek üretim standartlarından kaynaklandığını göstermektedir.

Şehir içi D segmentinde yer alan araçların büyük çoğunluğu etkinlik sınırına ulaşmış olsa da Passat Variant Business modelinde iyileştirme fırsatları bulunmaktadır. CCR modelinin projeksiyon değerleri, bu aracın mevcut performanslarını koruyarak, maliyet ve tüketim kalemlerinde yapılacak küçük ölçekli optimizasyonlarla tam etkin konuma gelebileceklerini göstermektedir. Bununla birlikte referans alacağı aracın etkinliğine ulaşmak için iyileştirme yapması gereken değişkenleri oransal olarak bildirir. Bu sayede üretim süreçleri için de çıktılar iletir. Passat modeli için ve referans aldığı Tesla Model Y için mevcut değerler ve hedef değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.5: Şehir İçi-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
1	Tesla Model Y	1,00			
	Fiyat	0,32	0,32	0,00	0%
	ŞehirİçiTüketim	0,19	0,19	0,00	0%
	DolumSuresi	0,61	0,61	0,00	0%
	Uzunluk	0,75	0,75	0,00	0%
	BeygirGucu	0,63	0,63	0,00	0%
2	VW Passat Variant Business	0,96			
	Fiyat	0,49	0,42	-0,07	-15%
	ŞehirİçiTüketim	0,79	0,76	-0,03	-4%
	DolumSuresi	0,06	0,06	0,00	-4%
	Uzunluk	0,75	0,75	0,00	0%
	BeygirGucu	0,43	0,43	0,00	0%

Tablo 4.5 incelendiğinde, 0,96 etkinlik skoruna sahip Volkswagen Passat Variant Business modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde %15, şehir içi yakıt tüketiminde %4 ve dolum süresinde %4 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Bu bulgu, aracın teknik ve fiziksel özellikler (uzunluk, beygir gücü) bakımından referans araçlarla tamamen uyumlu olduğunu, ancak maliyet parametresinin verimliliği baskılayan temel unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

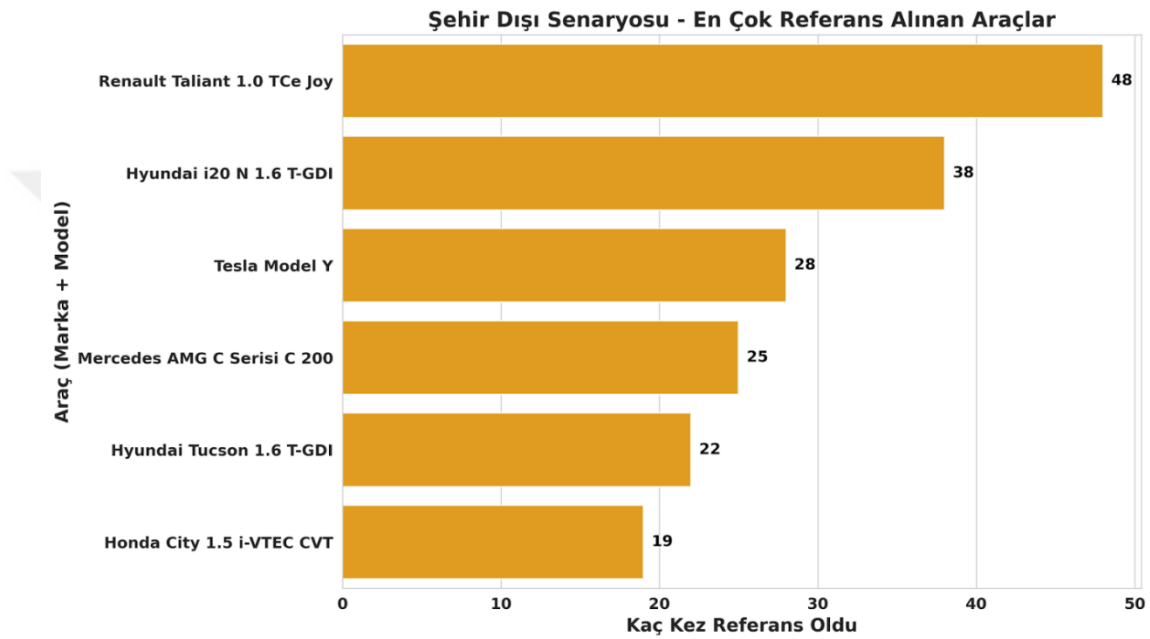
Buna karşın tabloda referans olarak sunulan Tesla Model Y, tüm girdi ve çıktı değişkenlerinde %0 değişim oranıyla tam etkinlik (1.00) düzeyini korumaktadır. Bu durum, elektrikli araçların şehir içi kullanımda sunduğu düşük enerji tüketimi ve işletme maliyeti avantajının, D segmentindeki yüksek fiyat dezavantajını bile tolere edebilecek güçte olduğunu kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, D segmentinde şehir içi verimliliği artırmak için içten yanmalı modellerde fiyatlandırma stratejilerinin gözden geçirilmesi yeterli olurken, elektrikli modellerin mevcut teknolojik yapılarıyla segmentin verimlilik standartlarını belirlediği değerlendirilmektedir.

4.3. Şehir Dışı Bulgular

Şehir dışı senaryosu, araçların yüksek hız, uzun menzil ve yakıt/enerji verimliliği gibi değişkenlerin ön plana çıktığı bir kullanım bağlamını temsil etmektedir. Burada tüm araçların birlikte değerlendirildiği senaryoda ortalama etkinlik değeri 0,84, tam etkin araç oranı ise %13,64 olarak hesaplanmıştır. Şehir dışı koşullarda araçların

performansı hem yakıt tüketimi hem de uzun yol konforunu birlikte optimize edebilme kapasitesiyle belirlenmektedir.

CCR modeline göre şehir dışı senaryosunda en yüksek etkinlik düzeyine ulaşan araçlar arasında Renault Taliant 1.0 TCe Joy, Hyundai i20 N 1.6 T-GDI, Honda City 1.5 i-VTEC CVT, Tesla Model Y ve Dacia Sandero 1.0 Sce yer almaktadır. Bu modeller, farklı segmentlerde bulunmalarına karşın düşük tüketim, erişilebilir fiyat ve optimum performans dengesini bir araya getirmiştir.



Şekil 4.7: Şehir Dışı Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar.

Şekil 4.7’de sunulan referans kümesi analizi incelendiğinde, en çok referans alınan aracın Renault Taliant 1.0 TCe Joy olduğu görülmektedir. Bu model, toplam 48 kez referans noktası olarak kullanılarak yalnızca kendi segmentinde değil, üst sınıf araçlar için de benchmark konumuna gelmiştir. Düşük yakıt tüketimi ve uygun fiyat düzeyi, bu aracın şehir dışı kullanımda verimlilik standardını belirleyen temel faktörlerdir.

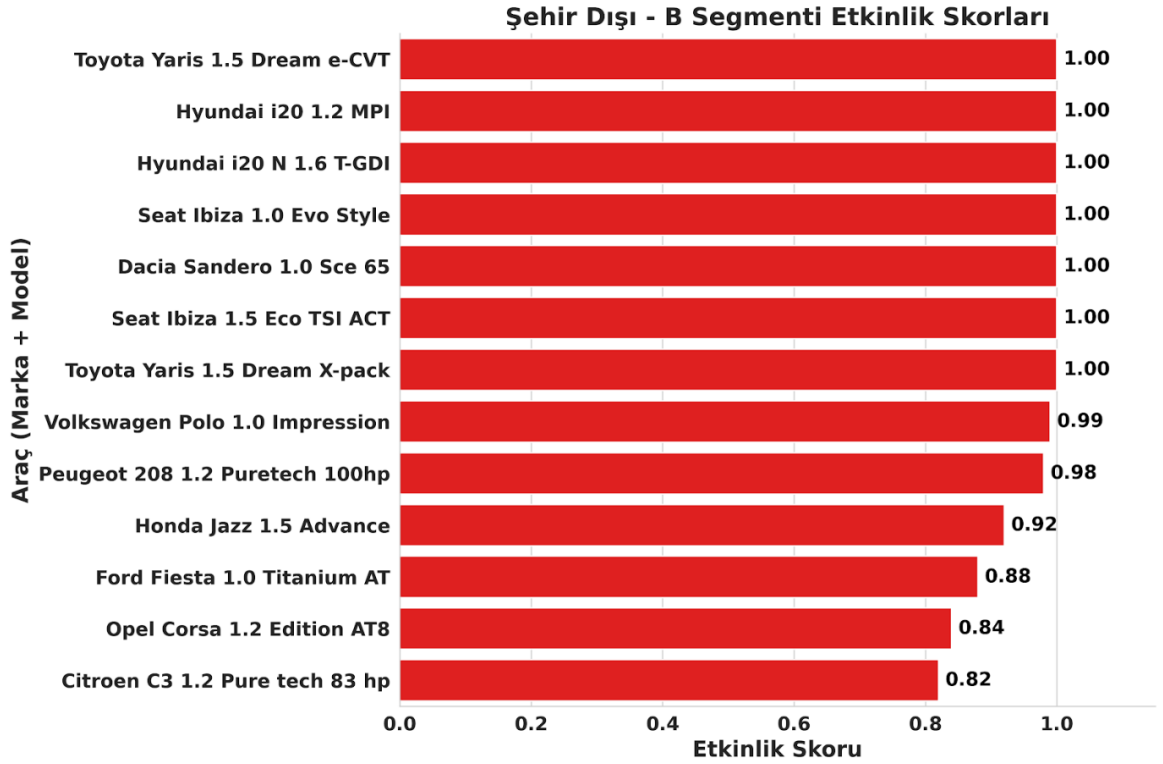
İkinci sırada 38 kez referans alınan Hyundai i20 N 1.6 T-GDI, yüksek motor gücü ve uzun yol koşullarında sağladığı dengeli tüketim profiliyle öne çıkmıştır. Listede dikkat çeken diğer modeller ise Tesla Model Y (28 kez) ve Mercedes AMG C Serisi C 200 (25 kez) olmuştur. Elektrikli bir SUV olan Tesla Model Y’nin ve yüksek performanslı bir sedan olan Mercedes AMG’nin referans listesinde üst sıralarda yer alması; şehir dışı kullanımda etkinliğin sadece düşük fiyatla değil, aynı zamanda yüksek motor

verimliliği ve aerodinamik performansla da sağlanabildiğini kanıtlamaktadır. Bu sonuçlar, şehir dışı koşullarda segment yerine teknik verimliliğin ön plana çıktığını göstermektedir. Hem ekonomik sınıf (B segmenti) hem de yüksek performanslı veya elektrikli araçlar (D segmenti) bu bağlamda etkinlik sınırına ulaşabilmektedir.

