



Otomobil Motor Yağı Alternatiflerinin FUCOM, MAIRCA, MABAC ve BWM Yöntemleri ile Değerlendirilmesi*

Evaluation of Automobile Engine Oil Alternatives with FUCOM, MAIRCA, MABAC and BWM Methods

Volkan Genç¹ , Aşkın Özdağoğlu² , Murat Kemal Keleş³

Öz

Otomobillerde kullanılan motor yağlarının; yakıt sarfiyatı, motorun parçalarında oluşan sürtünmelerin etkisiyle meydana gelecek aşınma, motorun verimliliği ve performansı gibi bir çok unsura etkisi bulunmaktadır. Bu yüzden kaliteli bir motor yağı seçilmesi otomobilin motorunun performansını artırmak, verimli kullanmak ve ömrünü uzatmak açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı, hususi otomobillere yönelik otomotiv sektöründe öncü markaların Türkiye’de satışa sunmuş olduğu 5w30 motor yağı alternatifleri arasından en optimal olanı belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak konusunda uzman olan teknik kişiler tarafından sekiz adet kriter belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıkları ılık iklime sahip İzmir ve karasal iklime sahip Erzurum düşünülerek iki farklı iklim şartına göre yeni ağırlıklandırma yöntemlerinden olan BWM ve FUCOM yöntemleri ile bulunmuştur. Çalışma kapsamındaki beş motor yağı alternatifi ise İzmir ve Erzurum için bulunan kriter ağırlıklarına göre MABAC ve MAIRCA yöntemleri ile sıralanmıştır. Analiz sonuçlarına göre kriter ağırlıklandırmasında; İzmir için ilk sırada “viskozite 100” kriteri çıkarken Erzurum için ise “soğuk marş simülasyonu” kriteri birinci olmuştur. Gerek İzmir gerekse de Erzurum için son sırada yer alan kriter ise “Viskozite indeksi” kriteridir. İzmir ve Erzurum iklim şartlarına göre MAIRCA ve MABAC yöntemleri ile yapılan motor yağlarının değerlendirilmesinde ise İzmir ve Erzurum için motor yağı alternatiflerinin sıralaması aynı çıkmıştır. Analizler sonunda bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Motor Yağı, Çok Kriterli Karar Verme, FUCOM, MAIRCA, MABAC, BWM

ABSTRACT

Engine oils used in automobiles have an impact on many factors such as fuel consumption, wear that will occur with the effect of friction in the parts of the engine, efficiency and performance of the engine. Therefore, choosing a quality engine oil is important in terms of increasing the performance of the car's engine, using it efficiently and prolonging its life. The aim of this study is to determine the most optimal one among the 5w30 engine oil alternatives for private cars offered by leading brands in the automotive industry in Turkey. For this purpose, eight criteria have been determined by technical people who are experts in their fields. The weights of the criteria were found by considering two different climatic conditions, namely İzmir with a warm climate and Erzurum with a continental climate, using the new weighting methods BWM and FUCOM. The five engine oil alternatives were listed according to the criteria weights found for İzmir and Erzurum by MABAC and MAIRCA methods. In the light of the analysis, the “viscosity 100” criterion was the first for İzmir, the “cold starting simulator” criterion was the first for Erzurum. The last criterion for both İzmir and Erzurum is the “Viscosity index” criterion. In the evaluation of engine oils made by MAIRCA and MABAC methods according to the climate conditions of İzmir and Erzurum, the order of engine oil alternatives for İzmir and Erzurum was the same. In the last pahse the results were compared and suggestions were made.

Keywords: Engine Oil, Multi Criteria Decision Making, FUCOM, MAIRCA, MABAC, BWM

Başvuru/Submitted: 07.11.2021 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 06.12.2021 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 21.12.2021 • **Kabul/Accepted:** 03.01.2022

* Bu çalışma, 01-02 Ekim 2021 tarihlerinde Bartın Üniversitesi İİBF Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü tarafından düzenlenen, 5. ULUK 2021’de sunulan “Otomobil Motor Yağı Alternatiflerinin Fucom, Mairca ve Mabac Yöntemleri İle Değerlendirilmesi” başlıklı bildirinin genişletilmiş halidir.

¹ Volkan Genç (Doktora Öğrencisi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İngilizce İşletme Bölümü Doktora Öğrencisi, İzmir, Türkiye.

E-mail: volkangenc@yandex.com ORCID: 0000-0003-2184-482X

² Aşkın Özdağoğlu (Doç. Dr.), Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi İşletme Bölümü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.

E-mail: askin.ozdagoglu@deu.edu.tr ORCID: 0000-0001-5299-0622

³ **Sorumlu yazar/Corresponding author:** Murat Kemal Keleş (Dr.Öğr.Üyesi), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Keçiborlu Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Programı, Isparta, Türkiye. E-mail: muratkemalk@gmail.com ORCID: 0000-0003-0374-6839

Atf/Citation: Genç, V., Ozdagoglu, A., & Keles, M.K. (2022). Otomobil motor yağı alternatiflerinin FUCOM, MAIRCA, MABAC ve BWM yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(1), 55-82. <https://doi.org/10.26650/JTL.2022.1020313>

Extended Abstract

Engine oil is a liquid that forms a protective film layer on the moving parts of the engine, reducing wear and friction, as well as preventing rust and corrosion with the compounds it contains. This fluid also assists the vehicle cooling system at the temperature point by lowering heat created during engine operation, cooling it in the crankcase, and re-joining it in the system cycle with each oil circulation. Many elements, such as engine performance, wear due to friction in engine parts, and fuel consumption, are directly influenced by the engine oil used in an automobile. As a result, selecting a high-quality engine oil is critical if you want to keep your car's engine running longer and more efficiently.

The goal of this research is to find the best 5w30 engine oil for private cars among the 5w30 engine oils available for sale in Turkey by the industry's main companies. The WSS-M2C913-D specification has been determined for the five mineral engine oil replacements under consideration. Experts established the eight criteria employed in the study. "Viscosity index," "Viscosity 40-100 °C mm²/S," "Density," "Flash Point," "Flow Point," "Cold Start," and "Ash Sulphate value" are the variables to examine while picking the best engine oil. A choice will be made between five distinct mineral oil brand options based on these parameters. The manufacturers' ASTM (American Society for Testing and Materials) procedures yielded test results that provided values for the technical parameters that influence selection. Engine oil selection criteria were analyzed for two alternative scenarios, taking into account the conditions in Izmir province, which has a pleasant climate, and Erzurum province, which has a harsh continental environment.

The FUCOM, MAIRCA, MABAC, and BWM approaches, which are innovative methodologies, were applied in the study. The criteria weights were determined separately using the FUCOM and BWM multi-criteria decision-making procedures, based on the climate circumstances of two different regions, namely the Aegean and continental climates. MAIRCA and MABAC methodologies are used to rank the five mineral motor oil alternatives according to the criteria weights obtained in both climatic conditions. Owing to the fact that there are negative values in the matrix, the MAIRCA and MABAC approaches were preferred to be able to pick amongst options.

According to the findings of the analysis, the viscosity 100 criterion is first for Izmir, and the cold start simulator criterion is first for Erzurum, in a weighing of the criteria based on the conditions of Izmir and Erzurum. The Viscosity index criterion is the eighth and final criterion in the context of both Izmir and Erzurum. The identical alternatives was found for both Izmir and Erzurum in the engine oil rankings established according to different climate conditions using the MAIRCA and MABAC methodologies. The main reason for this is that every option that complies with the WSS-M2C913-D standard in Turkey and is available on the market can perform its function in a variety of climatic and temperature conditions throughout our country's geography. The study's fundamental disadvantage is that it is limited to the geography of Turkey; if it had been conducted over a wider range of foreign geographies, the results could have varied according to climatic circumstances.

There was no study discovered in the literature that used Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methodologies to choose engine oil options for autos. This will be the first study in the literature to establish and weight engine oil selection criteria for automobiles based on different environmental circumstances, and then use MCDM methods to select the best engine oil alternative. As a result, it is expected to be innovative and contribute to the literature. Furthermore, it is anticipated that this research will be advantageous to both automobile consumers and employees in the automotive industry, as well as engine oil manufacturers and marketers.

Giriş

Motor yağı, motorun iç yapısında bulunan parçalar üzerinde koruyucu bir film oluşmasını sağlayarak bu parçaların üzerindeki sürtünmeyi ve buna bağlı aşınmayı azaltan ve bunun içerisinde muhteva ettiği çeşitli katkıları ile motoru pas ve korozyondan koruyan bir sıvıdır. Bu sıvı motor çalışırken ortaya çıkan ısının, yağın devri daiminde, karter içerisinde soğutulmuş sistem içerisinde yeniden döndürülmesi ile düşürülüp yüksek hararetin engellenmesi için araç soğutma sistemine yardımcı niteliktedir (Volkan Genç, Ağır Vasıta Sürüş Eğitimi ile yapılan görüşme).

