

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ YATIRIM ANALİZLERİ VE BİR İŞLETME
FİLOSU İÇİN ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim YAZICI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ YATIRIM ANALİZLERİ VE BİR İŞLETME
FİLOSU İÇİN ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İbrahim YAZICI
507121129**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507121129 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İbrahim YAZICI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ YATIRIM ANALİZLERİ VE BİR İŞLETME FİLOSU İÇİN ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Çağrı TOLGA**
Galatasaray Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Başar ÖZTAYŞI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 10 Aralık 2014
Savunma Tarihi : 21 Ocak 2015

Anneme, babama ve kardeşime,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın bitirilmesinde yardımcı olan danışmanım Sn. Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a, Dr. Murat DURUCU'ya, İ.T.Ü. Motorlu Taşıtla Laboratuvarı'nda görevli makine fakültesi öğretim üyeleri Sn. Prof. Dr. Ali G. GÖKTAN'a, Sn. Yrd. Doç. Dr. Akın KUTLAR'a ve Sn. Öğr. Grv. Orhan ATABAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

OCAK 2015

İbrahim YAZICI
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ARAÇ TEKNOLOJİLERİ.....	3
2.1 Hibrit Elektrikli Araçlar	3
2.2 Şarjlı Hibrit Elektrikli Araçlar.....	6
2.3 Tam Elektrikli Araçlar	12
2.4 Dizel Araçlar	15
2.5 Benzinli Araçlar	16
3. BULANIK YATIRIM ANALİZİ.....	17
3.1 Bulanık Yatırım Analizi: Literatür Araştırması	17
3.2 Bulanık Kümeler Teorisi.....	19
3.2.1 Tip 1 bulanık kümeler	19
3.2.2 Sezgisel ve aralık değerli sezgisel bulanık kümeler	21
3.3 Bulanık Net Şimdiki Değer Analizi	23
4. BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ.....	25
4.1 Bulanık VIKOR Yöntemi: Literatür Araştırması.....	25
4.2 Bulanık AHP Yöntemi: Literatür Araştırması	26
4.3 Bulanık TOPSIS Yöntemi: Literatür Araştırması	27
4.4 Sezgisel Bulanık AHP-VIKOR Yöntemi Adımları	28
4.5 Tip 1 Bulanık ve Sezgisel Bulanık AHP Yöntemi Adımları	30
4.6 Tip 1 Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemi Adımları.....	32
5. BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ	35
5.1 Problemin Tanımı.....	35
5.2 Çalışmanın Verileri, Varsayımları ve Modeli	37
5.3 Uygulama	47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

$\tilde{A}$	: Bulanık Yıllık Yeknesak Değer
AG	: Az Güçlü
AHP	: Analytical Hierarchy Process
AZ	: Az Zayıf
CI	: Consistency Index
CC_i	: Closeness of Coefficient for i^{th} alternative
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
CR	: Consistency Ratio
ÇG	: Çok Güçlü
Çİ	: Çok İyi
ÇK	: Çok Kötü
ÇZ	: Çok Zayıf
d_i^*	: Distance to positive ideal point for i^{th} alternative
d_i^-	: Distance to anti-positive ideal point for i^{th} alternative
DC	: Direct Current
DEA	: Data Envelopment Analysis
E	: Eşit
$\tilde{F}$	: Bulanık Gelecekteki Değer
G	: Güçlü
İ	: İyi
$\tilde{I}$	: Bulanık Faiz Oranı
K	: Kötü
KG	: Kesinlikle Güçlü
KZ	: Kesinlikle Zayıf
MTV	: Motorlu Taşıtlar Vergisi
N	: Normal
NŞD	: Net Şimdiki Değer
$\tilde{NŞD}$	: Bulanık Net Şimdiki Değer
Oİ	: Orta İyi
OK	: Orta Kötü
$\tilde{P}$	: Bulanık Şimdiki Değer
RI	: Random Consistency Index
SWOT	: Strength-Weakness-Opportunities-Threats
TOPSIS	: Technique for Order and Preference by Similarity To Ideal Solution
VIKOR	: Vİsekriterijumsko KOMPromisino Rangiranje
Z	: Zayıf

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1	: Alternatif araçlar maliyet kalemleri tablosu.....	37
Çizelge 5.2	: AHP için bulanık değerlendirme skalası.....	47
Çizelge 5.3	: Alternatifler için bulanık değerlendirme skalası.	47
Çizelge 5.4	: Sezgisel bulanık VIKOR alternatif değerlendirme skalası.	48
Çizelge 5.5	: Dilsel terimlerle ölçütlerin ikili karşılaştırmalar tablosu.	48
Çizelge 5.6	: İkili karşılaştırmalar bulanık değerler tablosu.	48
Çizelge 5.7	: Tip 1 bulanık AHP için birleşik karar matrisi.	49
Çizelge 5.8	: Normalize edilmiş karar matrisi.	49
Çizelge 5.9	: Durulaştırılmış ikili karşılaştırmalar matrisi.	50
Çizelge 5.10	: Normalize edilmiş matris ve ön ağırlıklar.	50
Çizelge 5.11	: Tutarlılık indeksi hesabı girdileri.	50
Çizelge 5.12	: Tip 1 bulanık TOPSIS için alternatiflerin değerlendirilmesi.	51
Çizelge 5.13	: İkili karşılaştırmalar bulanık değerler tablosu.	51
Çizelge 5.14	: TOPSIS ikili karşılaştırmalar matrisi.	52
Çizelge 5.15	: Normalize edilmiş TOPSIS ikili karşılaştırmalar matrisi.	52
Çizelge 5.16	: Ağırlıklı normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi.....	52
Çizelge 5.17	: AHP-TOPSIS sıralama ölçütleri ve sonuçlar matrisi.....	53
Çizelge 5.18	: Sezgisel bulanık sayılarla kriterlerin ikili karşılaştırılması.	54
Çizelge 5.19	: İkili karşılaştırmalar birleşik karar matrisi.....	55
Çizelge 5.20	: İkili karşılaştırmalar skor matrisi.	55
Çizelge 5.21	: İkili karşılaştırmalar aralık değerli çarpımsal matris.	55
Çizelge 5.22	: Kriter olabilirlik matrisi.	56
Çizelge 5.23	: Normalize edilmemiş kriter ağırlıkları.	56
Çizelge 5.24	: Normalize edilmiş kriter ağırlıkları.....	56
Çizelge 5.25	: Segisel bulanık VIKOR için değerlendirme matrisi.	57
Çizelge 5.26	: Sezgisel bulanık VIKOR karar matrisi.....	58
Çizelge 5.27	: VIKOR için S_i ve R_i değerleri.	59
Çizelge 5.28	: S^+ , S^- , R^+ , R^- değerleri.	59
Çizelge 5.29	: Alternatiflerin Q değerleri.	59
Çizelge 5.30	: Alternatiflerin S, R ve Q'ya göre sıralanması.	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Aktarma organı sistemleri konfigürasyonu.	3
Şekil 2.2 : Global hibrit elektrikli araç pazar payları.	4
Şekil 2.3 : 2013 yılı global hibrit elektrikli araç satışları.	6
Şekil 2.4 : Şarjlı hibrit elektrikli aracın şarj edilmesi.	9
Şekil 2.5 : Seviye 2 şarj şematiği.	10
Şekil 2.6 : DC hızlı şarj şematiği.	11
Şekil 2.7 : Tam elektrikli araç sistem donanımı.	13
Şekil 2.8 : Klasik araç teknolojisi motor sistemi.	15
Şekil 3.1 : Bulanık üçgensel sayı.	19
Şekil 5.1 : Benzinli araç nakit akış diyagramı.	41
Şekil 5.2 : Dizel araç nakit akış diyagramı.	43
Şekil 5.3 : Hibrit araç nakit akış diyagramı.	43
Şekil 5.4 : Şarjlı elektrikli araç nakit akış diyagramı.	44
Şekil 5.5 : Tam elektrikli araç nakit akış diyagramı.	45
Şekil 5.6 : Problem çözümünün süreç akış diyagramı.	46

BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ YATIRIM ANALİZLERİ VE BİR İŞLETME FİLOSU İÇİN ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ

ÖZET

1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başından itibaren ulaşım sektöründe yeni yönelimlerin geliştiği, farklı araç teknolojilerinin önem kazandığı görülmektedir. Ulaşım sektöründe görülen bu yeni yönelimlerin en önemli kısmından birisi de ulaşımın elektrifikasyonudur. Diğer bir deyişle aracın elektrik enerjisini yakıt kaynağı olarak kullanmasıdır. Araçlardan çıkan egsoz gazları gibi çevreye zararlı etkisi olan gazların varlığı ulaşım sektöründe yeni arayışların temelini oluşturmaktadır. Bunun yanında fosil türevli yakıtların kaynaklarının azalması da bu arayışların artmasını desteklemektedir. 1900'lü yılların başında fosil türevli yakıtlara alternatif olarak tam elektrikli araç geliştirilmiş fakat tutunamamıştır. Son yıllarda ulaşımın elektrifikasyonu tekrar gündeme gelmiş ve 1997 yılında Toyota bu alanda öncülük yaparak ilk hibrit aracını piyasaya sürmüştür. Daha sonra dünya otomobil devleri bu trendi takip etmiştir. Bununla paralel olarak şarjlı hibrit elektrikli araçlar piyasaya girmeye başlamış ve 2008 yılından sonra daha belirgin halde piyasada gözükmeye başlamış, son olarakta tam elektrikli araçlar piyasaya girmektedir. Gelişmiş ülkelerde sera gazı salınımı ve fosil türevli kaynakların azalması gibi nedenler göz önünde tutularak yeni teknolojilere teşvikler sağlanmakta ve ar-ge çalışmaları desteklenmektedir. Bazı işletmeler de faaliyetlerinde kar amaçlarken bazı sosyal sorumluluklarının olduğunu düşünerek çevreye saygılı olmak sloganıyla hareket ederler. Çevrecilik hassasiyetine sahip işletmeler araç filolarında araç teknolojisi seçerken çevrecilik kriterini de göz önünde bulundurmaktadır. Çalışmada İstanbul'da faaliyet gösteren bir firmanın filusunda şehiriçi aylık ortalama 2500 km yol yapan araçları için hangi araç teknolojisinin daha uygun olduğunu belirlemek için çevreciliğin de dahil edildiği bulanık çok ölçütlü yatırım analizi yapılmıştır.

Bulanık kümeler teorisi 1965 yılında Azerbaycanlı bilim insanı Lotfi Askerzadeh tarafından geliştirilmiştir. Klasik Aristo mantığı olan 0-1 mantığının yerine herhangi bir elemanın bir kümeye aidiyetini kesin sınırlarla belirlemeyen bu teori, o elemanın bu kümeye aidiyetini bir üyelik derecesi ile belirleyerek daha esnek bir modelleme yapılabilmesini sağlar. Bulanık kümeler teorisindeki üyelik derecesi kullanılarak daha esnek ve akıllı sistemlerin kurulabilmesi imkanı elde edilir. Bulanık mantık olarak adlandırdığımız bulanık kümeler teorisinde pek çok bulanık küme tipleri geliştirilmiştir. Öncelikle tip 1 bulanık sayılar kümesi bulunmuştur. Daha sonra tip 2, aralık değerli tip 2, çekimsel (hesitant) ve sezgisel (intuitionistic) bulanık kümelerdir. Bulanık mantık sözel ifadelerin ve bilgi eksikliğinin bulunduğu durumlarda sistemin daha iyi modellenbilmesinde fayda sağlar ve sözel ifadeler kullanıldığı durumlarda ifadelerin sübjektifliğinin getirdiği dezavantaj ile bilgi eksikliğinden kaynaklanan belirsizlik dezavantajını modellemeye mümkün olduğunca daha az yansıttığından daha iyi modelleme sunmaktadır. Sistemin belirsizliği arttıkça kullanılacak olan bulanık kümeler değişmektedir. Çalışmada uzman görüşlerinin sözel ifadeler içermesi ve bazı bilgilerin tam olmaması dolayısıyla modellemeyi daha iyi yapabilmek için

bulanık mantık kullanılmıştır. Bunun yanında araç teknolojileri için de bulanık mantık maliyet kalemlerinde belirsizlik bulunduğu durumlarda gerekli şekilde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bulanık kümeler tip 1 ve sezgisel bulanık kümelerdir. Tip 1 bulanık kümeler sezgisel bulanık kümelere göre daha basit şekilde sistemi modellemektedir, sadece bir elemanın kümeye aidiyetini belirtmektedir. Sezgisel bulanık kümeler ise bir elemanın kümeye aidiyetini ve aidiyetinin olmaması gibi üyelik ve üye olmama derecesini hesaba katarak çözüm sunmaya çalışmaktadır.

Mühendislik ekonomisi analizleri maliyet analizlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Mühendislik ekonomisi analizleri ile yapılan yatırımın fizibilitesi belirlenir ve belirlenen politikalara uygun olup olmamasına göre yatırım hakkında karar verilir. Yatırım kararlarında en çok kullanılan analiz yöntemleri net şimdiki değer analizi ve yıllık nakit akış analizidir. Çalışmada yatırımların ömürleri eşit olduğundan net şimdiki değer analizi kullanılmıştır. Belirsizlik içeren maliyet kalemlerinde tip 1 bulanık sayılar kullanılarak maliyetler hesaplanmaya çalışılmıştır. Her bir aracın yatırım ömrü boyunca maliyetleri bulunmuş ve uzmanlara değerlendirme yapma aşamasında kriter girdisi olarak sunulmuştur.

Birden fazla alternatifin olduğu durumlarda birden çok kritere bağlı olarak yapılan karar analizleri çok ölçütlü karar verme işlemidir. Kriterlerin türleri farklı olabileceğinden ve alternatiflerin mutlak olarak birbirlerine üstün olamama durumundan dolayı alternatiflerin birbirlerine göre karşılaştırılıp karar verilmesi gerekmektedir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS (Technique for Order and Preference by Similarity to Ideal Solution) ve VIKOR (Vİsekriterijumsko KOMPromisino Rangiranje) sıklıkla kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerindendir. AHP yöntemi kriterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırmaları sonucu alternatif sırasını belirleyen çok ölçütlü karar verme yöntemidir. TOPSIS yöntemi alternatiflerin pozitif ideal noktaya en yakınlık ve negatif noktaya en uzaklık ölçütüne göre en iyi alternatif sırasını belirlemekte kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemidir. VIKOR yöntemi ise farklı ölçekli kriterlerin karar vericilerin minimum kişisel pısmalığı ve maksimum grup faydası stratejisini sağlayarak uzlaşık çözüm öneren çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Çalışmada işletmenin belirlediği araç teknolojilerinden B sınıfı benzinli, dizel, hibrit, şarjlı elektrikli hibrit ve tam elektrikli araçlar bulanık mantık kullanılarak araç maliyeti, yakıt ikmal kolaylığı, performans, ergonomi, çevrecilik ve güvenlik gibi kriterlere göre değerlendirilmiştir. İlk olarak sonuç tip 1 bulanık sayılar kullanılarak bütünleşik AHP-TOPSIS yöntemiyle elde edilmiştir. Bulanık AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları tutarlılık indeksi kontrolünden sonra bulanık TOPSIS için girdi olarak kullanılmıştır. Sezgisel bulanık sayılar kullanılarak bütünleşik AHP-VIKOR yöntemiyle de sonuçlar elde edilmiştir. Bu aşamda da sezgisel bulanık AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıklar bulanık VIKOR yöntemi için girdi olarak kullanılmıştır. Tip 1 bulanık sayılarla elde edilen AHP ağırlıkları sezgisel bulanık sayılarla yapılan değerlendirmelerdeki ağırlıklarla yakın sonucu vermiştir. Bu durum kullanılan yöntemlerin sağladığı esnekliği göstermektedir. Aradaki farkın sezgisel bulanık sayılarla değerlendirmenin belirsizliği daha da modele dahil etmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Aynı sözel değerlendirme ifadesinde tip 1 bulanık sayı daha az bilgiyi ifade ederken, sezgisel bulanık sayı daha fazla ifade içermekte ve temsil kabiliyeti daha iyi olmaktadır.

Çalışmada kullanılan bulanık çok ölçütlü analiz yöntemleri problemin modellenmesinde kolaylık sağlamıştır. Çalışma sonucunda işletme için belirtilen varsayımlara göre en iyi araç teknolojisinin halen dizel araç olduğu ve bunu sırasıyla diğer iki klasik araç türü olan hibrit ve benzinli aracın olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Yeni araç teknolojilerinin halen teşviklere ve altyapı çalışmalarına ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Yakın gelecekte ise gerekli imkanlar sağlanarak yeni araç teknolojileri için yeni teknolojilerin bilinirliğinin artması, teşviklerin artması ve seri üretime geçilmesi maliyetlerin azalmasına, altyapı eksiklerinin giderilmesi de pazarda tutunmaya yol açacaktır. Gelecek 20 yıl içerisinde hibrit, şarjlı elektrikli hibrit ve tam elektrikli araçların piyasada baskın olacağını öngörebiliriz.

FUZZY MULTICRITERIA INVESTMENT ANALYSES AND VEHICLE TECHNOLOGY SELECTION FOR A FIRM'S FLEET

SUMMARY

Since the late of 1990's and beginning of 2000's, it has been seen that new shifts in transportation sector emerge and new vehicle technologies gain importance. One of the new shifts in transportation sector, especially the most dominating one, is electrification of transportation. Namely, the technology that the vehicle uses the electrical energy for fuel resource. The gases harmful to the environment caused by tailpipe emissions form the basis of new shifts in transportation sector. Besides, the reduction of fossil derived fuels' resources supports the new shift. At the beginning of 1990's, an alternative electric vehicle to the petroleum user vehicles were developed, however, it did not gain enough traction in those times. Recently, the electrification of transportation has gained importance. In 1997, Toyota released the first hybrid automobile to the market by leading the trend. Then, worldwide prominent automobile manufacturers tracked this trend. In parallel to this trend, plug-in hybrid electric vehicles started to penetrate to the market, and it was seen more distinctly in the market after 2008. The last motion in the sector is with battery electric vehicles. They have started to penetrate gradually to the market since then. In developed countries, considering the greenhouse gas emissions and reduction of fossil derived fuels' resources, new vehicle technologies and its R&D efforts are supported by incentives. Firms act with motto of 'respectful to the environment' by aiming high profit gains in their operations. The firms that have the environmental sensitivity consider the environmentalism of the vehicles in their fleets. In this work, the most appropriate vehicle technology was determined for a firm operating in İstanbul whose vehicles have 2500 km monthly average mileage. In the selection process, fuzzy multicriteria investment analyses were made including environmentalism criteria.

Fuzzy sets theory was developed by Azerbaijani man of science Lotfi Asker Zadeh in 1965. Fuzzy logic does not define an element's belonging to a set only with 0 or 1 as in Aristo logic. This logic defines the element's belonging to a set with a membership degree or function. Hence, fuzzy logic provides more flexible modelling of the system, and enables to construct more intelligent systems with this property. In fuzzy logic, named as fuzzy sets theory, many fuzzy sets types have been developed. Firstly, type 1 fuzzy sets were developed by Zadeh. After that, type 2, interval type 2, hesitant and intuitionistic fuzzy sets were developed respectively. Fuzzy logic enables better modelling of the systems with respect to crisp sets in the uncertain environment which includes uncertainty of information and incomplete information. Since fuzzy logic reflects the disadvantages of assessments' subjectivity caused by linguistic terms and the disadvantages of uncertainty caused by incomplete information as little as possible to the modelling, it provides better modelling. As the uncertainty of the system arises, the type of fuzzy sets used in modelling changes for better handling the disadvantages. In this work, fuzzy logic is used for better modelling because experts assessments

include linguistic terms and some of the information includes uncertainty. Besides that, some of new vehicle technologies' cost items are not certain now. In this situation, fuzzy logic is also used by engineering economics analysis tools. Type 1 and intuitionistic fuzzy sets were used in this work. Type 1 fuzzy sets do modelling more simple than intuitionistic fuzzy sets. It defines only an element's belonging to a set. However, intuitionistic fuzzy sets try to provide solutions by defining an element's belonging membership degree and non-membership degree to a set.

Engineering economics analysis tools are frequently used techniques in cost analysis of an investment. The feasibility of an investment can be determined by these analyses and decision about whether invest or not is made with respect to the result of these analyses. The most used engineering economics analysis tools are net present value analysis and net annual worth analysis. In this work, net present worth analysis is used since the lives of investment alternatives are equal. Type 1 fuzzy numbers are used in which there is uncertainty in the considered cost item. Each alternative's total cost of ownership was computed and these results were presented to experts as inputs in the multicriteria analyses.

In the case of more than one alternative to be selected with respect to multiple criteria, the decision making process is named as multicriteria decision making process. In decision making, criteria types may be different: cost or benefit criteria, and alternatives may not be absolutely dominating other alternatives with respect to all criteria. Hence, the decision is made with comparisons of alternatives with respect to all criteria. AHP (Analytical Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order and Preference by Similarity to Ideal Solution) and VIKOR (VIsekriterijumsko KOMpromisino Rangiranje) are the most frequently used multicriteria decision making methods. AHP method is the multicriteria method that determines the best alternative by making pairwise comparisons of criteria vs. criteria, criteria vs. alternatives. TOPSIS method is the multicriteria method that determines the best alternative being the more distant to negative ideal point and closest to positive ideal point with respect to the other alternatives. VIKOR method is the multicriteria method that provides compromise solution by minimizing individual regret of opponents and maximizing group utility of proponents. In this work, the vehicles which a firm intended to purchase were examined for their requirements. These vehicles are B-class gasoline-powered, diesel-powered, hybrid, plug-in hybrid electric and battery electric vehicles. These vehicles were evaluated with respect to vehicle cost, fuel repletion convenience, performance of the vehicle, ergonomics of the vehicle, environmentalism of the vehicle and safety of the vehicle criteria. Firstly, the solution, the best alternative, was obtained by using type 1 fuzzy integrated AHP-TOPSIS method. The criteria weights determined by type 1 fuzzy AHP were used as inputs for fuzzy TOPSIS after the consistency check was made. Secondly, the solution was obtained by using intuitionistic fuzzy integrated AHP-VIKOR method. In this stage, the criteria weights determined by intuitionistic AHP were used as inputs for fuzzy VIKOR. The criteria weights determined by type 1 fuzzy AHP are nearly the same as determined by intuitionistic fuzzy AHP. This situation shows the flexibility of used methods under fuzziness. It can be claimed that the difference of criteria weights determined by intuitionistic fuzzy sets and type 1 fuzzy sets was caused by intuitionistic fuzzy sets' capability in better reflecting the uncertainty. For the same linguistic definitions, intuitionistic fuzzy sets require more mathematical expressions and equation.

Fuzzy multicriteria investment analysis methods used in this work provide easiness and flexibility for modelling problems. At the end of the work, it has been determined that the best vehicle technology for the firm's fleet under the stated assumptions is diesel-powered vehicle. Hybrid and gasoline-powered vehicle follows the next two best alternatives, respectively. Plug-in hybrid electric vehicle and battery electric vehicles take the final two ranks, respectively. New vehicle technologies must be supported strongly to penetrate and hold on the market. The most important points in supporting the new technologies are providing more incentives for dealers and individual customers, increasing vehicle fiscal incentives and increasing charging infrastructure, generating public awareness of new vehicle technologies. The mass production of new vehicles and increasing R&D efforts will decrease the cost of new vehicle technologies. As it will be seen from the results, cost of the vehicle and the vehicle's fuel repletion convenience are the most important criteria among all constituting nearly % 50 of the weights, these stimulators will contribute to penetration and withholding of the new technology in the market. In the next 20 years, hybrid, plug-in hybrid electric and battery electric vehicles will possibly become the dominant vehicle technologies on the road due to some developments such as incentives, reduced costs and enough infrastructures.

1. GİRİŞ

Son 20 yıldan itibaren ulaşım sektöründe yeni trendler oluşmaktadır. Bunların en önemlileri ve şu an hızlı gelişen trendler elektrikli araçlardır. Fosil türevli yakıt kaynaklarının azalması ve sera gazı salınımının artması ülkelerin ulaşım sektöründe yeni arayışlara girmesine yol açmıştır. Buna göre gelişmiş ülkeler sera gazı salınımını azaltmak için küresel önlemler almakta, protokollar imzalamakta ve bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek çevrecilik konusunda da öncü olamk istemektedirler. Sera gazı salınımının artmasına araç egsozlarından çıkan emisyonlarda büyük oranda etkilidir. Bundan dolayıdır ki alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları çalışmaları gelişmiş ülkeler için önem kazanmaktadır. Bu enerji türlerinin kullanımının bir yansıması olarakta ulaşım sektörünün elektrifikasyonu ortaya çıkmaktadır. Çevre duyarlılığı olan bu teknolojiler aslında 1900'li yılların başında Porsche markası tarafından tam elektrikli araç üretilerek piyasaya girdi fakat klasik araçların performans ve verimliliği karşısında yenik düşerek piyasadan çekilmek zorunda kaldı. 1990'lı yılların sonundan itibaren Toyota'nın öncülüğünde önce hibrit, daha sonra şarjlı hibrit elektrikli araçlar piyasada görülmeye başlandı. Ve son olarakta tam elektrikli araçlar yollarda yer almaktadır.

İşletmeler filo seçimi yaparken alternatifleri pek çok kritere göre değerlendirmelidir. Çevre duyarlılığına sahip işletmeler, filolarında kullanacakları araç teknolojilerinin seçiminde kullandıkları kriterlere çevreciliği de eklemek durumundadırlar.

Bu çalışmada, İstanbul'da filosuna araç seçimi yapacak olan bir işletmenin hangi araç teknolojisini seçmesi gerektiği problemi ele alınmıştır.

İşletme için seçim kriterleri yararlı ömür boyunca aracın maliyeti, yakıt ikmal kolaylığı, araç performansı, araç ergonomisi, aracın çevreciliği ve aracın güvenliğidir. Uzmanlar tarafından alternatifler ve kriterler bulanık mantık kullanılarak çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle değerlendirilmiş ve en iyi alternatif belirlenmiştir.

Araç maliyetlerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan mühendislik ekonomisi analiz yöntemi net şimdiki değer analizi kullanılmıştır.

Bulanık kümelerden tip 1 bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayılar kullanılmıştır. Hem karar verme hem de maliyet analizinde bulanık mantık kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ilgili araç teknolojileri olan benzinli, dizel, hibrit, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçların genel olarak avantaj ve dezavantajları anlatılmış. Araçların aktarma organlarına göre sınıflandırmaları gösterilmiş ve değerlendirmede kullanılacak bilgiler ana hatlarıyla verilmiştir.

Üçüncü bölümde bulanık yatırım analizi anlatılmıştır. Öncelikle bulanık yatırım analizi literatürü incelenmiş ve kullanılan bulanık yatırım analizi yöntemlerinin hangi alanlara uygulandığı anlatılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılacak olan bulanık kümeler teorisi ve tip 1 bulanık sayılar, aralık değerli sezgisel bulanık sayılar, sezgisel bulanık sayılar anlatılmıştır. Bu bölümde son olarak maliyet analizinde kullanılacak olan bulanık mühendislik ekonomisi ile ilgili eşitliklere yer verilmiştir.