4.3.1. Şehir Dışı – B Segmenti Bulguları

B segmenti, şehir dışı senaryosunda da yüksek verimlilik ve dengeli performans özellikleriyle öne çıkmıştır. Kompakt yapıları sayesinde düşük yakıt/enerji tüketimi ve erişilebilir fiyat düzeyleri bu segmentin en belirgin avantajlarını oluşturmuştur. Şehir dışı kullanım koşullarında araçlar, genellikle uzun yol stabilitesi, düşük tüketim ve hız sabitleme performansı gibi faktörler açısından değerlendirilmiştir.

CCR modeline göre şehir dışı B segmentinde en yüksek etkinlik skorlarına; Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT, Hyundai i20 N 1.6 T-GDI modelleri ulaşmıştır. Bu araçlar, fiyat ve yakıt tüketimi gibi girdilerde sağladıkları denge sayesinde etkinlik sınırında yer almıştır. Özellikle Toyota Yaris modeli, düşük tüketim değeri ve uygun fiyat bileşimi ile segmentin referans noktası konumuna gelmiş, diğer segmentlerdeki araçlara dahi sıkça benchmark olmuştur.



Şekil 4.8: Şehir Dışı - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli)

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere, segmentteki araçların tamamına yakını 0,85 ve üzeri etkinlik skorlarına sahiptir. Bu durum, şehir dışı koşullarda segmentin performans dağılımının homojen ve dengeli olduğunu ortaya koymaktadır. Hyundai i20 N 1.6 T-GDI, yüksek motor gücünü korurken yakıt tüketiminde denge sağlamıştır.

Şehir dışı B segmentinde elde edilen SBM sonuçları da CCR modeliyle yüksek ölçüde paralellik göstermiş, araçlar arasında belirgin bir sapma görülmemiştir. Bu kararlı yapı, B segmenti araçların uzun yol koşullarında da maliyet-performans açısından rasyonel seçenekler sunduğunu doğrulamaktadır.

Şehir dışı B segmentinde yer alan araçların çoğu etkinlik sınırına yakın performans sergilese de özellikle yakıt tüketimi ve dolum süresi değişkenlerinde belirli iyileştirme potansiyelleri tespit edilmiştir.

CCR modelinin projeksiyon analizi, bu araçların uzun yol verimliliğini artırmak için hangi girdilerde ne kadar azaltım yapması gerektiğini somut olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 4.6: Şehir Dışı-Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

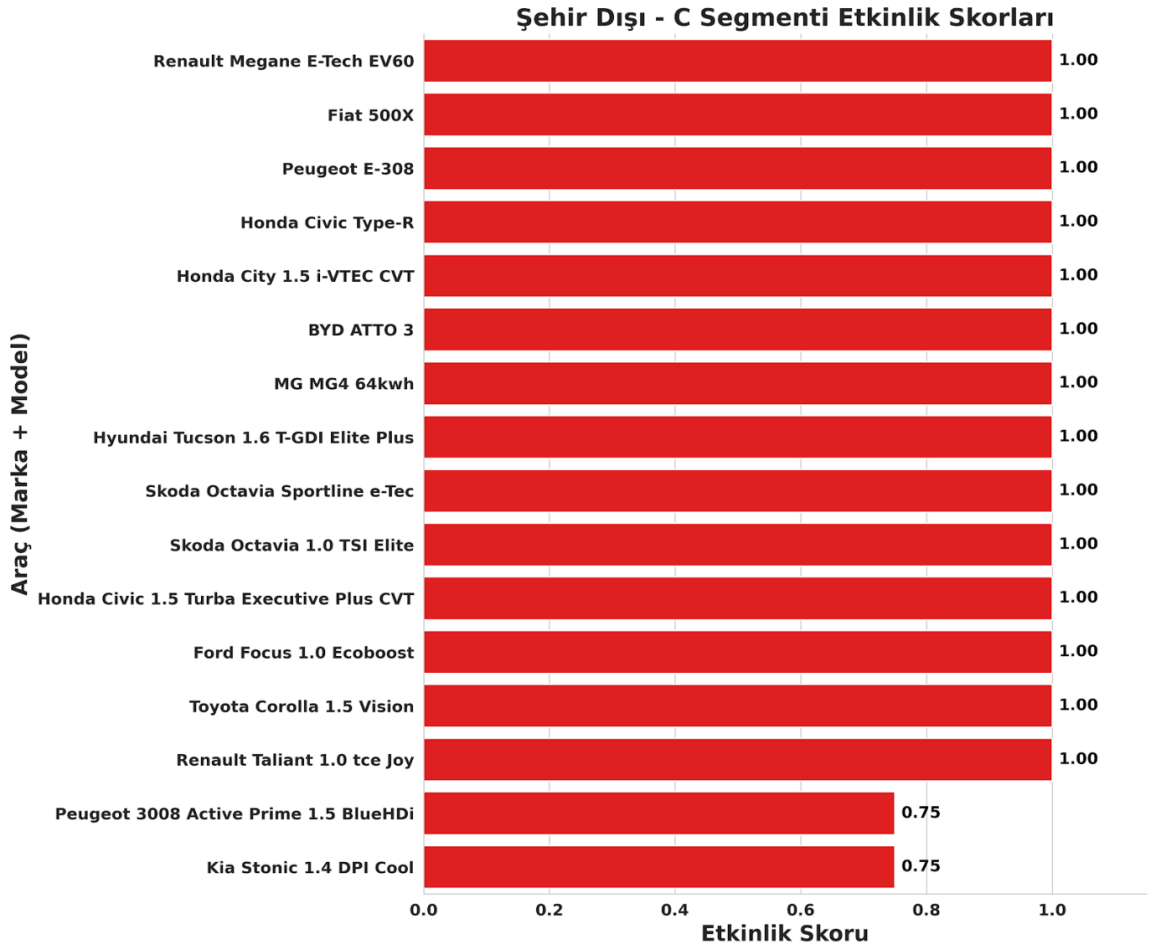
No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
1	Hyundai i20 1.2 MPI	1,00			
	Fiyat	0,20	0,20	0,00	0%
	ŞehirDışıTüketim	0,71	0,71	0,00	0%
	DolumSuresi	0,04	0,04	0,00	0%
	BagajHacmi	0,41	0,41	0,00	0%
	BeygirGucu	0,24	0,24	0,00	0%
3	Citroen C3 1.2 Pure tech 83 hp	0,82			
	Fiyat	0,22	0,18	-0,04	-18%
	ŞehirDışıTüketim	0,71	0,58	-0,13	-18%
	DolumSuresi	0,05	0,04	-0,01	-23%
	BagajHacmi	0,35	0,35	0,00	0%
	BeygirGucu	0,24	0,24	0,00	0%
5	Ford Fiesta 1.0 Titanium AT	0,88			
	Fiyat	0,29	0,26	-0,04	-12%
	ŞehirDışıTüketim	0,66	0,58	-0,08	-12%
	DolumSuresi	0,05	0,04	-0,01	-21%
	BagajHacmi	0,34	0,34	0,00	0%
	BeygirGucu	0,36	0,36	0,00	0%

Tablo 4.6 incelendiğinde, 0,82 etkinlik skoruna sahip Citroen C3 1.2 Pure Tech modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat ve şehir dışı tüketim değişkenlerinde %18, dolum süresinde ise %23 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Benzer şekilde Ford Fiesta 1.0 Titanium AT modeli 0,88 skor ile sınıra oldukça yakındır; ancak fiyat ve tüketimde %12, dolum süresinde ise %21 oranında optimizasyona ihtiyaç duymaktadır. Bu bulgular, B segmenti araçların şehir dışı kullanımda yakıt tüketim parametresine karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir. Etkin olmayan modellerin projeksiyon değerleri, genellikle daha az yakan referans araçların seviyesine çekilmeyi gerektirmektedir. Tabloda referans olarak yer alan Hyundai i20 1.2 MPI (Skor: 1.00) modeli ise tüm değişkenlerde mevcut değerlerini koruyarak tam etkinlik düzeyini sürdürmektedir. Bu durum, aracın fiyat-performans-tüketim üçgeninde şehir dışı koşullar için ideal bir denge yakaladığını kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, şehir dışı B segmentinde rekabet gücünü artırmak isteyen üreticilerin, motor verimliliğini artırarak yakıt tüketimini optimize etmeye odaklanmaları gerektiği değerlendirilmektedir.