Bu çalışmanın amacı, hususi araçlarda kullanılmak üzere ülkemizde faaliyet gösteren, buldukları sektörde kendini kanıtlamış olan markalar tarafından satışa sunulan; 5w30 motor yağları arasında en uygun alternatifi belirlemektir. Seçime kapsamında olan bütün alternatifler WSS-M2C913-D şartnamesini karşılayacak şekilde oluşturulmuştur. En uygun yağın belirlenmesinde ele alınması gereken kriterler sırasıyla; “Viskozite indeksi”, “Viskozite 40-100 °C mm²/S”, “Yoğunluk”, “Parlama Noktası”, “Akma Noktası”, “Soğuk Marş” ve “Kül Sülfat değeridir”. Söz konusu kriterler baz alınmak suretiyle beş farklı madeni yağ seçeneği değerlendirilecektir. Değerlendirme kriterleri içindeki teknik kriterlere ilişkin veriler, motor yağı üreticilerinin sunduğu ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Derneği) yöntemlerine göre yapılan testlerden sağlanmıştır. Kriterlerin önem derecesi FUCOM ile belirlendikten sonra farklı yöntemlerin kriter ağırlığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla BWM yöntemi ile de hesaplanmıştır. Alternatifleri sıralamak için MAIRCA ve MABAC yöntemlerinin seçilmesinin nedeni başlangıç matrisinde negatif değerlerin bulunmasından dolayıdır. Motor yağı seçim kriterleri sürüş eğitimi tarafından belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. İklim şartlarına göre kriterlerin önem düzeyleri farklılaşabileceğinden dolayı değerlendirmeler kıyı Ege iklim şartları ile karasal iklim şartları olarak iki farklı durum için değerlendirilmiştir. Alternatiflerin değerleri çalışma kapsamındaki yağ firmalarının teknik kataloglardan elde edilmiştir.

Literatüre bakıldığında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin otomobillerde motor yağı alternatiflerinin seçiminde kullanıldığı bir çalışmayla rastlanılmamıştır. Motor yağı ile ilgili yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak mühendislik ve teknik konulu bölümler tarafından yapıldığı tespit edilmiştir (İpek ve Erdoğan, 2006; Halis, 2016; Avcı 2009; Özçelik 2004). Yapılan çalışmalarda motor yağının içeriği, dayanımı, viskozitesi, değişim periyotlarının belirlenmesi, motor yağına göre motorun performansının test edilmesi, motor yağının aşınmaya etkisi, motor türüne göre motor yağlarının değerlendirilmesi gibi teknik konuların deneysel çalışma ve testlere dayalı olarak analiz edildiği görülmüştür (İpek ve Erdoğan, 2006: 67). Yani literatürdeki deneysel çalışmalar ağırlıklı olarak motor yağlarının teknik özelliklerinin araştırılmasına ve motor performansını artırmak için motor yağlarındaki teknik konuların analizine odaklanmıştır. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ÇKKV yöntemleri kullanılarak mevcut motor yağı alternatifleri nicel ve nitel kriterlere göre farklı iklim koşulları senaryosuna göre sıralanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmayla ÇKKV yöntemlerinin kullanımıyla ilk kez farklı iklim koşulları baz alınarak otomobiller için motor yağı seçeneklerini belirlemeye yönelik kriterlerin önem derecelerinin belirlendiği ve en uygun motor yağının seçildiği çalışma

olacaktır. Böylece literatürde bir boşluğun doldurulacağı düşünülmektedir. Buna ilaveten böyle kapsamlı bir çalışmanın öncelikle motor yağı üreten ve satan firmalara, sektör çalışanlarına ve otomobil kullanıcılarına yarar sağlayacağı öngörülmektedir.

Tablo 1. Literatür incelemesi

Yazarı/lar	Uygulanan alan	Uygulanan yöntem/ler
FUCOM yöntemi ile yapılan çalışmalar		
Sofuoğlu (2020)	İş parçası için en iyi üretim yöntemi seçimi	Bulanık FUCOM, Bulanık TOPSIS ve Bulanık WASPAS
Bozanic vd. (2020)	Savaş operasyonları için tugay komuta yeri seçimi	FUCOM ve MABAC
Matic vd. (2019)	İnşaat tedarikçisi seçimi	FUCOM, Rough COPRAS, Rough Dombi Aggregator
Cao vd. (2019)	Yüzen güneş paneli enerji sistemi seçimi	Gri SWARA ve FUCOM
Bozanic vd. (2019)	Köprü kuruluş yeri seçimi	FUCOM ve Bulanık MABAC
Pamucar vd. (2018a)	FUCOM modelinin tanıtılması ve sayısal bir örnekle AHP ve BWM yöntemleriyle karşılaştırılması	FUCOM, AHP ve BWM
Nunic (2018)	PVC üreticisi seçimi	FUCOM, MABAC, ARAS, WASPAS ve EDAS
MABAC yöntemi ile yapılan çalışmalar		
Ayçin (2020)	Lojistik sektöründeki bir işletme için personel seçimi	CRITIC ve MABAC
Cirovic vd. (2020)	Orman yangınlarıyla mücadele amaçlı optimum insansız uçak seçimi	Dilsel Nötrosofik Sayılar (LNN) ve MABAC
Biswas ve Das (2018)	Elektrikli ticari araçların değerlendirilmesi ve en uygununun seçilmesi	Bulanık AHP ve MABAC
Ji vd. (2018)	Çin’de bilişim teknolojileri sektöründe dış kaynak tedarikçi değerlendirmesi	MABAC ve ELECTRE
Pamucar ve Cirovic (2015)	Lojistik sektöründe forklift satın alımının değerlendirilmesi	DEMATEL ve MABAC
BWM ve/veya MAIRCA yöntemi ile yapılan çalışmalar		
Zolfani vd. (2020)	Şili’ye göç edenler için Şili’de en uygun yerleşim yerlerinin belirlenmesi	BWM ve MAIRCA
Arsic vd. (2019)	Bir restoran için menü çeşitlerinin değerlendirilmesi	BWM ve MAIRCA
Nabeeh vd. (2020)	Özel ve kamu hastanelerinin etkinliklerinin karşılaştırılması	BWM, MABAC ve PROMETHEE II
Kıran (2019)	15 ülkenin iş sağlığı güvenliği performanslarının karşılaştırılması	MAIRCA
Mamak Ekinci ve Can (2018)	İş hayatında operatörlerin ergonomik risk düzeylerinin belirlenmesi	CRITIC ve MAIRCA
Pamucar vd. (2018b)	Sırbistan demiryollarında yapılacak hemzemin geçitlerin seçimi	FUCOM ve MAIRCA
Gigovic vd. (2016)	Coğrafi bilgi sistemi yardımıyla mühimmat depolarının yerlerinin belirlenmesi	MAIRCA
Motor Yağı konusunda yapılan çalışmalardan örnekler		
Halis (2016)	Araç kullanım süresinin motor yağı viskozitesine etkisinin araştırılması	Deneysel çalışma
Avcı (2009)	Bir kargo firmasının altı adet dizel aracının optimum yağ değişim periyodunun belirlenmesi	Deneysel çalışma
Özçelik (2004)	Konya’da yaşayan taşıt kullanıcılarının motor yağı, yakıt seçimi ve bakım alışkanlıklarının belirlenmesine yönelik bir saha araştırması	Anket-İstatistiksel analiz

Çalışmada, önce literatür araştırması sonucunda çalışma örnekleri verilmiş, devamında bu çalışmada kullanılan FUCOM, MAIRCA, MABAC ve BWM yöntemlerinin algoritmaları açıklanmıştır. Daha sonra uygulama kısmında yöntem algoritmalarına göre çözümler bulunmuş, son aşamada sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmada, önce literatür araştırması sonucunda çalışma örnekleri verilmiş, devamında bu çalışmada kullanılan FUCOM, MAIRCA, MABAC ve BWM yöntemlerinin algoritmaları açıklanmıştır. Daha sonra uygulama kısmında yöntem algoritmalarına göre çözümler bulunmuş, son aşamada sonuçlar değerlendirilmiştir.

1. Literatür İncelemesi

Tablo. 1’de FUCOM, BWM, MAIRCA ve MABAC yöntemlerine ilişkin çalışmalar sunulmuştur.

2. FUCOM Yöntemi

FUCOM bir karar verme probleminde etkisi bulunan kriterlerin ağırlıklarını bulma amacına yönelik uygulanabilecek yöntemlerdendir. İşleyiş olarak kriterler arasında kriter sayısının bir eksiği kadar kıyaslamalar yaparak değerlendirme yapmaktadır. Kriter sayısının bir eksiği kadar karşılaştırmanın yeterli olması yöntemin avantajlarından. Yöntem şu şekilde ilemektedir (Pamucar vd., 2018a, 5-7).

FUCOM yönteminin temel avantajları şu şekilde ifade edilebilir: (Ecer, 2021:28)

- Daha az sayıda ikili karşılaştırma yani, n-1 tane ikili karşılaştırma (n kriter sayısını göstermek üzere) sonuca ulaşır
- Kriterlerin şekilde ikili karşılaştırmaları tutarlılık vardır
- Kriter ağırlıklarının daha güvenilir şekilde hesaplanmasına imkân verir.