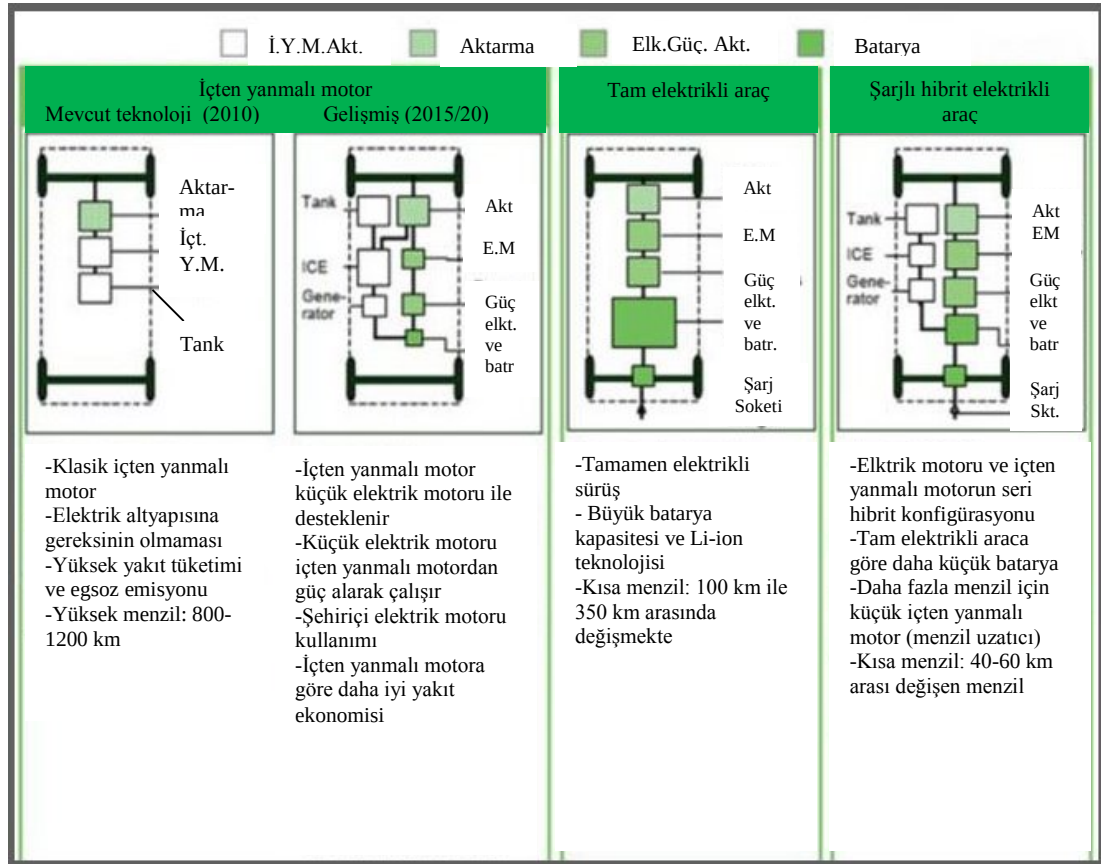
Dördüncü bölümde çalışmada kullanılacak olan bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleri olan bulanık AHP, bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri anlatılmıştır. Öncelikle bu yöntemlerin uygulandığı alanlar ve kullanılan bulanık kümeler anlatılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılacak olan tip 1 bulanık AHP-TOPSIS ve sezgisel bulanık AHP-VIKOR yöntemlerinin adımları ve eşitlikleri verilmiştir.

Beşinci bölümde bulanık çok ölçütlü yatırım analizi ile işletme filosu için araç teknolojisi seçimi problemi tanımlanmıştır. Daha sonra çalışmanın verileri, varsayımları ve modelin akış süreci verilmiştir. İlk olarak maliyet analizi yapılmış ve her bir alternatifin maliyeti bulunmuştur. Daha sonra uzmanların değerlendirmeleri alınarak tip 1 bulanık ve sezgisel bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak belirlenen durum için işletmenin filosunda kullanacağı en uygun araç teknolojisi alternatifi bulunmuştur.

Altıncı bölümde çalışmanın sonucu, sonucun değerlendirilmesi ve öneriler sunulmuştur.

2. ARAÇ TEKNOLOJİLERİ

Çalışmaya konu olan araç teknolojileri aktarma organları ve buna bağlı olarak araç hareketinin sağlandığı enerjiyi üreten yakıtlara göre sınıflandırılmıştır. Bu araçlar dizel, benzinli, hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlardır. Sözkonusu araçların aktarma organları sadece içten yanmalı motora, sadece batarya motoruna veya her ikisine bağlı olarak çalışabilir. Çalışmaya konu olan araç teknolojisi aktarma organları tipleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

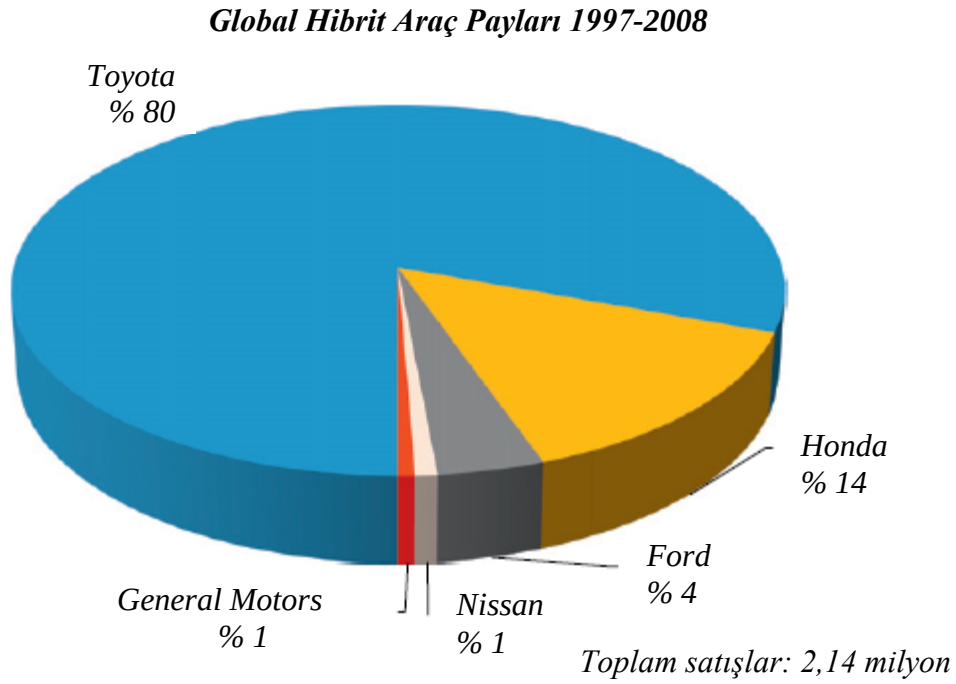


Şekil 2.1 : Aktarma organı sistemleri konfigürasyonu (Le Duigou ve diğ., 2014).

2.1 Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit elektrikli araç içten yanmalı bir motor ve elektrikli bir motorun aracı hareket ettirmede birlikte çalıştırıldığı araç tipidir. Hibrit elektrikli araçlar 1990’ların başlarında piyasa sürüldü fakat fosil türevli yakıtların o dönemdeki cazibesi bu

araçların popülarite kazanmasına engel olmuştur. Son zamanlarda, fosil yakıtların çevresel etkileri ve yeni teknolojinin yakıt tasarrufu, elektrikli araç teknolojisinin hız kazanmasını sağlamıştır. 2000'li yılların başlarında, Toyota Motor Company ve Honda hibrit elektrikli araçların üretimin lideridir, daha sonra, General Motors, Ford Motor Company ve Nissan bu firmaları takip etmiştir. 1997-2008 arasında Toyota Motor Company hibrit elektrikli araç satışlarında başı çeken firmadır. 1997-2008 arasında dünya çapında hibrit elektrikli araç satış oranları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Global hibrit elektrikli araç pazar payları (Pohl ve Yarime, 2012).

Hibrit elektrikli araçlar start-stop ve geri kazanımlı frenleme gibi bazı teknolojilere sahiptir. Start-stop teknolojisi aracın kısa süreli durması anında içten yanmalı motorun çalışmasını durdurarak belli bir ölçüde yakıt tasarrufu sağlamasına yardımcı olan bir teknolojidir. Geri kazanımlı frenleme teknolojisi frenleme esnasında sürtünmeden kaynaklanan kinetik enerjinin bir kısmını kurtarıp bu enerjiyi elektrik motorunu şarj etmek için elektrik enerjisine dönüştüren şarj sistemidir. Bu teknoloji aracın sürüş menzili % 10-15 oranında artırmaktadır (Dhameja, 2001; Fuhs, 2008).

Bu teknoloji frenleme esnasında oluşan ısı enerjisinin bir kısmının kaybolmasını engellemek amacıyla kullanılan etkin bir şarj sistemi olarak öne çıkmaktadır. Hibrit elektrikli araçların elektrik motoru bataryalar ile harici olarak şarj edilemez ve temelde petrol bazlı yakıtlarla çalışmaktadır.

Hibrit elektrikli araç aktarma organı klasik benzinli ya da dizel araçlardan daha fazla yakıt tasarrufu sağlamak ya da daha iyi performans elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Hibrit araçlar hibritleşme durumuna göre üç sınıfta incelenmektedir. Bu sınıflar mikro hibrit, hafif hibrit ve tam hibrittir.

Mikro hibrit tam bir hibritlik değildir. Çünkü klasik benzinli ve dizel araçlar da bu sisteme sahiptir. Bu hibrit sınıfındaki araçlar start-stop teknolojisine sahiptir ve az da olsa bu teknoloji şehir içi sürüşlerde yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Diğer hibrit sınıfları ise aracın sürüşüne sağladığı katkıya göre belirlenmektedir.

Hafif hibritlikte içten yanmalı motorun yanı sıra bir de elektrik motoru bulunmaktadır fakat bu motor aracı sadece elektrik enerjisini kullanarak hareket ettiremez. Bu tip hibrit araçlar tam hibrit araçlardan daha ucuzdur fakat tam hibrit araçlara göre yakıt tasarrufu daha azdır.

Tam hibritlikte hafif hibritlikteki gibi içten yanmalı motorun yanı sıra elektrik motoru bulunmakta, hafif hibritlikten farklı olarak bu elektrik motoru sadece elektrik enerjisine dayalı olarak aracı hareket ettirebilmektedir. Bu araçlar çok güçlü elektrik motoruna ve büyük bataryalara sahiptir. Hafif hibrit araçlardan pahalı olmakla birlikte daha iyi yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Url-1).

Tam hibritlikte üç tür konfigürasyon bulunmaktadır. Bunlar paralel, seri ve karma konfigürasyonlardır. Bu konu şarjlı hibrit elektrikli araçların konusudur ve şarjlı hibrit elektrikli araçlar başlığı altında incelenecektir.

Hibrit elektrikli araçların en önemli karakteristiği şehir içi düşük hızlarda etkin olmasıdır. Toplamda şarjlı hibrit elektrikli araçlar kadar yakıt tasarrufu sağlayamamaktadır.

Hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları şu şöyledir;

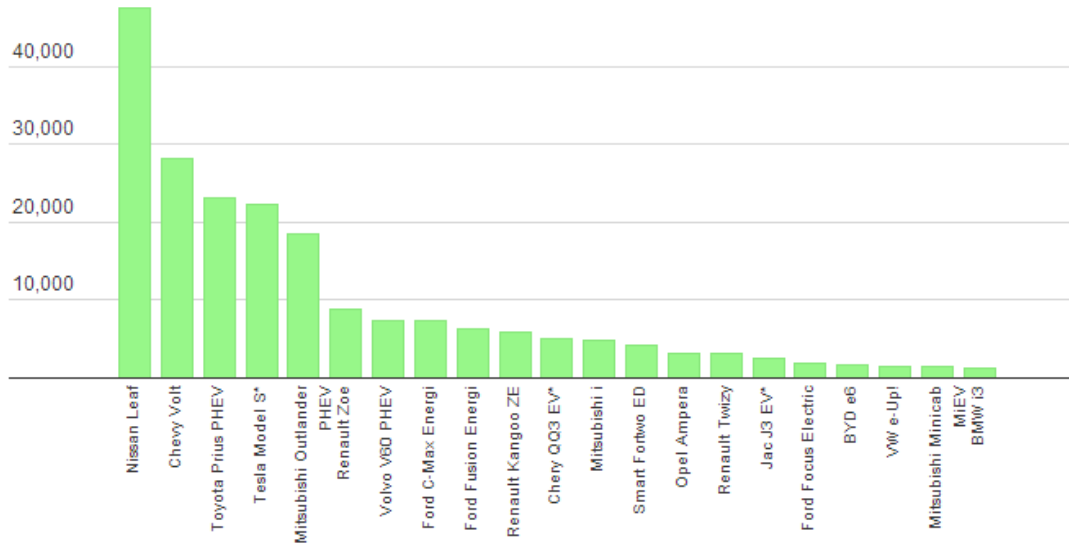
- Hibrit elektrikli araçlar belli bir orana kadar yakıt tasarrufu sağlar.
- Elektrik motoruna sahip olmasından dolayı hibrit elektrik araçlar klasik benzinli ve dizel araçlara göre çevreye daha az zararlıdır.
- Hibrit elektrikli araçlar klasik araçlardan pahalıdır.
- Elektrik motorunun sürüş menzili kısadır.

2.2 Şarjlı Hibrit Elektrikli Araçlar

Şarjlı elektrikli araçlar hem içten yanmalı hem de elektirik motorunun bulunduğu ve bu elektrik motorunun bataryalar ile şarj edildiği araç tipleridir. İçten yanmalı motor petrol türevi yakıtlarla çalışırken elektrik motoru araçtaki şarj edilebilir bataryalar tarafından çalıştırılır. Bu tip araçlar hibrit elektrikli araçlara göre daha büyük bataryalara sahiptir ve bu özellik bu araçların hibrit elektrikli araçlardan daha fazla sürüş menzile sahip olmasını sağlamaktadır. Hibrit elektrikli araçlardakine benzer şekilde, şarjlı hibrit elektirkli araçlarda da yakıt tasarrufuna katkıda bulunan geri kazanımlı frenleme teknolojisi vardır. Bu sistem şarjlı hibrit elektrikli araçlarda hibrit elektrikli araçlara göre tamamen elektrik sürüş menzilini fazladan 10 ve 40 mil arasında artırmaktadır (PEV_report, 2012).

Şarjlı hibrit elektirkli araç piyasasında Nissan, Chevy Volt ve Toyota Prius 2013 yılında dünya çapında en çok satılan üç araçtı. Bu durum Şekil 2.3'te görülmektedir.

Dünya Geneli Elektrik Enerjisi Kullanan Araç Satışları 2013



Şekil 2.3 : 2013 yılı global hibrit elektrikli araç satışları (Url-2).

Şarjlı hibrit elektrikli araçlar harici şarj şebekesi tarafından, içten yanmalı motor tarafından ya da geri kazanımlı frenleme sistemi tarafından şarj edilebilmektedir. İçten yanmalı motor elektrik üretici gibi kullanılarak, elektrik motoru da araç frenleme yaptığıında enerjiyi bataryaları şarj etmek için kullanır (Url-3).

Şarjlı hibrit elektrikli araçlar tam hibrit türdendir. Bu araçlar parallel, seri veya karma konfigürasyonlardır.

Paralel hibrit konfigürasyonunda, aktarma organı sisteminde iki motorda tekerleklerle mekanik bağlantı ile bağlıdır ve motorların güç aktarımı birincil olarak mekaniktir. Her iki motorda tekerlekleri direkt olarak döndürebilir (aracı hareket ettirebilir).

Seri hibrit konfigürasyonda, sadece elektrik motoru tekerlekleri döndürmektedir. Elektrik motoru ve içten yanmalı motorun güç aktarımı birinci olarak elektrikseldir. İçten yanmalı motorun mekanik çıktısı elektrik enerjisine dönüştürüldükten sonra elektrik motoru tarafından üretilen güç bir elektrik kontrol ayarlama mekanizmasında birleştirilir. Güç akışı batarya ve yanmalı motor arasında iki taraflıdır. İçten yanmalı motor geri kazanımlı frenleme esnasında jeneratör gibi çalışarak sürtünmeden kaynaklanan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir (Høyer, 2008). General Motors seri hibrit konfigürasyona benzer fakat biraz farklı bir dizayna sahip konfigürasyonu Chevy Volt isimli araçta kullanmakta ve bu dizaynı menzili uzatıcı elektrikli araç diye isimlendirmektedir. Elektrik motoru tekerleri döndürür fakat batarya tükenmesi halinde araç paralel hibrit konfigürasyonuna geçiş yaparak çalışabilir (Url-3).

Karma tip konfigürasyon her iki tipin birleşiminden oluşmaktadır. Temel olarak bu araçlar seri hibrit araçlardır. Batarya tükenmesi durumunda bataryalar geri kazanımlı frenleme sayesinde şarj edilirken içten yanmalı motor aktif hale getirilir ve aracı çalıştırır. Genellikle, seri hibritlerden daha az elektrikli sürüş kapasitesine sahip olduğundan, bu tip araçlar ortalama hızlı sürüşlere daha uygundur. Toyota Prius bu tip araçlara bir örnektir (Zhang ve diğ., 2011).

Karma konfigürasyon tipi aktarma sisteminde batarya iki modda çalışmaktadır; şarj tüketimi ve şarj sağlama. Şarj tüketimi modunda araç elektrik ve petrol türevi yakıtın her ikisini de kullanır fakat birincil olan elektrik enerjisidir. Bataryanın enerji seviyesi kapastisenin %30'una geldiğinde araç sadece petrol türevi yakıt (benzin ya da motorin) ile çalışır ve bataryaya enerji depolayarak şarj etme işlemini de gerçekleştirir. Bataryanın kapasitesinin %30 seviyesine gelmesi şarj başlangıcı seviyesi olarak adlandırılır. Bu seviye şarj sağlama modunun başlangıcıdır. Araç şarj tüketim moduna geçtiği zaman hibrit elektrik araç gibi davranır ve sadece içten yanmalı motoru aracın hareketi için kullanabilir. Batarya şarj edilene kadar da araç şarj sağlama modunda kalır (Marshall ve diğ., 2013; Sioshansi ve Miller, 2011). Geri kazanımlı frenleme şarj sağlama modunda bataryaya elektrik sağlamak için çalışır. Bataryaların ömür tükenmesinde şarj tüketimi ve şarj sağlama modu koşulları önemli faktörlerdir. Şarj sağlama modu başlangıç seviyesi genel olarak %30 olarak belirlenmektedir. Batarya

ömrünü etkileyen önemli faktörler ise çalışma sıcaklığı, şarj etme döngüsü ve şarj başlangıcı seviyesidir (Lunz ve diğ., 2012). Kontrollü çalışma stratejileri batarya ömrünü ve bakım maliyetlerini olumlu yönde etkilemektedir.

Daha önce belirtildiği gibi şarjlı hibrit elektrikli araçlar bataryalara sahiptir. Batarya tipleri enerji sağlama, enerji etkinliği ve güvenliği konularında büyük öneme sahiptir. En çok kullanılan batarya tipleri lityum-ion, nikel-metal hidrit ve kurşun-asit bataryalardır.

Lityum-ion bataryalar sıklıkla dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonlarında kullanılmaktadır. Bu tip bataryalar yüksek özgül enerji etkinliği, yüksek sıcaklıkta iyi performans sağlaması ve düşük seviyede kendi şarjını bitirme özelliklerine sahiptir. Tam elektrikli ve şarjlı hibrit elektrikli araçların çoğunluğu bu tip bataryalara sahiptir.

Nikel-metal hidrit bataryalar bilgisayarlar ve medikal ekipmanlarda kullanılmaktadır. Bu tip bataryalar yeteri kadar iyi özgül enerji ve güç kapasitesine sahiptirler. Bu tip bataryalar kurşun-asit bataryalardan daha uzun ömre sahiptir, güvenlidirler ve hibrit elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Pahalı olmaları, yüksek seviyede kendi şarjını tüketme ve yüksek sıcaklıklarda ısı üretmesi bu tip bataryaların en önemli dezavantajlarından.

Kurşun-asit bataryalar yüksek güç elde etmek için kullanılmaktadır. Bu tip bataryalar ucuz ve güvenlidir. Düşük özgül enerji, kısa ömür döngüsü, düşük sıcaklıklarda düşük performans ve yaygın olarak ticarileşmemesi gibi özellikler bu tip bataryaların dezavantajlarıdır.

Bunlara ek olarak kullanılan enerji kaynağı ultrakapasitörlerdir. Ultrakapasitörler araca hızlanma esnasında fazladan güç sağlama, rampa çıkma ve frenleme esnasında ortaya çıkan enerjiyi kurtarmada etkindir. Aracın performansını önemli ölçüde artırmaktadırlar (Url-4). Yakın gelecekte ultrakapasitörlerin enerji verimli elektrikli araçlar için önemli bir etken olacağı tahmin edilmektedir (Crolla, 2009). Çoğu uzman lityum-ion bataryaların yüksek özgül enerjisinden dolayı hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlar için en çok tercih edilen batarya tipi olduğunu belirtmektedir (van Vliet ve diğ., 2010).

Şarjlı hibrit elektrikli araçların nasıl şarj edileceği konusu hibrit elektrikli araçlar konusu içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bunun için üç türlü seçenek vardır. Bunlar evde şarj, dışarıda şarj ve şarj istasyonlarında şarj etme seçenekleridir. Şarjlı hibrit

elektrikli araç teknolojisinin pazarda yeni olmasından dolayı, şarj etme altyapısı yeni oluşturulmakta ve gelişmektedir. Bundan dolayı bataryaları şarj etme süresi şarj için kullanılan elektrik aracı elektrik sağlama ekipmanı türüne göre 30 dakikadan 20 saate kadar değişebilmektedir. Şarj etme seçeneği sürüş stili, yolculuk uzaklıkları arası mesafe, rutin sürüş sitali ve sürüş hızı gibi etkenlerden etkilenmektedir.

Elektrik aracı elektrik sağlama ekipmanları bir aracı şarj etme özelliğine göre farklı tiplere sahiptir. Şarj edilen bir elektrikli araç Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Şarjlı hibrit elektrikli aracın şarj edilmesi (PEV_report, 2012).

Araç bataryalarını şarj etmede sağladıkları enerji oranına göre şarjlı hibrit elektrikli araç için elektrik sağlama ekipmanları üçe ayrılır; Seviye 1, Seviye 2 ve DC hızlı şarj etme. Seviye 1 ve Seviye 2 araca alternative elektrik akımı sağlar ve bu elektrik araç üzerine yerleştirilen mekanizma ile direct akıma çevrilir. DC hızlı şarj etme ekipmanları ise seviye 1 ve seviye 2 elektirk ekipmanlarının aksine direkt olarak elektrik akımını araca iletir. Aracın menziline sağladıkları enerji oranında etkili olduklarından dolayı batarya tipi ve kullanılan elektrikli araca elektrik sağlama ekipmanı tipi şarjlı hibrit elektrikli araç şarjı için önemli faktörlerdir. Seviye 1 şarj ekipmanlarının sağladığı enerji oranı sayesinde hafif hizmet aracına şarj edilen her bir saatte 2 ile 5 mil arasında menzil hareketi için enerji sağlanır. Bu oran seviye 2 tipi ekipmanlar için şarj edilen her bir saatte 10 ile 20 mil arasında menzil iken, DC hızlı şarj ekipmanları ile 20 dakikada 60 ile 80 mil arasında menzil hareketi için enerji sağlamaktadır.

Şarj süresini etkileyen faktörler elektrik sağlama ekipmanı tipi, batarya tipi, bataryanın nasıl tükendiği, bataryanın kapasitesi, şarj döngüsü ve sıcaklık, nem gibi faktörleri

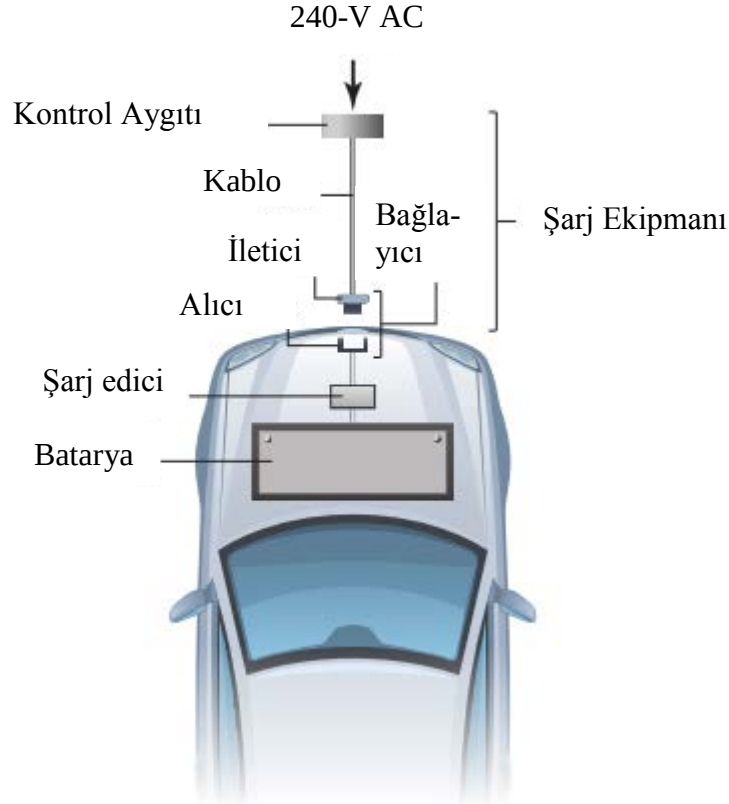
içeren çevresel faktörlerdir (Greaves ve diğ., 2014; PEV_report, 2012). Tam elektrikli araçlar şarjlı hibrit elektrikli araçlardan daha fazla batarya kapasitesine sahip olduğundan bataryaları tamamen boşalmış olan tam elektrikli araçların şarj süresi aynı durumdaki şarjlı hibrit elektrikli araçların şarj süresinden daha uzundur.

Seviye 1, Seviye 2 ve DC hızlı şarj tipinin özellikleri şu şekildedir:

Seviye 1 tipi elektrik sağlama ekipmanı 120 volt çıkışın bulunduğu yerde alternatif akım sağlar ve özel bransman devresi gerektirir. Şarjlı hibrit elektrikli araca bağlantı için sadece bir kablo gerekir.

Seviye 2 tipi elektrik sağlama ekipmanı oturma alanlarında kullanılan 240 volt veya ticari uygulama alanlarında kullanılan 208 volt çıkışın bulunduğu yerde alternatif akım sağlar ve özel elektrik devresi gerektirir. Bu tip elektrik sağlama ekipmanları çok seviye 1 tipi ekipmanlara göre daha hızlı şarj etme özelliğinden dolayı filo tesislerinde muhtemel olarak en çok tercih edilen ekipman tipi olacaktır. Seviye 1 ekipmanları gibi araca bağlantı için sadece bir kablo gerekir.