4.3.2. Şehir Dışı – C Segmenti Bulguları

C segmenti, şehir dışı senaryosunda denge, konfor ve yakıt verimliliği açısından en geniş ürün çeşitliliğine sahip ve en başarılı sonuçları veren segmentlerden biridir. Bu segmentte hem dizel/benzinli sedanlar (Corolla, Octavia, Civic) hem de yeni nesil elektrikli modeller (Megane E-Tech, BYD Atto 3) yer almaktadır. Şehir dışı sürüş koşulları dikkate alındığında, araçların aerodinamik yapısı, uzun menzil performansı ve motor dayanıklılığı etkinlik üzerinde belirleyici olmuştur. CCR modeline göre, şehir dışı C segmentinde Renault Megane E-Tech EV60, Toyota Corolla 1.5 Vision, Skoda Octavia, Honda Civic, BYD Atto 3 ve Hyundai Tucson gibi birçok model tam etkinlik (1.00) düzeyine ulaşmıştır. Bu durum, C segmentinde verimliliğin sadece tek bir motor tipine bağlı olmadığını; hem elektrikli araçların düşük enerji maliyetiyle hem de içten yanmalı sedanların aerodinamik ve yakıt optimizasyonu ile zirveye çıkabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.9: Şehir Dışı - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.9 incelendiğinde, segmentteki araçların çok büyük bir kısmının tam etkinlik sınırında (1.00) yer aldığı görülmektedir. Buna karşın, listenin alt sıralarında yer alan Peugeot 3008 (0.75) ve Kia Stonic (0.75) gibi modellerin, şehir dışı koşullarda rakiplerine kıyasla daha düşük bir performans sergilediği dikkat çekmektedir. Bu modellerin görece yüksek yakıt tüketimi ve fiyat seviyeleri, etkinlik skorlarını düşüren temel faktörler olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, C segmentinde şehir dışı verimlilik; aerodinamik sedan yapısı ve uzun menzilli elektrikli motor teknolojileri ile maksimize edilmektedir. SUV modellerin (Peugeot 3008 gibi) aerodinamik dezavantajları ise uzun yol verimliliğinde kendisini negatif bir etki olarak göstermektedir. Şehir dışı C segmentinde etkin olmayan araçların büyük kısmında iyileştirme gereksinimi fiyat ve şehir dışı yakıt tüketimi değişkenlerinde yoğunlaşmaktadır. CCR modeli çıktıları, bu araçların genellikle yüksek satış fiyatı ve görece yüksek tüketim değerleri nedeniyle etkinlik sınırının altında kaldığını göstermektedir.

Tablo 4.7: Şehir Dışı-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
7	Kia Stonic 1.4 DPI Cool	0,75			
	Fiyat	0,28	0,21	-0,07	-25%
	SehirDisiTuketim	0,82	0,58	-0,24	-29%
	DolumSuresi	0,05	0,04	-0,01	-25%
	BagajHacmi	0,41	0,41	0,00	0%
	BeygirGucu	0,29	0,29	0,00	0%
9	Nissan Juke 1.0 Platinum DCT	0,76			
	Fiyat	0,34	0,26	-0,08	-24%
	SehirDisiTuketim	0,76	0,58	-0,18	-24%
	DolumSuresi	0,05	0,04	-0,01	-24%
	BagajHacmi	0,49	0,49	0,00	0%
	BeygirGucu	0,33	0,33	0,00	0%
14	Peugeot 3008 Active P 1.5	0,75			
	Fiyat	0,48	0,36	-0,12	-25%
	SehirDisiTuketim	0,85	0,64	-0,21	-25%
	DolumSuresi	0,05	0,04	-0,01	-25%
	BagajHacmi	0,61	0,61	0,00	0%
	BeygirGucu	0,37	0,37	0,00	0%
15	Renault Taliant 1.0 tce Joy	1,00			
	Fiyat	0,21	0,21	0,00	0%
	SehirDisiTuketim	0,64	0,64	0,00	0%
	DolumSuresi	0,06	0,06	0,00	0%
	BagajHacmi	0,74	0,74	0,00	0%
	BeygirGucu	0,26	0,26	0,00	0%

Tablo 4.7 incelendiğinde, 0,75 etkinlik skoruna sahip Kia Stonic 1.4 DPI Cool modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde %25, şehir dışı yakıt tüketiminde ise %29 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Benzer şekilde Nissan Juke 1.0 Platinum DCT modeli 0,76 skor ile sınıra ulaşmak için tüm girdi kalemlerinde ortalama %24 oranında azaltım yapma ihtiyacı duymaktadır.

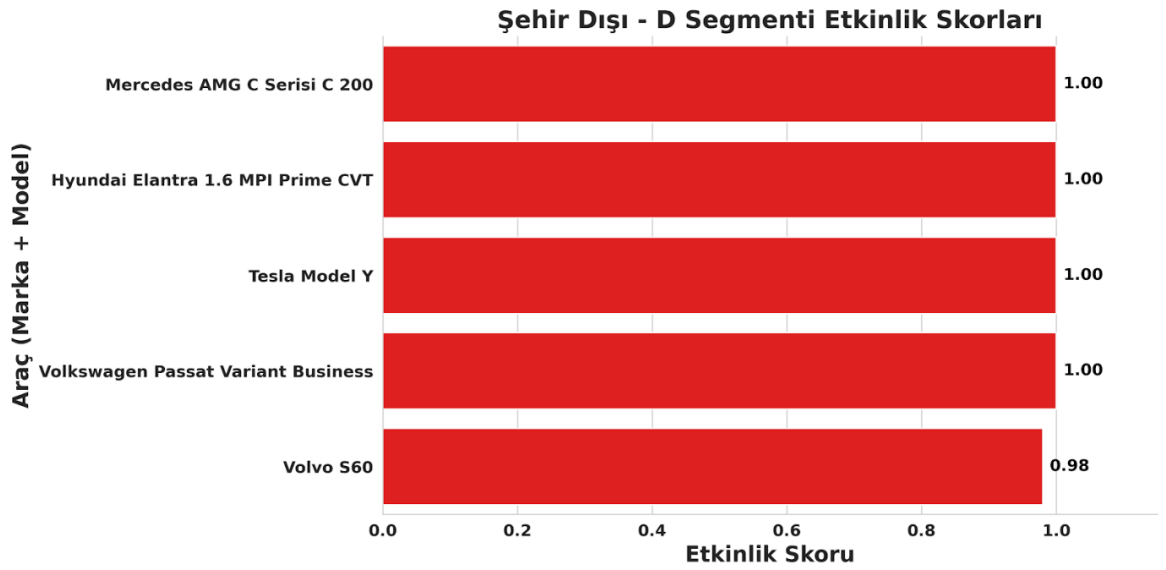
Segmentin popüler SUV modellerinden Peugeot 3008 Active Prime 1.5 BlueHDi ise 0,75 skor ile verimsiz bölgede yer almış ve fiyat ile tüketim değişkenlerinde %25 oranında iyileştirme potansiyeli taşıdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, C segmentindeki SUV ve Crossover modellerin aerodinamik yapıları ve ağırlıkları nedeniyle uzun yol tüketiminde sedan modellere kıyasla dezavantajlı olduğunu doğrulamaktadır.

Tabloda referans olarak sunulan Renault Taliant 1.0 tce Joy (Skor: 1.00), düşük tüketim ve uygun fiyat kombinasyonu ile segmentin verimlilik standardını belirlemiş ve diğer araçlar için ulaşılması gereken hedef değerleri oluşturmuştur.

4.3.3. Şehir Dışı – D Segmenti Bulguları

D segmenti, şehir dışı kullanım koşullarında yüksek konfor, motor gücü ve uzun menzil performansı ile öne çıkan araç grubunu temsil etmektedir. Bu segmentte yer alan modeller, genellikle daha büyük gövde yapısı, gelişmiş güvenlik donanımları ve yüksek motor hacimleriyle karakterize edilmektedir. Ancak bu özellikler, yakıt/enerji tüketimini artırarak etkinlik değerleri üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturabilmektedir.

CCR modeline göre şehir dışı senaryosunda; Tesla Model Y, Volkswagen Passat Variant Business, Mercedes AMG C Serisi C200 ve Hyundai Elantra 1.6 MPI Prime CVT modelleri tam etkinlik (1.00) düzeyine ulaşmıştır. Bu sonuç, D segmentinde farklı motor teknolojilerinin (elektrikli, benzinli, dizel) her birinin kendi avantajlarını kullanarak aynı etkinlik zirvesinde buluşabildiğini göstermektedir.



Şekil 4.10: Şehir Dışı - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.10 incelendiğinde, segmentteki araçların neredeyse tamamının tam etkinlik sınırında olduğu görülmektedir. Sadece Volvo S60 modeli 0,98 skor ile çok küçük bir farkla geride kalmıştır. Özellikle Tesla Model Y, elektrikli güç aktarma sistemi sayesinde sıfır emisyon ve düşük kullanım maliyeti avantajıyla segmentin referans aracı konumuna gelmiştir. Volkswagen Passat ise içten yanmalı motor yapısına rağmen yakıt tüketiminde sağladığı denge ve uzun yol konforuyla dikkat çekmiştir .