FUCOM Yönteminde ilk aşamada problemin çözümü için gerekli olan kriterler uzman görüşlerinden faydalanılarak belirlenir.

c_j : j. kriter; $j=1,2,3,\dots,n$

İkinci aşamada ise belirlenen bu kriterler uzman tarafından en önemliden en önemsiz olacak şekilde sıralanır. Sıralama işlemi Eşitlik 1 kullanılarak yapılır.

$c_j(k)$: önemliden önemsiz sıralanan kriter; $k=1,2,3,\dots,n$

$$c_{j(1)} > c_{j(2)} > c_{j(3)} > \dots > c_{j(k)}$$

Eşitlik 1

Daha sonra uzman tarafından her bir kriterin bir sonraki gelen kritere göre üstünlüğü belirlenir.

$\varphi_{\frac{k-1}{k}}$: kriterin kendinden sonraki kritere göre üstünlük değeri

Üstünlük değerleri çalışmadaki kriter sayısının 1 eksiği şeklindedir. Üstünlük değerleri küme elemanları Eşitlik 2’deki gibi oluşur.

$$\varphi = \left[\varphi_{\frac{1}{2}}; \varphi_{\frac{2}{3}}; \varphi_{\frac{3}{4}}; \dots; \varphi_{\frac{k-1}{k}} \right]$$

Eşitlik 2

Bu değerler doğrusal programlama (DP) modeline temel oluşturur. Kurulan DP modeli amaç fonksiyonu sapma değerini en küçükleyecek şekildedir. Uzman görüşü olan üstünlük değerlerinin tutarlı olması sapma değerinin küçük olmasını sağlayacaktır.

χ : sapma değeri

Eşitlik 3'te söz konusu doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu gösterilmiştir.

$$z_{min} = \chi \quad \text{Eşitlik 3}$$

Daha sonra kısıtların yazılması aşaması vardır. FUCOM yöntemine göre kısıtlar üç ana kategoride yazılabilir. Birinci kategoride sıralanan kriterlerin kendinden sonra gelen kriterlere göre üstünlüğüne ilişkin kısıtlar yer almaktadır. Birinci kısıt kategorisi Eşitlik 4'te verildiği gibi oluşur.

$w_{j(k)}$: sıralanmış veride k.kriterin ağırlığı

$$\left| \frac{w_{j(k-1)}}{w_{j(k)}} - \frac{\varphi_{k-1}}{k} \right| \leq \chi \quad \text{Eşitlik 4}$$

Birinci kategoride, problemdeki kriter sayısının 1 eksiği kadar kısıt bulunmaktadır. Üstünlük değerlerinden türetilen ikinci kategori kısıtları, kriter sayısının 2 eksiği kadardır. İkinci kısıt kategorisi Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$\left| \frac{w_{j(k-2)}}{w_{j(k)}} - \left(\frac{\varphi_{k-2}}{k-1} \right) \left(\frac{\varphi_{k-1}}{k} \right) \right| \leq \chi \quad \text{Eşitlik 5}$$

Kriter ağırlıklarının toplamı 1 değerine eşit olması gerektiği için, son kısıtta bu koşula uygun olarak yazılır. Bu kısıt kategorisinin yapısı Eşitlik 6'da gösterilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{Eşitlik 6}$$

Son adımda negatif olmama koşulu ile ilgili kısıt yazılır. Eşitlik 7'de negatif olmama koşulu gösterilmiştir.

$$w_j \geq 0, \forall j \text{ için} \quad \text{Eşitlik 7}$$

Kriter ağırlıkları doğrusal programlama modelinin çözümüyle bulunur.

3. MAIRCA Yöntemi

MAIRCA yöntemi negatif değerlerin de yer aldığı bir karar matrisinde işlem yapabilmeye olanak sağlayan yöntemlerdendir. Yöntemin işleyiş aşağıda denklemler eşliğinde gösterilmiştir (Pamucar vd., 2018c, 1646-1649).

MAIRCA yönteminde öncelikle karar matrisi hazırlanmalıdır. Eşitlik 8 karar matrisi yapısını vermektedir.

j : kriter; $j=1,2,3,\dots,n$

i : alternatif; $i=1,2,3,\dots,m$

x_{ij} : i alternatifinin j kriteri açısından değeri

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Eşitlik 8

MAIRCA yöntemi kapsamında karar matrisinin hazırlanmasının ardından alternatifler için tercih önceliği hesaplanmalıdır. Tercih önceliği Eşitlik 9 yardımıyla bulunur.

P_A : tercih önceliği

$$P_A = \frac{1}{m}$$

Eşitlik 9

Bu işlemin yapılmasının ardından her bir kriter için teorik derecelendirme işlemi Eşitlik 10 yardımıyla yapılır.

t_{pj} : j kriteri teorik derecelendirme değeri

w_j : j kriterinin ağırlık değeri

$$t_{pj} = P_A w_j, \forall j \text{ için}$$

Eşitlik 10

Daha sonra gerçek derecelendirme değerleri hesaplanır. Fayda yönlü kriterler için gerçek derecelendirme değeri işlemi Eşitlik 11'de verilmiştir.

t_{rij} : i alternatif j kriter için gerçek derecelendirme değeri

$$t_{rij} = t_{pj} \left(\frac{x_{ij} - \min_j x_j}{\max_j x_j - \min_j x_j} \right)$$

Eşitlik 11

Maliyet yönlü kriterler için gerçek derecelendirme değeri işlemi Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$t_{rij} = t_{pj} \left(\frac{x_{ij} - \max_j x_j}{\min_j x_j - \max_j x_j} \right)$$

Eşitlik 12

Gerçek derecelendirme değerlerinin bulunmasının ardından gerçek ve teorik değerler arasındaki boşluk Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanır.

g_{ij} : i alternatif j kriter için boşluk değeri

$$g_{ij} = t_{pj} - t_{rij}, \forall i, j \text{ için}$$

Eşitlik 13

MAIRCA yöntemi kapsamında son olarak her bir alternatife yönelik toplam boşluk değeri Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanır.

Q_i : i alternatif için toplam boşluk değeri

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}, \forall i \text{ için}$$

Eşitlik 14

Tüm kriterler birarada değerlendirildiğinde, MAIRCA yöntemine göre en iyi alternatif, boşluk değerleri arasındaki minimum değere sahip olandır.

4. MABAC Yöntemi

MABAC ÇKKV yöntemlerinden biridir ve karar verme problemindeki kriterlerin sınır yakınlık alanına uzaklıklarını hesaplamayı esas alır. MABAC yöntemi de MAIRCA yöntemi gibi karar matrisinde negatif değerlerin bulunması halinde işlem gerçekleştirmeye olanak tanımaktadır. MABAC yönteminin işleyişi denklemler eşliğinde sunulmuştur (Bakır, 2019: 55-57; Gigovic vd., 2017: 509-512).

İlk adımda MAIRCA yönteminde Eşitlik 8’de gösterilmiş olan karar matrisi oluşturulur. Yani aynı karar matrisi yapısı kullanılır.

MABAC yönteminde izleyen aşamada karar matrisindeki değerler normalize edilmektedir. Fayda yönlü kriterler için normalizasyon işlemi Eşitlik 15 yardımıyla yapılır.

n_{ij} :i.alternatifin j.kriter açısından sahip olduğu normalize değer

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \quad \text{Eşitlik 15}$$

Maliyet yönlü kriterler için normalizasyon işlemi Eşitlik 16 ile yapılır.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - \max_j x_{ij}}{\min_j x_{ij} - \max_j x_{ij}} \quad \text{Eşitlik 16}$$

MABAC yönteminin izleyen aşamasında ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik 17 yardımıyla oluşturulur. Eşitlik 17’de gösterilen işlem karar matrisindeki tüm hücelere uygulanmalıdır.

v_{ij} :i.alternatifin j.kritere göre ağırlıklı normalize değeri

$$v_{ij} = w_j (n_{ij} + 1) \quad \text{Eşitlik 17}$$

Daha sonra kriterlere ilişkin olarak sınır yakınlık değeri belirlenir. Sınır yakınlık değerleri Eşitlik 18 vasıtasıyla bulunur.

g_j :j.kriterin sınır yakınlık değeri

$$g_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m v_{ij}} \quad \forall j \text{ için} \quad \text{Eşitlik 18}$$

İzleyen adım ağırlıklı normalize karar matrisindeki skorların sınır yakınlık alanından uzaklıklarının hesaplanmasıdır. Bu hesaplama Eşitlik 19 yardımıyla gerçekleştirilir.

q_{ij} :i.alternatifin j.kritere göre sınır yakınlık alanına uzaklığı

$$q_{ij} = v_{ij} - g_j \quad \text{Eşitlik 19}$$

MABAC yöntemine göre son aşamada alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıklarının toplamı bulunur. Bu işlem Eşitlik 20 yardımıyla yapılır.

S_i :i.alternatifin sınır yakınlık alanına uzaklığı

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad \text{Eşitlik 20}$$

Eşitlik 20'ye göre tüm kriterler bir arada değerlendirildiğinde elde edilen en büyük değer problemdeki en iyi alternatiftir.