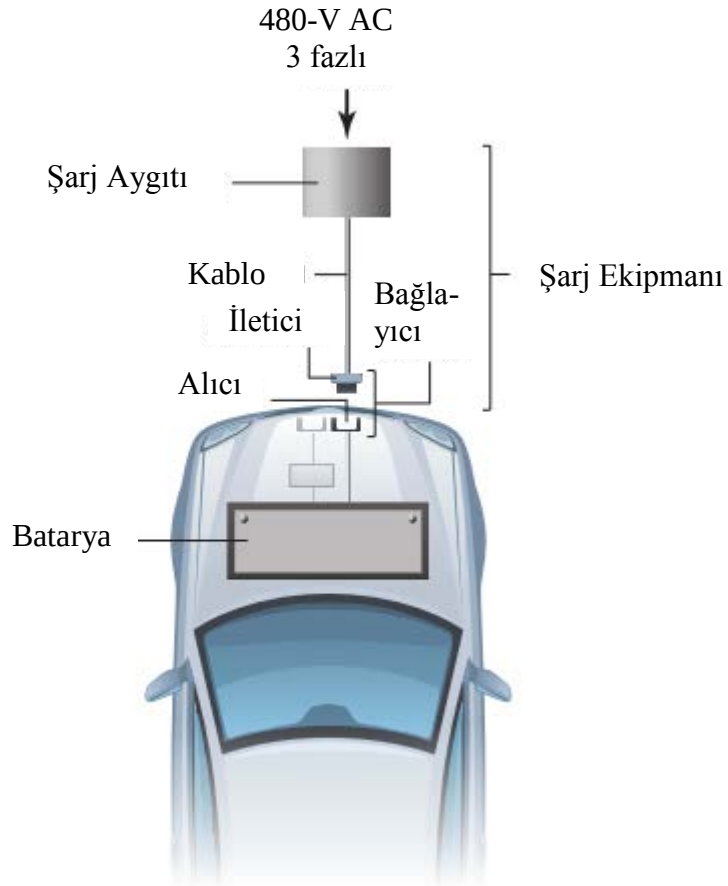
Şekil 2.5'te seviye 2 tipi şarj şematiği görülmektedir.



Şekil 2.5 : Seviye 2 şarj şematiği (PEV_report, 2012).

DC hızlı şarj etme tipi 480 V alternatif akım girdisi ile hızlı şarj sağlar. Bu şarj tipi ekipmanları, hafif hizmet tipi araca 20 dakika kadar kısa bir zamanda 60 ile 80 mil arasında sürüş menzili için enerji sağlayacağından yoğun trafik koridorlarının ve toplu araç enerji istasyonlarının bulunduğu yerlerde avantajlı bir konuma sahip olacaktır.

Şekil 2.6 DC hızlı şarj tipi şematığı görülmektedir.



Şekil 2.6 : DC hızlı şarj şematığı (PEV_report, 2012).

Elektrik aracı elektrik sağlama ekipman tiplerinden bir diğeri ise endüktif şarjdır. Bu şarj tipi elektriği aracın bataryasına elektromanyetik alan vasıtasıyla ulaştırır. Bu tip şarj kullanımı düşüktür ve gelecekte önemli bir konuma sahip olması beklenmektedir. BMW i3 ve i8 modellerinde bu şarj tipi temelli “wallbox” sistemini kullanmaktadır.

Filolarda, en uygun elektrikli araç elektrik sağlama ekipmanı seçimi aracın şarj edilem sıklığı ve kaç aracın şarj edileceği durumlarına bağlıdır. DC hızlı şarj tipi seviye 1 ve seviye 2 tipi ekipmanlardan daha pahalı olmasına rağmen şarj süresini azaltmakta ve daha fazla şarj imkanı ve filo için araçlara daha fazla yer sağlamaktadır. Hangi tip

ekipmanların kullanılacağı konusunda, şarjlı hibrit elektrikli araçlardan tam elektrikli araçlara geçiş yapılması öngörüsü önemli bir yer tutmaktadır (PEV_report, 2012).

Şarjlı hibrit elektrikli araçlar benzinli veya dizel araçlardan yaklaşık olarak 5.000 ile 7.500 \$ daha fazla fiyata sahip olmasına rağmen, yakıt sarfiyatını yaklaşık olarak %40 azaltmakta ve seragazi emisyonunu (well-to-wheel) 89-103 g CO₂ km⁻¹ gibi bir seviyeye düşürmektedir. Bu oran referans alınan benzinli ve dizel araçlar için sırasıyla 163 g km⁻¹ ve 156 g km⁻¹'dir (van Vliet ve diğ., 2010). Diğer bir deyişle, şarjlı hibrit elektrikli araçlar klasik araçlardan daha çevrecidir.

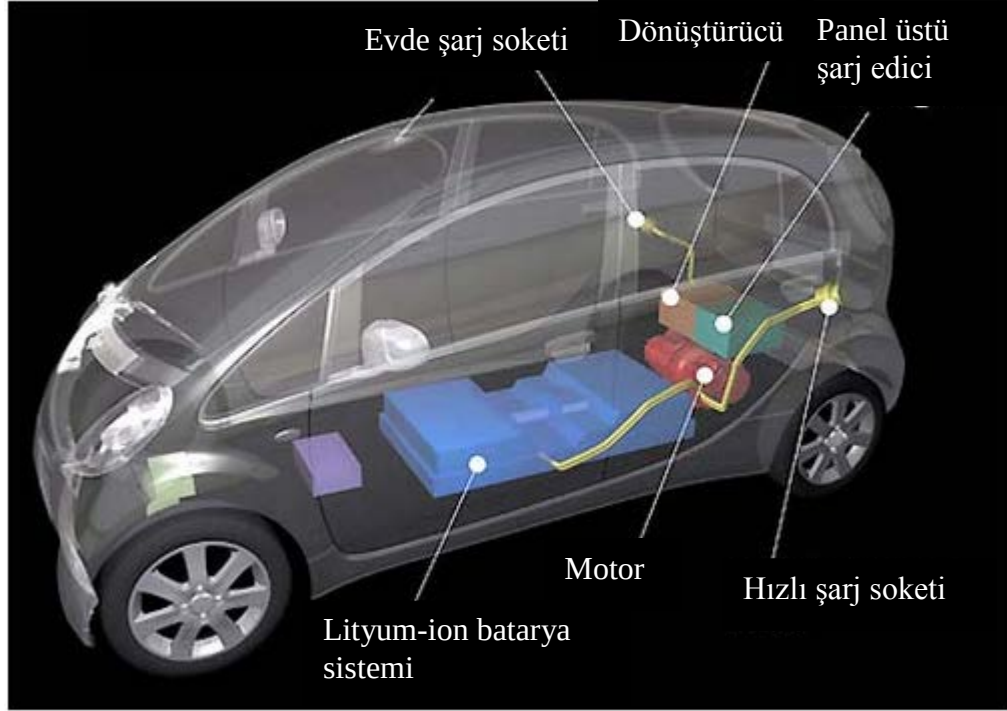
Şarjlı hibrit elektrik araçların avantaj ve dezavantajları şunlardır;

- Şarjlı hibrit elektrikli araçlar hibrit elektrikli araçlar ve klasik araçlardan daha iyi yakıt tasarrufuna sahiptir.
- Şarjlı hibrit elektrikli araçlar yeni teknolojisi dolayısıyla bazı vergi indirimleri ve teşviklere sahiptir.
- Güçlü elektrik motoruna sahip olmasından dolayı hibrit elektrik araçlar ve klasik araçlara göre çevreye daha az zararlıdır.
- Şarjlı hibrit elektrikli araçlar hibrit elektrikli araçlar ve klasik araçlardan daha pahalıdır.
- Şarjlı hibrit elektrikli araçlar şarj etme altyapısı için ilk yatırım maliyeti gerektirmektedir.
- Toplu şarj istasyonlarının az olması şarjlı hibrit elektrikli araçlar için dezavantajdır.
- Bazı şarjlı hibrit elektrikli araçların sürüş menzilinın kısa olması bu araçların alıcıları için dezavantaj olarak görülmektedir.

2.3 Tam Elektrikli Araçlar

Tam elektrikli araçlar sadece elektrik enerjisine bağılı olarak çalışan araç tipleridir. Tam elektrikli araçlar şarj edilebilir batarya haznesine sahiptir ve bu hazneler elektrik motoru ya da motorlarına enerji sağlamaktadır (Url-5). Tam elektrikli araçlar şarjlı hibrit araçlara benzemekle birlikte sadece elektrik motoru ve enerjisine bağılı olmaları özelliğıyle bu tip araçlardan farklılaşmaktadır. Tam elektrikli araçlarda şarj etme altyapısı, şarj seçenekleri ve batarya sistemi şarjlı hibrit elektrikli araçlardaki gibidir.

Tam elektrikli araçlar değişim için gerekli az miktar sıvı bulunması, geri kazanımlı frenleme sistemi dolayısıyla fren aşınmasının azalması, batarya, motor ve ilgili bileşenlerin klasik araçlardan daha az sıklıkla bakım gerektirmesi dolayısıyla klasik araçlara göre daha az bakım maliyetine ve döngüsüne sahiptir. Şekil 2.7 tam elektrikli araç teknolojik donanımını göstermektedir.



Şekil 2.7 : Tam elektrikli araç sistem donanımı (Url-6).

Tam elektrikli araçlar sadece elektrik enerjisine bağımlı olarak çalıştırlarından batarya sistemi önemli bir konu olmaktadır. Tam elektrikli araçların sürüş alışkanlıkları, şarj etme döngüsü, sürüş şartları, şarj etme seviyesi batarya ömür tükenmesi için önemli faktörlerdir.

Yeni gelişen teknoloji ve yüksek fiyatlarından dolayı tam elektrikli araçlarda batarya sistemi kullanılması bu araçların pazarda yayılması için engel teşkil etmektedir. Batarya sistemleri için araştırma geliştirme faaliyetleri ve bu araçların büyük miktarda seri üretimine geçilmesi yüksek maliyetleri düşürecektir. Tam elektrikli araçlarda bataryaların ömrünün araç ekonomik ömrü boyunca süreceği tahmin edilmektedir. Bazı şarjlı hibrit elektrik araç ve tam elektrikli araç üreticileri bataryalar için 8 yıl/ 100.000 mil garantisi sunmaktadır (Url-7).

Benzinli ve dizel araçlarla kıyaslandığında tam elektrikli araçlar daha az sürüş menziline sahiptir. Aracın markası ve batarya tipine bağlı olarak tam elektrikli

araçların sürüş menzili 100 ile 200 mil arasında değişmektedir. Tam elektrikli araçların belirtilen bu kısa menzili sorunu menzil kaygısı (range anxiety) olarak adlandırılmaktadır. Fakat Greaves ve diğ. (2014) bu konu üzerinde çalışmış ve tam elektrikli araçların günlük yolculuklarda önemli bir menzile kadar ihtiyaçları karşılayacağını belirtmiştir. Bu sorunu aşmak için özel batarya kiralama merkezlerinde batarya kiralama seçeneği önemli bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kiralama seçeneğinin yaygınlaşması tam elektrikli araçların yaygınlaşmasında bir engel olan menzil kaygısı sorununu ortadan kaldıracaktır. Bu seçeneğin tek dezavantajlı yönü kiralamanın maliyetinin yüksek olmasıdır ve bu maliyet uzun yolculuklar için daha fazla maliyet gerektirecektir.

Özet olarak tam elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engeller kısa batarya menzili, kiralama, fazla batarya ağırlığı, toplu şarj istasyonlarının azlığı gibi yüksek batarya maliyetleri, seri üretimin azlığı, tüketicilerin yeni teknoloji ile ilgili çekincelerinden kaynaklanmaktadır (Bellekom ve diğ., 2012; Greaves ve diğ., 2014; Pasaoglu ve diğ., 2014).

Tam elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

- Tam elektrikli araçlar hibrit elektrikli araçlar, şarjlı hibrit elektrikli araçlar ve klasik araçlardan daha iyi yakıt ekonomisine sahiptir.
- Tam elektrikli araçlar yeni teknolojilerinden dolayı vergi indirimi ve teşviklere sahiptir.
- Tam elektrikli araçlar hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli araç ve klasik araçlara göre daha çevrecidir.
- Tam elektrikli araçlar hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli araç ve klasik araçlara göre daha pahalıdır.
- Tam elektrikli araçlar da şarjlı hibrit elektrik araçlar gibi şarj altyapısı için ilk yatırım maliyeti gerektirmektedir.
- Şarj süresi tam elektrikli araçlar için problem oluşturabilir.
- Toplu şarj istasyonlarının az olması şarjlı hibrit elektrikli araçlarda olduğu gibi tam elektrikli araçlar için de dezavantajdır.
- Tam elektrikli araçların menzilinın kısa olması dezavantaj oluşturmaktadır.

2.4 Dizel Araçlar

Dizel araçlar motorin ile enerjinin sağlandığı içten yanmalı bir motorla çalıştırılan araç tipidir. Aktarma organı dizel araçlardaki gibi mekaniktir ve içten yanmalı motor tarafından üretilen enerji mekanik aktarma organına oradan tekerleklerle aktarılır. Dizel araçlar ve benzinli araçlar aktarma organlarına göre klasik araç kategorisinde bulunmaktadır. Şekil 2.8 dizel veya benzinli bir aracın motor sistemini göstermektedir.



Şekil 2.8 : Klasik araç teknolojisi motor sistemi (Url-8).

Dizel araçlar hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli, tam elektrikli ve benzinli araçlar arasında en güçlü olanıdır. Aynı boyutlu benzinli araç motoruna göre dizel araçlar % 30-35 arasında yakıt ekonomisine sahiptir. Yakıt ekonomisine rağmen dizel araçlar benzinli araçlara göre daha pahalıdır. Dizel elektrikli araçlar daha iyi yakıt ekonomisi sağlar ve bu yakıt ekonomisi uzun yolculuklarda aracın yatırım maliyetinin daha kısa sürede amortismanını sağlar. Dizel araçlar hibrit elektrikli ve şarjlı hibrit elektrikli araçlar kadar çevreci değildir fakat ultra-düşük sulfur dizel yakıtı kullanımı, emisyon kontrol teknolojisindeki gelişmeler ve gelişmiş eksoz işlemleri emisyon azaltmasında etkili olmaktadır (Url-9).

Dizel araçların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

- Motorin yakıtı benzinden daha ucuz olduğundan dizel araçlar benzinli araçlara göre daha iyi yakıt ekonomisi sağlarlar.
- Dizel araçlar hibrit elektrikli, şarjlı elektrikli ve tam elektrikli araçlara göre çevreci değildir.

- Dizel araçlar hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlardan daha ucuzdur.
- Şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlarda olduğu gibi yakıt ikmal kısıtı yoktur.
- Elektrik ile karşılaştırıldığında yakıt fiyatı dezavantaj oluşturmaktadır.

2.5 Benzinli Araçlar

Benzinli araçlar dizel araçlarda olduğu gibi yalnız içten yanmalı motorla çalışan araç tipidir. İçten yanmalı motor dizel araçtan farklı olarak benzin ile çalışır. Aktarma organı dizel araçlardaki gibi mekaniktir ve içten yanmalı motor tarafından üretilen enerji mekanik aktarma organına oradan tekerleklerle aktarılır. Daha önce de belirtildiği gibi bu araçlar klasik araçlar kategorisine dahildir. Benzinli araçlar dizel araçlara göre yakıt ekonomisine sahip değildir fakat dizel araçlardan daha düşük fiyata sahiptir.

Seragazi salınımi (well-to-wheel) benzinli araçlar iin fazladır.Bu araçların bakım maliyetleri ise dizel araçlardan daha düşüktür.

Benzinli araçların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

- Benzinli araçlar benzin fiyatlarının motorin ve elektrik fiyatlarından fazla olması dolayısıyla dizel, hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlar içerisinde en düşük yakıt ekonomisine sahip araç tipidir.
- Benzinli araçlar hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlara göre çevreci değildir.
- Benzinli araçlar dizel, hibrit elektrikli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçlara göre daha ucuzdur.
- Şarjlı hibrit elektrikli araçlar ve tam elektrikli araçlardaki gibi yakıt ikmal kısıtı yoktur.
- Yüksek benzin fiyatı bir dezavantajdır.

3. BULANIK YATIRIM ANALİZİ

Yapılacak bir yatırım kararında bir işletme için yatırımın verimliliği ve/veya karlılığı önemli bir ekonomik göstergedir. Yatırımlar ile ilgili verilecek olan kararlarda yatırımın iç verim oranı, şimdiki değeri, geri ödeme süresi, fayda-maliyet analizi gibi mühendislik ekonomisi analizlerine göre yatırım kararları verilmektedir. Bu yatırım kararlarında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus yatırım ortamıdır. Yatırım ortamları genel olarak üç durumdan oluşmaktadır. Bunlar belirlilik ortamı, risk ortamı ve belirsizlik ortamıdır. Belirlilik ortamında yatırım ile ilgili parametrelerin hepsi kesindir. Klasik mühendislik ekonomisi analizleri ile hesaplamalar yapılır ve kararlar bu şekilde verilir. Risk ortamında yatırımda ise yatırımın parametreleri ile ilgili olasılık dağılımı bilinmektedir ve genel olarak istatistiksel yöntemler kullanılarak mühendislik ekonomisi analizleri yapılır ve yatırım ile ilgili kararlar bu analiz sonuçlarına göre verilir. Belirsizlik ortamında yatırım ile ilgili parametreler hakkında herhangi bir olasılık dağılımı yoktur fakat bu parametreler ile ilgili tahminler vardır. Parametreler ile ilgili tahminler genellikle sözeldir ve belirsizlik içerir. Bulanık mantık sözel ifadelerin belirsizliği ve verilerin kesin olmaması durumlarında etkin bir modelleme aracı olarak kullanılmaktadır. Belirsizlik ortamında yatırım durumunda da bulanık mühendislik ekonomisi analizleri yapılır ve yatırım ile ilgili kararlar bu analizlerin sonucuna göre verilir. Bu çalışmada bahsedilen konu olan araç teknolojilerinin ülkemizde yeni olması dolayısıyla bir belirsizlik ortamı vardır. Çok ölçütlü değerlendirmede maliyet kriteri de bir kriter olarak kullanılacağından araçların maliyet analizleri bulanık mühendislik ekonomisi analizleri ile yapılacaktır.

3.1 Bulanık Yatırım Analizi: Literatür Araştırması

Bulanık yatırım analizi ile ilgili pek çok çalışma literatürde mevcuttur. Bu çalışmalar da en çok kullanılan analiz türleri şimdiki değer analizidir.

Bulanık yatırım analizi ile yapılan çalışmalar değişik alanlara uygulanmıştır. Kahraman ve diğ. (2002) belirsizliğin hakim olduğu yatırım ortamlarında uzmanların bilgilerinin belirsizlik içereceğini belirterek bulanık net şimdiki değer, bulanık yıllık

eşdeğer maliyet/kar, bulanık gelecek değer, bulanık geri ödeme süresi ve bulanık fayda-maliyet analizi yöntemlerini geliştirilmiş ve her bir analiz farklı proje yatırımları için uygulamıştır. Huang (2007) çalışmasında kredibilite ölçümüne göre bulanık yatırım harcamaları ve bulanık yıllık nakit akışı kullanmış ve yatırım projesine uygulamıştır. Bununla birlikte bulanık simülasyon temelli genetik algoritma önermiş ve sermaye planlama problemi için optimal çözüm genetik algoritma ile elde edilmiştir. Zhang ve diğ. (2011) yatırım maliyeti ve nakit akışlarının bulanık değerlerle ifade edildiği yatırım ortamında bulanık mühendislik ekonomisi analizlerini kullanmıştır. Uygulama alanı ise 11 farklı yatırım maliyeti, ömür ve gelecek nakit akışına sahip bağımsız projelerin değerlendirmesidir. Lin ve Lu (2013) bulanık şimdiki değer analizini, farklı zaman periyotlarındaki nakit akışı ve geri dönüş oranlarının bulanık olarak ifade edildiği yatırım ortamında, yap-işlet-devret modeli ile Tayvan’da spor kompleksi için yapılan yatırımın analizinde kullanmıştır. Tsao (2010) yatırım kararı için yeni bulanık varyans ve standart sapma formülleri sunmuştur. Önerilen bu ölçüm araçları ve bulanık şimdiki değer analizi, bulanık ifadelerle belirtilen farklı ekonomik yatırım senaryoları ile nakit akışları ve sermaye maliyetlerinin de bulanık olarak ifade edildiği karşılıklı ayrık üç projenin değerlendirilmesine uygulamıştır. Sheen (2005) bulanık şimdiki değer ve bulanık geri ödeme analizlerini kullanmıştır. Melin dönüşümü uygulanarak, şimdiki değer ve geri ödeme endekslerinin bulanık ortalama ve varyansların hesaplanmasına yönelik önerilen yaklaşımla, petrokimya sanayisinde bir yatırım kararı için bulanık mühendislik ekonomisi analizi uygulamıştır. Karsak ve Tolga (2001) bulanık çok ölçütlü bir karar verme yönteminde değerlendirmenin bir bileşeni olan maliyet kriterini bulanık analizle hesaplayarak ileri üretim sistemleri yatırımında bulanık yatırım analizi kullanmıştır. Tsao (2012) sözel ifadelerle belirtilen beş farklı ekonomik ortam senaryo olabilirlikleri, nakit akışı ve yatırım maliyetini bulanık analizlerle aynı ömürlü karşılıklı ayrık üç sermaye yatırımına uygulamış, bunun yanında bu proje yatırım seçimi için sonsuz ömürlü analizlerle bulanık gelecek değer analizi de yapmıştır. Omitaomu ve Badiru (2007) bulanık şimdiki değer analizini bilgi sistemleri projeleri ekonomik yatırımı değerlendirmesinde kullanmıştır. Kahraman ve diğ. (2000) bulanık yıllık sabit değer temelli fayda-maliyet analizini farklı ömürlere sahip iki montaj üretim sisteminin değerlendirilmesine uygulamıştır. Gonçaves Neto ve diğ. (2012) bulanık şimdiki değer analizini bir petrol firmasının off-shore üretim

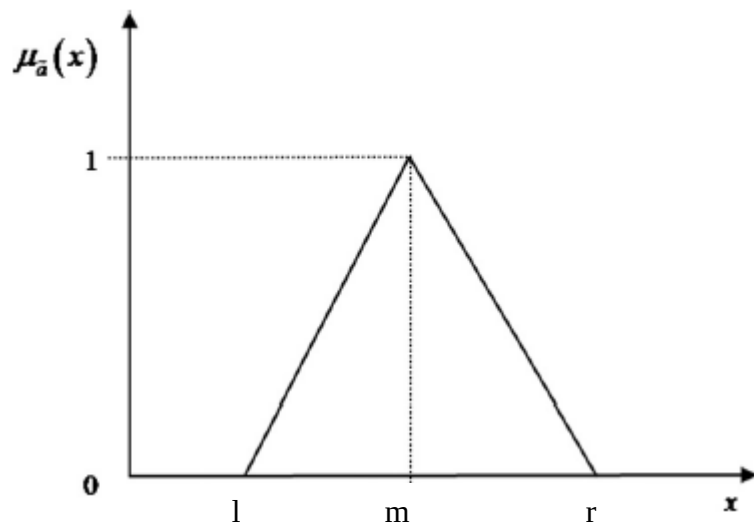
birimlerinde toplam kayıp bildirim durumlarını üç farklı senaryo altında inceleyerek iş kesinti sigortası yatırım değerlendirmesinde kullanmıştır.

3.2 Bulanık Kümeler Teorisi

Bulanık kümeler teorisi Azerbaycanlı bilim adamı Lutfi Askerzade tarafından bulunmuştur. Klasik kümeler teorisinin aksine bir elemanın bir kümeye aidiyeti ya vardır ya yoktur mantığı yerine, bu eleman bu kümeye belirli bir üyelik derecesi ile dahildir mantığı bulanık kümeler teorisinin temelini oluşturmaktadır. Bulanık kümeler teorisindeki bu düşünce de sözel ifadelerin ve bilgi belirsizliğinin olduğu ortamlarda gerekli işlemleri yapmakta kolaylık sağlamaktadır. Bulanık kümeler teorisinde birden çok bulanık sayı tipleri geliştirilmiştir. Bunlar birinci tip bulanık sayılar, aralıklı ikinci tip bulanık sayılar, kararsız (hesitant) bulanık sayılar ve sezgisel (intuitionistic) bulanık sayılardır. Çalışmanın maliyet analizi kısmında birinci tip bulanık sayılar, çok ölçütlü karar verme aşamasında ise sezgisel bulanık sayılar kullanılmıştır.

3.2.1 Tip 1 bulanık kümeler

Bulanık sayılar kümesinde ilk ortaya atılan kümedir. Herhangi bir durum alt, orta ve üst değer olmak üzere üç değerle belirtilir. Bunun dışında trapezoidal şekilde de bulanık sayılar kullanılarak modelleme yapılabilmektedir. Çalışmada tip 1 bulanık sayılar için üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Şekil 3.1’de üçgensel birinci tip bulanık sayı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Bulanık üçgensel sayı.

Birinci tip bulanık sayılar için Kim ve Chung (2013a) çalışmasındaki formüller kullanılmıştır:

$\tilde{a}$ üçgensel bir bulanık sayıyı ifade etmek üzere $\tilde{a} = (l, m, r)$. l bulanık sayının sol taraf değeri, m orta değeri ve r 'de sağ taraf değerini belirtmektedir. $\tilde{a}$ sayısının üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{a}}(x)$ olsun. Üyelik derecesi Eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanır.

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x - l)/(m - l), & l \leq x \leq m \\ (r - x)/(r - m), & m \leq x \leq r \\ 0, & x > r \end{cases} \quad (3.1)$$

$\tilde{a}_1 = (l_1, m_1, r_1)$ ve $\tilde{a}_2 = (l_2, m_2, r_2)$ iki bulanık sayı ve k 'de bir skaler olmak üzere bu bulanık sayı ve skaler işlemleri 3.2 nolu eşitliklerdeki gibidir:

$$\textbf{Toplama} : \tilde{a}_1 \oplus \tilde{a}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2)$$

$$\textbf{Skaler Toplama} : \tilde{a}_1 \oplus k = (l_1 + k, m_1 + k, r_1 + k)$$

$$\textbf{Çıkarma} : \tilde{a}_1 \ominus \tilde{a}_2 = (l_1 - r_2, m_1 - m_2, r_1 - l_2)$$

$$\textbf{Skaler Çıkarma} : \tilde{a}_1 \ominus k = (l_1 - k, m_1 - k, r_1 - k)$$

$$\textbf{Çarpma} : \tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 \cong (l_1 x l_2, m_1 x m_2, r_1 x r_2) \quad l_1 \geq 0 \quad (3.2)$$

$$\textbf{Skaler Çarpımı} : \tilde{a}_1 \otimes k = (k x l_1, k x m_1, k x r_1) \quad k \geq 0$$

$$\tilde{a}_1 \otimes k = (r_1 x k, m_1 x k, l_1 x k) \quad k < 0$$

$$\textbf{Bölme} : \tilde{a}_1 \oslash \tilde{a}_2 \cong (r_1/l_2, m_1/m_2, l_1/r_2)$$

$$\textbf{Skaler ile Bölme} : \tilde{a}_1 \oslash k = (l_1/k, m_1/k, r_1/k) \quad k > 0$$

$$\tilde{a}_1 \oslash k = (r_1/k, m_1/k, l_1/k) \quad k < 0$$

$$\textbf{En büyük} : \max_i \tilde{a}_i = (\max_i l_i, \max_i m_i, \max_i r_i)$$

$$\textbf{En küçük} : \min_i \tilde{a}_i = (\min_i l_i, \min_i m_i, \min_i r_i)$$

$$\textbf{Toplama} : \sum_i \tilde{a}_i = (\sum_i l_i, \sum_i m_i, \sum_i r_i)$$

En büyük ve en küçük işlemlerinin sonucunda iki durumda üçgensel sayı elde edilemeyebilir. Bu durumlar $\tilde{a}_1$ ve $\tilde{a}_2$ sayılarının iki durumda çakışmasında meydana gelir. $l_1 < l_2, m_1 \neq m_2, r_1 > r_2$ ve $l_1 < l_2, m_1 > m_2, r_1 < r_2$. Bu durumda üçgensel bulanık sayı yaklaşım olarak kullanılır.