Şehir dışı D segmentinde elde edilen SBM sonuçları da CCR modelini desteklemektedir. SBM yaklaşımı, özellikle fiyat ve yakıt tüketimi gibi girdi değişkenlerine duyarlı olduğundan, küçük ölçekli iyileştirmelerin etkinlik değerini artırabileceğini göstermektedir. Ancak genel sıralamada CCR ve SBM sonuçları arasında anlamlı fark bulunmamaktadır; her iki model de D segmentinin şehir dışı senaryosunda kararlı bir etkinlik yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Şehir dışı D segmentinde yer alan araçların neredeyse tamamı tam etkinlik sınırına ulaşmış olsa da sınırın hemen altında kalan premium modellerde maliyet odaklı iyileştirme gereksinimleri dikkat çekmektedir. CCR modelinin projeksiyon sonuçları, yüksek performanslı lüks araçların verimlilik yarışında kalabilmeleri için fiyatlandırma stratejilerini optimize etmeleri gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.8: Şehir Dışı-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
4	Mercedes AMG C 200	1,00			
	Fiyat	0,75	0,75	0,00	0%
	Şehir Dışı Tüketim	0,68	0,68	0,00	0%
	Dolum Süresi	0,05	0,05	0,00	0%
	Bagaj Hacmi	0,33	0,33	0,00	0%
	Beygir Gücü	1,00	1,00	0,00	0%
5	Volvo S60	0,98			
	Fiyat	0,75	0,58	-0,17	-23%
	Şehir Dışı Tüketim	0,87	0,82	-0,05	-6%
	Dolum Süresi	0,05	0,05	0,00	-2%
	Bagaj Hacmi	0,50	0,50	0,00	0%
	Beygir Gücü	0,71	0,71	0,00	0%

Tablo 4.8 incelendiğinde, 0,98 etkinlik skoruna sahip olan Volvo S60 modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için en büyük iyileştirmeyi %23 oranında fiyat değişkeninde yapması gerektiği görülmektedir. Ayrıca şehir dışı yakıt tüketimi değişkeninde %6 ve dolum süresinde %2 oranında küçük ölçekli iyileştirmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu bulgu, Volvo S60'ın teknik performans ve konfor açısından segment standartlarını karşıladığını, ancak referans alınan rakiplerine (Örneğin: Mercedes AMG veya Tesla Model Y) kıyasla fiyat-performans dengesinde bir miktar geride kaldığını göstermektedir. Tabloda referans olarak yer alan Mercedes AMG C Serisi C 200 (Skor: 1.00), yüksek fiyatına rağmen sunduğu üstün motor gücü ve performans çıktısı sayesinde girdilerini tam kapasiteyle kullanarak verimli bulunmuştur. Volvo S60'ın etkin olabilmesi için ya fiyatını düşürmesi ya da mevcut fiyat seviyesinde daha yüksek bir motor performansı sunması gerektiği analizden anlaşılmaktadır.

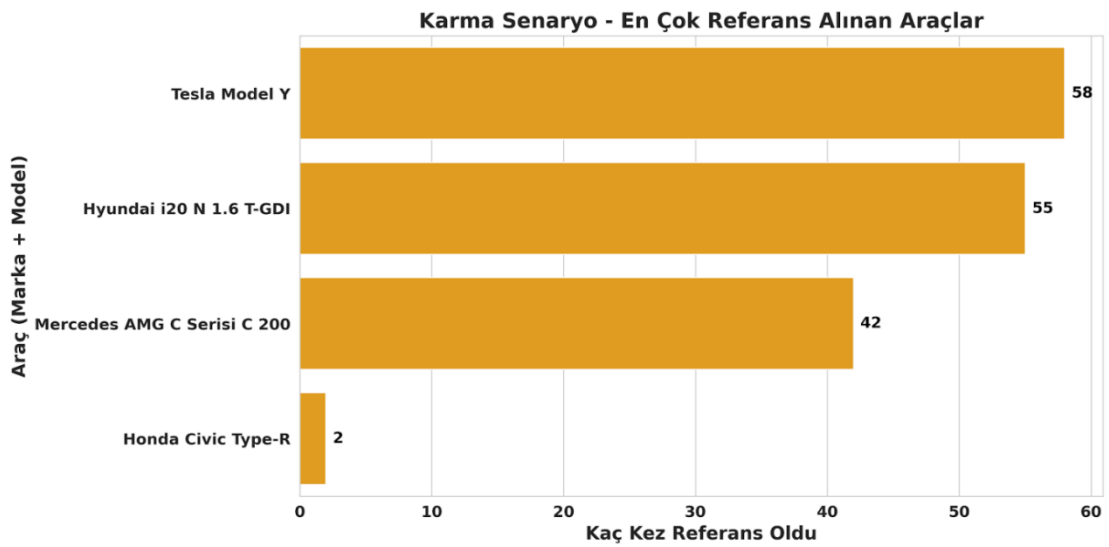
Sonuç olarak, D segmenti araçlarda şehir dışı verimliliğin anahtarı, yüksek performansı makul bir tüketim ve fiyat dengesiyle sunabilmektir. Bu segmentteki rekabet, teknik özelliklerden ziyade maliyet optimizasyonu üzerinden şekillenmektedir.

4.4. Karma Senaryosu Bulguları

Karma (combined) senaryosu, şehir içi ve şehir dışı kullanım koşullarının birlikte değerlendirildiği bütüncül bir etkinlik analizini temsil etmektedir. Bu senaryoda

araçlar, günlük karma sürüş alışkanlıklarını yansıtacak biçimde hem düşük hız–kısa mesafe hem de uzun mesafe–yüksek hız koşulları altında performans göstermektedir. Dolayısıyla hem yakıt/enerji tüketimi hem de konfor–performans dengesi bu senaryoda belirleyici olmuştur.

Tüm araçların birlikte değerlendirildiği CCR modeline göre karma senaryoda Tesla Model Y, Hyundai i20 N 1.6 T-GDI, Mercedes AMG C Serisi C200 ve Honda Civic Type-R modelleri öne çıkmıştır. Bu modeller, farklı segmentlerde yer almalarına rağmen hem performans hem de yakıt/enerji verimliliği bakımından etkinlik sınırına yakın sonuçlar elde etmiştir.



Şekil 4.11: Karma Senaryosunda En Çok Referans Alınan Araçlar.

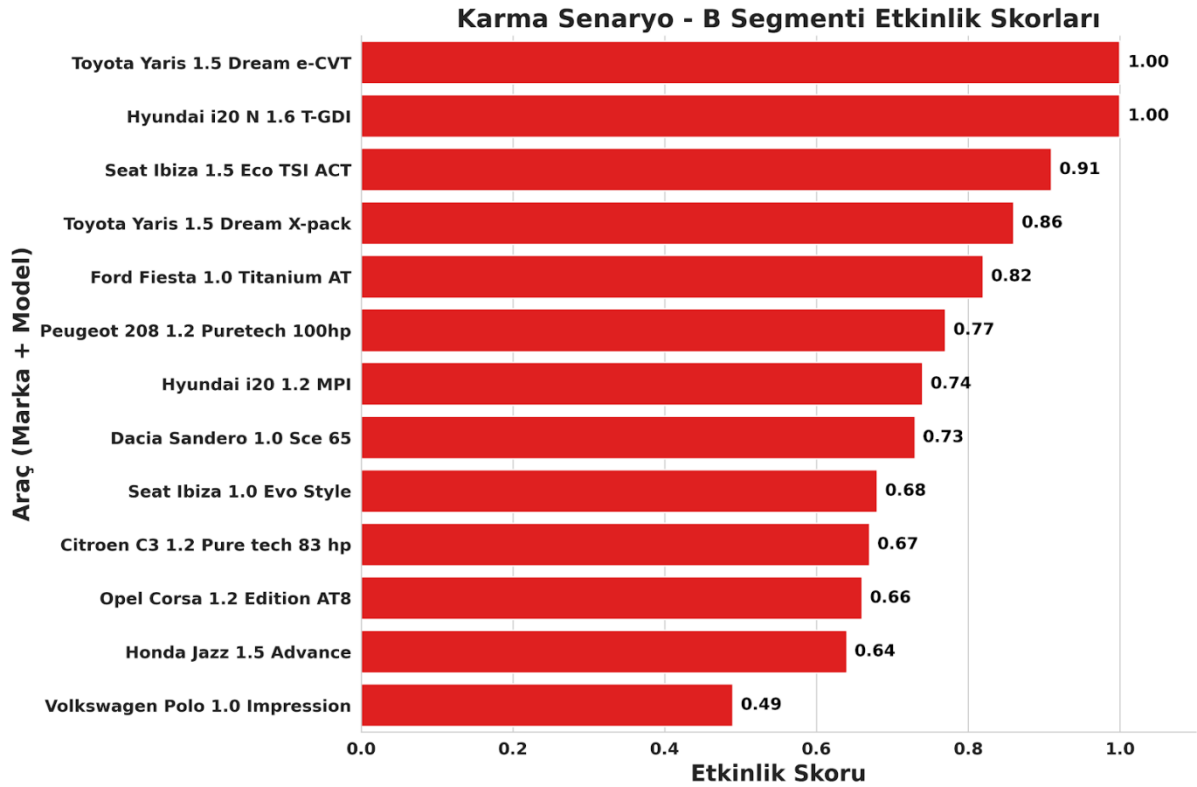
Şekil 4.11’de sunulan referans kümesi analizi incelendiğinde, en çok referans alınan aracın Tesla Model Y (58 kez) olduğu görülmektedir. Onu çok küçük bir farkla Hyundai i20 N 1.6 T-GDI (55 kez) takip etmektedir. Bu iki aracın zirvede yer alması, karma kullanımda başarının iki farklı yolla (elektrikli verimlilik veya kompakt performans) kazanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Üçüncü sırada 42 kez referans alınan Mercedes AMG C Serisi C200, yüksek motor gücüne rağmen orantılı tüketim profiliyle dikkat çekmiş ve özellikle üst segment araçlar için güçlü bir benchmark oluşturmuştur. Honda Civic Type-R ise daha niş bir kitleye hitap etmesine rağmen etkinlik sınırında yer almayı başarmıştır.