5. BWM Yöntemi

BWM daha önce açıklanan FUCOM yöntemi gibi kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. BWM yöntemi aşağıda açıklanmıştır (Gupta, 2018, 208).

İlk aşamada karar verme problemi üstünde etkisi olan kriterler uzmanların yardımıyla saptanır.

$$j: \text{kriter}; j=1,2,3, \dots, n$$

$$w_j: j. \text{kriterin ağırlığı}$$

Ardından en önemli ve en önemsiz kriterler yine uzman görüşüne dayalı olarak belirlenir.

$$w_B: \text{en önemli kriterin ağırlığı}$$

$$w_W: \text{en önemsiz kriterin ağırlığı}$$

Daha sonra en önemli kriterin diğer tüm kriterlere göre üstünlük değerleri belirlenir.

$$a_{Bj}: \text{en önemli kriterin } j. \text{ kriterine üstünlüğü}$$

DP modelinin kurulması için gereken son veri ise karar verme problemi ile ilgili yetkin kişiler tarafından her bir kriterin en önemsiz kriterine göre üstünlüklerinin belirtilmesidir.

$$a_{jW}: j. \text{kriterin en önemsiz kriterine üstünlüğü}$$

Bu bilgiler kullanılarak DP modeli oluşturulur. Kurulan modelin çözülmesi ile kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Kurulan DP modelinin amaç fonksiyonu Eşitlik 21'deki gibidir.

$$\xi: \text{sapma}$$

$$z_{min} = \xi \quad \text{Eşitlik 21}$$

Bu değer sıfıra yakın olması karar verme problemi ile ilgili yetkin kişilerin tutarlı karşılaştırmalar yaptığı anlamına gelmektedir. Amaç fonksiyonun ardından en önemli kriterine ilişkin kısıtlar Eşitlik 22'ye göre hazırlanmalıdır.

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi, \forall j \text{ için} \quad \text{Eşitlik 22}$$

En önemsiz kriterine ilişkin kısıtlar Eşitlik 23'e uygun olarak hazırlanmalıdır.

$$|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi, \forall j \text{ için} \quad \text{Eşitlik 23}$$

Problemde yer alan kriterlerin ağırlık değerlerinin toplamı bire eşit olmalıdır. Buna ilişkin kısıt Eşitlik 24'teki gibi hazırlanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{Eşitlik 24}$$

Kriter ağırlıklarının negatif olmama koşulu Eşitlik 25'te gösterilmiştir.

$$w_j \geq 0, \forall j \text{ için}$$

Eşitlik 25

Bu modelin çözümü kriterlerin ağırlığını vermektedir.

6. Uygulama (Bulgular-Tartışma)

Bu çalışmaya yönelik “Etik Kurul Onayı”, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’ndan 14.10.2020 tarihli (Toplantı Sayısı: 32, Karar No:6) olarak alınmıştır.

İlk aşamada, vasıtalar konusunda bilgi ve tecrübeye sahip sürücü kurslarında eğitmen olarak çalışan 4 uzman ile görüşme yapılmıştır. Motor yağı seçiminde gerekli olan kriterler, bu kriterlere yönelik ölçüm birimleri ve olması gereken ideal durumlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kriter Bilgileri

Kriterin Kodu	Kriterin Adı	Ölçüm Birimi	İdeal Durumu
Kriter 1	Viskozite indeksi	-	En Büyük En İyi
Kriter 2	Viskozite 40 °C	$\frac{mm^2}{s}$	En Büyük En İyi
Kriter 3	Viskozite 100 °C	$\frac{mm^2}{s}$	En Büyük En İyi
Kriter 4	Yoğunluk g/ml	$\frac{g}{ml}$	En Büyük En İyi
Kriter 5	Parlama Noktası	°C	En Büyük En İyi
Kriter 6	Akma Noktası	°C	En Küçük En İyi
Kriter 7	CCS Soğuk Marş S. mPa.s (cP)	mPa.s (cP)	En Küçük En İyi
Kriter 8	Kül, Sülfat % wt	%wt	En Küçük En İyi

Tablo 2’de bahsedilen kriter bilgileri doğrultusunda (Volkan Genç, Ağır Vasıta Sürüş Eğitmeni ile yapılan görüşme);

Viskozite indeksi, belli bir sıcaklık altında yağın akışkanlığını ifade eder. Örneğin; viskozite indeks değeri ne kadar yüksek ise, belli bir ısı altında yağ o kadar az incelik ve bu sayede motor ısı altında yağın oluşturmuş olduğu koruyucu film tabakasını kaybetmez. Günümüz motorları yakıt verimliliğini arttırmak ve egzoz emisyonlarını düşürmek adına daha yüksek sıcaklıklarda çalışacak şekilde tasarlanmış olup viskozite değeri her zaman en yüksek olan daha iyiyi ifade etmektedir. Viskozite 40 °C değeri ise; 40 derece sıcaklık altında yağın akışkanlık performansını ifade etmekte olup; ilk çalıştığı andan itibaren, motor çalışma ısısına gelinceye kadar en çok aşınmaya maruz kaldığından burada da en büyük değer en iyiyi ifade etmektedir. Burada yağın performansı düştükçe, yağlama işlemi zorlaşmakta ve aşınma artmaktadır. Bir diğer kriter ise, Viskozite 100 °C’ dir. Bu kriter motor yağının günlük kullanım sıcaklığındaki performansını göstermekte olup, burada da en yüksek değere sahip yağ en iyi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yoğunluk kriteri, birim hacim başına düşen kütleyi ifade etmektedir.

Parlama Noktası ise diğer bir önemli kriterdir. Yağın buharlaşmaya başladığı en düşük sıcaklığı ifade etmektedir. Yanma noktası ile genelde karıştırılır fakat birbirinden çok ayrı kavramlardır. Burada buhar çıkardığı derece yani parlama noktası yeni nesil motorların yüksek ısı altında çalışmalarından dolayı önemlidir. Yeni nesil motorlar tasarlanırken bu oluşan yağ buharını egzoz emisyonu kuralları çerçevesinde dışarıya değil motor emme manifoldu vasıtası ile, yanma odasına göndermektedir. Burada parlama noktasının yüksek olmasının makul olmasının temel sebebi budur. Eğer parlama noktası düşük bir yağ kullanılırsa, buharlaşma sonrası yağ eksiltmesine neden olacaktır ve bu eksiltme yağ seviyesi kullanıcı tarafından kontrol edilmezse yağsız kalmaya yol açacak ve motorun kullanılamaz hale gelmesine sebep olacaktır.

Akma noktası kriteri, bir madeni yağın akışkanlık gösterebildiği en düşük sıcaklığı ifade etmektedir. Özellikle soğuk iklim şartlarına sahip bölgelerde ilk çalıştırma sonrası yağlamanın sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesinde önemli bir kriterdir ve diğer kriterlerden farklı olarak en düşük değer en iyiyi göstermektedir.

Tablo 3. İzmir için DP Modeli (FUCOM)

$$\begin{aligned}
 & Z_{min} = \chi \\
 & \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.10 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_4}{w_2} - 1.12 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_2}{w_8} - 1.08 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_8}{w_7} - 1.14 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_6} - 1.15 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_6}{w_5} - 1.11 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_5}{w_1} - 1.30 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_3}{w_2} - 1.2320 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_4}{w_8} - 1.2096 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_2}{w_7} - 1.2312 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_8}{w_6} - 1.3110 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_5} - 1.2765 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_6}{w_1} - 1.4430 \right| \leq \chi \\
 & w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 = 1 \\
 & w_1 \geq 0 \\
 & w_2 \geq 0 \\
 & w_3 \geq 0 \\
 & w_4 \geq 0 \\
 & w_5 \geq 0 \\
 & w_6 \geq 0 \\
 & w_7 \geq 0 \\
 & w_8 \geq 0
 \end{aligned}$$

CCS Soğuk marş simulatörü değeri ise, motor yağının CCS değerine bağlı olarak ilk çalıştırmada motorun mekanik hareketinin zorlanmasına bağlı olarak marş motorunun ve akünün yıpranmasına neden olmaktadır.

Tablodaki sekiz numaralı kriter ise Kül Sülfat değeridir. Yeni nesil çevreci motorların tasarlanması ile egzoz emisyonunun düşürülmesi hedeflenmektedir. Yeni nesil motorlarda, kullanılan partikül filtresi vb. parçaların korunması için kül sülfat değerlerinin sınırlı olması gerekmektedir. Eğer yüksek değerlere sahip bir yağ kullanırsa egzoz emisyonunu düşürmeye yarayan DPF gibi filtrelerin tıkanıp kullanılamamasına sebebiyet verecektir.

Kriterlerin belirlenmesinin ardından önem düzeylerini hesaplamak amacıyla FUCOM yöntemi ile değerlendirmeler yapılmıştır. Motor yağlarını değerlendirme kriterleri ılık iklim şartlarına sahip İzmir ile sert karasal iklime sahip Erzurum şartları düşünülerek suretiyel iki farklı senaryo oluşturularak değerlendirilmiştir. Verilen cevaplara göre İzmir için oluşturulan DP modeli Tablo 3'te gösterilmiştir.