Bulanık sayı $\tilde{a}$ 'nın durulaştırılmasında ise Eşitlik 3.3 kullanılmaktadır:

$$\text{duru}(\tilde{a}) = \frac{(l+4m+r)}{6}. \quad (3.3)$$

3.2.2 Sezgisel ve aralık değerli sezgisel bulanık kümeler

Sezgisel (intuitionistic) bulanık kümeler ise bulanık kümelerin daha da gelişmiş bir versiyonu olup karar verme ortamında belirsizliğin daha da modele katılmasını sağlamaktadır. Bu kümeler yardımıyla, karar verici değerlendirmeyi yaparken konu ile ilgili üye olma, üye olmama derecesini birlikte sunabilmektedir. Eğer karar vermede belirsizlik hala varsa bunu da üyelik ve üye olmama derecelerini belirtebildiğinden dolayı bu da modele katılabilmektedir ve modelleme önceki bulanık küme tiplerine göre daha etkin olabilmektedir. Çalışmanın sezgisel (intuitionistic) AHP kısmında kullanılacak işlemler için gerekli olan işlemler Wu ve diğ. (2013)'teki aralık değerli sezgisel bulanık kümeler konulu çalışmasından faydalanılmıştır.

Tanım 1. X bir evrensel küme ve $C \subseteq [0,1]$ tüm kapalı aralıkların aralık kümesi olsun. X kümesindeki aralık değerli sezgisel bulanık sayı olan $\tilde{A}$ 'nın gösterimi Eşitlik 3.4'teki gibidir:

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}_A(x) \rightarrow D \subseteq [0,1], \tilde{\nu}_A(x) \rightarrow D \subseteq [0,1], \quad 0 \leq \sup \tilde{\mu}_A(x) + \sup \tilde{\nu}_A(x) \leq 1, \forall x \in X \\ \tilde{A} = \{(\langle x, \tilde{\mu}_A(x), \tilde{\nu}_A(x) \rangle | x \in X)\}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Daha önce de belirtildiği gibi üye olma ve olmama dereceleri bu tip bulanık kümelerde toplamda 1'e eşit olmayabilir. Bu durumda üye olma ve olmama derecelerinin toplamını 1'den çıkardığımızda elde edilen değer belirsizlik değeridir. $\pi_A(x)$ belirsizlik değerini ifade etmek üzere, belirsizlik (hesitancy) değeri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\pi_A(x) = 1 - \tilde{\mu}_A(x) - \tilde{\nu}_A(x) = [1 - \tilde{\mu}_{AU}(x) - \tilde{\nu}_{AU}(x), 1 - \tilde{\mu}_{AL}(x) - \tilde{\nu}_{AL}(x)]$$

Gösterimde kolaylık sağlamak amacıyla, $\tilde{A}$ sayısını belirtmek için $\tilde{\mu}_A(x) = [\mu^-, \mu^+]$ ve $\tilde{\nu}_A(x) = [\nu^-, \nu^+]$ kullanılacaktır. $\tilde{A} = ([\mu^-, \mu^+], [\nu^-, \nu^+])$ ile gösterilmektedir.

Tanım 2. $\lambda \geq 0$ ve $\tilde{a}_1 = ([\mu_1^-, \mu_1^+], [\nu_1^-, \nu_1^+])$, $\tilde{a}_2 = ([\mu_2^-, \mu_2^+], [\nu_2^-, \nu_2^+])$ olmak üzere aritmetik işlemlerin bazıları Eşitlik 3.5-3.8'teki gibidir:

$$(1) \tilde{a}_1 \oplus \tilde{a}_2 = ([\mu_1^- + \mu_2^- - \mu_1^- \mu_2^+, \mu_1^+ + \mu_2^+ - \mu_1^+ \mu_2^+], [\nu_1^- \nu_2^-, \nu_1^+ \nu_2^+]), \quad (3.5)$$

$$(2) \tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 = ([\mu_1^- \mu_2^-, \mu_1^+ \mu_2^+], [\nu_1^- + \nu_2^- - \nu_1^- \nu_2^-, \nu_1^+ + \nu_2^+ - \nu_1^+ \nu_2^+]), \quad (3.6)$$

$$(3) \lambda \tilde{a}_1 = ([1 - (1 - \mu_1^-)^\lambda, 1 - (1 - \mu_1^+)^\lambda], [1 - (1 - v_1^-)^\lambda, 1 - (1 - v_1^+)^\lambda]), \quad (3.7)$$

$$(4) \tilde{a}_1^\lambda = ([(\mu_1^-)^\lambda, (\mu_1^+)^\lambda], [1 - (1 - v_1^-)^\lambda, 1 - (1 - v_1^+)^\lambda]). \quad (3.8)$$

Tanım 3. $\tilde{r}_{ij} = (\tilde{\mu}_{ij}, \tilde{v}_{ij})$, $\tilde{\mu}_{ij} = [\tilde{\mu}_{ij}^-, \tilde{\mu}_{ij}^+] \subseteq [0,1]$ ve $\tilde{v}_{ij} = [\tilde{v}_{ij}^-, \tilde{v}_{ij}^+] \subseteq [0,1]$ olmak üzere $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times n}$ aralık değerli bulanık sayı değerlendirme matrisi olsun.

$$\tilde{s}_{ij} = \tilde{\mu}_{ij} - \tilde{v}_{ij} = [\tilde{\mu}_{ij}^- - \tilde{v}_{ij}^+, \tilde{\mu}_{ij}^+ - \tilde{v}_{ij}^-] \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9 göz önünde bulundurularak $\tilde{R}$ matrisinin skor değerlendirme matrisi olan $\tilde{S} = (\tilde{s}_{ij})_{n \times n}$ matrisi bulunur.

Tanım 4. $a = [a^-, a^+]$ ve $b = [b^-, b^+]$ iki aralık değerli sayı olsun. $L_a = a^+ - a^-$, $L_b = b^+ - b^-$ olmak üzere $a \geq b$ olabilirlik derecesi Eşitlik 3.10'daki gibi elde edilir:

$$p(a \geq b) = \frac{\min\{L_a + L_b, \max(a^+ - b^-, 0)\}}{L_a + L_b} \quad (3.10)$$

$\tilde{A}$ aralık değerli çarpımsal matris olmak üzere Eşitlik 3.11'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{S} = (\tilde{s}_{ij})_{n \times n}, \tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}, \tilde{a}_{ij} = 10^{\tilde{s}_{ij}}. \quad (3.11)$$

$\tilde{A}$ matrisinin ön ağırlığı olan $\tilde{w}_i$ değerleri Eşitlik 3.12'deki gibi elde edilir:

$$\tilde{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}} = \left[\frac{\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}^-}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}^-}, \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}^+}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}^+} \right] \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.10'da belirtilen olabilirlik derecesi karşılaştırmada i. ve j. sayının karşılaştırmasını yapmak için p_{ij} 'yi kullanalım. İki sayının olabilirliğini karşılaştırmada kullanılacak olabilirlik derece matrisi için son normalizasyon işlemi Eşitlik 3.13'deki gibi elde edilir:

$$w_i = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right] \quad (3.13)$$

VIKOR yönteminde ise üçgensel sezgisel bulanık sayılar kullanılmaktadır. Üçgensel sezgisel bulanık VIKOR yöntemi işlemleri ve adımlarında (Devi, 2011) çalışmasından faydalanılmıştır.

Aralık değerli sezgisel bulanık sayılara ek olarak değerlendirme esnasında üyelik derecesi ve bu üyelik derecesinin belirttiği sayılar kullanılmaktadır. Buna göre $\tilde{A} = \langle [(x_1, x_2, x_3); \mu_A], [(x'_1, x'_2, x'_3); \nu_A] \rangle$ ve $\tilde{B} = \langle [(y_1, y_2, y_3); \mu_B], [(y'_1, y'_2, y'_3); \nu_B] \rangle$, $\mu_A \neq \mu_B, \nu_A \neq \nu_B$ olmak üzere üçgensel sezgisel bulanık sayıların aritmetik işlemleri Eşitlik 3.14 - 3.19'daki gibi tanımlanabilir:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \langle [(x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3); \min(\mu_A, \mu_B)], [(x'_1 + y'_1, x'_2 + y'_2, x'_3 + y'_3); \max(v_A, v_B)] \rangle, \quad (3.14)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \langle [(x_1 - y_3, x_2 - y_2, x_3 - y_1); \min(\mu_A, \mu_B)], [(x'_1 - y'_3, x'_2 - y'_2, x'_3 - y'_1); \max(v_A, v_B)] \rangle, \quad (3.15)$$

$\tilde{A} > 0$ ve $\tilde{B} > 0$ için,

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \langle [(x_1 y_1, x_2 y_2, x_3 y_3); \min(\mu_A, \mu_B)], [(x'_1 y'_1, x'_2 y'_2, x'_3 y'_3); \max(v_A, v_B)] \rangle, \quad (3.16)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \langle [(x_1/y_3, x_2/y_2, x_3/y_1); \min(\mu_A, \mu_B)], [(x'_1/y'_3, x'_2/y'_2, x'_3/y'_1); \max(v_A, v_B)] \rangle, \quad (3.17)$$

$$\max(\tilde{A}, \tilde{B}) = \langle [(\max(x_1, y_1), \max(x_2, y_2), \max(x_3, y_3)); \min(\mu_A, \mu_B)], [(\max(x'_1, y'_1), \max(x'_2, y'_2), \max(x'_3, y'_3)); \max(v_A, v_B)] \rangle, \quad (3.18)$$

$$\min(\tilde{A}, \tilde{B}) = \langle [(\min(x_1, y_1), \min(x_2, y_2), \min(x_3, y_3)); \min(\mu_A, \mu_B)], [(\min(x'_1, y'_1), \min(x'_2, y'_2), \min(x'_3, y'_3)); \max(v_A, v_B)] \rangle \quad (3.19)$$

3.3 Bulanık Net Şimdiki Değer Analizi

Bulanık mantık, bulanık sayılar aracılığıyla bilgi belirsizliği olan ortamlarda modellemede kolaylık sağlamaktadır. Araç teknolojileri için yapılacak olan maliyet karşılaştırmalarında da bazı maliyet kalemlerinde belirsizlik söz konusudur. Bundan dolayı klasik mühendislik ekonomisi formülleri yerine analizde bulanık mühendislik ekonomisi formülleri kullanılmıştır.

Maliyet karşılaştırması için bulanık yıllık eşdeğer maliyet ve bulanık net şimdiki değer analizi kullanılmıştır. Bulanık yıllık eşdeğer maliyet ve bulanık net şimdiki değer analizi formülleri Kahraman (2008)'de belirlenen bulanık mühendislik ekonomisi formülleridir ve Eşitlik 3.20 – 3.24'teki gibi gösterilmiştir:

$\tilde{P} = (P_l, P_m, P_r)$: Bulanık şimdiki değer

$\tilde{F} = (F_l, F_m, F_r)$: Bulanık gelecekteki değer

$\tilde{A} = (A_l, A_m, A_r)$: Bulanık yıllık düzgün eşdeğer

$\tilde{i} = (i_l, i_m, i_r)$: Bulanık faiz değeri

$1 \oplus \tilde{i} = (1,1,1) \oplus (i_l, i_m, i_r) = (1 + i_l, 1 + i_m, 1 + i_r)$ olmak üzere;

$$(1 \oplus \tilde{i})^N = ((1 + i_l)^N, (1 + i_m)^N, (1 + i_r)^N) \quad (3.20)$$

$$(\tilde{P} / \tilde{F}, \tilde{i}, N) = \left(\frac{1}{(1 + i_r)^N}, \frac{1}{(1 + i_m)^N}, \frac{1}{(1 + i_l)^N} \right) \quad (3.21)$$

$$\tilde{P} \otimes (1 \oplus \tilde{i})^N = (P_l(1 \oplus i_l)^N, P_m(1 \oplus i_m)^N, P_r(1 \oplus i_r)^N) \quad (3.22)$$

Bulanık yıllık yeknesak değer ($\tilde{A}$) ile bulanık şimdiki değer ($\tilde{P}$) arasındaki ilişki Eşitlik 3.23'teki gibidir:

$$(\tilde{P} / \tilde{A}, \tilde{i}, N) = \left(\frac{(1+i_r)^N - 1}{(1+i_r)^N * i_r}, \frac{(1+i_m)^N - 1}{(1+i_m)^N * i_m}, \frac{(1+i_l)^N - 1}{(1+i_l)^N * i_l} \right) \quad \text{olmak üzere}$$

$$\tilde{P} = \tilde{A} \otimes (\tilde{P} / \tilde{A}, \tilde{i}, N) \quad (3.23)$$

Yıllık faizin daha kısa periyotlar için kullanılmasındaki durumlardaki faiz oranı hesabında kullanılan eşitlik, Eşitlik 3.24'teki gibidir:

i_x belirlene durumdaki faiz oranını, $n = 12/\text{periyot}$ olmak üzere

$$(1 + i_{xl})^n - 1 = i_l, (1 + i_{xm})^n - 1 = i_m, (1 + i_{xr})^n - 1 = i_r \quad (3.24)$$

4. BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, birden fazla değerlendirme kriteri ve alternatifin bulunduğu seçim işleminde en iyi alternatif ya da alternatifleri bulmak için kullanılan karar verme araçlarıdır. Çalışmada kullanılan VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), AHP (Analytical Hierarchy Process) ve TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Sözel ifadelerin mevcut bulunması ve bilgi eksikliği karar vermeyi etkileyen olumsuz faktörlerdir. Karar verme problemlerinde sözel ifade gerektiren kriterlerin bulunması, değerlendiricilerin ifadelerindeki sözel farklılıklar ve karar verme ortamında bilgi eksikliği gibi durumlarda bulanık mantık kullanılarak daha iyi modelleme yapılmakta ve bunun sonucunda daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (Kahraman ve diğ., 2014).

4.1 Bulanık VIKOR Yöntemi: Literatür Araştırması

VIKOR yöntemi farklı ölçekli ve birbiriyle çatışan kriterlerin bulunduğu karar verme problemlerinde kişisel pişmanlığı minimize, grup faydasını maksimize ederek uzlaşık alternative çözüm veya çözümler kümesi veren çok kriterli karar verme yöntemidir. (Opricovic, 2011). Yöntem bulanık mantık kullanılarak çeşitli karar verme problemlerine uygulanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Vinodh ve diğ. (2014) yöntemi yamuk bulanık sayıları kullanarak otomotive parçası konsept dizaynı problemine uygulamıştır. Girubha ve Vinodh (2012) yamuk bulanık sayılarla elektrik aracı enstrüman paneli için malzeme seçimi problemine, Liu ve diğ. (2013b) üçgensel bulanık sayılarla Çin’de tıbbi atık yönetim seçimi problemine, Kim ve Chung (2013a) Güney Kore’de iklim değişikliğine göre su tedariki için bölgelerin kırılganlığını belirleme ve sıralama problemine, Chang (2014) üçgensel bulanık sayılarla Tayvan’da hastane hizmet değerlendirme problemine, Opricovic (2011) üçgensel bulanık sayıları kullanarak Sırbistan’da bir akarsu üzerine yapılacak olan rezerv sistemi için su kaynağı planlama problemine, Liu ve diğ. (2013a) çift yönlü sözel bulanık sayılar kullanarak otomotiv motor volanı için malzeme seçimi problemine, Kaya ve Kahraman (2010)

üçgensel bulanık sayılarla AHP'nin kriter ağırlıklarını, VIKOR'un da alternatifleri sıraladığı hibrit AHP-VIKOR yöntemini İstanbul için enerji kaynağı seçim problemine, Tadić ve diğ. (2014) üçgensel bulanık sayılarla Belgrad'da şehir lojistik konsepti seçimi problemine, Chou ve Cheng (2012) üçgensel bulanık sayılarla Tayvan'da profesyonel muhasebe firmalarının internet sitesi kalite değerlendirme problemine, Yücenur ve Demirel (2012) yamuk bulanık sayıları kullanarak Türkiye'de yerel sigorta şirketi satın almak isteyen yatırımcı firma için sigorta şirketi seçimi problemine, Liu ve diğ. (2012) yamuk bulanık sayılarla genel anestezi bölümünde risk değerlendirmede kullanılan FMEA yönteminde risklerin sıralanması problemine uygulamıştır.

4.2 Bulanık AHP Yöntemi: Literatür Araştırması

AHP yöntemi sözel ve sayısal ifadelerle belirtilen kriterlerin bulunduğu en iyi alternative veya alternatiflerin seçimi problemine kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Sözel ifadelerle belirtilen tercihler ve değerlendiricilerin aynı ifadelerinin farklı değerlendirme derecelerine sahip olması dolayısıyla bulanık mantık AHP yönteminde daha da kullanışlı olmaktadır. Bulanık mantık kullanılarak sözel verilerden kaynaklanan bilgi eksikliği ve belirsizlik daha iyi modellenabilmektedir. Bulanık AHP yöntemi de çalışmaya konu olan VIKOR yöntemi gibi çeşitli karar verme problemlerine uygulanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Zheng ve diğ. (2012) üçgensel bulanık sayıları kullanmış ve Hindistan'da otomotiv parçası üreten bir firma için en iyi plastic dönüşüm metodu seçimi problemine bulanık AHP yöntemini uygulamıştır. Najafi ve diğ. (2014) üçgensel bulanık sayıları kullanarak doğu İran'da mineral zengin alanların önceliklendirmesinde, Chou ve diğ. (2013) üçgensel bulanık sayılarla regresyon tabanlı simülasyon ve bulanık AHP yöntemini köprü inşaatı projesinde proje teklif seçiminde etkili olan faktörlerin belirlenmesi problemine, Das ve diğ. (2012) üçgensel bulanık sayılarla bulanık AHP-COPRAS yöntemini AHP'yi kriter ağırlıkları belirlemede kullanarak Hindistan'da yedi teknoloji enstitüsü performans değerlendirmesi ve sıralaması problemine, Somsuk ve Laosirihongthong (2014) üçgensel bulanık sayılarla Tayland'da üniversite iş geliştirme merkezi başarısını etkileyen faktörleri sıralanması problemine, Nepal ve diğ. (2010) üçgensel bulanık sayılarla otomotiv ürün geliştirmesi hedef planlama müşteri memnuniyeti bileşenlerini sıralama problemine, Lee ve diğ. (2013) üçgensel bulanık sayılarla

bulanık AHP-DEA (Data Envelopment Analysis) yöntemini yükselen petrol fiyatları karşısında en iyi alternatif enerji teknolojisi seçimi problemine, Vinodh ve diğ. (2014b) üçgensel bulanık sayılarla bulanık AHP-TOPSIS yöntemini, AHP kriter ağırlıklarını belirlemek üzere, plastic dönüşüm prosesleri arasından en iyi prosesi seçme problemine, Patil ve Kant (2014) üçgensel bulanık sayılarla bulanık AHP-TOPSIS yöntemini, AHP kriter ağırlıklarını belirlemek üzere, tedarikçi seçiminde bilgi yönetimi uyarlaması problemine, Rezaei ve Ortt (2013) üçgensel bulanık sayılarla AHP temelli bulanık tercih ilişki yöntemini gıda sektöründe tedarikçi seçimi problemine uygulamıştır.

4.3 Bulanık TOPSIS Yöntemi: Literatür Araştırması

TOPSIS yöntemi alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesinde, kriterler için belirlenen referans pozitif ideal çözüme yakınlık, negatif ideal çözüme uzaklık ölçüsüne göre en iyi alternatif ya da alternatifler kümesini bulmakta kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemidir. VIKOR ve AHP yöntemlerindeki gibi karar verme problemlerinin daha iyi modellenmesinde bulanık mantık ile TOPSIS kullanılarak çeşitli problemlere uygulanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Torlak ve diğ. (2011) yöntemi üçgensel bulanık sayılarla Türkiye’de iç hatlardaki havayolları şirketlerinin rekabeteçiliğinin ölçülmesi problemine uygulamıştır. Wang ve diğ. (2014) üçgensel bulanık sayılarla, Doğu Asya’da layner taşımacılığı yapan firma için optimal yakıt ikmali yapabileceği liman seçimi problemine, Roshandel ve diğ. (2013) üçgensel bulanık sayılarla deterjan üretim sanayisindeki bir firma için tedarikçi seçimi problemine, Kutlu ve Ekmekçioğlu (2012) üçgensel bulanık sayılarla bütünleşik bulanık AHP-TOPSIS yöntemini, TOPSIS sıralamada kullanılmak üzere, Türkiye’de otomotiv sanayisinde montaj hattı hata türleri önceliklendirmesi problemine, Mahdevari ve diğ. (2014) üçgensel bulanık sayılarla maden sanayisinde işçi sağlığı ve güvenliği risk yönetiminde çalışma riskleri değerlendirilmesi problemine, Bao ve diğ. (2012) üçgensel bulanık sayılarla bazı Avrupa ülkelerindeki yol güvenlik performansı ölçümü problemine, Bas (2013) üçgensel bulanık sayılarla bütünleşik AHP temelli bulanık SWOT-TOPSIS ile Türkiye’de elektrik enerjisi tedarik zinciri analizi ve stratejik planlaması karar verme problemine, Kim ve diğ. (2013b) üçgensel bulanık sayılarla Güney Kore’de arıtılmış atık suyun nehir havzası iç akıntı yöntemi ile kullanımında en iyi rezerv alanının seçimi problemine, Kannan ve diğ. (2014) üçgensel

bulanık sayılarla Brezilya’da bir elektronik şirketi için yeşil tedarikçi seçimi problemine, Dağdeviren ve diğ. (2009) üçgensel bulanık sayılarla, TOPSIS sıralamayı yapmak üzere, Türkiye’de savunma sanayisinde müşteriler için optimal silah seçimi problemine yöntemi uygulamıştır.

4.4 Sezgisel Bulanık AHP-VIKOR Yöntemi Adımları

VIKOR yöntemi farklı ölçekli ve birbiriyle çelişen kriterlerin bulunduğu ortamda çoğunluğun maksimum grup faydası karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığını sağlamak üzere alternatifler arasından en iyisi veya en iyi alternatifler kümesini uzlaşık çözüm ile bulmaya çalışan bir yöntemdir. Çalışmada m tane seçim alternatif kümesi ve l tane uzman bulunmaktadır. Alternatifler $A_1, A_2, \dots, A_m$ ’dir. A_i alternatifi için j kriterinin değerlendirme sonucu f_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)’dir. I_b ve I_c kriterin sırasıyla fayda veya maliyet kriteri olduğunu göstermektedir (Zhang ve Wei, 2013).

VIKOR yönteminde $L_{1,i}$ S_i olarak, $L_{\infty,i}$ R_i olarak sıralama ölçümünde kullanılmıştır. Minimum S_i ile elde edilen çözüm çoğunluğun maximum faydasını verirken minimum R_i ile elde edilen çözüm karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığını veren ölçüttür. VIKOR yönteminin adımlarında Devi (2011) çalışmasından yararlanılmıştır.

Sezgisel bulanık AHP-VIKOR yönteminin adımları Eşitlik 4.2 - 4.7’deki gibidir:

Adım 1. Her bir kriter için kriter tipine göre Eşitlik 3.18 ve 3.19 kullanılarak en büyük ve en küçük değerler bulunur.

$$\tilde{f}_j^+ = \max_i \tilde{f}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{f}_{ij}, \quad C_j \in I_b, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.1)$$

$$\tilde{f}_j^+ = \min_i \tilde{f}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \max_i \tilde{f}_{ij}, \quad C_j \in I_c, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.2)$$

Adım 2. Her bir alternatif için sıralama ölçütlerinden olan $\tilde{S}_i$ ve $\tilde{R}_i$ hesaplanır. Kriter ağırlıkları olarak aralık değerli sezgisel bulanık AHP ile bulunan ağırlıklar Eşitlik 4.3’te kullanılır. Eşitlik 4.3’e göre belirtilen kriterlerin en iyi değerinin üçgensel bulanık sayı ifadesinden ilgili alternatifin belirtilen kritere göre değerinin farkı ile yine aynı şekilde belirtilen kriterin en iyi değerinin üçgensel bulanık sayı ifadesinden ilgili kriterin aldığı en kötü değer farkına bölünmesiyle her bir alternatif için bir sıralama ölçütü olan $\tilde{S}_i$ ölçütü elde edilir. Bölme işlemi üçgensel bulanık sayı işlemleri tanımlı olmadığından dolayı $\tilde{S}_i$ değerleri her bir kriter için durulaştırıldıktan sonra durulaştırılmış R_i değerleri elde edilir.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n w_j \otimes \left(\frac{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_{ij}}{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_j^-} \right) =$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \otimes \frac{\left[\left(\tilde{f}_{1j}^+ - \tilde{f}_{3ij}, \tilde{f}_{2j}^+ - \tilde{f}_{2ij}, \tilde{f}_{3j}^+ - \tilde{f}_{3ij} \right); \min(\mu_{\tilde{f}_j^+}, \mu_{\tilde{f}_{ij}}) \right], \left[\left(\tilde{f}_{1j}^+ - \tilde{f}_{3ij}, \tilde{f}_{2j}^+ - \tilde{f}_{2ij}, \tilde{f}_{3j}^+ - \tilde{f}_{3ij} \right); \max(v_{\tilde{f}_j^+}, v_{\tilde{f}_{ij}}) \right]}{\left[\left(\tilde{f}_{1j}^+ - \tilde{f}_{3j}^-, \tilde{f}_{2j}^+ - \tilde{f}_{2j}^-, \tilde{f}_{3j}^+ - \tilde{f}_{3j}^- \right); \min(\mu_{\tilde{f}_j^+}, \mu_{\tilde{f}_j^-}) \right], \left[\left(\tilde{f}_{1j}^+ - \tilde{f}_{3j}^-, \tilde{f}_{2j}^+ - \tilde{f}_{2j}^-, \tilde{f}_{3j}^+ - \tilde{f}_{3j}^- \right); \max(v_{\tilde{f}_j^+}, v_{\tilde{f}_j^-}) \right]}, \forall i \quad (4.3)$$

Gösterim kolaylığı açısından Eşitlik 4.4'ün ağırlıkla çarpılan kısmını $\tilde{D}_j$ ile ifade edersek;

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (w_j \otimes \tilde{D}_j) \text{ elde edilir.}$$

Bu aşamadan sonra durulaştırma işlemi yapılarak S_i değerleri bulunur. Aynı durulaştırma işlemi $\tilde{R}_i$ ve $\tilde{Q}_i$ için de uygulanır.

$$S_i = \frac{(\tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3) \times \mu_{\tilde{S}} + (\tilde{S}'_1 + \tilde{S}'_2 + \tilde{S}'_3) \times v_{\tilde{S}}}{3} \quad (4.4)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j (w_j \otimes \left(\frac{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_{ij}}{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_j^-} \right)), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.5)$$

Adım 2'de hesaplanan i. alternatif için her bir $w_j \otimes \left(\frac{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_{ij}}{\tilde{f}_j^+ - \tilde{f}_j^-} \right)$ değeri Eşitlik 4.4'teki gibi durulaştırılır ve R_i değerleri elde edilir.