Karma senaryoda dikkat çeken en önemli bulgu, farklı segmentlerdeki araçların (B, C, D) etkinlik sınırında ve referans listesinde birlikte, dengeli bir şekilde yer almasıdır. Bu durum, sürüş koşullarının çeşitliliği arttıkça tek bir segmentin belirleyici olmadığını, araçların genel performans–maliyet dengesinin daha kritik hale geldiğini göstermektedir.

4.4.1. Karma – B Segmenti Bulguları

B segmenti, karma sürüş senaryosunda şehir içi ve şehir dışı senaryolarına göre daha karamsar bir tablo ortaya koymuştur. Analiz sonuçları, segment içindeki performans dağılımının diğer senaryolara göre daha heterojen olduğunu göstermektedir. CCR analizine göre Toyota Yaris 1.5 Dream e-CVT ve Hyundai i20 N 1.6 T-GDI tam etkin (1.00) araçlar olarak belirlenmiştir. Toyota Yaris’in hibrit teknolojisi, karma sürüş koşullarında enerji dönüşüm verimliliğini artırarak modelin zirvede yer almasını sağlamıştır. Hyundai i20 N ise yüksek motor gücüne rağmen hafif gövde yapısı sayesinde sağladığı performans/tüketim dengesiyle tam etkinliğe ulaşmıştır.



Şekil 4.12: Karma - B Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.12 incelendiğinde, segmentteki araçların büyük bölümünün 0,65 ile 0,85 aralığında bir etkinlik skoruna sahip olduğu görülmektedir. Listenin en altında yer alan Volkswagen Polo 1.0 Impression (0.49) modeli, karma senaryonun gerektirdiği çok yönlü verimlilik testinde, özellikle fiyat ve donanım dengesi nedeniyle rakiplerinin gerisinde kalmıştır.

Karma senaryoda CCR ve SBM sonuçları birbirine oldukça yakındır. SBM modelinin duyarlılığı, etkin olmayan araçlarda küçük farkları ortaya çıkarmış ancak genel sıralamada anlamlı bir değişiklik yaratmamıştır. Bu durum, B segmentinde lider modellerin (Yaris ve i20 N) teknolojik üstünlüklerinin her iki analiz yöntemiyle de doğrulandığını göstermektedir.

Sonuç olarak, karma senaryoda B segmenti; hibrit ve yüksek performanslı benzinli motorların, geleneksel atmosferik veya düşük hacimli turbo motorlara karşı belirgin bir üstünlük kurduğu bir yapı sergilemiştir.

Karma sürüş senaryosunda B segmenti araçların etkinlik analizleri, geleneksel içten yanmalı motorlara sahip modellerin, segmentin lideri olan hibrit ve yüksek performanslı modellere kıyasla ciddi verimlilik sorunları yaşadığını göstermektedir. CCR modelinin projeksiyon sonuçlarına göre, etkin olmayan araçların özellikle yakıt tüketimi ve dolum süresi değişkenlerinde radikal iyileştirmelere ihtiyacı vardır.

Tablo 4.9: Karma - Etkin Olmayan B Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
1	Hyundai i20 1.2 MPI	0,70			
	Fiyat	0,20	0,14	-0,06	-30%
	KarmaYakitTuketimi	0,70	0,35	-0,34	-49%
	DolumSuresi	0,04	0,02	-0,03	-59%
	BeygirGucu	0,24	0,24	0,00	0%
2	Hyundai i20 N 1.6 T-GDI	1,00			
	Fiyat	0,34	0,34	0,00	0%
	KarmaYakitTuketimi	0,85	0,85	0,00	0%
	DolumSuresi	0,04	0,04	0,00	0%
	BeygirGucu	0,58	0,58	0,00	0%
3	Citroen C3 1.2 Pure tech 83 hp	0,64			
	Fiyat	0,22	0,14	-0,08	-36%
	KarmaYakitTuketimi	0,67	0,35	-0,32	-48%
	DolumSuresi	0,05	0,02	-0,03	-65%
	BeygirGucu	0,24	0,24	0,00	0%

Tablo 4.9 incelendiğinde, 0,70 etkinlik skoruna sahip Hyundai i20 1.2 MPI modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde %30, karma yakıt tüketiminde %49 ve dolum süresinde %59 oranında azaltım yapması gerektiği görülmektedir. Benzer şekilde Citroen C3 1.2 Pure Tech modeli 0,64 skor ile daha düşük bir performans sergilemiş olup, özellikle dolum süresinde %65 ve yakıt tüketiminde %48 oranında iyileştirme gerektirmektedir.

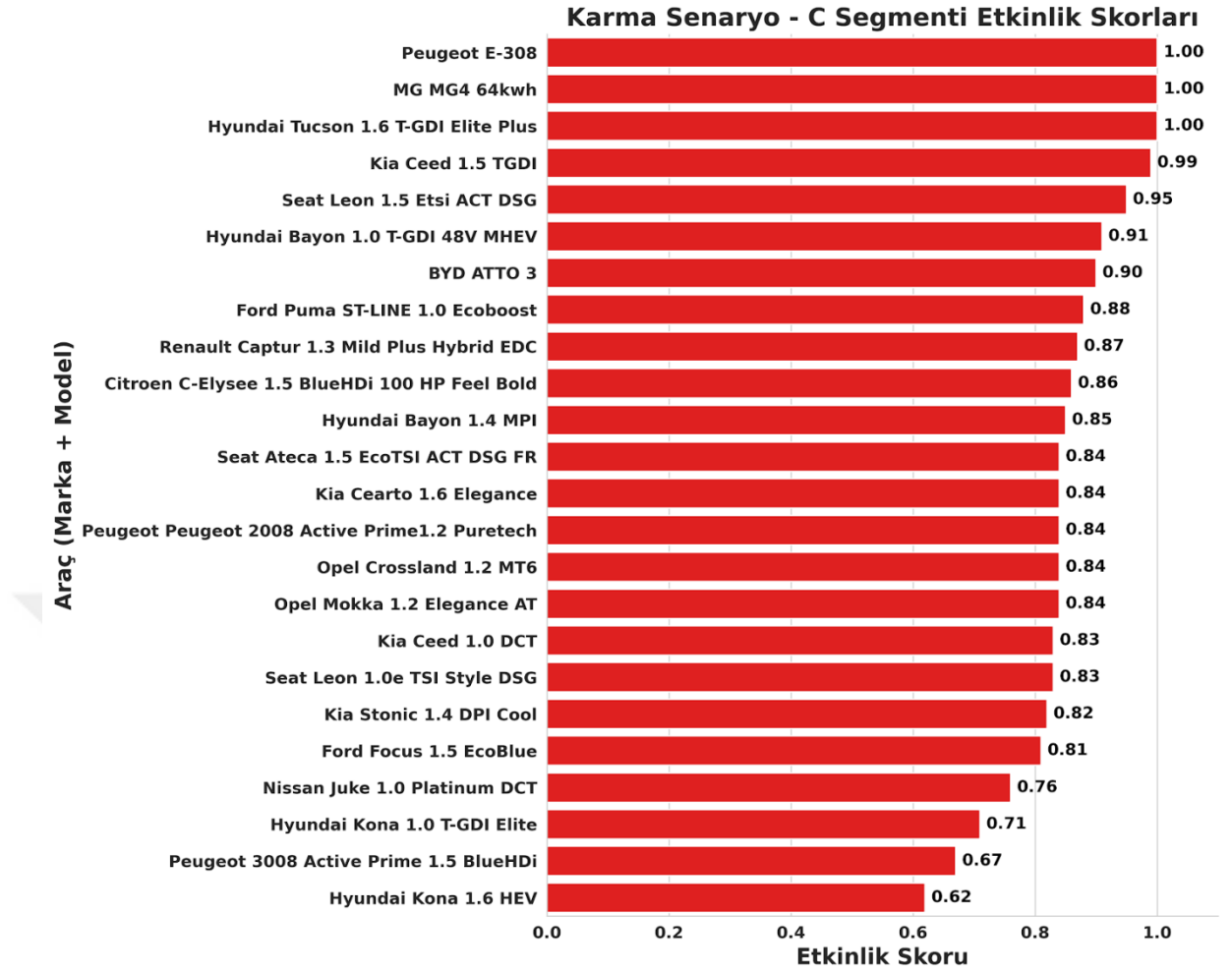
Bu yüksek iyileştirme oranları, atmosferik motorlu standart B segmenti araçların, karma kullanım koşullarında referans alınan modellerin (Toyota Yaris Hibrit veya Hyundai i20 N) sunduğu "performans başına tüketim" oranını yakalamakta zorlandığını göstermektedir. Referans araç olan Hyundai i20 N 1.6 T-GDI (Skor: 1.00), yüksek yakıt tüketimine rağmen sunduğu yüksek motor gücü çıktısı sayesinde girdilerini verimli kullanmış sayılmaktadır.