Erzurum iklim şartları için oluşturulan FUCOM doğrusal programlama modeli Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Erzurum için DP Modeli (FUCOM)

$$\begin{aligned}
 & z_{min} = \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_6} - 1.05 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_6}{w_4} - 1.05 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_4}{w_8} - 1.15 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_8}{w_3} - 1.10 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_3}{w_2} - 1.10 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_2}{w_5} - 1.25 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_5}{w_1} - 1.30 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_4} - 1.1025 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_6}{w_8} - 1.2075 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_4}{w_3} - 1.2650 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_8}{w_2} - 1.2100 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_3}{w_5} - 1.3750 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_2}{w_1} - 1.6250 \right| \leq \chi \\
 & w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 = 1 \\
 & w_1 \geq 0 \\
 & w_2 \geq 0 \\
 & w_3 \geq 0 \\
 & w_4 \geq 0 \\
 & w_5 \geq 0 \\
 & w_6 \geq 0
 \end{aligned}$$

Çalışmada DP modelleri Lingo yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Lingo içinde hazırlanan modeller Tablo 5'teki gibidir.

Tablo 5. Kodlar (FUCOM)

İzmir	Erzurum
min=sapma;	min=sapma;
@abs(w3/w4-1.10)<=sapma;	@abs(w7/w6-1.05)<=sapma;
@abs(w4/w2-1.12)<=sapma;	@abs(w6/w4-1.05)<=sapma;
@abs(w2/w8-1.08)<=sapma;	@abs(w4/w8-1.15)<=sapma;
@abs(w8/w7-1.14)<=sapma;	@abs(w8/w3-1.10)<=sapma;
@abs(w7/w6-1.15)<=sapma;	@abs(w3/w2-1.10)<=sapma;
@abs(w6/w5-1.11)<=sapma;	@abs(w2/w5-1.25)<=sapma;
@abs(w5/w1-1.30)<=sapma;	@abs(w5/w1-1.30)<=sapma;
@abs(w3/w2-1.2320)<=sapma;	@abs(w7/w4-1.1025)<=sapma;
@abs(w4/w8-1.2096)<=sapma;	@abs(w6/w8-1.2075)<=sapma;
@abs(w2/w7-1.2312)<=sapma;	@abs(w4/w3-1.2650)<=sapma;
@abs(w8/w6-1.3110)<=sapma;	@abs(w8/w2-1.2100)<=sapma;
@abs(w7/w5-1.2765)<=sapma;	@abs(w3/w5-1.3750)<=sapma;
@abs(w6/w1-1.4430)<=sapma;	@abs(w2/w1-1.6250)<=sapma;
w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8=1;	w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8=1;

FUCOM yöntemine göre uzman görüşlerine dayanarak elde edilen kriter önem dereceleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Kriter Ağırlıkları (FUCOM)

	İzmir Şartlarına Göre	Erzurum Şartlarına Göre
χ	0.000000	0.000000
w_1	0.070708	0.067535
w_2	0.144464	0.109744
w_3	0.177979	0.120719
w_4	0.161800	0.152709
w_5	0.091920	0.087795
w_6	0.102031	0.160345
w_7	0.117336	0.168362
w_8	0.133763	0.132791

İzmir ve Erzurum şartlarında kriter ağırlıklarına baktığımızda karşımıza çıkan sonuçlar incelendiğinde; İzmir için birinci sırayı viskozite 100 değeri almakta iken, Erzurum için birinci sırayı CCS soğuk marş simulatörü değeri almaktadır. Soğuk iklim şartlarının egemen olduğu bir coğrafyada bulunan Erzurum temelinde aracın akü ve marş motoru aksamına yük bindirmeden rahat bir şekilde çalışması için bu değer çok önemlidir. İzmir yönlü baktığımızda ise ilk sırayı viskozite 100 değeri almaktadır. Bunun temel sebebi Akdeniz ikliminin özelliklerinin görüldüğü ve yazları yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılabilir bir lokasyonda bulunması olup, çalışma sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında yağın yağlama performansının kaybedilmemesi gerekmesidir. Bu iklim şartlarında motorun korunması adına viskozite 100 değeri öne çıkmaktadır.

İzmir bağlamında ikinci sırada gelen kriter ise yoğunluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerine ulaşan iklim şartlarında, motor daha çok ısınmaya meyilli olacaktır ve bu tip şartlarda yağın incilmesi durumunda motor içerisinde oluşan koruyucu yağ film tabakası kopacaktır, bu yüzden yoğunluk önemlidir. Erzurum özelinde ise

ikinci sırada akma noktası yer almaktadır. Soğuk iklim şartlarında yağın akışkanlığını kaybetmemesi veya akışkanlığının düşüp motor yağlayıcı sistemlerinin zorlanmaması önemlidir. Akışkanlığını kaybederse motor yağı hareketli parçalar arasında koruyucu film tabakası oluşturulamaz bu doğrultuda oluşan yağlama eksikliği sonucunda motor kısa sürede kullanılamaz hale gelecektir.

İzmir için üçüncü sırada yer alan kriter ise viskozite 40 değeridir. Bu değer motor çalıştığı ilk andan itibaren çalışma sıcaklığına gelene kadar optimum yağlamanın sağlanması açısından önemlidir. Erzurum için ise yoğunluk kriteri bu sırayı almaktadır. Sıcak iklim şartlarında yoğunluk motorun korunması açısından nasıl önemli ise soğuk iklim şartlarında da ters orantılı olarak aşırı yoğunlaşan bir yağ, motor yağlayıcı sistemlerini zorlayarak sağlıklı bir yağlama yapılamamasına neden olmaktadır.

Hem İzmir hem de Erzurum bağlamında ağırlığı bakımından dördüncü kriter ise Kül, Sülfat değeridir. Bu değer ister İzmir olsun ister Erzurum, araçların egzoz emisyonu düşürmeye yarayan sistemlerinin korunması adına eşit önemdedir. İklim şartlarından bağımsız bir olgu olarak ele alınmalıdır.

İzmir için beşinci kriter ise, CCS soğuk marş değeridir. Soğuk olmayan iklim şartlarında alternatifler arasında fazla bir fark doğuramayacak bir kriter olup, bu kriter düzleminde sıcak iklim şartlarında madeni yağlar bir birine benzer performans sunabilmektedir. Erzurum için ise viskozite 100 değeri bu sırayı almaktadır. Çok soğuk iklim şartlarında motor hararet yapma riski düşecektir ve motorun çalışma sıcaklığı ve üstüne ulaşması doğal olarak zorlaşacaktır.

Altıncı önemli kriter ise İzmir için akma noktasıdır. Akma noktasının bu sırada yer almasının temel nedeni sıcak iklim şartlarında akma noktası değerinin çok büyük bir anlam ifade etmemesidir. Akma noktası soğuk iklim bölgelerinde yağlamanın performansı açısından önemlidir. Erzurum açısından baktığımızda ise Viskozite 40 değerini bu sırada görmekteyiz. Bunun temel nedeni önceliğin soğuk iklim şartlarında aracın motorunun sağlıklı bir şekilde çalıştırılabilmesinde olmasıdır.

Yine gerek İzmir gerekse de Erzurum için yedinci sırada bulunan kriter ise, Parlama Noktasıdır. Parlama noktasının bu sırada olmasının sebebi; günümüz yeni nesil motorlar tasarlanırken, motor yağının parlama noktasına gelip buharlaşıp yağ tüketiminin önüne geçmek için yağ soğutucu parçalar eklenmesi ve özel karter tasarımları kullanarak yağın hızlı bir şekilde parlama noktasına ulaşmadan soğutulmasını sağlamalarıdır.

Analiz sonucuna göre Viskozite indeksi kriteri son sırada yer almıştır. Viskozite indeksi aynı olan yağlar, belli standartlar dahilinde bir çok marka tarafından üretilmekte olup çalışmamıza konu olan yağlar WSS-M2C913-D şartnamesini karşılayacak şekilde seçildiğinden bu şartname bağlamında üretilen bütün yağlar 5W-30 değerindedir ve alternatifler arası seçim yönlü bir fark bulunmamaktadır.