Adım 3. S^+, S^-, R^-, R^+ değerleri hesaplanır:

$$S^+ = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i, R^+ = \min_i R_i, R^- = \max_i R_i \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.6)$$

Adım 4. Her bir alternatif için $\tilde{Q}_i$ değeri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Q_i = \frac{\vartheta \times (S_i - S^+)}{(S^- - S^+)} + \frac{(1 - \vartheta) \times (R_i - R^+)}{(R^- - R^+)}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.7)$$

ϑ karar vericilerin çoğunluğunun maksimum grup faydası ağırlığını, $(1 - \vartheta)$ 'de karar vericilerin kişisel pişmanlığını minimize eden stratejinin ağırlığını ifade etmektedir.

Adım 5. S, R ve Q değerleri artan sıraya göre sıralanır. Bu şekilde üç farklı sıralama listesi elde edilir.

Adım 6. Aşağıdaki iki şart sağlanıyorsa Q ölçütüne göre minimum değeri alan uzlaşık çözüm olan A' alternatifi en iyi olarak önerilir:

C1. A'' ikinci olarak Q ölçütüne göre sıralanmış alternatifini belirtmek üzere ve $DQ = 1/(m - 1)$; m alternatif sayısı olmak üzere, kabul edilebilir avantaj: $Q(A'') - Q(A') \geq DQ$.

C2. Karar vermede kabul edilebilir avantaj: A' alternatifi aynı zamanda S ve/veya R değerine göre de birinci sırada olmalıdır. (Bu durum maksimum grup faydasının 0.5'ten büyük olması, $\vartheta > 0.5$, veya consensus, $\vartheta \approx 0.5$, veya veto ile $\vartheta < 0.5$ sağlanır.)

Bu şartlardan birisinin sağlanmadığı durumlarda uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

- a. Sadece ikinci şart sağlanmazsa A' ve A'' sırası en iyi çözüm kümesini,
- b. Sadece birinci şart sağlanmaz ise, $A^{(M)}, Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ$, maksimum M için, $A', A'', \dots, A^M$ sırasıyla uzlaşık çözüm kümesi önerilir.

4.5 Tip 1 Bulanık ve Sezgisel Bulanık AHP Yöntemi Adımları

Bu bölümde tip 1 bulanık sayılarla AHP ile ağırlıkların belirlenmesinde yöntem için Kaya ve Kahraman (2011) çalışmasından yararlanılmıştır. Tip 1 bulanık sayılar ile AHP adımları Eşitlik 4.8-4.11'deki gibidir:

Adım 1. Karar vericiler değerlendirme skalasına göre kriterlerin ikili karşılaştırmasını yaparlar ve kriter-kriter karşılaştırma matrisi oluşturulur. C_{ij} i.kriterin j. kritere göre karşılaştırmasını, C_{ijl} , C_{ijm} , C_{ijr} ise sırasıyla i. kriterin j. kritere göre karşılaştırılmasındaki değerlerin sol taraf, orta ve sağ taraf değerini ifade etmektedir.

Adım 2. Her bir karar vericinin değerlendirmesi her bir kriter için bulanık sayıların sol taraf, orta ve sağ taraf değeri ortalaması bulunarak birleşik karar matrisi elde edilir.

Adım 3. Daha sonra Kahraman ve diğ. (2014) çalışmasında kullanılan Buckley'in normalizasyon yöntemi uygulanır. Buna göre T_{il} , T_{im} , T_{ir} sırasıyla birleşik karar matrisindeki i. kriterin bulanık sayı değerlerinin tüm satır boyunca sol taraf, orta ve sağ taraf değerlerinin geometrik ortalaması alınır. Her bir i için T_{il} , T_{im} , T_{ir} değerleri bulunur.

$$\begin{aligned} (\prod_{j=1}^6 C_{ijl})^{1/6} &= T_{il}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \\ (\prod_{j=1}^6 C_{ijm})^{1/6} &= T_{im}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$(\prod_{j=1}^6 C_{ijr})^{1/6} = T_{ir}, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Adım 4. Eşitlik 4.9'a göre Her bir i için bulunan T_{il} , T_{im} , T_{ir} bulanık sayıları toplanarak normalizasyonda kullanılacak olan ST (ST_{il} , ST_{im} , ST_{ir}) değeri bulunur.

$$\begin{aligned} ST_{il} &= \sum_{i=1}^6 T_{il}, \\ ST_{im} &= \sum_{i=1}^6 T_{im}, \\ ST_{ir} &= \sum_{i=1}^6 T_{ir}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

Adım 5. Daha sonra birleşik karar matrisi elemanlarının sol taraf, orta ve sağ taraf değerleri her bir satır için ilgili ST değerine bölünmesiyle normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. C'_{ijl} , C'_{ijm} , C'_{ijr} i. kriterin j kriterine göre normalize edilmiş değerini belirtmek üzere Eşitlik 4.10'daki gibi hesaplanır.

$$C'_{ijl} = \frac{C_{ijl}}{ST_{ir}}, C'_{ijm} = \frac{C_{ijm}}{ST_{im}}, C'_{ijr} = \frac{C_{ijr}}{ST_{il}} \quad i = 1, 2 \dots m., j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.10)$$

Adım 6. Normalize edilmiş matris değerleri Eşitlik 4.11'e göre her bir satır için sırasıyla sol taraf, orta ve sol taraf değerlerinin ortalamasının alınmasıyla her bir kriterin ağırlıkları bulunur. w_{il} , w_{im} , w_{ir} sırasıyla i. kriterin bulanık değerinin sol taraf, orta ve sağ taraf değerini belirtmek üzere ağırlıklar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} w_{il} &= \sum_{j=1}^6 (C'_{ijl})/6, \quad i = 1, 2 \dots m. \\ w_{im} &= \sum_{j=1}^6 (C'_{ijm})/6, \quad i = 1, 2, \dots m. \\ w_{ir} &= \sum_{j=1}^6 (C'_{ijr})/6, \quad i = 1, 2 \dots m. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Bulunan kriter ağırlıkları TOPSIS yöntemi için girdi olarak kullanılır.

Sezgisel bulanık yönteminde kullanılan adımlar için Wu ve diğ. (2013) çalışmasından yararlanılmıştır. Wu ve diğ. (2013) çalışmasındaki sezgisel bulanık sayılarla kullanılan AHP yöntemi adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Kriterler her bir karar verici tarafından ikili karşılaştırmalar için aralık değerli sezgisel bulanık sayılar kullanılarak değerlendirme yapıldıktan sonra değerlendirme ilişki tablosu tek bir tabloya indirgenir. Bu tablo ikili karşılaştırma tablosudur ($\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{n \times n}$).

Adım 2. Adım 1'de elde edilen ikili karşılaştırma matrisinden Eşitlik 3.9'u kullanılarak $\tilde{S}$ skor değrelendirme matrisi elde edilir.

Adım 3. $\tilde{S}$ matrisi elemanları kullanılarak Eşitlik 3.11'e göre $\tilde{A}$, aralık değerli çarpımsal matris elde edilir.

Adım 4. Aralık değerli çarpımsal matrisin her bir elemanı kullanılarak Eşitlik 3.12'ye göre değerlendirmeler için $\tilde{w}_i$ ön ağırlıklar elde edilir.

Adım 5. Bir önceki adımda elde edilen ağırlıkların her biri birbirlerine göre Eşitlik 3.10 kullanılarak karşılaştırılır ve olabilirlik derecesi matrisi olan $P = (p_{ij})_{n \times n}$ elde edilir. Bu matriste $p_{ij} + p_{ji} = 1$ ve $p_{ii} = 0.5$ sağlanmalıdır.

Adım 6. Eşitlik 3.13 kullanılarak normalize edilmemiş bulanık olmayan ağırlıklar bulunur.

Adım 7. Adım 6'daki ağırlıklar normalize edilir ve VIKOR yönteminde girdi olarak kullanılır.

4.6 Tip 1 Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemi Adımları

TOPSIS yöntemi de karşıt amaçlı kriterlerin bulunduğu karar verme problemlerinde belirlenen negatif ideal çözüme en uzak, pozitif ideal çözüme en yakınlık ölçüsüne göre alternatifler kümesi içerisinde, alternatiflerin en iyisi veya en iyilerini seçmekte kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemidir.

Tip 1 bulanık sayılarla kullanılan TOPSIS yöntemi adımları Wang ve Chang (2007) çalışmasından yola çıkılarak verilmiştir. Tip 1 bulanık AHP-TOPSIS adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Her bir karar verici sözel değerlendirme skalasını kullanarak değerlendirmesini yaptıktan sonra, elde edilen değerlerin, Eşitlik 3.2'deki toplama ve skaler ile bölme işlemine göre hesaplama yapılarak, ortalaması bulunur.

Adım 2. Karar matrisinin elemanları, kriterin tipine göre, normalize edilir ve normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. f'_{ij} normalize edilmiş kriter değerini belirtmek üzere, Eşitlik 3.2'deki skaler ile bölme işlemi kullanılarak karar matrisindeki tüm f'_{ij} değerleri bulunur.

$$f'_{ij} = \frac{f_{ij}}{C_j^*} \quad (4.12)$$

Adım 3. Tip 1 bulanık AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları ile normalize matris değerleri Eşitlik 3.2'deki çarpma işlemine göre çarpılır ve ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi elde edilir. $\tilde{v}$ ağırlıklı normalize değerler matrisini belirtmek üzere;

$$\tilde{v} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \text{ ve } \tilde{v}_{ij} = w_i \otimes f'_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4.13)$$

Adım 4. Her bir alternatif için ideal ve negative ideal noktalara uzaklık ölçüleri Eşitlik 4.14-4.16'ya göre hesaplanır. A^* her bir kriterin en iyi değerleri, A^- her bir kriterin en kötü değerleri, $\tilde{v}_j^*$ pozitif ideal nokta değeri, $\tilde{v}_j^-$ negatif ideal nokta değeri, d_i^* ideal noktaya uzaklık ölçüsü, d_i^- negative ideal noktaya uzaklık ölçüsünü belirtmek üzere;

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \tilde{v}_j^* = (1, 1, 1),$$

$$\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0) \quad j = 1, 2, \dots, 6. \quad (4.14)$$

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.15)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.16)$$

Adım 5. Her bir alternatif için ideale uzaklık ölçüsü hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{(d_i^* + d_i^-)} \quad (4.17)$$

Adım 6. Alternatifler CC_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır ve bu sıralama alternatiflerin öncelik sıralamasıdır.

5. BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ ARAÇ TEKNOLOJİSİ SEÇİMİ

Bu bölümde ilk olarak çalışmaya konu olan problemin yapısı anlatılacaktır. Daha sonra problemin verileri, varsayımları ve sonuca ulaşmakta izlenen sürecin akış diyagramı verilecektir. Bunlar maliyet analizinde kullanılacak maliyetler ve işlem periyotları, işletme için varsayımlardır. Son olarak belirtilen yöntemlerle işlemler yapılarak problemin çözümü sunulacaktır.

5.1 Problemin Tanımı

İstanbul'da turizm işletmeciliği yapan bir firmanın filosunda kullanacağı araç teknolojisi seçimi problemi çalışmanın konusudur. Filoda işletmede aylık ortalama 2500 km yol yapan araç gurubu için araç teknolojisi seçimi yapılacaktır. Bu seçim yapılırken bulanık mantık ile hem bütünlük AHP-TOPSIS hem de bütünlük AHP-VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Bu aşamda karar matrislerinin oluşturulmasında uzman görüşleri kullanılmıştır. Araç teknolojisi seçimi için yapılacak karar analizinde sadece maliyet değil başka kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekliliğinden hareketle yakıt ikmal kolaylığı, araç performansı, araç ergonomisi, aracın çevreciliği ve araç güvenliği diğer kriterler olarak belirlenmiştir.

İşletmenin belirlemelerine göre B sınıfı bir araç seçimi yapılacaktır. Karşılaştırma için alternatifler benzinli, dizel, hibrit, şarjlı elektrikli araç ve tam elektrikli araçlardır. Benzinli araç için Renault Clio Joy 1.2 16v 75 bg, dizel araç için Renault Clio Joy 1.5 dCi 75 bg, hibrit araç için Toyota Yaris 1.5 Hybrid Cool, şarjlı hibrit elektrikli araç için Renault Eolab ve tam elektrikli araç için ise Renault Zoe Zen'dir.

İlk olarak tüm araçlar için maliyet analizi yapılmıştır. Bazı maliyet parametreleri belirsizlik içerdiğinden bulanık mühendislik ekonomisi analiz metodlarında kullanılmıştır. Tek bir kritere göre değil yani sadece maliyete göre değil aynı zamanda araç seçiminde kullanılan başka kriterlerde göz önünde tutulmuştur. Maliyet analizinden elde edilen verilerle birlikte uzmanlar yakıt ikmal kolaylığı, performans, ergonomi, çevrecilik ve güvenlik kriterlerine göre değerlendirmelerini yapmışlardır.

Maliyet analizi kısmında net şimdiki değer analizi yöntemi kullanılmıştır. İşletme daha sonra modelin varasayımlarında belirtileceği gibi kiralama veya banka kredisi olarak değil kendi imkanlarıyla satın alma işlemlerini gerçekleştireceğinden maliyet analizi, karar vericilere doğru bilgileri sunabilmek açısından önem arz etmektedir. Satın alma opsiyonunda maliyet kalemleri üç ana başlıkta toplanmıştır; alım-satım maliyeti, operasyon maliyeti ve yakıt maliyeti. Araçlar ilk defa alınıp belirli bir süre kullanıldıktan sonra tekrar satılabileceğinden alım-satım maliyeti ikinci el satış maliyetini de içermektedir. İşletme büyük ve küçük bakımlardan oluşan bakım, trafik sigorta, hasar-sigorta bedeli, motorlu taşıtlar vergisi (MTV), lastik değişim bedelini operasyon maliyetlerine dahil etmiştir. Ayrıca her bir araç için yakıt maliyetleri her bir yıl için aylık olarak bulanık sayılarla ifade edilip tahminlenmiş ve maliyet kalemlerinden üçüncü kalem olan yakıt maliyetleri bu şekilde elde edilmiştir. Bunların yanında yeni araç teknolojileri için şarj istasyonu kurulumu maliyet kalemlerine dahil edilmiştir.

Yakıt ikmal kolaylığı kriteri işletmenin bulunduğu şehrin trafiği dolayısıyla alternatiflere bakıldığında önem arz etmektedir. İstanbul'da faaliyet gösteren işletmenin şehiriçinde kullanacağı araçlar için yakıt ikmal istasyonlarının ulaşılabilirliği zaman açısından önemli olacaktır. Yeni araç teknolojileri için şarj istasyonları altyapısı diğer araçlara göre çok yeni olduğundan batarya dolum süreleri ve yakıt ikmal istasyonuna ulaşılabilirlik bu kriter gereğince değerlendirilmede önem arzedecektir.

Araç performansı kriteri her bir araç teknolojisi için farklı alt bileşenlerden oluşmaktadır. Bu kriter gereğince değerlendirme yapılırken aracın menzili, ivmelenme ve hızı, değişik çalışma şartlarındaki çalışma özellikleri dikkate alınmaktadır.

Ergonomi kriteri değerlendirme yapılırken için aracın sürüş kolaylığı, yolcu rahatlığı, iç kapasite gibi etkenler dikkate alınmaktadır.

Çevrecilik kriteri için değerlendirme de ise araç teknolojisinin yakıtı elde edilirken yakıtın elde edilme prosesi göz önünde bulundurulmadan sadece aracın egsoz gazı salınımı dikkate alınmaktadır.

Güvenlik kriteri için değerlendirme yapılırken sürücü güvenliği, sürüş güvenliği, yolcu ve yaya güvenliği, kaza anı ve sonrası riskler dikkate alınmaktadır.

5.2 Çalışmanın Verileri, Varsayımları ve Modeli

İlk olarak maliyet analizi için gerekli olan maliyet kalemleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Alternatif araç maliyet kalemleri tablosu.

Maliyet Kalemi	Alt Maliyet Kalemleri	Benzinli A.	Dizel A.	Hibrit A.	Şarjlı E.A.	Tam E.A.
Alış Maliyeti	Alım Maliyeti	37150	46800	58500	(60000, 61000, 63000)	68000
	2.El Satış Fiyatı	20450	25740	(31000, 32175, 33000)	(30000, 30500, 31500)	(28560, 29920, 30600)
Operasyon Maliyeti	Bakım Maliyeti	7240	7240	(8200, 8400, 8600)	(10400, 10800, 11200)	12560
	Hasar-Sig. Bedeli	3715	4680	5850	6100	6800
	Trafik Sig. Bedeli	2000	2000	2000	2000	2000
	MTV	3520	3520	3520	(2400, 2600, 2800)	1620
	Lastik Bedeli	1650	1650	1650	1650	1650
Yakıt Maliyeti	Yakıt Maliyeti	a	b	C	d	e
	Şarj				(17820, 18150, 18480)	(17820, 18150, 18480)
	İst.Kur.Mal.	-	-	-		

Bakım maliyetleri 15000 km’lik ve 30.00 km’lik olmak üzere 6 aylık ve 1 yıllık iki periyota ayrılmaktadır. Bunun yanında her bir yıl için balata ve disk değişimi maliyeti olarak 1000 Tl eklenmektedir.

Araçlar için 15000 ve 30000 km ile isimlendirilen bakımlar büyük ve küçük bakımlardır. Bu bakımlar her bir araca göre değişmektedir.15000 km için benzinli, dizel araçların bakım maliyetleri 330 Tl, hibrit araç için 450 Tl civarı (425, 450, 475), şarjlı elektrikli hibrit araçlar için 700 Tl civarı (650, 700, 750) ve tam elektrikli araç için 800 Tl’dir.

30000 km için benzinli ve dizel araçların bakım maliyeti 480 Tl, hibrit araç için 650 Tl civarı (625, 650, 675), şarjlı tam elektrikli araç için 1000 Tl civarı (950,1000,1050), tam elektrikli araçlar için 1340 Tl’dir.

Araçlar için hasar sigorta bedeli hesaplanırken araç maliyeti ile aracın kullanıldığı yıl sayısı % 2,5 ile çarpılır. Yıllık periyotlarla ödeme yapılır.

Trafik sigorta bedeli 500 TL sabit olup yıllık periyotlarla ödeme yapılır.

Araç MTV'leri araçların silindir hacmine bağlı olarak belirlenmekte olup 6 aylık periyotlarla ödenir.

Lastik değişimleri için 550 TL'lik bir maliyete katlanılmaktadır. 50000 km'de bir lastik değişimi yapılmaktadır.6 aylık bir periyot sonunda bir kez kış lastiği kullanılmaktadır.

Lastik maliyeti periyotları bir kez olmak üzere 6 ay, 20 ay ve 40 ay olmaktadır.

Yıllara göre yakıt maliyetleri aşağıdaki gibidir:

- a) 1. yıl için (639.4, 646.3, 653.1)
2. yıl için (666.9, 673.8, 680.6)
3. yıl için (721.9, 735.6, 742.5)
4. yıl için (770, 783.8, 804.4)
- b) 1. yıl için (373.5, 378, 382.5)
2. yıl için (387, 396, 405)
3. yıl için (405, 414, 418,5)
4. yıl için (432, 445.5, 477)
- c) 1. yıl için (430.1, 434.8, 439.4)
2. yıl için (448.6, 453.3, 457.9)
3. yıl için (485.6, 494.9, 500)
4. yıl için (518,527.3, 541.1)
- d) 1. yıl için (289.5, 294.7, 299.8)
2. yıl için (300.7, 305.9, 311.1)
3. yıl için (328, 336, 341.2)
4. yıl için (347.7, 355.7, 366.5)
- e) 1. yıl için (270.5, 293.75, 315.95)
2. yıl için (270.5, 293.75, 315.95)
3. yıl için (316, 338.63, 361.2)
4.yıl için (316, 338.63, 361.2)

Yakıt maliyetleri görüldüğü gibi bulanık olarak elde edilmiştir. Burada yakıt fiyatları için önümüzdeki 4 yıl için bulanık sayılarla değerlendirme yapılarak ortalama bir değer belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir yakıt maliyeti için şu varsayımlar yapılmıştır:

İlk yıl için benzin fiyatı (4.65, 4.7, 4.75), motorin fiyatı (4.15, 4.2, 4.25), ikinci yıl için bu fiyatlar sırasıyla (4.85, 4.9, 4.95) ve (4.3, 4.4, 4.5), üçüncü yıl için sırasıyla (5.25, 5.35, 5.4) ve (4.5, 4.6, 4.65), son yıl için sırasıyla (5.6, 5.7, 5.85) ve (4.8, 4.95, 5.3) olarak alınmıştır. Şarjlı elektrikli araçlar ve tam elektrikli araçlar şarj istasyonu veya işletme içinde şarj seçeneklerinin ikisini de kullanacağından her iki durumun fiyatları ele alınmıştır. Bunun için Türkiye’de şarj istasyonu kurulumu yapan işletmelerden eşarjın verileri ve şehiriçi elektrik kwh bedeli kullanılmıştır. Bu fiyatlar sırasıyla ilk iki yıl için işletme dışı Tl/dk biriminden (0.6, 0.65, 0.7) ve işletme içi (0.3, 0.35, 0.38), son iki yıl için ise sırasıyla (0.7, 0.75, 0.8) ve (0.4, 0.45, 0.48) olarak kullanılmıştır.

Benzinli aracın 100 km’de 5.5 lt yakıt tüketimine göre ilk yılda aylık maliyetinin hesabı şu şekildedir;

$M_b = \text{Aylık mesafe(km)} * 100 \text{ km’de yakıt tüketimi (lt/km)} * \text{Yıllık ortalama benzin fiyatı (Tl/lt)}$

$$M_b = 2500 * 0.055 * (4.65, 4.7, 4.75) = (639.4, 646.3, 653.1)$$

Dizel aracın 100 km’de 3.6 lt yakıt tüketimine göre ilk yılda aylık maliyetinin hesabı şu şekildedir;

$M_d = \text{Aylık mesafe(km)} * 100 \text{ km’de yakıt tüketimi (lt/km)} * \text{Yıllık ortalama motorin fiyatı (Tl/lt)}$

$$M_d = 2500 * 0.036 * (4.15, 4.20, 4.25) = (373.5, 378, 382.5)$$

Hibrit aracın 100 km’de 3.7 lt yakıt tüketimine göre ilk yılda aylık maliyetinin hesabı şu şekildedir;

$M_b = \text{Aylık mesafe(km)} * 100 \text{ km’de yakıt tüketimi (lt/km)} * \text{Yıllık ortalama benzin fiyatı (Tl/lt)}$

$$M_b = 2500 * 0.037 * (4.65, 4.7, 4.75) = (430.1, 434.8, 439.4)$$

Şarjlı hibrit araç yaklaşık 50 km'yi batarya ile alabilmektedir. Bundan dolayı aylık yapılan mesafenin yarısı batarya yarısı içten yanmalı motor ile alınmaktadır. Elektrik yakıt ikmali 25 kez yapılacaktır. Bunun 0.80'i işletmenin kendi imkanlarıyla, 0.20'si de şarj istasyonlarında yapılacaktır. 6.7 kwh'lik batarya 9 dakikada şarj edilebilmektedir. 100 km'de 4.5 lt yakıt tüketimi yapmakta olan aracın ilk yıl için aylık yakıt maliyeti hesabı şu şekildedir:

$$\text{Şarj Sayısı} = (\text{Aylık batarya ile mesafe(km)} / \text{Aracın menzili(km)})$$

$$M_{\text{ş}} = 0.2 * \text{Şarj Sayısı} * \text{Şarj Süresi (dk)} * \text{Elektrik Şarj Fiyatı (Tl/dk)} + 0.8 * \text{Şarj Sayısı} * \text{Şarj süresi (saat)} * \text{Elektrik Şarj Fiyatı (Tl/saat)} + 1250 * 100 \text{ km'de yakıt tüketimi (lt/km)} * \text{Yıllık ortalama motorin fiyatı (Tl/lt)}$$

$$M_{\text{ş}} = 5 * 9 * (0.6, 0.65, 0.7) + 20 * 0.15 * (0.3, 0.35, 0.38) + 1250 * 0.045 * (4.65, 4.7, 4.75) \\ = (289.5, 294.7, 299.8)$$

Yakıt ikmalinin % 75'i şarj istasyonlarında, %25'inin kendi istasyonlarında yapılacağı varsayımıyla tam elektrikli araç için yakıt hesabı yapılmıştır. Tam elektrikli araç için ortalama 125 km menzil öngörülmektedir. Bu verilerden yola çıkarak ilk yıl için aylık yakıt maliyeti hesabı şu şekildedir;

$$\text{Şarj sayısı} = (\text{Aylık Mesafe(km)} / \text{Aracın menzili(km)})$$

$$M_t = 0.75 * \text{Şarj Sayısı} * \text{Şarj Süresi(dk)} * \text{Elektrik Şarj Fiyatı(Tl/dk)} + 0.25 * \text{Şarj Sayısı} * \text{Şarj Süresi(saat)} * \text{Elektrik Şarj Fiyatı(Tl/saat)}$$

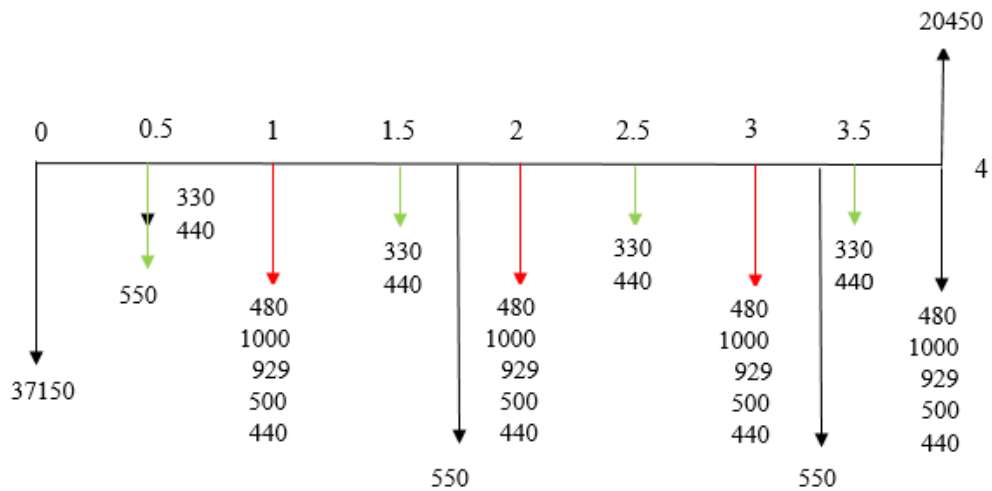
$$M_t = 20 * 0.75 * 30 * (0.6, 0.65, 0.7) + 20 * 0.25 * 0.5 * (0.3, 0.35, 0.38) = (270.5, 293.75, 315.95)$$

Modelin varsayımları şu şekildedir;

- İşletmenin filosunda aylık ortalama 2500 km yol yapan araçlar için analiz yapılmıştır.