Sonuç olarak, karma senaryoda B segmenti için verimliliğin anahtarı; ya hibrit teknolojisiyle yakıt tüketimini minimize etmek ya da turbo motor teknolojisiyle tüketilen yakıtın karşılığında yüksek performans sunabilmektir. Düşük performanslı atmosferik motorlar bu denklemde verimsiz kalmaktadır.

4.4.2. Karma – C Segmenti Bulguları

C segmenti, karma sürüş senaryosunda yakıt ekonomisi ve performans dengesinin en belirgin biçimde gözlendiği, ancak etkinlik skorlarının en geniş aralıkta dağıldığı segmenttir. Bu segmentte yer alan araçların karma senaryoda etkinlik sıralamasında belirgin farklar vardır.

CCR analizine göre Peugeot E-308, MG MG4 64kWh ve Hyundai Tucson 1.6 T-GDI Elite Plus modelleri tam etkinlik (1.00) düzeyine ulaşmıştır. Elektrikli modellerin (E-308, MG4) zirvede yer alması, karma senaryoda enerji maliyeti avantajının kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Öte yandan Hyundai Tucson'un güçlü benzinli motoruna rağmen zirvede yer alması, modelin sunduğu yüksek performans çıktısının tükettiği yakıtı kompanse ettiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 4.13: Karma - C Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.13 incelendiğinde, listenin alt sıralarında yer alan Hyundai Kona 1.6 HEV (0.62) ve Peugeot 3008 Active Prime (0.67) gibi modellerin, karma kullanım koşullarında rakiplerine kıyasla daha düşük bir verimlilik sergilediği görülmektedir. Özellikle hibrit bir model olan Kona'nın bu senaryoda düşük skor alması, aracın fiyat ve donanım özelliklerinin karma tüketim avantajını gölgelediğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, C segmentinde karma senaryo verimliliğinin elektrikli motor teknolojisi veya yüksek performanslı benzinli motorlar ile maksimize edilebildiğini; ancak standart hibrit veya dizel seçeneklerin maliyet/performans dengesinde zorlanabildiğini ortaya koymaktadır.

C segmenti karma senaryo analizinde etkin olmayan araçların büyük bölümü, yüksek donanım ve motor gücüne sahip SUV/Crossover modellerinden oluşmaktadır. CCR modelinin projeksiyon sonuçları, bu araçların verimlilik sınırına ulaşabilmesi için

fiyat, yakıt tüketimi ve dolum süresi değişkenlerinde önemli oranda iyileştirme yapmaları gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4.10: Karma-Etkin Olmayan C Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
29	Ford Kuga Vignale 2.0	0,53			
	Fiyat	0,35	0,12	-0,23	-65%
	KarmaYakitTuketimi	0,36	0,19	-0,17	-47%
	DolumSuresi	0,03	0,02	-0,01	-47%
	BeygirGucu	0,34	0,34	0,00	0%
42	Hyundai Kona 1.6 HEV	0,61			
	Fiyat	0,27	0,16	-0,11	-39%
	KarmaYakitTuketimi	0,35	0,21	-0,14	-39%
	DolumSuresi	0,03	0,02	-0,01	-39%
	BeygirGucu	0,30	0,30	0,00	0%
1	Fiat 500X	1,00			
	Fiyat	0,24	0,24	0,00	0%
	KarmaYakitTuketimi	0,73	0,73	0,00	0%
	DolumSuresi	0,05	0,05	0,00	0%
	BeygirGucu	0,37	0,37	0,00	0%
3	Honda Civic Type-R	1,00			
	Fiyat	0,97	0,97	0,00	0%
	KarmaYakitTuketimi	1,00	1,00	0,00	0%
	DolumSuresi	0,05	0,05	0,00	0%
	BeygirGucu	0,94	0,94	0,00	0%

Tablo 4.10 incelendiğinde, 0,53 etkinlik skoruyla segmentin en verimsiz araçlarından biri olan Ford Kuga Vignale 2.0 modelinin, tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde %65, karma yakıt tüketimi ve dolum süresinde ise %47 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Bu durum, yüksek motor hacmine (2.0L) ve premium donanımına sahip araçların karma kullanım koşullarında maliyet ve tüketim açısından ciddi dezavantaj yaşadığını doğrulamaktadır.

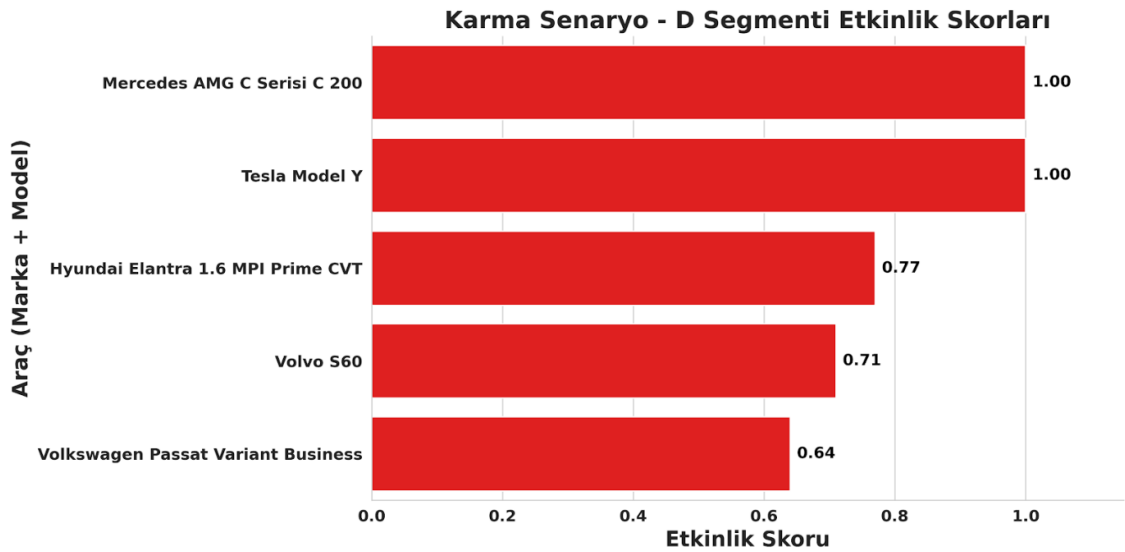
Hibrit motor teknolojisine sahip olmasına rağmen 0,61 skorda kalan Hyundai Kona 1.6 HEV modeli ise tüm girdi değişkenlerinde (fiyat, tüketim, dolum süresi) yaklaşık %39 oranında iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu bulgu, hibrit teknolojisinin tek başına verimlilik garantisi sağlamadığını; aracın fiyatlandırmasının ve diğer teknik özelliklerinin de bu teknolojiyle uyumlu olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tabloda referans olarak sunulan Fiat 500X ve Honda Civic Type-R modelleri (Skor: 1.00), mevcut kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak segment standartlarını belirlemiştir. Özellikle Honda Civic Type-R, yüksek fiyatına ve tüketimine rağmen sunduğu çok yüksek motor gücü çıktısı (%94 normalize değer) sayesinde verimli bulunmuştur.

Sonuç olarak, C segmentinde karma senaryo verimliliği için araçların ya düşük maliyetli kompakt bir yapıya sahip olması ya da tükettikleri kaynağın karşılığını çok yüksek performans olarak geri vermesi gerekmektedir. Arada kalan ne tam ekonomik ne de tam performanslı olan modeller verimsiz bölgede kalmaktadır.

4.4.3. Karma – D Segmenti Bulguları

D segmenti, karma sürüş senaryosunda yüksek performans ve konfor odaklı modellerin etkinlik düzeyini ortaya koymaktadır. Bu segmentte yer alan araçlar, geniş iç hacim, yüksek motor gücü ve gelişmiş donanım özellikleriyle öne çıkmakta; ancak yüksek fiyat ve yakıt/enerji tüketimi değerleri nedeniyle etkinlik skorları daha geniş bir dağılım göstermektedir. CCR analizine göre Tesla Model Y ve Mercedes AMG C Serisi C 200 modelleri tam etkin (1.00) olarak belirlenmiştir. Tesla Model Y, tamamen elektrikli yapısı ve sıfır emisyon avantajı sayesinde hem enerji verimliliği hem de performans açısından segmentin referans noktası olmuştur. Mercedes AMG C Serisi C 200 ise içten yanmalı motor yapısına rağmen fiyat–performans dengesini koruyarak yüksek etkinlik düzeyi elde etmiştir.



Şekil 4.14: Karma - D Segmenti Araçlarının Etkinlik Skorları (CCR Modeli).

Şekil 4.14 incelendiğinde, segmentin geri kalanının etkinlik sınırının oldukça altında kaldığı görülmektedir. Özellikle Volkswagen Passat Variant Business (0.64) ve Volvo S60 (0.71) gibi modeller, şehir dışı senaryoda gösterdikleri yüksek performansı karma senaryoda sürdürememiştir. Bu düşüşün temel nedeni, bu araçların şehir içi kullanımda ortaya çıkan yüksek yakıt tüketimi ve manevra dezavantajlarının genel verimlilik skorunu aşağı çekmesidir.