FUCOM yöntemine göre kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından farklı bir yöntem kullanılması durumunda kriter ağırlıklarının nasıl değişebileceğini belirlemek amacıyla bir başka kriter ağırlığı belirleme yöntemi olan BWM için uzman görüşleri toplanmış ve

bu bilgiler ışığında yeni DP modelleri kurulmuştur. İzmir şartları için uzman görüşüne dayalı olarak oluşturulan BWM DP modeli Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. İzmir için Doğrusal Programlama Modeli (BWM)

$$\begin{aligned} \left| \frac{w_4}{w_1} - 1.70 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_2}{w_1} - 1.60 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_8}{w_1} - 1.40 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_7}{w_1} - 1.10 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_6}{w_1} - 1.10 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_5}{w_1} - 1.05 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.10 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_2} - 1.30 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_8} - 1.43 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_7} - 1.50 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_6} - 1.67 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_5} - 1.75 \right| &\leq \chi \\ \left| \frac{w_3}{w_1} - 1.80 \right| &\leq \chi \\ w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 &= 1 \\ w_1 &\geq 0 \\ w_2 &\geq 0 \\ w_3 &\geq 0 \\ w_4 &\geq 0 \\ w_5 &\geq 0 \\ w_6 &\geq 0 \\ w_7 &\geq 0 \\ w_8 &\geq 0 \end{aligned}$$

Erzurum şartları için uzman görüşüne dayalı olarak oluşturulan BWM DP modeli Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Erzurum için Doğrusal Programlama Modeli (BWM)

$$\begin{aligned}
 & z_{min} = \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_1} - 1.80 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_6}{w_1} - 1.70 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_4}{w_1} - 1.50 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_8}{w_1} - 1.45 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_3}{w_1} - 1.33 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_2}{w_1} - 1.25 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_5}{w_1} - 1.10 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_6} - 1.10 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_4} - 1.20 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_8} - 1.50 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_3} - 1.51 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_2} - 1.52 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_5} - 1.60 \right| \leq \chi \\
 & \left| \frac{w_7}{w_1} - 1.80 \right| \leq \chi \\
 & w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 = 1 \\
 & w_1 \geq 0 \\
 & w_2 \geq 0 \\
 & w_3 \geq 0 \\
 & w_4 \geq 0 \\
 & w_5 \geq 0 \\
 & w_6 \geq 0 \\
 & w_7 \geq 0 \\
 & w_8 \geq 0
 \end{aligned}$$

Bu DP modellerinin çözümü için Lingo içinde yazılan kodlar Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Kodlar (BWM)

İzmir	Erzurum
min=sapma;	min=sapma;
@abs(w3-1.8*w1)<=sapma;	@abs(w7-1.8*w1)<=sapma;
@abs(w4-1.7*w1)<=sapma;	@abs(w6-1.7*w1)<=sapma;
@abs(w2-1.6*w1)<=sapma;	@abs(w4-1.5*w1)<=sapma;
@abs(w8-1.4*w1)<=sapma;	@abs(w8-1.45*w1)<=sapma;
@abs(w7-1.1*w1)<=sapma;	@abs(w3-1.33*w1)<=sapma;
@abs(w6-1.1*w1)<=sapma;	@abs(w2-1.25*w1)<=sapma;
@abs(w5-1.05*w1)<=sapma;	@abs(w5-1.1*w1)<=sapma;
@abs(w3-1.1*w4)<=sapma;	@abs(w7-1.1*w6)<=sapma;
@abs(w3-1.3*w2)<=sapma;	@abs(w7-1.2*w4)<=sapma;
@abs(w3-1.43*w8)<=sapma;	@abs(w7-1.5*w8)<=sapma;
@abs(w3-1.5*w7)<=sapma;	@abs(w7-1.51*w3)<=sapma;
@abs(w3-1.67*w6)<=sapma;	@abs(w7-1.52*w2)<=sapma;
@abs(w3-1.75*w5)<=sapma;	@abs(w7-1.6*w5)<=sapma;
@abs(w3-1.8*w1)<=sapma;	@abs(w7-1.8*w1)<=sapma;
w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8=1;	w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8=1;

BWM yöntemine göre uzman görüşlerine dayanarak elde edilen kriter önem dereceleri ile FUCOM yöntemine göre elde edilen kriter önem dereceleri karşılaştırmalı olarak Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Kriter Ağırlıkları

	İzmir (FUCOM)	İzmir (BWM)	Erzurum (FUCOM)	Erzurum (BWM)
X	0.000000	0.008121	0.000000	0.009292
w ₁	0.070708	0.090662	0.067535	0.085721
w ₂	0.144464	0.136938	0.109744	0.114928
w ₃	0.177979	0.169898	0.120719	0.115689
w ₄	0.161800	0.161836	0.152709	0.139380
w ₅	0.091920	0.101725	0.087795	0.104690
w ₆	0.102031	0.106598	0.160345	0.156726
w ₇	0.117336	0.107850	0.168362	0.165398
w ₈	0.133763	0.124489	0.132791	0.116460

Kriter ağırlıkları bulunduktan sonra motor yağı alternatiflerine ait veriler toplanmıştır. Elde edilen karar matrisi Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Karar Matrisi

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	164	160	165	163	170
Kriter 2	54.0	57.4	58.6	57.6	54.0
Kriter 3	9.6	9.5	10.1	10.6	9.8
Kriter 4	0.840	0.857	0.850	0.847	0.851
Kriter 5	207	192	225	226	230
Kriter 6	-39	-45	-51	-36	-36
Kriter 7	77	82	87	72	72
Kriter 8	88	85	85	82	82

Karar matrisi oluşturulurken Tablo 11'de kullanılan veriler, alternatifleri oluşturan motor yağ üreticilerinin resmi internet sitelerinde bulunan ilgili ürünlerine ait yayımlanmış oldukları teknik veri dökümanlarından alınmıştır (Castrol, 2020; Shell, 2020; Mobil, 2020; Motul, 2020; Total, 2020). Kriter 7 ve 8'de ise her bir alternatif için uzman görüşü alınmıştır

olup, alternatifler arasında 0-100 arasında puanlama yapılması istenmiştir. Bunun temel sebebi; bazı alternatiflerin, teknik veri dökümanlarında kriter 7 ve 8'e dair herhangi bir veri bulunmamasıdır. Karar matrisinde; Alternatif 1; Castrol MAGNATEC STOP-START 5W-30 A5, Alternatif 2; Shell Helix Ultra Professional Af 5W-30, Alternatif 3; Mobil Super 3000 X1 FORMULA FE 5W-30, Alternatif 4; Motul 8100 ECO-ENERGY 5W-30 ve Alternatif 5 ise; TOTAL QUARTZ 9000 FUTURE NFC 5W-30'u temsil etmektedir.

MAIRCA yöntemine göre alternatifleri değerlendirebilmek için öncelikle her bir kriter için teorik derecelendirme işlemleri yapılmıştır. Teorik derecelendirme işlemi sırasında FUCOM ve BWM yöntemlerinden elde edilen ağırlıklar kullanılarak karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bulunan değerler Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Teorik Derecelendirme Değerleri

	İzmir (FUCOM)	İzmir (BWM)	Erzurum (FUCOM)	Erzurum (BWM)
Kriter 1	0.014142	0.018132	0.013507	0.017144
Kriter 2	0.028893	0.027388	0.021949	0.022986
Kriter 3	0.035596	0.033980	0.024144	0.023138
Kriter 4	0.032360	0.032367	0.030542	0.027876
Kriter 5	0.018384	0.020345	0.017559	0.020938
Kriter 6	0.020406	0.021320	0.032069	0.031345
Kriter 7	0.023467	0.021570	0.033672	0.033080
Kriter 8	0.026753	0.024898	0.026558	0.023292

Daha sonra gerçek derecelendirme değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik 11 ve 12 kullanılarak elde edilen gerçek derecelendirme değerleri Tablo 13,14, 15 ve 16'da verilmiştir.

Tablo 13. İzmir için Gerçek Derecelendirme Değerleri (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.005657	0.000000	0.007071	0.004242	0.014142
Kriter 2	0.000000	0.021356	0.028893	0.022612	0.000000
Kriter 3	0.003236	0.000000	0.019416	0.035596	0.009708
Kriter 4	0.000000	0.032360	0.019035	0.013325	0.020939
Kriter 5	0.007257	0.000000	0.015965	0.016449	0.018384
Kriter 6	0.004081	0.012244	0.020406	0.000000	0.000000
Kriter 7	0.015645	0.007822	0.000000	0.023467	0.023467
Kriter 8	0.000000	0.013376	0.013376	0.026753	0.026753

Tablo 14. Erzurum için Gerçek Derecelendirme Değerleri (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.005403	0.000000	0.006753	0.004052	0.013507
Kriter 2	0.000000	0.016223	0.021949	0.017177	0.000000
Kriter 3	0.002195	0.000000	0.013169	0.024144	0.006585
Kriter 4	0.000000	0.030542	0.017966	0.012576	0.019762
Kriter 5	0.006931	0.000000	0.015249	0.015711	0.017559
Kriter 6	0.006414	0.019241	0.032069	0.000000	0.000000
Kriter 7	0.022448	0.011224	0.000000	0.033672	0.033672
Kriter 8	0.000000	0.013279	0.013279	0.026558	0.026558

Tablo 15. İzmir için Gerçek Derecelendirme Değerleri (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.007253	0.000000	0.009066	0.005440	0.018132
Kriter 2	0.000000	0.020243	0.027388	0.021434	0.000000
Kriter 3	0.003089	0.000000	0.018534	0.033980	0.009267
Kriter 4	0.000000	0.032367	0.019040	0.013328	0.020943
Kriter 5	0.008031	0.000000	0.017668	0.018203	0.020345
Kriter 6	0.004264	0.012792	0.021320	0.000000	0.000000
Kriter 7	0.014380	0.007190	0.000000	0.021570	0.021570
Kriter 8	0.000000	0.012449	0.012449	0.024898	0.024898