- İşletme şehiriçinde araçları kullanmakta ve günlük maksimum 125 km yapılmaktadır.
- İşletme kendi imkanlarıyla bu yatırımı gerçekleştirmektedir.
- Piyasa faizi sermaye maliyeti olarak alınmış ve % 5.5 civarındır. Sermaye maliyeti (0.05, 0.055, 0.06) gibi bir bulanık sayı ile ifade edilmiştir.
- İşletmenin belirlediği tip kıyaslanabilir araçlar, B sınıfı binek araçlar, dikkate alınarak maliyet analizi yapılmıştır.
- Yakıt fiyatları için beklenti değerler bulanık sayılarla ifade edilmiş ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.
- Benzinli araç ve dizel araç için ilk yıl %15, diğer yıllar için % 10 değer kaybı olmaktadır. 2. el satış fiyatı buna göre hesaplanmaktadır. Hibrit, şarjlı elektrikli ve tam elektrikli araçlar içinse bu oran dördüncü yıl sonunda % 55 civarı (0.53,0.55,0.57), şarjlı elektrikli % 50, tam elektrikli araçta ise % 44 (0.42, 0.44, 0.45)'tir.
- Şarjlı elektrikli araç MTV değeri için yaklaşık bir değer alınmıştır.
- Şarj istasyonu kurulumunda 12 yıllık kullanım süresinin üçte biri yatırım analizine katılmıştır. Kullanım miktarı hesaba dahil edilmiştir çünkü bundan sonra başka araçlar için de kullanımı mümkündür.

Şekil 5.1 benzinli araç nakit akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.1: Benzinli araç nakit akış diyagramı.

Yakıt maliyetleri aylık olduğundan şekil üzerinde gösterimi yer kısıtı nedeniyle zor olduğundan sözel olarak belirtilmiştir.

$\widetilde{N\$D}_b$, benzinli aracın net şimdiki değerini belirtmektedir. Net şimdiki değer hesabı yapılırken faiz oranları bulanık sayılar olduğundan eşitlik 3.2'deki bulanık sayı işlemleri ve bulanık mühendislik ekonomisi bölümündeki 3.21, 3.23 ve 3.24'teki eşitliklerden yararlanılmıştır. Buna göre benzinli aracın değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\widetilde{N\$D}_b = \text{Araç Maliyeti} + \text{Yıllık Maliyetler} + \text{Yarım Yıllık Maliyetler} + \text{Lastik Değişimi Maliyeti} + \text{Aylık Yakıt Maliyeti} - 2. \text{ El Satış Fiyatı}$$

$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D}_b = & 37150 \oplus 3349 \otimes (P/A, \tilde{i}, 4) \oplus [(770, 770, 770) \oplus (770, 770, 770) \otimes (P/A, \\ & \tilde{i}, 3)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{0.5}, 1) \oplus 550 \otimes (P/F, \tilde{i}_{0.5}, 1) \oplus 550 \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 20) \oplus 550 \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 40) \\ & \oplus (639.4, 646.3, 653.1) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12) \oplus [(666.9, 673.8, 680.6) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes \\ & (P/F, \tilde{i}_{ay}, 12) \oplus [(721.9, 735.6, 742.5) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 24) \oplus [(770, 783.8, \\ & 804.4) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 36) \ominus (20450, 20450, 20450) \otimes (P/F, \tilde{i}, 4) \end{aligned}$$

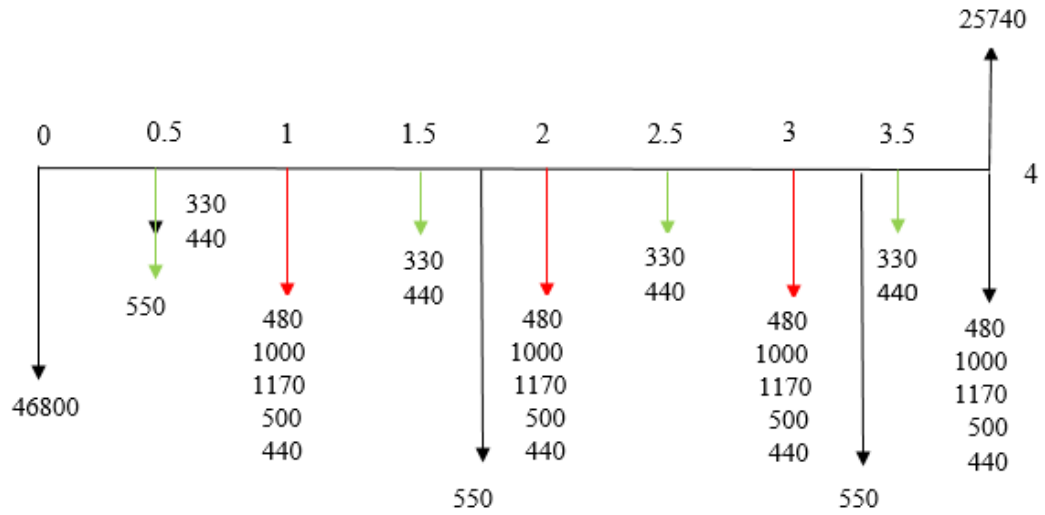
$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D}_b = & (37150, 37150, 37150) \oplus (3349, 3349, 3349) \otimes (3.465, 3.505, 3.546) \oplus \\ & [(770, 770, 770) \oplus (770, 770, 770) \otimes (2.673, 2.698, 2.723)] \otimes (0.971, 0.974, 0.976) \\ & \oplus (550, 550, 550) \otimes (0.971, 0.974, 0.976) \oplus (550, 550, 550) \otimes (0.907, 0.914, 0.922) \\ & \oplus (550, 550, 550) \otimes (0.822, 0.835, 0.849) \oplus [(639.4, 646.3, 653.1) \otimes (11.63, 11.66, \\ & 11.69)] \oplus [(666.9, 673.8, 680.6) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.943, 0.948, 0.952) \\ & \oplus [(721.9, 735.6, 742.5) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.889, 0.898, 0.907) \oplus [(770, \\ & 783.8, 804.4) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.839, 0.851, 0.863) \ominus (20450, 20450, \\ & 20450) \otimes (0.792, 0.807, 0.822) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D}_b = & (37150, 37150, 37150) \oplus (11604.29, 11738.25, 11875.55) \oplus (2746.19, \\ & 2773.43, 2797.91) \oplus (534.05, 535.7, 536.8) \oplus (498.85, 502.7, 507.1) \oplus (452.1, \\ & 459.25, 466.95) \oplus (7436.2, 7535.9, 7634.7) \oplus (7314, 7448, 7574.3) \oplus (7463.8, \\ & 7702.2, 7872.6) \oplus (7513.3, 7777.4, 8115.2) \ominus (16196.4, 16503.15, 16809.9) \end{aligned}$$

$$\widetilde{N\$D}_b \cong (65902.88, 67119.67, 68334.71)$$

Eşitlik 3.3'e göre durulaştırma işlemi yapıldığında $\widetilde{N\$D}_b \cong 67119.38$ TL olarak bulunmaktadır.

Şekil 5.2 dizel araç nakit akış diyagramını göstermektedir.



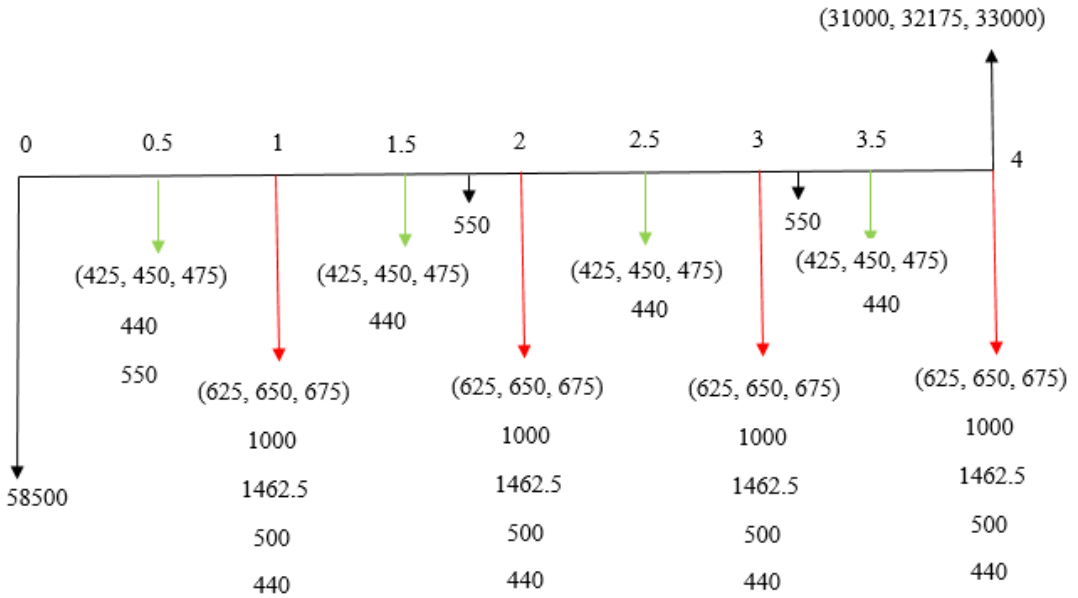
Şekil 5.2 : Dizel araç nakit akış diyagramı.

Dizel araç için net şimdiki değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

$\widetilde{N\$D}_d = \text{Araç Maliyeti} + \text{Yıllık Maliyetler} + \text{Yarım Yıllık Maliyetler} + \text{Lastik Değişimi Maliyeti} + \text{Aylık Yakıt Maliyeti} - \text{2. El Satış Fiyatı}$

$\widetilde{N\$D}_d \cong (59302.96, 60442.05, 61680.92)$, $N\$D_d \cong 60445.35$ TL.

Şekil 5.3 hibrit araç nakit akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.3 : Hibrit araç nakit akış diyagramı.

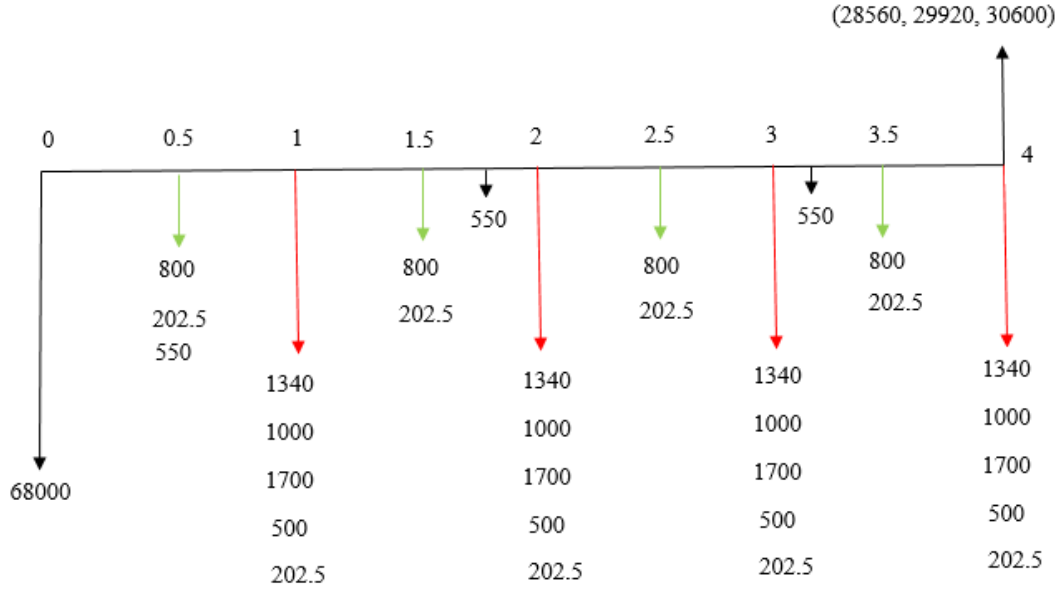
Hibrit araç içinde nakit akış tablosu hemen hemen klasik araç tiplerindeki tabloya göre aynı olmakla birlikte bulanık sayılar da kullanılmıştır.

Hibrit araç için net şimdiki değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$0.952) \oplus [(328, 336, 341.2) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.889, 0.898, 0.907) \oplus [(347.7, 355.7, 366.5) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.839, 0.851, 0.863) \ominus (30000, 30500, 31500) \otimes (0.792, 0.807, 0.822) \oplus (17820, 18150, 18480)$$

$$\widetilde{N\$D}_s \cong (85061.63, 88837.9, 93200.91), N\$D_s \cong 88935.69 \text{ TL.}$$

Şekil 5.5 tam elektrikli araç nakit akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.5 : Tam elektrikli araç nakit akış diyagramı.

$\widetilde{N\$D}_t$ = Araç Maliyeti + Yıllık Maliyetler + Yarım Yıllık Maliyetler + Lastik Değişimi Maliyeti + Aylık Yakıt Maliyeti – 2. El Satış Fiyatı + Şarj İstasyonu Maliyeti

$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D}_t = & (68000, 68000, 68000) \oplus (4742.5, 4742.5, 4742.5) \otimes (P/A, \tilde{i}, 4) \oplus [(1002.5, 1002.5, 1002.5) \oplus (1002.5, 1002.5, 1002.5) \otimes (P/A, \tilde{i}, 3)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{0.5}, 1) \oplus 550 \otimes \\ & (P/F, \tilde{i}_{0.5}, 1) \oplus 550 \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 20) \oplus 550 \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 40) \oplus (270.5, 293.75, 315.95) \\ & \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12) \oplus [(270.5, 293.75, 315.95) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 12) \oplus [(316, 338.63, 361.2) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 24) \oplus [(316, 338.63, 361.2) \otimes (P/A, \tilde{i}_{ay}, 12)] \otimes (P/F, \tilde{i}_{ay}, 36) \ominus (28560, 29920, 30600) \otimes (P/F, \tilde{i}, 4) + (17820, 18150, 18480) \end{aligned}$$

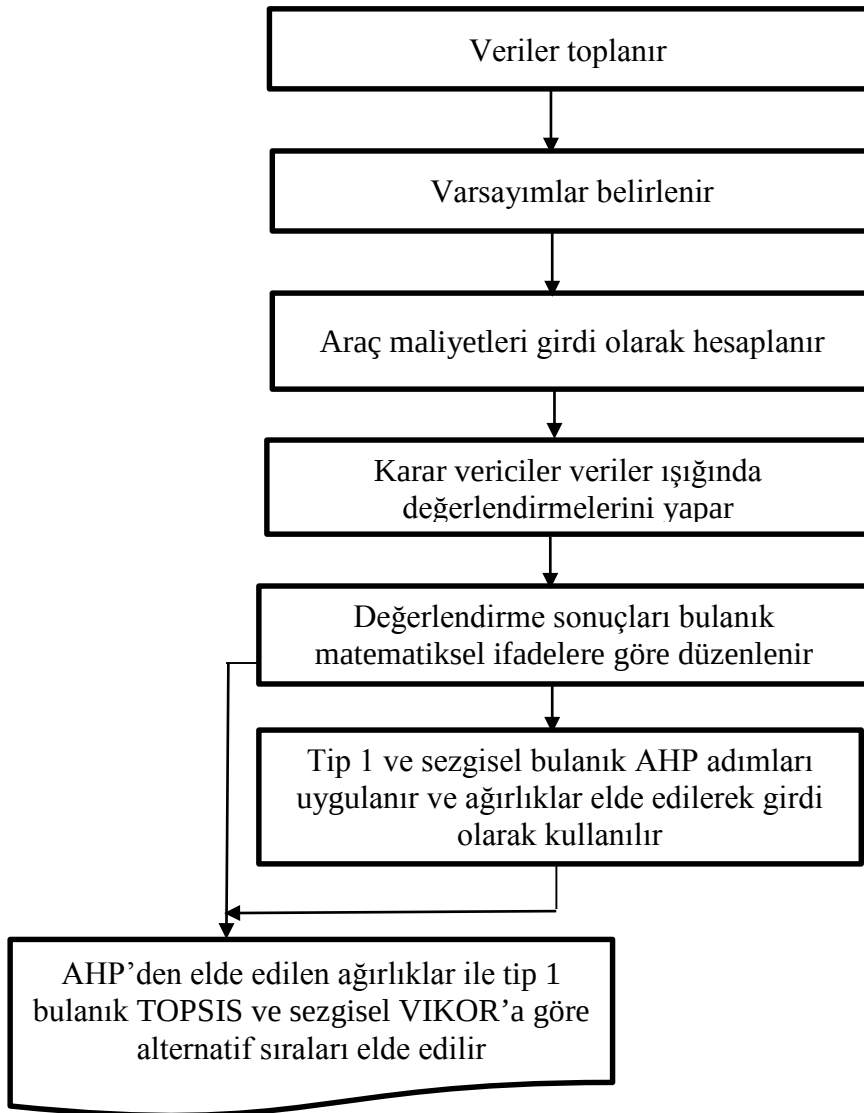
$$\begin{aligned} \widetilde{N\$D}_t = & (68000, 68000, 68000) \oplus (4742.5, 4742.5, 4742.5) \otimes (3.465, 3.505, 3.546) \\ & \oplus [(1002.5, 1002.5, 1002.5) \oplus (1002.5, 1002.5, 1002.5) \otimes (2.673, 2.698, 2.723)] \otimes \\ & (0.971, 0.974, 0.976) \oplus (550, 550, 550) \otimes (0.971, 0.974, 0.976) \oplus (550, 550, 550) \\ & \otimes (0.907, 0.914, 0.922) \oplus (550, 550, 550) \otimes (0.822, 0.835, 0.849) \oplus [(270.5, \end{aligned}$$

$293.75, 315.95) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \oplus [(270.5, 293.75, 315.95) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.943, 0.948, 0.952) \oplus [(316, 338.63, 361.2) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.889, 0.898, 0.907) \oplus [(316, 338.63, 361.2) \otimes (11.63, 11.66, 11.69)] \otimes (0.839, 0.851, 0.863) \ominus (28560, 29920, 30600) \otimes (0.792, 0.807, 0.822) \oplus (17820, 18150, 18480)$

$\widetilde{N\$D}_t = (94622.96, 97313.33, 100514.37)$

Eşitlik 3.3'e göre durulaştırma işlemi yapıldığında $N\$D_t \cong 97398.44$ Tl olarak bulunmaktadır.

Problemin çözümünün modeli Şekil 5.6'da görselleştirilmiştir.



Şekil 5.6 : Problem çözümünün süreç akış diyagramı.

5.3 Uygulama

Belirlenen kriterlere göre beş farklı araç teknolojisi içinden en iyi alternatif tip 1 bulanık sayılarla AHP-TOPSIS kullanılarak, sezgisel bulanık sayılarla AHP-VIKOR kullanılarak elde edilecektir. Gösterim kolaylığı açısından benzinli araç için A_1 , dizel araç için A_2 , hibrit araç için A_3 , şarjlı hibrit elektrikli araç için A_4 ve tam elektrikli araç için A_5 gösterimi kullanılmıştır. Uzmanların görüşlerini belirttikleri değerlendirme skalaları kriter-kriter ikili karşılaştırmasında kullanılan tip 1 bulanık sayılar için Çizelge 5.2'deki gibidir.

Çizelge 5.2 : AHP için bulanık değerlendirme skalası.

Sözel İfadeler	Bulanık değerler
Kesinlikle Güçlü (KG)	(2, 5/2, 3)
Çok Güçlü (ÇG)	(3/2, 2, 5/2)
Güçlü (G)	(1, 3/2, 2)
Az güçlü (AG)	(1, 1, 3/2)
Eşit (E)	(1, 1, 1)
Az Zayıf (AZ)	(2/3, 1, 1)
Zayıf (Z)	(1/2, 2/3, 1)
Çok Zayıf (ÇZ)	(2/5, 1/2, 2/3)
Kesinlikle Zayıf (KZ)	(1/3, 2/5, 1/2)

TOPSIS yöntemi için tip 1 bulanık sayılarla alternatif-alternatif değerlendirme skalası Çizelge 5.3'teki gibidir.

Çizelge 5.3 : Alternatifler için bulanık değerlendirme skalası.

Sözel İfade	Bulanık Değer
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Orta Kötü (OK)	(1, 3, 5)
Normal (N)	(3, 5, 7)
Orta İyi (Oİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

AHP-VIKOR yönteminde kullanılan olan bulanık değerlendirme skalalarından sezgisel bulanık VIKOR için kriterlere göre alternatif-alternatif karşılaştırmasında kullanılacak skala çizelge 5.4'deki gibidir. İlk olarak AHP-TOPSIS yöntemini uygulanmıştır. Öncelikle kriter ağırlıkları AHP metodu ile belirlenmiştir. AHP yönteminde kullanılan Çizelge 5.5'de karar vericilerin kriter-kriter ikili karşılaştırmaları, Çizelge 5.6'da ise bu ikili karşılaştırmaların matematiksel ifadelere dönüştürüldüğü tablo gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Sezgisel bulanık VIKOR alternatif değerlendirme skalası.

Sözel İfade	Bulanık Değer
Çok Kötü (ÇK)	$\langle [(0,0,1); 0.1], [(0,0,1.5); 0.9] \rangle$
Kötü (K)	$\langle [(0,1,2.5); 0.2], [(0.5,1,2.5); 0.75] \rangle$
Orta Kötü (OK)	$\langle [(0,3,4.5); 0.35], [(1.5,3,5.5); 0.6] \rangle$
Normal (N)	$\langle [(2.5,5,6.5); 0.5], [(3.5,5,7.5); 0.45] \rangle$
Orta İyi (OI)	$\langle [(4.5,7,8); 0.65], [(5.5,7,9.5); 0.35] \rangle$
İyi (İ)	$\langle [(5.5,9,9.5); 0.8], [(7.5,9,10); 0.15] \rangle$
Çok İyi (Çİ)	$\langle [(8.5,10,10); 0.9], [(9.5,10,10); 0.1] \rangle$

Çizelge 5.5 : Dilsel terimlerle ölçütlerin ikili karşılaştırmalar tablosu.”

	Araç M.	Y.İ.K.	Performans	Ergonomi	Çevrecilik	Güvenlik
Araç Mal.	1	E ₁ :ÇG	E ₁ :ÇG	E ₁ :AG	E ₁ :G	E ₁ :KG
		E ₂ :KG	E ₂ :AG	E ₂ :G	E ₂ :E	E ₂ :G
		E ₃ :ÇG	E ₃ :ÇG	E ₃ :ÇG	E ₃ :AG	E ₃ :G
Y.İ.K	1	E ₁ :ÇZ	E ₁ :ÇG	E ₁ :ÇG	E ₁ :AG	E ₁ :KG
		E ₂ :KZ	E ₂ :G	E ₂ :G	E ₂ :G	E ₂ :ÇG
		E ₃ :ÇZ	E ₃ :G	E ₃ :G	E ₃ :G	E ₃ :AG
Performans	1	E ₁ :ÇZ	E ₁ :ÇZ	E ₁ :E	E ₁ :AZ	E ₁ :AG
		E ₂ :AZ	E ₂ :Z	E ₂ :AG	E ₂ :E	E ₂ :Z
		E ₃ :ÇZ	E ₃ :Z	E ₃ :ÇG	E ₃ :AG	E ₃ :E
Ergonomi	1	E ₁ :AZ	E ₁ :ÇZ	E ₁ :E	E ₁ :E	E ₁ :AZ
		E ₂ :Z	E ₂ :AZ	E ₂ :Z	E ₂ :Z	E ₂ :ÇZ
		E ₃ :ÇZ	E ₃ :Z	E ₃ :ÇZ	E ₃ :E	E ₃ :Z
Çevrecilik	1	E ₁ :Z	E ₁ :AZ	E ₁ :AG	E ₁ :E	E ₁ :E
		E ₂ :E	E ₂ :Z	E ₂ :E	E ₂ :G	E ₂ :Z
		E ₃ :AZ	E ₃ :Z	E ₃ :AZ	E ₃ :E	E ₃ :E
Güvenlik	1	E ₁ :KZ	E ₁ :KZ	E ₁ :AZ	E ₁ :AG	E ₁ :E
		E ₂ :Z	E ₂ :ÇZ	E ₂ :G	E ₂ :ÇG	E ₂ :G
		E ₃ :Z	E ₃ :AZ	E ₃ :E	E ₃ :G	E ₃ :E

Çizelge 5.6 : İkili karşılaştırmalar bulanık değerler tablosu.

	Araç M.	Y.İ.K.	Per.	Erg.	Çev.	Güv.
A.M	E ₁	(1,1,1)	(1,5,2,2,5)	(1,5,2,2,5)	(1,1,1,5)	(2,2,5,3)
	E ₂	(1,1,1)	(2,2,5,3)	(1,1,1,5)	(1,1,5,2)	(1,1,5,2)
	E ₃	(1,1,1)	(1,5,2,2,5)	(1,5,2,2,5)	(1,1,1,5)	(1,1,5,2)
Y.İ. K.	E ₁	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,1)	(1,5,2,2,5)	(1,1,1,5)	(2,2,5,3)
	E ₂	(0,33,0,4,0,5)	(1,1,1)	(1,1,5,2)	(1,1,5,2)	(1,5,2,2,5)
	E ₃	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,1)	(1,1,5,2)	(1,1,5,2)	(1,1,1,5)
Per.	E ₁	(0,4,0,5,0,67)	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0,67,1,1)
	E ₂	(0,67,1,1)	(0,5,0,67,1)	(1,1,1)	(1,1,1,5)	(1,1,1)
	E ₃	(0,4,0,5,0,67)	(0,5,0,67,1)	(1,1,1)	(1,5,2,2,5)	(1,1,1,5)
Erg.	E ₁	(0,67,1,1)	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0,67,1,1)
	E ₂	(0,5,0,67,1)	(0,5,0,67,1)	(0,67,1,1)	(1,1,1)	(0,5,0,67,1)
	E ₃	(0,4,0,5,0,67)	(0,5,0,67,1)	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,1)	(1,1,1)
Çev.	E ₁	(0,5,0,67,1)	(0,67,1,1)	(1,1,1,5)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E ₂	(1,1,1)	(0,5,0,67,1)	(1,1,1)	(1,1,5,2)	(1,1,1)
	E ₃	(0,67,1,1)	(0,5,0,67,1)	(0,67,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
Güv.	E ₁	(0,33,0,4,0,5)	(0,33,0,4,0,5)	(0,67,1,1)	(1,1,1,5)	(1,1,1)
	E ₂	(0,5,0,67,1)	(0,4,0,5,0,67)	(1,1,5,2)	(1,5,2,2,5)	(1,1,5,2)
	E ₃	(0,5,0,67,1)	(0,67,1,1)	(1,1,1)	(1,1,5,2)	(1,1,1)

Çizelge 5.6 için tip 1 bulanık AHP Adım 2 uygulanırsa Çizelge 5.7 elde edilir. Sonra Adım 3 Eşitlik 4.8 ile T değerleri elde edilir. Adım 4 Eşitlik 4.9 ile de ST = (5.189,6.289,7.588) elde edilir. Adım 5 uygulanırsa Çizelge 5.8 elde edilir.