Bu sonuçlar, D segmentinde enerji verimliliği ve maliyet faktörlerinin etkinlik üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Segmentin genelinde, yüksek motor gücüne sahip premium modeller performans açısından üstünlük sağlarken, yakıt tüketimi ve fiyat düzeylerindeki artışlar verimlilik skorlarını düşürmektedir. Elektrikli araçlar ise bu dezavantajı dengeleyerek segmentin etkinlik sınırında yer alabilmektedir. D segmenti karma senaryo analizinde, etkin olmayan araçların büyük bölümünün içten yanmalı motorlu modeller olduğu ve bu araçların özellikle karma yakıt tüketimi değişkeninde çok yüksek oranda iyileştirme yapmaları gerektiği tespit edilmiştir. CCR modelinin projeksiyon sonuçları, elektrikli referans modellerin (Tesla Model Y) oluşturduğu yüksek verimlilik standardına ulaşabilmek için geleneksel modellerin ciddi bir optimizasyona ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Tablo 4.11: Karma-Etkin Olmayan D Segmenti Araçları İçin İyileştirme Hedefleri

No	DMU / I/O	Mevcut Değer (Skor)	Hedef (Projeksiyon)	Fark	Değişim (%)
1	Hyundai Elantra 1.6 MPI Prime CVT	0,77			
	Fiyat	0,34	0,26	-0,08	-23%
	Karma Yakıt Tüketimi	0,78	0,28	-0,51	-65%
	Dolum Süresi	0,04	0,03	-0,01	-23%
	Beygir Gücü	0,35	0,35	0,00	0%
2	Tesla Model Y	1,00			
	Fiyat	0,32	0,32	0,00	0%
	Karma Yakıt Tüketimi	0,17	0,17	0,00	0%
	Dolum Süresi	0,61	0,61	0,00	0%
	Beygir Gücü	0,63	0,63	0,00	0%
3	Volkswagen Passat Variant Business	0,64			
	Fiyat	0,49	0,32	-0,18	-36%
	Karma Yakıt Tüketimi	0,83	0,34	-0,49	-59%
	Dolum Süresi	0,06	0,04	-0,02	-36%
	BeygirGucu	0,43	0,43	0,00	0%

Tablo 4.11 incelendiğinde, 0,77 etkinlik skoruna sahip Hyundai Elantra 1.6 MPI modelinin tam etkinlik sınırına ulaşabilmesi için fiyat değişkeninde %23, dolum süresinde %23, karma yakıt tüketiminde ise %65 oranında iyileştirme yapması gerektiği görülmektedir. Benzer şekilde Volkswagen Passat Variant Business modeli 0,64 skor ile segmentin en düşük verimlilik düzeylerinden birine sahip olup, özellikle karma yakıt tüketiminde %59 ve fiyat değişkeninde %36 oranında azaltım yapma ihtiyacı duymaktadır.

Bu radikal iyileştirme oranları, D segmentindeki içten yanmalı sedan modellerin hem şehir içi hem de şehir dışı koşulları içeren karma senaryoda elektrikli rakipleriyle rekabet etmekte zorlandığını göstermektedir. Tabloda referans olarak yer alan Tesla Model Y (Skor: 1.00), düşük enerji tüketimi (%17 normalize değer) ve rekabetçi fiyatıyla segmentin verimlilik lideri konumundadır.

Sonuç olarak, karma senaryoda D segmenti araçların etkinliğini belirleyen temel faktör, enerji dönüşüm verimliliğidir. Yüksek hacimli içten yanmalı motorlar bu senaryoda verimsiz kalırken, elektrikli motor teknolojisi D segmentinin gelecekteki verimlilik standardı olacağını işaret etmektedir.

4.5. Segmentler Arası Karşılaştırma ve Türkiye Bağlamı

Gerçekleştirilen VZA analizlerinden elde edilen bulgular, her bir segmentin kullanım bağlamına göre farklılaşan etkinlik profilleri sergilediğini somut olarak ortaya koymaktadır. B segmenti, kompakt gövde yapısı, düşük yakıt/enerji tüketimi ve fiyat avantajı sayesinde özellikle şehir içi kullanım koşullarında yüksek ortalama etkinlik skorlarına ulaşmıştır. Bu bulgu, kısa mesafeli ulaşım, park kolaylığı ve ekonomik yakıt tüketimi gibi kent içi sürüş dinamiklerinin, küçük sınıf araçları görece olarak daha verimli hale getirdiğini göstermektedir. Buna karşılık D segmenti, yüksek motor gücü, uzun menzil kapasitesi ve konfor odaklı tasarımıyla şehir dışı koşullarda öne çıkmıştır. Uzun yol sürüşlerinde güç, hızlanma kabiliyeti ve iç hacim konforu gibi faktörler, bu segmentin maliyet dezavantajını dengelemiş ve etkinlik sınırına ulaşmasını sağlamıştır. C segmenti ise karma sürüş senaryosunda dengeleyici bir rol üstlenmiştir. Bu segmentteki modeller hem şehir içi verimlilik hem de şehir dışı performans beklentilerini görece başarılı biçimde bir araya getirmiş; kompakt sedan ve crossover

modeller, çok yönlü kullanım özellikleri sayesinde iki uç senaryo arasında uyumlu bir geçiş noktası oluşturmuştur.

Elde edilen bu etkinlik deseni, Türkiye otomotiv pazarındaki gerçek tüketici davranışlarıyla yüksek düzeyde uyum göstermektedir. Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği (ODMD) ve EBS Danışmanlık tarafından yayımlanan 2023 yılı satış verileri incelendiğinde, en çok tercih edilen modellerin büyük bölümünün B ve C segmentlerinde yer aldığı görülmektedir. Örneğin; Fiat Egea Sedan, Renault Megane Sedan ve Toyota Corolla modellerinin satış sıralamasında ilk beş içinde yer alması ve Hyundai i20'nin en çok satan yedinci model olması, bu çalışmanın bulgularını doğrular niteliktedir.

Bu eğilim, VZA analizinde tespit edilen fiyat–verimlilik ilişkisini desteklemekte ve Türkiye pazarında, yüksek vergi oranları ve yakıt maliyetleri nedeniyle kompakt sınıf araçların hâlâ baskın tercihler olduğunu kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye bağlamında otomobil satın alma kararlarının yakıt ekonomisi, fiyat erişilebilirliği ve kullanım bağlamına uygunluk temellerinde şekillendiği görülmektedir. DEA analizinden elde edilen teknik etkinlik desenleri, pazar verileriyle birlikte değerlendirildiğinde; ekonomik sınıf araçların (B ve C segmentleri) şehir içi ve karma koşullarda, yüksek performanslı modellerin (D segmenti) ise şehir dışı senaryolarda üstünlük sağladığı bütüncül bir tablo ortaya çıkmaktadır. Segment bazlı analiz ile genel pazar analizi arasındaki fark, 'yerel' ve 'küresel' etkinlik ayrımını netleştirmektedir. Örneğin C segmenti içinde tam etkin (1.00) olan Honda Civic 1.5 Turbo modeli, tüm pazarın dahil olduğu genel analizde 0.97 skoruna gerilemiştir. Bu bulgu, aracın kendi sınıfı (yerel) içinde optimum olduğunu, ancak pazarın genelindeki (küresel) teknolojik liderlere (örneğin D segmenti EV'ler) kıyasla marjinal bir ölçekte dezavantajı yaşadığını göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışmanın Genel Bulguları

Bu tez çalışmasında, Türkiye otomotiv pazarında satışta bulunan B, C ve D segmentindeki toplam 66 aracın (içten yanmalı ve elektrikli modeller dâhil) etkinlikleri, Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada farklı kullanım bağlamlarının tüketici kararlarında belirleyici rol oynaması dikkate alınarak üç farklı senaryo tasarlanmıştır: şehir içi kullanım, şehir dışı kullanım ve karma kullanım. Her bir senaryo, tüketicinin karşılaştığı temel girdi ve çıktı değişkenleri üzerinden modellenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Farklı kullanım senaryolarına göre gerçekleştirilen analizler, araç segmentlerinin ve motor teknolojilerinin etkinlik performanslarının koşullara göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Şehir içi kullanım senaryosu ele alındığında, özellikle B segmenti araçların sunduğu düşük fiyat, düşük yakıt tüketimi ve kompakt gövde yapısı, bu modellerin etkinlik skorlarını doğrudan yukarı taşımaktadır. Bu bulgu, Türkiye otomotiv pazarında küçük segment araçlara yönelik yüksek tüketici talebini de doğrular niteliktedir. Aynı senaryoda elektrikli araçlar (EV), dur-kalk trafiğindeki rejeneratif frenleme (enerji geri kazanımı) kabiliyetleri ve düşük enerji tüketim değerleri sayesinde, içten yanmalı motorlara kıyasla belirgin bir avantaj sağlamıştır.

Buna karşılık şehir dışı kullanım senaryosunda dinamikler değişmekte ve D segmenti araçlar ön plana çıkmaktadır. Fiyat ve tüketim dezavantajlarına rağmen; yüksek beygir gücü, geniş bagaj hacmi ve uzun yol konforu gibi parametreler, bu segmentin etkinlik sınırında yoğun şekilde temsil edilmesini sağlamıştır. Motor teknolojileri açısından bakıldığında ise içten yanmalı araçlar (ICE), şarj altyapısı kısıtları ve dolun süresi avantajları nedeniyle şehir dışı bağlamda halen elektrikli araçlara karşı rekabetçi gücünü korumaktadır.

Hem şehir içi hem de şehir dışı kullanımın bileşenlerini içeren karma senaryoda ise ibr C segmenti araçlara dönmektedir. Fiyat, tüketim ve performans arasındaki dengeyi en iyi optimize eden grup olarak öne çıkan orta sınıf modellerin, çok yönlü kullanım ihtiyaçlarına en uygun çözümleri sunduğu görülmüştür.