Tablo 16. Erzurum için Gerçek Derecelendirme Değerleri (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.006858	0.000000	0.008572	0.005143	0.017144
Kriter 2	0.000000	0.016989	0.022986	0.017989	0.000000
Kriter 3	0.002103	0.000000	0.012621	0.023138	0.006310
Kriter 4	0.000000	0.027876	0.016398	0.011478	0.018037
Kriter 5	0.008265	0.000000	0.018183	0.018734	0.020938
Kriter 6	0.006269	0.018807	0.031345	0.000000	0.000000
Kriter 7	0.022053	0.011027	0.000000	0.033080	0.033080
Kriter 8	0.000000	0.011646	0.011646	0.023292	0.023292

Tablo 17. İzmir için Boşluk Değerleri (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.008485	0.014142	0.007071	0.009899	0.000000
Kriter 2	0.028893	0.007537	0.000000	0.006281	0.028893
Kriter 3	0.032360	0.035596	0.016180	0.000000	0.025888
Kriter 4	0.032360	0.000000	0.013325	0.019035	0.011421
Kriter 5	0.011127	0.018384	0.002419	0.001935	0.000000
Kriter 6	0.016325	0.008162	0.000000	0.020406	0.020406
Kriter 7	0.007822	0.015645	0.023467	0.000000	0.000000
Kriter 8	0.026753	0.013376	0.013376	0.000000	0.000000

Gerçek derecelendirme değerlerinin bulunmasının ardından gerçek ve teorik değerler arasındaki boşluk Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 17-20).

Tablo 18. Erzurum için Boşluk Değerleri (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.008104	0.013507	0.006753	0.009455	0.000000
Kriter 2	0.021949	0.005726	0.000000	0.004771	0.021949
Kriter 3	0.021949	0.024144	0.010974	0.000000	0.017559
Kriter 4	0.030542	0.000000	0.012576	0.017966	0.010779
Kriter 5	0.010628	0.017559	0.002310	0.001848	0.000000
Kriter 6	0.025655	0.012828	0.000000	0.032069	0.032069
Kriter 7	0.011224	0.022448	0.033672	0.000000	0.000000
Kriter 8	0.026558	0.013279	0.013279	0.000000	0.000000

Tablo 19. İzmir için Boşluk Değerleri (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.010879	0.018132	0.009066	0.012693	0.000000
Kriter 2	0.027388	0.007145	0.000000	0.005954	0.027388
Kriter 3	0.030891	0.033980	0.015445	0.000000	0.024712
Kriter 4	0.032367	0.000000	0.013328	0.019040	0.011424
Kriter 5	0.012314	0.020345	0.002677	0.002142	0.000000
Kriter 6	0.017056	0.008528	0.000000	0.021320	0.021320
Kriter 7	0.007190	0.014380	0.021570	0.000000	0.000000
Kriter 8	0.024898	0.012449	0.012449	0.000000	0.000000

Tablo 20. Erzurum için Boşluk Değerleri (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.010287	0.017144	0.008572	0.012001	0.000000
Kriter 2	0.022986	0.005996	0.000000	0.004997	0.022986
Kriter 3	0.021034	0.023138	0.010517	0.000000	0.016827
Kriter 4	0.027876	0.000000	0.011478	0.016398	0.009839
Kriter 5	0.012673	0.020938	0.002755	0.002204	0.000000
Kriter 6	0.025076	0.012538	0.000000	0.031345	0.031345
Kriter 7	0.011027	0.022053	0.033080	0.000000	0.000000
Kriter 8	0.023292	0.011646	0.011646	0.000000	0.000000

MAIRCA yöntemi kapsamında son olarak her alternatif için toplam boşluk değeri Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam boşluk değerleri ve buna göre alternatif sıralamaları Tablo 21 ve 22’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 21. Toplam Boşluk Değerleri (FUCOM)

	İzmir Değer	İzmir Sıra	Erzurum Değer	Erzurum Sıra
Alternatif 1	0.164125	5	0.156609	5
Alternatif 2	0.112842	4	0.109491	4
Alternatif 3	0.075838	2	0.079566	2
Alternatif 4	0.057557	1	0.066109	1
Alternatif 5	0.086608	3	0.082356	3

Tablo 22. Toplam Boşluk Değerleri (BWM)

	İzmir Değer	İzmir Sıra	Erzurum Değer	Erzurum Sıra
Alternatif 1	0.162982	5	0.154250	5
Alternatif 2	0.114958	4	0.113453	4
Alternatif 3	0.074535	2	0.078048	2
Alternatif 4	0.061147	1	0.066945	1
Alternatif 5	0.084843	3	0.080997	3

Tüm kriterler bir arada incelendiğinde çalışma dahilinde şaşırtıcı bir sıralama ortaya çıkmıştır. WSS-M2C913-D standardında oluşan sıralama sonucunda hem İzmir hem de Erzurum için; Motul ürünü 1. Sırada, Mobil ürünü 2. Sırada, Total ürünü 3. Sırada, Shell ürünü 4. Sırada ve Castrol ürünü 5. Sırada yer almıştır.

Elimizdeki tüm veriler ışığında oluşan bu sıralama gösteriyor ki; Türkiye pazarında çeşitli rakip firmaların sunmuş olduğu ürünler genel bağlamda bütün beklentileri karşılamaktadır. Ülkemiz pazarına sunulmuş bu ürünler, sadece bir bölgede değil, bütün bölgelerdeki oluşacak farklı beklentileri karşılayacak şekilde formüle edilmiştir. Bunu bir örnek ile açıklamak gerekirse; Tablo 7’de bulunan karar matrisi verilerinden yola çıkarak bütün

alternatifler arasında, Akma noktası kriterinde en düşük değer olan -36 derece ile, Parlama noktası kriterinde en düşük değer olan 192 derece arasında yağlama işlevini yerine getirebilmektedir. Ülkemiz iklim koşulları dahilinde Erzurum özelinde -36 derece değerine ulaşılan gün sayısı çok kısıtlı olup Erzurum şartlarında bütün alternatifler günlük kullanımda işlevini yitirmeden görevini yerine getirebilmektedir. Yine konuyu İzmir özelinde ele aldığımızda ise, eğer bir aracın soğutma sisteminde sorun yok ise motor yağı normal çalışma sıcaklığı olan 90-100 derece bandında verimliliğini kaybetmeden kullanılabilir. MABAC normalizasyon işlemi sonuçları Tablo 23'te gösterilmiştir.

MAIRCA yöntemine göre çıkan bu sonuçların ardından aynı karar matrisine MABAC yöntemi uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. MABAC yönteminin de ilk adımı karar matrisinin elde edilmesidir. Bu karar matrisi Tablo 11'de gösterilmiştir. MABAC yönteminde izleyen aşamada karar matrisindeki değerler Eşitlik 15 ve 16 yardımıyla normalize edilmiştir. MABAC normalizasyon işlemi sonuçları Tablo 23'te gösterilmiştir.

MABAC yönteminin izleyen aşamasında ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik 17 yardımıyla oluşturulmuştur. Bu aşamada FUCOM ve BWM yöntemlerinden elde edilen ağırlıklar modele entegre edilmiştir. İzmir ve Erzurum için FUCOM ve BWM yöntemlerine göre elde edilen ağırlıklı normalize değerler Tablo 24, 25, 26 ve 27'de verilmiştir.

Tablo 23. MABAC Normalizasyon İşlemi Sonuçları

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.400000	0.000000	0.500000	0.300000	1.000000
Kriter 2	0.000000	0.739130	1.000000	0.782609	0.000000
Kriter 3	0.090909	0.000000	0.545455	1.000000	0.272727
Kriter 4	0.000000	1.000000	0.588235	0.411765	0.647059
Kriter 5	0.394737	0.000000	0.868421	0.894737	1.000000
Kriter 6	0.200000	0.600000	1.000000	0.000000	0.000000
Kriter 7	0.666667	0.333333	0.000000	1.000000	1.000000
Kriter 8	0.000000	0.500000	0.500000	1.000000	1.000000

Tablo 24. İzmir için Ağırlıklı Normalize Değerler (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.098991	0.070708	0.106061	0.091920	0.141415
Kriter 2	0.144464	0.251241	0.288928	0.257522	0.144464
Kriter 3	0.194159	0.177979	0.275059	0.355959	0.226519
Kriter 4	0.161800	0.323599	0.256976	0.228423	0.266493
Kriter 5	0.128204	0.091920	0.171745	0.174164	0.183840
Kriter 6	0.122437	0.163250	0.204062	0.102031	0.102031
Kriter 7	0.195560	0.156448	0.117336	0.234672	0.234672
Kriter 8	0.133763	0.200644	0.200644	0.267526	0.267526

Tablo 25. Erzurum için Ağırlıklı Normalize Değerler (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.094549	0.067535	0.101302	0.087795	0.135070
Kriter 2	0.109744	0.190860	0.219489	0.195631	0.109744
Kriter 3	0.131693	0.120719	0.186565	0.241438	0.153642
Kriter 4	0.152709	0.305418	0.242538	0.215589	0.251521
Kriter 5	0.122452	0.087795	0.164039	0.166349	0.175591
Kriter 6	0.192414	0.256552	0.320689	0.160345	0.160345
Kriter 7	0.280603	0.224483	0.168362	0.336724	0.336724
Kriter 8	0.132791	0.199186	0.199186	0.265581	0.265581