Çizelge 5.7 : Tip 1 bulanık AHP için birleşik karar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	(1,1,1)	(1.667,2.167,2.667)	(1.333,1.667,2.167)	(1.167,1.5,2)	(1,1.167,1.5)	(1.333,1.833,2.333)
C₂	(0.377,0.467,0.613)	(1,1,1)	(1.167,1.667,2.167)	(1.167,1.667,2.167)	(1,1.133,1.833)	(1.5,1.833,2.333)
C₃	(0.49,0.667,0.78)	(0.467,0.613,0.89)	(1,1,1)	(1.167,1.333,1.667)	(0.89,1,1.167)	(0.833,0.89,1.167)
C₄	(0.523,0.723,0.89)	(0.467,0.613,0.89)	(0.69,0.833,0.89)	(1,1,1)	(0.833,0.89,1)	(0.523,0.723,0.89)
C₅	(0.723,0.89,1)	(0.557,0.78,1)	(0.89,1,1.167)	(1,1.167,1.333)	(1,1,1)	(0.833,0.89,1)
C₆	(0.443,0.58,0.833)	(0.467,0.633,0.723)	(0.89,1.167,1.333)	(1.167,1.5,2)	(1,1.167,1.333)	(1,1,1)

Çizelge 5.8 : Normalize edilmiş karar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	(0.131,0.159,0.193)	(0.220,0.345,0.514)	(0.176,0.265,0.418)	(0.154,0.239,0.386)	(0.132,0.186,0.289)	(0.176,0.292,0.450)
C₂	(0.050,0.075,0.118)	(0.132,0.159,0.193)	(0.154,0.265,0.418)	(0.154,0.265,0.418)	(0.132,0.212,0.353)	(0.198,0.292,0.450)
C₃	(0.065,0.106,0.150)	(0.062,0.098,0.172)	(0.132,0.159,0.193)	(0.154,0.212,0.321)	(0.117,0.159,0.225)	(0.110,0.142,0.225)
C₄	(0.069,0.115,0.172)	(0.062,0.098,0.172)	(0.091,0.133,0.172)	(0.132,0.159,0.193)	(0.110,0.142,0.193)	(0.069,0.115,0.172)
C₅	(0.095,0.142,0.193)	(0.073,0.124,0.193)	(0.117,0.159,0.225)	(0.132,0.186,0.257)	(0.132,0.159,0.193)	(0.110,0.142,0.193)
C₆	(0.059,0.092,0.161)	(0.062,0.101,0.139)	(0.117,0.186,0.257)	(0.154,0.239,0.385)	(0.132,0.186,0.257)	(0.132,0.159,0.193)

Adım 6 Eşitlik 4.11 uygulandığında kriter ağırlıkları sırasıyla (0.165, 0.247, 0.375), (0.136, 0.211, 0.325), (0.106, 0.146, 0.214), (0.089, 0.127, 0.179), (0.11, 0.152, 0.209), (0.109, 0.16, 0.232) olarak bulunur. Sonuçların tutarlılığı için öncelikle ikili karşılaştırma değerleri durulaştırılarak Çizelge 5.9 elde edilir.

Çizelge 5.9 : Durulaştırılmış ikili karşılaştırmalar matrisi.

C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	2.167	1.695	1.528	1.195	1.833
C ₂	0.476	1	1.667	1.667	1.361	1.861
C ₃	0.656	0.635	1	1.361	1.01	0.927
C ₄	0.718	0.635	0.819	1	0.899	0.718
C ₅	0.881	0.78	1.01	1.167	1	0.899
C ₆	0.599	0.62	1.149	1.528	1.167	1
Toplam	4.33	5.837	7.34	8.251	6.632	7.238

Daha sonra sütunlar bazında normalizasyon yapıldığında Çizelge 5.10 elde edilir.

Çizelge 5.10 : Normalize edilmiş matris ve ön ağırlıklar.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	Ön Ağırlık (w)
C ₁	0.231	0.371	0.231	0.185	0.18	0.253	0.242
C ₂	0.11	0.171	0.227	0.202	0.205	0.257	0.195
C ₃	0.152	0.109	0.136	0.165	0.152	0.128	0.14
C ₄	0.166	0.109	0.112	0.121	0.136	0.099	0.124
C ₅	0.203	0.134	0.138	0.141	0.151	0.124	0.149
C ₆	0.138	0.106	0.157	0.185	0.176	0.138	0.15

Çizelge 5.9'daki C matrisi ile ön ağırlıklar (w) vektör matrisinin çarpımından elde edilen değerler ve λ_{maks} değeri çizelge 5.11'deki gibidir.

Çizelge 5.11 : Tutarlılık indeksi hesabı girdileri.

Cw	Cw/w
1.5443	6.3816
1.2322	6.3191
0.8809	6.2920
0.7779	6.2733
0.9353	6.2769
0.9401	6.2672
λ_{maks}	6.3017

Bundan sonra tutarlılık indeksi $CI = (\lambda_{maks} - n)/(n-1)$ formülüne göre hesaplanır. Bu durumda $CI = 0.0603$ olarak elde edilir. 6 kriter için tutarlılık oranı tablosuna bakıldığında değerin $RI = 1.25$ olduğu belirlenmiştir. Tutarlılık oranı $CR = CI/RI$

eşitliğine göre hesaplanır. Buna göre problemin bu aşamasında tutarlılık oranı $CR = 0.0483$ olarak bulunmuştur. CR değeri 0.1'den düşük olduğundan karar vericilerin kriter-kriter karşılaştırmaları tutarlıdır sonucu elde edilmiş olur. Çizelge 5.12'de karar vericilerin tip 1 bulanık TOPSIS'te kullanılmak üzere yaptıkları sözel değerlendirme ifadeleri verilmiştir.

Çizelge 5.12 : Tip 1 bulanık TOPSIS için alternatiflerin değerlendirilmesi.

		Araç M.	Yakıt İ.K.	Performans	Ergonomi	Çevrecilik	Güvenlik
Benzinli	E ₁	G	VG	MG	F	P	F
	E ₂	G	VG	G	VG	MG	VG
	E ₃	G	VG	G	VG	P	G
Dizel	E ₁	VG	VG	G	F	G	F
	E ₂	VG	VG	VG	G	G	VG
	E ₃	VG	VG	VG	VG	MP	VG
Hybrid	E ₁	MG	VG	G	MP	F	F
	E ₂	MG	VG	G	VG	VG	VG
	E ₃	MG	VG	G	VG	MG	MG
PHEV	E ₁	P	MG	G	MP	MG	MP
	E ₂	P	VG	MP	VG	VG	MG
	E ₃	P	F	F	MG	G	MP
BEV	E ₁	VP	VP	F	MP	G	P
	E ₂	VP	VP	VP	VG	VG	MG
	E ₃	VP	P	P	F	VG	MP

Gösterim kolaylığı için alternatifler sırasıyla A ile, kriterler de sırasıyla C ile gösterilecektir. Çizelge 5.12'deki sözel ifadeler matematiksel ifadelere dönüştürüldüğünde çizelge 5.13 elde edilir.

Çizelge 5.13 : Alternatif-kriter karşılaştırması matematiksel ifadeleri.

		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A₁	E ₁	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(3,5,7)	(0,1,3)	(3,5,7)
	E ₂	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(9,10,10)
	E ₃	(7,9,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(0,1,3)	(7,9,10)
A₂	E ₁	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(3,5,7)	(7,9,10)	(3,5,7)
	E ₂	(9,10,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	(7,9,10)	(7,9,10)	(9,10,10)
	E ₃	(9,10,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	(1,3,5)	(9,10,10)
A₃	E ₁	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
	E ₂	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(9,10,10)	(9,10,10)
	E ₃	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(9,10,10)	(5,7,9)	(5,7,9)
A₄	E ₁	(0,1,3)	(5,7,9)	(7,9,10)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)
	E ₂	(0,1,3)	(9,10,10)	(1,3,5)	(9,10,10)	(9,10,10)	(5,7,9)
	E ₃	(0,1,3)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,10)	(1,3,5)
A₅	E ₁	(0,0,1)	(0,0,1)	(3,5,7)	(1,3,5)	(7,9,10)	(0,1,3)
	E ₂	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)	(9,10,10)	(9,10,10)	(5,7,9)
	E ₃	(0,0,1)	(0,1,3)	(0,1,3)	(3,5,7)	(9,10,10)	(1,3,5)

Çizelge 5.13 kullanılarak tip 1 bulanık TOPSIS adımlarından adım 1 uygulanır. Adım 1 ile çizelge 5.14, Adım 2 Eşitlik 4.12 ile Çizelge 5.15 ve Adım 3 Eşitlik 4.13 ile Çizelge 5.16 elde edilir.

Çizelge 5.14 : TOPSIS ikili karşılaştırmalar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
A₁	(7,9,10)	(9,10,10)	(6.333,8.333,9.667)	(7,8.333,9)	(1.667,3,5)	(6.333,8,9)
A₂	(9,10,10)	(9,10,10)	(8.333,9.667,10)	(6.333,8,9)	(5,7,8.333)	(7,8.333,9)
A₃	(5,7,9)	(9,10,10)	(7,9,10)	(6.333,7.667,8.333)	(5.667,7.333,8.667)	(5.667,7.333,8.667)
A₄	(0,1,3)	(5.667,7.333,8.667)	(3.667,5.667,7.333)	(5,6.667,8)	(7,8.667,9.667)	(2.333,4.333,6.333)
A₅	(0,0,1)	(0,0.333,1.667)	(1,2,3.667)	(4.333,6,7.333)	(8.333,9.667,10)	(2,3.667,5.667)

Çizelge 5.15 : Normalize edilmiş TOPSIS ikili karşılaştırmalar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
	(0.165,0.247,0.375)	(0.136,0.211,0.325)	(0.106,0.146,0.214)	(0.089,0.127,0.179)	(0.11,0.152,0.209)	(0.109,0.16,0.232)
A₁	(0.7,0.9,1)	(0.9,1,1)	(0.633,0.833,0.967)	(0.778,0.926,1)	(0.167,0.3,0.5)	(0.704,0.889,1)
A₂	(0.9,1,1)	(0.9,1,1)	(0.833,0.967,1)	(0.704,0.889,1)	(0.5,0.7,0.833)	(0.778,0.926,1)
A₃	(0.5,0.7,0.9)	(0.9,1,1)	(0.7,0.9,1)	(0.704,0.852,0.926)	(0.567,0.733,0.867)	(0.63,0.815,0.963)
A₄	(0,0.1,0.3)	(0.567,0.733,0.867)	(0.367,0.567,0.733)	(0.556,0.741,0.889)	(0.7,0.867,0.967)	(0.259,0.481,0.704)
A₅	(0,0,0.1)	(0,0.033,0.167)	(0.1,0.2,0.367)	(0.481,0.667,0.815)	(0.833,0.967,1)	(0.222,0.407,0.63)

Çizelge 5.16 : Ağırlıklı normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
A₁	(0.116,0.222,0.375)	(0.122,0.211,0.325)	(0.067,0.122,0.207)	(0.069,0.118,0.179)	(0.018,0.046,0.105)	(0.077,0.142,0.232)
A₂	(0.149,0.247,0.375)	(0.122,0.211,0.325)	(0.088,0.141,0.214)	(0.063,0.113,0.179)	(0.055,0.106,0.174)	(0.085,0.148,0.232)
A₃	(0.083,0.173,0.338)	(0.122,0.211,0.325)	(0.074,0.131,0.214)	(0.063,0.108,0.166)	(0.062,0.111,0.181)	(0.069,0.13,0.223)
A₄	(0,0.025,0.113)	(0.077,0.155,0.282)	(0.039,0.083,0.157)	(0.049,0.094,0.159)	(0.077,0.132,0.202)	(0.028,0.077,0.163)
A₅	(0,0,0.038)	(0,0.007,0.054)	(0.011,0.029,0.079)	(0.043,0.085,0.146)	(0.092,0.147,0.209)	(0.024,0.065,0.146)

Daha sonra Adım 4'teki eşitlik 4.14, 4.15, 4.16 kullanılarak alternatiflerin pozitif ideal ve negatif ideal noktalara yakınlık ve uzaklık ölçüleri bulunur. Son olarak ise Adım 5'teki her bir alternatif için sıralama ölçütü için yakınlık katsayısı değeri olan CC_i eşitlik 4.17 kullanılarak bulunur. Bu değerler çizelge 5.17'deki gibidir.

Çizelge 5.17 : AHP-TOPSIS sıralama ölçütleri ve sonuçlar matrisi.

	d_i^*	d_i^-	CC_i	Sıralama
A₁	5.097699	0.998663	0.163813	3
A₂	5.004966	1.070236	0.177383	1
A₃	5.087384	1.011418	0.165839	2
A₄	5.371166	0.724357	0.118834	4
A₅	5.610131	0.452898	0.074698	5

Tip 1 bulanık AHP-TOPSIS yöntemine göre tercih dizel araç olmaktadır. Onu takip eden alternatif hibrit araç daha sonra sırasıyla benzinli, şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araçtır. Bu yöntemle bulunan sonuç bir sonraki aşamada bulunan sonuca göre farklı bir çözüm kümesi sunabilir. Bu farklılık alternatif sıralarının değişmesi ya da çözüm kümesinde bulunan alternatiflerin azalması olarak ifade edilebilir. VIKOR yönteminde anlatıldığı gibi alternatifler arasında iki tane koşulun sağlanıp sağlanmadığına göre değerlendirmeler yapılarak uzlaşık çözüm kümesi önerilmektedir.

Sezgisel Sezgisel AHP-VIKOR yöntemine göre analiz tekrar yapılırken öncelikle aralıklı sezgisel bulanık sayılar kullanılarak AHP ile kriter ağırlıkları belirlenir. Daha sonra ise bütünleşik olarak kullanılan AHP-TOPSIS gibi bütünleşik AHP-VIKOR yöntemi kullanılacağından sezgisel bulanık AHP ile bulunan ağırlıklar bulanık VIKOR yöntemi için girdi olarak kullanılacaktır.

İlk olarak sezgisel bulanık sayılarla karar vericiler değerlendirmelerini yaparlar. AHP için kriter-kriter karşılaştırma değerleri Çizelge 5.18'deki gibidir. Sezgisel bulanık AHP'nin ilk adımı uygulanır ve Çizelge 5.18'in her bir kriter için ortalaması alınarak kriter-kriter karar matrisi Çizelge 5.19'daki gibi olur. Çizelge 5.19'daki değerlere sezgisel bulanık AHP Adım 2 Eşitlik 3.9 uygulanarak $\tilde{S}$ skor matrisi elde edilir. $\tilde{S}$ skor matrisi Çizelge 5.20'deki gibidir. Adım 3'teki Eşitlik 3.11 ile Çizelge 5.20'deki değerler kullanılarak Çizelge 5.21'deki $\tilde{A}$ aralık değerli çarpımsal matrisi elde edilir.

Bu adımda elde edilen ön ağırlıklar sırasıyla [0.223, 0.586], [0.157, 0.457], [0.07, 0.167], [0.042, 0.095], [0.064, 0.137], [0.068, 0.161]'dir.

Çizelge 5.18 : Sezgisel bulanık sayılarla kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	E₁ [0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.7,0.8],[0,0.1]	[0.7,0.8],[0,0.1]	[0.5,0.7],[0.1,0.2]	[0.5,0.8],[0.3,0.5]	[1,1],[0,0]
E₂	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[1,1],[0,0]	[0.5,0.7],[0.4,0.6]	[0.6,0.7],[0.2,0.4]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.6,0.8],[0.2,0.3]
E₃	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.7,0.9],[0,0.1]	[0.7,0.9],[0,0.1]	[0.7,0.9],[0,0.1]	[0.5,0.6],[0.4,0.5]	[0.6,0.8],[0.2,0.3]
C₂	E₁ [0,0.1], [0.7,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.7,0.8],[0,0.1]	[0.7,0.8],[0,0.1]	[0.5,0.7],[0.1,0.2]	[1,1],[0,0]
E₂	[0,0],[1,1]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.6,0.8],[0.2,0.4]	[0.6,0.8],[0.2,0.4]	[0.6,0.8],[0.2,0.4]	[0.8,0.9],[0,0.2]
E₃	[0,0.1],[0.7,0.9]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.6,0.8],[0.2,0.4]	[0.6,0.8],[0.2,0.3]	[0.6,0.8],[0.1,0.3]	[0.5,0.6],[0.4,0.5]
C₃	E₁ [0,0.1], [0.7,0.8]	[0,0.1], [0.7,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.3,0.5],[0.5,0.6]	[0.5,0.7],[0.1,0.2]
E₂	[0.4,0.6],[0.5,0.7]	[0.2,0.4],[0.6,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.4,0.7],[0.3,0.4]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.3,0.4],[0.5,0.6]
E₃	[0,0.1],[0.7,0.9]	[0.2,0.4],[0.6,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.7,0.9],[0,0.1]	[0.5,0.6],[0.4,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]
C₄	E₁ [0.1,0.2],[0.5,0.7]	[0,0.1], [0.7,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.3,0.5],[0.5,0.6]
E₂	[0.2,0.4], [0.6,0.7]	[0.2,0.4],[0.6,0.8]	[0.3,0.4], [0.4,0.7]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.3,0.4],[0.5,0.6]	[0.1,0.2],[0.6,0.8]
E₃	[0,0.1],[0.7,0.9]	[0.2,0.3],[0.6,0.8]	[0,0.1],[0.7,0.9]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.3,0.4],[0.5,0.7]
C₅	E₁ [0.3,0.5],[0.5,0.8]	[0.1,0.2],[0.5,0.7]	[0.5,0.6],[0.3,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]
E₂	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.2,0.4],[0.6,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.6],[0.3,0.4]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.2,0.3],[0.5,0.7]
E₃	[0.4,0.5],[0.5,0.6]	[0.1,0.3],[0.6,0.8]	[0.4,0.5],[0.5,0.6]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]
C₆	E₁ [0,0],[1,1]	[0,0],[1,1]	[0.1,0.2],[0.5,0.7]	[0.5,0.6],[0.3,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]
E₂	[0.2,0.3], [0.6,0.8]	[0,0.2], [0.8,0.9]	[0.5,0.6],[0.3,0.4]	[0.6,0.8],[0.1,0.2]	[0.5,0.7],[0.2,0.3]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]
E₃	[0.2,0.3],[0.6,0.8]	[0.4,0.5],[0.5,0.6]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.7],[0.3,0.4]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]

Çizelge 5.19 : İkili karşılaştırmalar birleşik karar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.8,0.9],[0.0,0.067]	[0.633,0.8],[0.133,0.267]	[0.6,0.767],[0.1,0.233]	[0.5,0.633],[0.4,0.5]	[0.733,0.867],[0.133,0.2]
C₂	[0, 0.067],[0.8,0.9]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.633,0.8],[0.133,0.3]	[0.633,0.8],[0.133,0.267]	[0.567,0.767],[0.133,0.3]	[0.767,0.833],[0.133,0.233]
C₃	[0.133,0.267],[0.633,0.8]	[0.133,0.3],[0.633,0.8]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.533,0.7],[0.267,0.333]	[0.433,0.533],[0.467,0.533]	[0.433,0.533],[0.367,0.4]
C₄	[0.1,0.233],[0.6,0.767]	[0.133,0.267],[0.633,0.8]	[0.267,0.333],[0.533,0.7]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.433,0.467],[0.5,0.533]	[0.233,0.367],[0.533,0.7]
C₅	[0.4,0.5],[0.5,0.633]	[0.133,0.3],[0.567,0.767]	[0.467,0.533],[0.433,0.533]	[0.5,0.533],[0.433,0.467]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]	[0.4,0.433],[0.5,0.567]
C₆	[0.133,0.2],[0.733,0.867]	[0.133,0.233],[0.767,0.833]	[0.367,0.433],[0.433,0.533]	[0.533,0.7],[0.233,0.367]	[0.5,0.567],[0.4,0.433]	[0.5,0.5],[0.5,0.5]

Çizelge 5.20 : İkili karşılaştırmalar skor matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	[0,0]	[0.733,0.9]	[0.366,0.667]	[0.367,0.667]	[0,0.233]	[0.533,0.734]
C₂	[-0.9,-0.733]	[0,0]	[0.333,0.667]	[0.367,0.667]	[0.267,0.634]	[0.534,0.7]
C₃	[-0.667,-0.366]	[-0.667,-0.333]	[0,0]	[0.2,0.433]	[-0.1,0.066]	[0.033,0.166]
C₄	[-0.667,-0.366]	[-0.667,-0.366]	[-0.433,-0.2]	[0,0]	[-0.1,-0.033]	[-0.467,-0.166]
C₅	[-0.233,0]	[-0.634,-0.267]	[-0.066,0.1]	[0.033,0.1]	[0,0]	[-0.167,-0.067]
C₆	[-0.734,-0.533]	[-0.7,-0.534]	[-0.166,0]	[0.166,0.467]	[0.067,0.167]	[0,0]

Çizelge 5.21 : İkili karşılaştırmalar aralıklı çarpımsal matris.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	[1,1]	[5.408,7.943]	[2.323,4.645]	[2.328,4.645]	[1,1.71]	[3.412,5.42]
C₂	[0.126,0.185]	[1,1]	[2.153,4.645]	[2.323,4.645]	[1.849,4.305]	[3.42,5.012]
C₃	[0.215,0.431]	[0.215,0.465]	[1,1]	[1.585,2.71]	[0.794,1.164]	[1.079,1.466]
C₄	[0.215,0.430]	[0.215,0.465]	[0.369,0.631]	[1,1]	[0.794,0.927]	[0.341,0.682]
C₅	[0.585,1]	[0.232,0.541]	[0.859,1.259]	[1.079,1.259]	[1,1]	[0.681,0.857]
C₆	[0.185,0.293]	[0.2,0.293]	[0.682,1]	[1.466,2.931]	[1.167,1.469]	[1,1]

Kriterlerin ön ağırlıkları kullanılarak Adım 5 Eşitlik 3.10 kullanılarak kriterler için olabilirlik matrisi oluşturulur. Kriter olabilirlik matrisi Çizelge 5.22'deki gibi elde edilir.

Çizelge 5.22 : Kriter olabilirlik matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
C₁	0.5	0.647	1	1	1	1
C₂	0.353	0.5	0.975	1	1	0.99
C₃	0	0.025	0.5	0.833	0.606	0.521
C₄	0	0	0.167	0.5	0.246	0.185
C₅	0	0	0.394	0.754	0.5	0.416
C₆	0	0.01	0.479	0.815	0.584	0.5

Adım 6'daki Eşitlik 3.13 kullanılarak bulanık olmayan ağırlıklar Çizelge 5.23'teki gibi elde edilir.

Çizelge 5.23 : Normalize edilmemiş kriter ağırlıkları.

Kriter	Ağırlık
w ₁	1.1912
w ₂	1.1363
w ₃	0.7475
w ₄	0.5163
w ₅	0.6773
w ₆	0.7313
Toplam	5

Çizelge 5.23'teki ağırlıklar normalize edildiğinde Çizelge 5.24 elde edilir.

Çizelge 5.24 : Normalize edilmiş kriter ağırlıkları.

Kriterler	Ağırlıklar
w ₁	0.238
w ₂	0.227
w ₃	0.15
w ₄	0.103
w ₅	0.135
w ₆	0.146

Sezgisel bulanık sayılarla değerlendirme Çizelge 5.4'teki skalaya göre yapılmıştır. Bu durumda değerlendirmelerden Çizelge 5.25 elde edilir. Eşitlik 3.14'e göre Çizelge 5.25'ten Çizelge 5.26 elde edilir. Daha sonra Adım 2 Eşitlik 4.3, 4.4 ve 4.5 uygulanarak her bir alternatif için sıralama ölçütü için kullanılacak olan durulaştırılmış S ve R değerleri elde edilir.

Çizelge 5.25 : Segisel bulanık VIKOR için değerlendirme matrisi.

		C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
A₁	E₁	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(4,5,7,8);0.65]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(0,1,2,5);0.2]	[(2,5,5,6,5);0.5]
		[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(0,5,1,2,5);0.75]	[(3,5,5,7,5);0.45]
	E₂	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(4,5,7,8);0.65]	[(8,5,10,10);0.9]
		[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(9,5,10,10);0.1]
A₂	E₃	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(0,1,2,5);0.2]	[(5,5,9,9,5);0.8]
		[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(0,5,1,2,5);0.75]	[(7,5,9,10);0.15]
	E₁	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(2,5,5,6,5);0.5]
		[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(7,5,9,10);0.15]	[(3,5,5,7,5);0.45]
A₃	E₂	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]
		[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]
	E₃	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(0,3,4,5);0.35]	[(8,5,10,10);0.9]
		[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(1,5,3,5,5);0.6]	[(9,5,10,10);0.1]
A₄	E₁	[(4,5,7,8);0.65]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(0,3,4,5);0.35]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(2,5,5,6,5);0.5]
		[(5,5,7,9,5);0.35]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(1,5,3,3,5);0.6]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(3,5,5,7,5);0.45]
	E₂	[(4,5,7,8);0.65]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]
		[(5,5,7,9,5);0.35]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]
A₅	E₃	[(4,5,7,8);0.65]	[(8,5,10,10);0.9]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(8,5,10,10);0.9]	[(4,5,7,8);0.65]	[(4,5,7,8);0.65]
		[(5,5,7,9,5);0.35]	[(9,5,10,10);0.1]	[(7,5,9,10);0.15]	[(9,5,10,10);0.1]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(5,5,7,9,5);0.35]
	E₁	[(0,1,2,5);0.2]	[(4,5,7,8);0.65]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(0,3,4,5);0.35]	[(4,5,7,8);0.65]	[(0,3,4,5);0.35]
		[(0,5,1,2,5);0.75]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(7,5,9,10);0.15]	[(1,5,3,3,5);0.6]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(1,5,3,5,5);0.6]
A₆	E₂	[(0,1,2,5);0.2]	[(8,5,10,10);0.9]	[(0,3,4,5);0.35]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(4,5,7,8);0.65]
		[(0,5,1,2,5);0.75]	[(9,5,10,10);0.1]	[(1,5,3,5,5);0.6]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(5,5,7,9,5);0.35]
	E₃	[(0,1,2,5);0.2]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(4,5,7,8);0.65]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(0,3,4,5);0.35]
		[(0,5,1,2,5);0.75]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(5,5,7,9,5);0.35]	[(7,5,9,10);0.15]	[(1,5,3,5,5);0.6]
A₇	E₁	[(0,0,1);0.1]	[(0,0,1);0.1]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(0,3,4,5);0.35]	[(5,5,9,9,5);0.8]	[(0,1,2,5);0.2]
		[(0,0,1,5);0.9]	[(0,0,1,5);0.9]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(1,5,3,3,5);0.6]	[(7,5,9,10);0.15]	[(0,5,1,2,5);0.75]
	E₂	[(0,0,1);0.1]	[(0,0,1);0.1]	[(0,0,1);0.1]	[(8,5,10,10);0.9]	[(8,5,10,10);0.9]	[(4,5,7,8);0.65]
		[(0,0,1,5);0.9]	[(0,0,1,5);0.9]	[(0,0,1,5);0.9]	[(9,5,10,10);0.1]	[(9,5,10,10);0.1]	[(5,5,7,9,5);0.35]
A₈	E₃	[(0,0,1);0.1]	[(0,1,2,5);0.2]	[(0,1,2,5);0.2]	[(2,5,5,6,5);0.5]	[(8,5,10,10);0.9]	[(0,3,4,5);0.35]
		[(0,0,1,5);0.9]	[(0,5,1,2,5);0.75]	[(0,5,1,2,5);0.75]	[(3,5,5,7,5);0.45]	[(9,5,10,10);0.1]	[(1,5,3,5,5);0.6]

Çizelge 5.26 : Sezgisel bulanık VIKOR karar matrisi.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
A₁	[(5.5,9,9.5);0.8] [(7.5,9,10);0.15]	[(8.5,10,10);0.9] [(9.5,10,10);0.1]	[(5.167,8.333,9);0.65] [(6.833,8.333,9.833);0.35]	[(6.5,8.333,8.833);0.5] [(7.5,8.333,9.167);0.45]	[(1.5,3,4.333);0.2] [(2.167,3,4.833);0.75]	[(5.5,8,8.667);0.5] [(6.833,8,9.167);0.45]
A₂	[(8.5,10,10);0.9] [(9.5,10,10);0.1]	[(8.5,10,10);0.9] [(9.5,10,10);0.1]	[(7.5,9.667,9.833);0.8] [(8.833,9.667,10);0.15]	[(5.5,8,8.667);0.5] [(6.833,8,9.167);0.45]	[(3.667,7,7.833);0.35] [(5.5,7,8.5);0.6]	[(6.5,8.333,8.833);0.5] [(7.5,8.333,9.167);0.45]
A₃	[(4.5,7,8);0.65] [(5.5,7,9.5);0.35]	[(8.5,10,10);0.9] [(9.5,10,10);0.1]	[(5.5,9,9.5);0.8] [(7.5,9,10);0.15]	[(5.667,7.667,8.167);0.35] [(6.833,7.667,8.5);0.6]	[(5.167,7.333,8.167);0.5] [(6.167,7.333,9);0.45]	[(5.167,7.333,8.167);0.5] [(6.167,7.333,9);0.45]
A₄	[(0,1,2.5);0.2] [(0.5,1,2.5);0.75]	[(5.167,7.333,8.167);0.5] [(6.167,7.333,9);0.45]	[(2.667,5.667,6.833);0.35] [(4.167,5.667,7.667);0.6]	[(4.333,6.667,7.5);0.35] [(5.5,6.667,8.333);0.6]	[(6.167,8.667,9.167);0.65] [(7.5,8.667,9.833);0.35]	[(1.5,4.333,5.667);0.35] [(2.833,4.333,6.833);0.6]
A₅	[(0,0,1);0.1] [(0,0,1.5);0.9]	[(0,0.333,1.5);0.1] [(0.167,0.333,1.833);0.9]	[(0.833,2,3.333);0.1] [(1.333,2,3.833);0.9]	[(3.667,6,7);0.35] [(4.833,6,7.667);0.6]	[(7.5,9.667,9.833);0.8] [(8.833,9.667,10);0.15]	[(1.5,3.667,5);0.2] [(2.5,3.667,5.833);0.75]

Her bir alternatif için sıralama ölçütünde kullanılacak olan S ve R değerleri Çizelge 5.27'deki gibidir.