Genel bir değerlendirme ile motor teknolojileri kıyaslandığında; EV'lerin düşük işletme maliyetleriyle şehir içinde sağladığı etkinlik üstünlüğünün, şehir dışı kullanımlarda yerini yüksek motor gücü ve hızlı yakıt ikmali avantajlarıyla içten yanmalı araçlara bıraktığı, karma senaryoda ise bu iki teknolojinin daha dengeli bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çalışmanın bulguları tüketici davranışları ile paralel bir tablo sunmaktadır. Türkiye pazarında şehir içi kullanımda B segmenti araçların ve özellikle düşük tüketimli EV'lerin tercih edilmesi, şehir dışı kullanımda ise D segmenti ICE modellerin popülerliğini koruması, bu etkinlik analizinin bulgularıyla örtüşmektedir.

5.2. Pratik Katkılar

Bu çalışmanın yalnızca akademik değil, aynı zamanda pratik açıdan da üç ana paydaş için değerli çıktılar sunduğu söylenebilir: tüketiciler, üreticiler ve politika yapıcılar.

Çalışmanın ortaya koyduğu somut veriler, öncelikle tüketicilerin araç satın alma süreçlerinde rasyonel kararlar vermelerine önemli katkılar sunmaktadır. Analiz sonuçları, hangi segmentin hangi kullanım senaryosunda daha verimli olduğunu açıkça göstermektedir; örneğin şehir içi kullanımda B segmenti ve elektrikli araçların (EV) öne çıkması, buna karşın şehir dışı sürüşlerde D segmenti içten yanmalı (ICE) araçların avantajını koruması, tüketicilerin fiyat-performans dengesini kullanım amaçlarına en uygun şekilde kurgulamalarına yardımcı olacak niteliktedir.

Üretici perspektifinden bakıldığında ise analiz sonuçları, mevcut modellerin gelişim alanlarına ışık tutmaktadır. D segmenti araçların şehir içi kullanımda etkinlik kaybı yaşamasına neden olan uzunluk ve yüksek yakıt tüketimi gibi dezavantajlar, üreticileri bu segmentte hibrit teknolojilere yönelmeye veya şehir içi odaklı varyantlar geliştirmeye teşvik edebilir. Benzer şekilde, elektrikli araç üreticileri için dolum süresinin kısaltılması ve şarj altyapısı ile tam uyumluluğun sağlanması, etkinlik skorlarını yükseltecek en kritik iyileştirme alanları olarak tespit edilmiştir.

Son olarak, çalışma sonuçları politika yapıcılar ve kamu otoriteleri için de stratejik çıkarımlar barındırmaktadır. Türkiye'deki yüksek ÖTV ve KDV oranları nedeniyle fiyat değişkeninin etkinlik skorları üzerindeki belirleyici etkisi, vergi politikalarının pazar dinamiklerini ne denli şekillendirdiğini kanıtlamaktadır. Bu bağlamda, karbon emisyonlarını azaltma hedefi doğrultusunda elektrikli araçlara yönelik vergi

teşviklerinin sürdürülmesi ve şarj altyapısının yaygınlaştırılması hayati önem taşımaktadır. Ayrıca şehir içi kullanımda küçük hacimli araçların sağladığı verimlilik avantajı, yerel yönetimlerin otopark politikaları ve trafik düzenlemelerinde küçük segment araçları pozitif ayrıştıran uygulamalar geliştirmesine zemin hazırlayabilir.

5.3. Çalışmanın Kısıtları

Her akademik çalışmada olduğu gibi, bu tezin de sonuçlarını değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtları mevcuttur:

- **Veri Dönemi Kısıtı:** Analizler 2023 sonu–2024 başı verilerine dayanmaktadır. Otomotiv sektöründeki hızlı fiyat değişimleri, vergi oranlarındaki olası güncellemeler ve yeni model lansmanları, elde edilen bulguların geçerliliğini etkileyebilir.
- **Segment Kapsamı Kısıtı:** Çalışmada yalnızca B, C ve D segmenti araçlar incelenmiştir. SUV’lar (segment dışı olanlar), hafif ticari araçlar ve premium segmentler analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu durum sonuçların genelleştirilebilirliğini sınırlamaktadır.
- **Metodolojik Kısıt:** Çalışmada CCR ve SBM modelleri uygulanmıştır. Ancak Bootstrap DEA, çapraz etkinlik, Malmquist Endeksi veya Network DEA gibi ileri yöntemler kullanılmamıştır. Bu yöntemlerin kullanımı, gelecekteki çalışmalarda analizlere ek derinlik kazandırabilir.
- **Türkiye’ye Özgü Koşullar:** Fiyat verileri vergiler dâhil olarak alınmıştır. Dolayısıyla Türkiye’nin yüksek vergili otomotiv yapısı, bulgular üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle sonuçlar, farklı vergi rejimlerine sahip ülke pazarlarında farklılaşabilir.
- **Tüketici Tercihlerinin Nitel Boyutu:** Çalışma, araçların teknik özelliklerine ve fiyatlandırma verilerine (nicel faktörler) odaklanmaktadır. Tüketicilerin satın alma kararlarında önemli rol oynayan marka imajı, tasarım estetiği, ikinci el değeri algısı ve satış sonrası hizmet memnuniyeti gibi ölçülmesi güç nitel faktörler analiz kapsamı dışında tutulmuştur.

5.4. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez, gelecekte yapılacak çalışmalara yöntem ve kapsam açısından çeşitli öneriler sunmaktadır:

- **Segment Çeşitliliğinin Artırılması:** Gelecek çalışmalarda SUV, hafif ticari ve premium segmentlerin de analize dâhil edilmesi önerilmektedir.
- **Yöntem Çeşitliliği:** Bootstrap DEA ile güven aralıklarının hesaplanması, çapraz etkinlik ile sıralamaların daha sağlam yapılması veya Malmquist Endeksi ile zaman serisi üzerinden etkinlik değişimlerinin incelenmesi gibi ileri yöntemler kullanılabilir.
- **Uluslararası Karşılaştırma:** Türkiye'deki araçların Avrupa veya diğer ülkelerdeki muadilleri ile etkinliklerinin karşılaştırılması, pazar dinamiklerinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.
- **Politika Simülasyonları:** ÖTV/KDV oranlarının düşürülmesi veya elektrikli araçlar (EV) için teşvik paketlerinin etkilerinin simüle edilmesi, politika yapıcılar için yol gösterici olabilir.

KAYNAKLAR

- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., (1984), “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”, *Management Science*, 30(9), 1078–1092.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978), “Measuring the efficiency of decision-making units”, *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- Dai, Q., Li, L., Lei, X., An, Q., Tang, X., (2019), “Considering monopoly maintenance cost for an automobile purchase in China: A DEA-based approach”, *Journal of Systems Science and Complexity*, 32(4), 1167–1179.
- EBS Danışmanlık, (2024), “Otomotiv Pazar Analizleri”, <https://ebsdanismanlik.com.tr/>.
- EV Database, (2023-2024), “Electric Vehicle Database: Real-world Range and Consumption”, <https://ev-database.org/>
- Güral, Y., Buğatekin, A. T., (2018), “Evaluation of Car Performances Using Data Envelopment Analysis”, *ITM Web of Conferences*, 22, 01051.
- Lee, J., Kim, J., (2023), “Are electric vehicles more efficient? A slacks-based data envelopment analysis for European road passenger transportation”, *Energy*, 279, 128117.
- Li, H., Chen, C., Zhang, J., Zhu, J., (2018), “Two-stage network DEA: Who is the leader?”, *Omega*, 74, 15–19.
- Lim, D.-J., (2016), “Inverse DEA with frontier changes for new product target setting”, *European Journal of Operational Research*, 254(2), 510–516.
- Lim, D.-J., Yang, D.-H., (2019), “Assessment of Regulatory Requirements on Technological Changes: The Increasing Dominance of Downsized Turbo/Super-Charged Engines Over Naturally Aspirated Engines”, *IEEE Access*, 7, 84836–84848.
- Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W.-M., (2016), “Research fronts in data envelopment analysis”, *Omega*, 58, 33–45.
- Natural Resources Canada, (2025), “EnerGuide label for battery-electric vehicles”, Government of Canada.
- ODMD, (2024), “Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği 2023 Yılı Pazar Verileri”, <https://www.odmd.org.tr/>, (Erişim Tarihi: 15.01.2025).
- Parque, V., Honobe, K., Miura, S., Miyashita, T., (2019), “On Vehicle Evaluation and Design Using Data Envelopment Analysis with Hierarchical Concepts”, *Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED19)*, Delft, The Netherlands, 3841-3850.

Stefanoni, S., Voltes-Dorta, A., (2021), “Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach”, *Journal of Cleaner Production*, 311, 127589.

Sueyoshi, T., Yuan, Y., Li, A., Wang, D., (2017), “Methodological comparison among radial, non-radial and intermediate approaches for DEA environmental assessment”, *Energy Economics*, 67, 439–453.

Tone, K., (2001), “A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498–509.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Furkan YILDIZ, lisans öğrenimini 2018 yılında Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği (İngilizce) bölümünde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda devam etmiş ve 2026 yılında mezun olmuştur. 2021 yılından itibaren TÜBİTAK BİLGEM bünyesinde çalışmaktadır.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Yıldız M.F. (2025), “Veri Zarflama Analizi Kullanarak Otomobillerin Çok Boyutlu Değerlendirmesi”, 44. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi’ne, Ankara, Türkiye, 25-27 Haziran.

Yıldız M.F. (2025), “Veri Zarflama Analizi Kullanarak Otomobillerin Çok Boyutlu Değerlendirmesi”, 9. GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 26-27 Mayıs.