Çizelge 5.27 : VIKOR için S_i ve R_i değerleri.

Alternatifler	S	R
A ₁	0.199	0.135
A ₂	0.074	0.056
A ₃	0.185	0.065
A ₄	0.571	0.217
A ₅	0.864	0.238

Adım 3'teki Eşitlik 4.6 uygulanarak S^+, S^-, R^+, R^- değerleri bulunur. Bu değerler Çizelge 5.28'teki gibidir.

Çizelge 5.28 : S^+, S^-, R^+, R^- değerleri.

S^+	0.074
S^-	0.864
R^+	0.056
R^-	0.238

Adım 4'teki Eşitlik 4.7 uygulanarak her bir alternatif için Q değerleri Çizelge 5.29'daki gibidir.

Çizelge 5.29 : Alternatiflerin Q değerleri.

Q ₁	0.296
Q ₂	0.217
Q ₃	0.287
Q ₄	0.532
Q ₅	0.717

Adım 5'e göre alternatifler S, R ve Q değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Bu sıralama Çizelge 5.30'daki gibidir.

Çizelge 5.30 : Alternatiflerin S, R ve Q'ya göre sıralanması.

	1	2	3	4	5
S sıralaması	A ₂	A ₃	A ₁	A ₄	A ₅
R sıralaması	A ₂	A ₃	A ₁	A ₄	A ₅
Q sıralaması	A ₂	A ₃	A ₁	A ₄	A ₅

Adım 6'daki iki şart kontrol edilir ve alternatif sırası belirlenir.

C1. $DQ = 0.25$, $Q(A'') - Q(A') = 0.07$ olduğundan $Q(A'') - Q(A') \geq DQ$ sağlanamaz.

C2. Q değerine göre birinci sıradaki alternatif S ve R'ye göre de birinci sırada olduğundan ikinci şart sağlanmıştır.

Adım 6'ya göre sadece C1 şartı sağlanmadığında, $A^{(M)}$ maksimum M için, $Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ$ formülüne göre sıra $A', A'', \dots, A^M$ olur.

Buna göre $Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ$ eşitsizliğini sağlayan değer, $Q(A^{(3)}) - Q(A') = 0.079$ ile, üçüncü sıradaki alternatif olan A_1 'dir. Buna göre sezgisel bulanık VIKOR yöntemine göre uzlaşık alternatif sıralaması A_2, A_3, A_1 'dir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmaya konu olan problemin sonucu araç teknolojilerinden dizel araç teknolojisinin seçimi uygun bulunmuştur. Bunun ardından hibrit araç ve daha sonra benzinli araç uygun bulunmuştur. Son olarak sırayla şarjlı hibrit elektrikli ve tam elektrikli araç sıralanmıştır. Problemin çözümünde kullanılan bulanık sayılar kümeleri karar vericilerin sözel ifadelerinden ve bilgi eksikliğinden kaynaklanan dezavantajlı durumu modele daha az yansıtmış ve daha iyi modellemeye imkan sunmuştur. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar aynıdır. Bunun yanında her iki yöntem ile elde edilen kriter ağırlıklarının durulaştırılmış değerlerinin aynı olması kullanılan yöntemlerin doğruluğunu artırmaktadır. Sezgisel bulanık sayılarla yapılan değerlendirmeden elde edilen sonuçların gerçeğe daha yakın olduğunu söylemek mümkündür. Bunun nedeninin bu tip bulanık kümelerin üyelik derecesi yanında üye olmama derecesini de sisteme katma kabiliyeti olduğu söylenebilir.

Önemli olan konu sadece maliyete göre yapılan bir sıralamanın doğru olmayacağını, maliyete göre ikinci ve üçüncü sıradaki alternatiflerin, sonuçta da aynı sırayı almaması göstermektedir. Dizel araç teknolojisi diğer araç teknolojilerine göre halen avantajını sürdürmektedir. İlk üç araç teknolojisi alternatifi klasik araç tiplerindendir. Kriter ağırlıklarından yakıt ikmal kolaylığı ve araç maliyetinin ağırlıklarının % 50'ye yakın olması klasik tip araçların ilk üç sırayı almasında büyük önem arz etmiştir. Kriter ağırlıkları yaklaşık değerleri her iki yöntemde araç maliyeti için %24, yakıt ikmal kolaylığı için %23, araç performansı için %15, araç ergonomisi için %11, aracın çevreciliği için %14 ve aracın güvenliği için %15'tir. Ağırlıklardan da görüldüğü üzere ilk iki kriter araç teknolojisi seçimini önemli oranda etkilemektedir ve etki de yeni araç teknolojilerinin seçimini dezavantajlı hale getirmektedir. Buradan yola çıkarak Türkiye'de yeni araç teknolojilerinin tutunabilmesi için öncelikle araç maliyetleri ve yakıt ikmal kolaylığı problemlerinin çözülmesi gerektiği sonucuna varabiliriz. Araç maliyetlerinin daha kabul edilebilir seviyelerde olması için seri üretimin yapılması ve daha fazla teşviklerin verilmesi şu an için görünen en iyi çözümlerdir. Seri üretimin yapılmasına katkıda bulunacak etkenlerden birisi de müşterilerin yeni

araç teknolojileri hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları ve paydaşlar arasında gerekli koordinasyonun sağlanmasıdır. Mevcut durumda ülkemizde yeni araç teknolojileri hakkında yeterli bilgiye sahip olunmadığı söylenebilir. Bu teknolojilerin bilinirliği yüksek olan ülkelerde de aynı problemin yaşandığı söylenebilir. Bunun nedenin de teknolojilerin henüz tutunma aşamasında olduğundan kaynaklanıyor olabileceği söylenebilir. Bu bilgi eksikliği yanlış günlük, aylık veya haftalık seyahat mesafesi hesaplama kaynaklanan menzil problemi, yeni araç teknolojilerinin daha verimli kullanabilmek için gerekli sürüş stillerini bilmemek, batarya ile ilgili tükenme ve değiştime ile ilgili tereddütlerdir. Ayrıca halihazırdaki hükümet desteklerinin yeterli seviyede olmaması, gerekli altyapı ve potansiyel elektrik talebi araştırmasının yapılmaması, yeni teknoloji için standardizasyonların eksikliği ve detaylı seyahat istatistikleri gibi bilgilerin olmaması dolayısıyla paydaşlar arasındaki koordinasyon eksikliği de bu konuya dahil edilebilir. Burada önemli bir konu olarak önümüze çıkan elektrik talebi olmaktadır. İstanbul'un elektrik şebekesi yeterliliği gibi durumlar göz önünde bulundurulduğunda altyapıya önemli yatırımların yapılması sistemin yenilenmesi ihtiyacı ortaya çıkabilir. Bunun yanında yeni araç teknolojilerinin bilinirliğinin daha fazla olduğu ülkelerde time-of-use denilen ve Türkiye'de de uygulanan elektrik kullanım periyotları belirlenerek elektrik talebi ile ilgili oluşacak problemlere uygun çözümler geliştirilebilir. Bunların yanında bataryaların maliyetlerinin azaltılması, batarya değişimlerinin standardizasyonu sayesinde üretim maliyetlerinin düşmesi sonucunda seri üretimin hızlanacağı söylenebilir. Bunların yanında hükümet teşviklerinin daha da artması gerektiği söylenebilir. Bu teknolojilerin bilinirliğinin ülkemize göre yüksek olduğu ülkelerde öncelikli teşvikler ar-ge alanında, daha sonra mali ve daha sonra altyapı ihtiyaçları alanında olmaktadır. Ülkemizde üretici konumunda bulunmadığından öncelikli olarak altyapı ihtiyaçlarına ve mali teşviklere öncelik vererek yeni teknolojilerin bilinirliğinin artmasına ve pazara girişine katkı sağlayabilir. Altyapı ihtiyaçlarından en önemlisi daha önce de belirtildiği gibi genel şarj istasyonlarının kurulmasıdır. Öneriler çerçevesinde yapılacak iyileştirme ve geliştirmeler yeni araç teknolojilerinin en zayıf noktaları olan araç maliyeti ve yakıt ikmal kolaylığı kriterlerinde diğer araçlara göre dezavantajlı konumunu daha iyi seviyelere getirebilir. Yeni araç teknolojilerinden özellikle tam elektrikli aracın çalışma performansı iyileştirilebilirse diğer araçlara göre araç performansı kriterine göre dezavantajlı konumu daha iyi bir seviyeye gelebilir.

Yeni araç teknolojileri çözüm olarak řu an için kabul edilebilir olmasa da çevrecilik bilincinin daha da artması, teknolojinin yaygınlaşması, altyapı ihtiyaçlarının karşılanması, ar-ge çalışmaları ile üretim maliyetlerinin düşürölmesi ve seri üretimin yaygınlaşmasıyla, aynı değeriendirmeler yapıldığında önümüzdeki 15 sene ve sonrasında, sonuçların yeni araç teknolojilerinin daha iyi olduğu yönünde çıkması muhtemeldir.

KAYNAKLAR

- Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., Janssens, D.,** (2012), Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation, *Knowledge-Based Systems*, **32**, 84-90. doi: 10.1016/j.knosys.2011.08.014.
- Bas, E.,** (2013), The integrated framework for analysis of electricity supply chain using an integrated SWOT-fuzzy TOPSIS methodology combined with AHP: The case of Turkey, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **44** (1), 897-907. doi: 10.1016/j.ijepes.2012.08.045.
- Bellekom, S., Benders, R., Pelgröm, S., Moll, H.,** (2012), Electric cars and wind energy: Two problems, one solution? A study to combine wind energy and electric cars in 2020 in The Netherlands, *Energy*, **45** (1), 859-866. doi: 10.1016/j.energy.2012.07.003.
- Chang, T.-H.,** (2014), Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan, *Information Sciences*, **271**, 196-212. doi: 10.1016/j.ins.2014.02.118.
- Chou, J.-S., Pham, A.-D., Wang, H.,** (2013), Bidding strategy to support decision-making by integrating fuzzy AHP and regression-based simulation, *Automation in Construction*, **35**, 517-527. doi: 10.1016/j.autcon.2013.06.007.
- Chou, W.-C., Cheng, Y.-P.,** (2012), A hybrid fuzzy MCDM approach for evaluating website quality of professional accounting firms, *Expert Systems with Applications*, **39** (3), 2783-2793. doi: 10.1016/j.eswa.2011.08.138.
- Crolla, D. A.,** (2009), *Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body* (D. A. Crolla Ed. First ed.), the U.S.: Butterworth-Heinemann.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S., Kılınç, N.,** (2009), Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, **36** (4), 8143-8151. doi: 10.1016/j.eswa.2008.10.016.
- Das, M. C., Sarkar, B., Ray, S.,** (2012), A framework to measure relative performance of Indian technical institutions using integrated fuzzy AHP and COPRAS methodology, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46** (3), 230-241. doi: 10.1016/j.seps.2011.12.001.
- Devi, K.,** (2011), Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection, *Expert Systems with Applications*, **38**, 14163-14168. doi: 10.1016/j.eswa.2011.04.227.
- Dhameja, S.,** (2001), *Electric Vehicle Battery Systems* (First ed.), the U.S.: Newnes.
- Fuhs, A. E.,** (2008), *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*, the U.S.: CRC Press.

- Girubha, R. J., Vinodh, S.,** (2012), Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component, *Materials & Design*, **37**, 478-486. doi: 10.1016/j.matdes.2012.01.022.
- Gonçalves Neto, A. C., Marujo, L. G., Cosenza, C. A. N., Dória, F. A. M., Lima, J. M.,** (2012), Using fuzzy NPV evaluation to justify the acquisition of business interruption insurance, *Expert Systems with Applications*, **39(12)**, 10821-10831. doi: 10.1016/j.eswa.2012.03.011.
- Greaves, S., Backman, H., Ellison, A. B.,** (2014), An empirical assessment of the feasibility of battery electric vehicles for day-to-day driving, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **66**, 226-237. doi: 10.1016/j.trra.2014.05.011.
- Høyer, K. G.,** (2008), The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars, *Utilities Policy*, **16 (2)**, 63-71. doi: 10.1016/j.jup.2007.11.001.
- Huang, X.,** (2007), Chance-constrained programming models for capital budgeting with NPV as fuzzy parameters, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **198 (1)**, 149-159. doi: 10.1016/j.cam.2005.11.026.
- Kahraman, C., Kaya, İ.,** (2008). Fuzzy Equivalent Annual Worth Analysis and Applications In Kahraman C. (Ed.), *Fuzzy Engineering Economics with Applications* (70-81). Berlin, Germany: Springer.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Uçal Sarı, İ., Turanoğlu, E.,** (2014), Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets, *Knowledge-Based Systems*, **59**, 48-57. doi: 10.1016/j.knosys.2014.02.001.
- Kahraman, C., Ruan, D., Tolga, E.,** (2002), Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flow, *Information Sciences*, **142 (1-4)**, 57-76.
- Kahraman, C., Tolga, E., Ulukan, Z.,** (2000), Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis, *International Journal of Production Economics*, **66 (1)**, 45-52.
- Kannan, D., Jabbour, A. B. L. d. S., Jabbour, C. J. C.,** (2014), Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company, *European Journal of Operational Research*, **233 (2)**, 432-447. doi: 10.1016/j.ejor.2013.07.023.
- Karsak, E. E., Tolga, E.,** (2001), Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments, *International Journal of Production Economics*, **69 (1)**, 49-64.
- Kaya, T., Kahraman, C.,** (2010), Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul, *Energy*, **35 (6)**, 2517-2527. doi: 10.1016/j.energy.2010.02.051.
- Kaya, T., Kahraman, C.,** (2011), Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology, *Expert Systems with Applications*, **38 (6)**, 6577-6585. doi: 10.1016/j.eswa.2010.11.081.
- Kim, Y., Chung, E.-S.,** (2013a), Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South

Korea, *Applied Mathematical Modelling*, **37** (22), 9419-9430. doi: 10.1016/j.apm.2013.04.040.

- Kim, Y., Chung, E.-S., Jun, S.-M., Kim, S. U.,** (2013b), Prioritizing the best sites for treated wastewater instream use in an urban watershed using fuzzy TOPSIS, *Resources, Conservation and Recycling*, **73**, 23-32. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.12.009.
- Kutlu, A. C., Ekmekçioğlu, M.,** (2012), Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, **39** (1), 61-67. doi: 10.1016/j.eswa.2011.06.044.
- Le Duigou, A., Guan, Y., Amalric, Y.,** (2014), On the competitiveness of electric driving in France: Impact of driving patterns, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **37**, 348-359. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.056.
- Lee, S. K., Mogi, G., Hui, K. S.,** (2013), A fuzzy analytic hierarchy process (AHP)/data envelopment analysis (DEA) hybrid model for efficiently allocating energy R&D resources: In the case of energy technologies against high oil prices, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **21**, 347-355. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.067.
- Lin, H.-W., Lu, H.-F.,** (2013), Evaluating the BOT project of sport facility: an application of fuzzy net present value method, *Journal of Industrial and Production Engineering*, **30** (4), 220-229. doi: 10.1080/21681015.2013.818067.
- Liu, H.-C., Liu, L., Liu, N., Mao, L.-X.,** (2012), Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, **39** (17), 12926-12934. doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.031.
- Liu, H.-C., Liu, L., Wu, J.,** (2013a), Material selection using an interval 2-tuple linguistic VIKOR method considering subjective and objective weights, *Materials & Design*, **52**, 158-167. doi: 10.1016/j.matdes.2013.05.054.
- Liu, H.-C., Wu, J., Li, P.,** (2013b), Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method, *Waste Manag*, **33**(12), 2744-2751. doi: 10.1016/j.wasman.2013.08.006.
- Lunz, B., Yan, Z., Gerschler, J. B., Sauer, D. U.,** (2012), Influence of plug-in hybrid electric vehicle charging strategies on charging and battery degradation costs, *Energy Policy*, **46**, 511-519. doi: 10.1016/j.enpol.2012.04.017.
- Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A.,** (2014), Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS, *Sci Total Environ*, **488-489**, 85-99. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.076.
- Marshall, B. M., Kelly, J. C., Lee, T.-K., Keoleian, G. A., Filipi, Z.,** (2013), Environmental assessment of plug-in hybrid electric vehicles using naturalistic drive cycles and vehicle travel patterns: A Michigan case study, *Energy Policy*, **58**, 358-370. doi: 10.1016/j.enpol.2013.03.037.
- Najafi, A., Karimpour, M. H., Ghaderi, M.,** (2014), Application of fuzzy AHP method to IOCG prospectivity mapping: A case study in Taherabad prospecting area, eastern Iran, *International Journal of Applied Earth*

- Observation and Geoinformation*, **33**, 142-154. doi: 10.1016/j.jag. 2014. 05. 003.
- Nepal, B., Yadav, O. P., Murat, A.,** (2010), A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development, *Expert Systems with Applications*, **37 (10)**, 6775-6786. doi: 10.1016/j.eswa.2010. 03. 048.
- Omitaomu, O. A., Badiru, A.,** (2007), Fuzzy Present Value Analysis Model For Evaluating Information System Projects, *The Engineering Economist*, **52 (2)**, 157-178. doi: 10.1080/00137910701328912.
- Opricovic, S.,** (2011), Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning, *Expert Systems with Applications*, **38 (10)**, 12983-12990. doi:10.1016/ j.eswa. 2011.04.097.
- Pasaoglu, G., Fiorello, D., Martino, A., Zani, L., Zubaryeva, A., Thiel, C.,** (2014), Travel patterns and the potential use of electric cars – Results from a direct survey in six European countries, *Technological Forecasting and Social Change*, **87**, 51-59. doi: 10.1016/j.techfore.2013.10.018.
- Patil, S. K., Kant, R.,** (2014), A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers, *Expert Systems with Applications*, **41 (2)**, 679-693. doi: 10.1016/ j.eswa.2013.07.093.
- PEV_report, (2012)**, *Plug-In Electric Vehicle Handbook for Fleet Managers*: U.S. Department of Energy, [http : // www. Afdc .energy. gov/ fuels /electricity_ basics.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_basics.html), Alıntı Tarihi [15.07.2014].
- Pohl, H., Yarime, M.,** (2012), Integrating innovation system and management concepts: The development of electric and hybrid electric vehicles in Japan, *Technological Forecasting and Social Change*, **79 (8)**, 1431-1446. doi: 10.1016/j.techfore.2012.04.012.
- Rezaei, J., Ortt, R.,** (2013), Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP, *European Journal of Operational Research*, **225 (1)**, 75-84. doi: 10.1016/j.ejor.2012.09.037.
- Roshandel, J., Miri-Nargesi, S. S., Hatami-Shirkouhi, L.,** (2013), Evaluating and selecting the supplier in detergent production industry using hierarchical fuzzy TOPSIS, *Applied Mathematical Modelling*, **37 (24)**, 10170-10181. doi: 10.1016/j.apm.2013.05.043.
- Sheen, J. N.,** (2005), Fuzzy evaluation of cogeneration alternatives in a petrochemical industry, *Computers & Mathematics with Applications*, **49 (5-6)**, 741-755. doi: 10.1016/j.camwa.2004.10.035.
- Sioshansi, R., Miller, J.,** (2011), Plug-in hybrid electric vehicles can be clean and economical in dirty power systems, *Energy Policy*, **39 (10)**, 6151-6161. doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.015.
- Somsuk, N., Laosirihongthong, T.,** (2014), A fuzzy AHP to prioritize enabling factors for strategic management of university business incubators: Resource-based view, *Technological Forecasting and Social Change*, **85**, 198-210. doi: 10.1016/j.techfore.2013.08.007.

- Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M.,** (2014), A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection, *Expert Systems with Applications*, **41 (18)**, 8112-8128. doi: 10.1016/j.eswa.2014.07.021.
- Torlak, G., Sevkli, M., Sanal, M., Zaim, S.,** (2011), Analyzing business competition by using fuzzy TOPSIS method: An example of Turkish domestic airline industry, *Expert Systems with Applications*, **38 (4)**, 3396-3406. doi: 10.1016/j.eswa.2010.08.125.
- Tsao, C.-T.,** (2010), The expectation-deviation net present value by fuzzy arithmetic for capital investments, *Journal of Statistics and Management Systems*, **13 (2)**, 267-281. doi: 10.1080/09720510.2010.10701469.
- Tsao, C.-T.,** (2012), Fuzzy net present values for capital investments in an uncertain environment, *Computers & Operations Research*, **39 (8)**, 1885-1892. doi: 10.1016/j.cor.2011.07.015.
- <Url-1> Alıntı tarihi 16.07.2014, http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_hev.html.
- <Url-2> Alıntı tarihi 16.07.2014, <http://evobsession.com/europeelectrifiedvehiclesales2013report/>.
- <Url-3> Alıntı tarihi 16.07.2014, http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_phev.html.
- <Url-4> Alıntı tarihi 16.07.2014, http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html.
- <Url-5> Alıntı tarihi 18.07.2014, <http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>.
- <Url-6> Alıntı 08.08.2014, from <http://www.goelectricdrive.org/electric-cars/plug-in-electric-vehicles>.
- <Url-7> Alıntı tarihi 18.07.2014, http://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_maintenance.html.
- <Url-8> Alıntı tarihi 08.08.2014, <http://www.knowyourparts.com/technical-articles/clean-diesel/>.
- <Url-9> Alıntı tarihi 18.07.2014, http://www.fueleconomy.gov/feg/di_diesels.shtml.
- van Vliet, O. P. R., Kruithof, T., Turkenburg, W. C., Faaij, A. P. C.,** (2010), Techno-economic comparison of series hybrid, plug-in hybrid, fuel cell and regular cars, *Journal of Power Sources*, **195 (19)**, 6570-6585. doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.04.077.
- Vinodh, S., Prasanna, M., Hari Prakash, N.,** (2014b), Integrated Fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study, *Applied Mathematical Modelling*. doi: 10.1016/j.apm.2014.03.007.
- Vinodh, S., Sarangan, S., Chandra Vinoth, S.,** (2014), Application of fuzzy compromise solution method for fit concept selection, *Applied Mathematical Modelling*, **38 (3)**, 1052-1063. doi: 10.1016/j.apm.2013.07.027.

- Wang, T., Chang, T., (2007),** Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, **33 (4)**, 870-880. doi: 10.1016/j.eswa.2006.07.003.
- Wang, Y., Yeo, G.-T., Ng, A. K. Y., (2014),** Choosing optimal bunkering ports for liner shipping companies: A hybrid Fuzzy-Delphi–TOPSIS approach, *Transport Policy*. doi: 10.1016/j.tranpol.2014.04.009.
- Wu, J., Huang, H.-b., Cao, Q.-w., (2013),** Research on AHP with interval-valued intuitionistic fuzzy sets and its application in multi-criteria decision making problems, *Applied Mathematical Modelling*, **37 (24)**, 9898-9906. doi: 10.1016/j.apm.2013.05.035.
- Yücenur, G. N., Demirel, N. Ç., (2012),** Group decision making process for insurance company selection problem with extended VIKOR method under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, **39 (3)**, 3702-3707. doi: 10.1016/j.eswa.2011.09.065.
- Zhang, Mei, Q., Lu, Q., Xiao, W.-L., (2011),** Evaluating methods of investment project and optimizing models of portfolio selection in fuzzy uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, **61 (3)**, 721-728. doi: 10.1016/j.cie.2011.05.003.
- Zhang, B., Mi, C. C., Zhang, M., (2011),** Charge-Depleting Control Strategies and Fuel Optimization of Blended-Mode Plug-In Hybrid Electric Vehicles, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **60 (4)**.
- Zhang, N., Wei, G., (2013),** Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set, *Applied Mathematical Modelling*, **37 (7)**, 4938-4947. doi: 10.1016/j.apm.2012.10.002.
- Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Chen, Y., Sun, B., (2012),** Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments, *Safety Science*, **50 (2)**, 228-239. doi: 10.1016/j.ssci.2011.08.042.

ÖZGEÇMİŞ

FOTOĞRAF

Ad Soyad: İbrahim YAZICI

Doğum Yeri ve Tarihi: SAMSUN/06.10.1988

Adres: İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

Oda: B-207 Beşiktaş/İstanbul

E-Posta: iyazici@itu.edu.tr

Lisans: Kocaeli Üniversitesi

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Yazıcı İ., Kahraman C., VIKOR Method Using Interval Type-2 Fuzzy Sets, *Journal of Fuzzy and Intelligent Systems* (Kabul edildi)
- Kahraman C., Yazıcı İ., Karaşan A., A Literature Survey on the Usage of Fuzzy MCDM Methods for Digital Marketing, *IGI Global Publication, Kitap Bölümü* (Kabul Edildi)