Tablo 26. İzmir için Ağırlıklı Normalize Değerler (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.126927	0.090662	0.135993	0.117861	0.181324
Kriter 2	0.136938	0.238153	0.273876	0.244107	0.136938
Kriter 3	0.185343	0.169898	0.262570	0.339796	0.216234
Kriter 4	0.161836	0.323672	0.257034	0.228474	0.266553
Kriter 5	0.141880	0.101725	0.190065	0.192742	0.203450
Kriter 6	0.127918	0.170557	0.213196	0.106598	0.106598
Kriter 7	0.179750	0.143800	0.107850	0.215700	0.215700
Kriter 8	0.124489	0.186734	0.186734	0.248978	0.248978

Tablo 27. Erzurum için Ağırlıklı Normalize Değerler (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	0.120009	0.085721	0.128582	0.111437	0.171442
Kriter 2	0.114928	0.199875	0.229856	0.204872	0.114928
Kriter 3	0.126206	0.115689	0.178792	0.231378	0.147241
Kriter 4	0.139380	0.278760	0.221368	0.196772	0.229567
Kriter 5	0.146015	0.104690	0.195605	0.198360	0.209380
Kriter 6	0.188071	0.250762	0.313452	0.156726	0.156726
Kriter 7	0.275663	0.220531	0.165398	0.330796	0.330796
Kriter 8	0.116460	0.174690	0.174690	0.232920	0.232920

Daha sonra kriterlere ilişkin olarak sınır yakınlık değerleri Eşitlik 18 vasıtasıyla bulunmuştur. Sınır yakınlık değerleri Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28. Sınır Yakınlık Değerleri

	İzmir (FUCOM)	İzmir (BWM)	Erzurum (FUCOM)	Erzurum (BWM)
Kriter 1	0.099290	0.127310	0.094835	0.120372
Kriter 2	0.208086	0.197246	0.158076	0.165542
Kriter 3	0.238173	0.227358	0.161546	0.154815
Kriter 4	0.241357	0.241412	0.227797	0.207914
Kriter 5	0.145318	0.160819	0.138797	0.165506
Kriter 6	0.133536	0.139513	0.209856	0.205120
Kriter 7	0.181635	0.166951	0.260623	0.256035
Kriter 8	0.207579	0.193188	0.206071	0.180728

İzleyen adımda sınır yakınlık alanından uzaklıklar Eşitlik 19 yardımıyla hesaplanmıştır. Sınır yakınlık alanından uzaklıklar Tablo 29, 30, 31 ve 32’de sunulmuştur.

Tablo 29. İzmir için Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklar (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	-0.000299	-0.028582	0.006772	-0.007370	0.042125
Kriter 2	-0.063622	0.043155	0.080842	0.049437	-0.063622
Kriter 3	-0.044013	-0.060193	0.036886	0.117786	-0.011653
Kriter 4	-0.079558	0.082242	0.015618	-0.012934	0.025136
Kriter 5	-0.017114	-0.053398	0.026427	0.028846	0.038522
Kriter 6	-0.011099	0.029714	0.070526	-0.031505	-0.031505
Kriter 7	0.013924	-0.025187	-0.064299	0.053036	0.053036
Kriter 8	-0.073816	-0.006935	-0.006935	0.059946	0.059946

Tablo 30. Erzurum için Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklar (FUCOM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	-0.000286	-0.027300	0.006468	-0.007039	0.040235
Kriter 2	-0.048332	0.032784	0.061413	0.037555	-0.048332
Kriter 3	-0.029853	-0.040827	0.025019	0.079891	-0.007904
Kriter 4	-0.075088	0.077621	0.014741	-0.012208	0.023724
Kriter 5	-0.016346	-0.051002	0.025242	0.027552	0.036794
Kriter 6	-0.017442	0.046696	0.110834	-0.049511	-0.049511
Kriter 7	0.019980	-0.036141	-0.092261	0.076100	0.076100
Kriter 8	-0.073280	-0.006885	-0.006885	0.059511	0.059511

Tablo 31. İzmir için Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklar (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	-0.000384	-0.036648	0.008683	-0.009450	0.054014
Kriter 2	-0.060308	0.040907	0.076630	0.046861	-0.060308
Kriter 3	-0.042015	-0.057460	0.035212	0.112438	-0.011124
Kriter 4	-0.079576	0.082260	0.015622	-0.012937	0.025142
Kriter 5	-0.018939	-0.059094	0.029246	0.031923	0.042631
Kriter 6	-0.011596	0.031044	0.073683	-0.032915	-0.032915
Kriter 7	0.012799	-0.023151	-0.059101	0.048749	0.048749
Kriter 8	-0.068699	-0.006454	-0.006454	0.055790	0.055790

Tablo 32. Erzurum için Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklar (BWM)

	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Kriter 1	-0.000363	-0.034651	0.008209	-0.008935	0.051070
Kriter 2	-0.050614	0.034332	0.064314	0.039329	-0.050614
Kriter 3	-0.028609	-0.039126	0.023977	0.076563	-0.007575
Kriter 4	-0.068534	0.070846	0.013454	-0.011142	0.021653
Kriter 5	-0.019491	-0.060816	0.030099	0.032854	0.043874
Kriter 6	-0.017048	0.045642	0.108332	-0.048394	-0.048394
Kriter 7	0.019628	-0.035505	-0.090637	0.074761	0.074761
Kriter 8	-0.064268	-0.006038	-0.006038	0.052192	0.052192

MABAC yöntemine göre son aşamada alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıklarının toplamı Eşitlik 20 yardımıyla bulunmuştur. İzmir ve Erzurum şartları için bulunan değerler ve buna göre sıralama sonuçları Tablo 33 ve 34'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 33. MABAC Yöntemine göre Sonuçlar (FUCOM)

	İzmir Değer	İzmir Sıra	Erzurum Değer	Erzurum Sıra
Alternatif 1	-0.275597	5	-0.240646	5
Alternatif 2	-0.019185	4	-0.005054	4
Alternatif 3	0.165837	2	0.144570	2
Alternatif 4	0.257242	1	0.211852	1
Alternatif 5	0.111986	3	0.130617	3

Tablo 34. MABAC Yöntemine göre Sonuçlar (BWM)

	İzmir Değer	İzmir Sıra	Erzurum Değer	Erzurum Sıra
Alternatif 1	-0.268717	5	-0.229300	5
Alternatif 2	-0.028597	4	-0.025316	4
Alternatif 3	0.173520	2	0.151710	2
Alternatif 4	0.240459	1	0.207228	1
Alternatif 5	0.121978	3	0.136967	3

Tablo 33 ve 34'te bulunan MABAC yöntemine göre oluşan sonuçlar incelendiğinde, Tablo 21 ve 22'deki sonuçları destekler niteliktedir. Oluşan sıralama sonucunda hem İzmir hem de Erzurum için; Motul ürünü 1. Sırada, Mobil ürünü 2. Sırada, Total ürünü 3. Sırada, Shell ürünü 4. Sırada ve Castrol ürünü 5. Sırada yer almıştır. Yine burada da oluşan sıralamanın daha önce de Tablo 13 altında örneklerle açıklandığı gibi, İzmir ve Erzurum için aynı olmasının temel nedeni ülkemiz coğrafyasında her türlü iklim şartlarında pazara sunulan motor yağlarının tüm alternatifler dahilinde verimli bir şekilde görevini yerine getirebilmesidir.

7. Sonuç ve Değerlendirme

Motor yağları araçların kullanım ömrü boyunca sağlıklı bir şekilde çalışması ve çalışan parçaların maruz kaldığı yüksek ısı ve sürtünme sonucunda ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçlardan korunması için hayati öneme sahip bir unsurdur. Bu çalışmada; Türkiye pazarında satışa sunulan, WSS-M2C913-D standardını karşılayan önemli markaların madeni yağ ürünleri bir birinden farklı iklim özellikleri gösteren İzmir ve Erzurum özelinde karşılaştırılmış ve alternatifler arasında oluşan sıralama hem İzmir hem de Erzurum bağlamında ele alınmış olup çıkan sonuçlar incelenmiştir. Tüm bu veriler dahilinde ortaya çıkan sonuçlarda, İzmir ve Erzurum yönlü alternatif sıralaması aynı çıkmıştır. Bu sıralama bize şunu göstermektedir; Türkiyenin içinde bulunduğu iklim kuşağında WSS-M2C913-D standardını karşılamakta olup pazarda aktif olarak satışı bulunan her bir alternatif, Türkiye coğrafyasında her türlü iklim şartları ve sıcaklık şartlarında sorunsuz bir şekilde çalışmalarını sürdürebilmektedir (Volkan Genç, Ağır Vasıta Sürüş Eğitmeni ile yapılan görüşme).

Çalışmanın temel kısıtı Türkiye coğrafyası ile sınırlı tutulmasıdır. Şayet bu çalışma farklı coğrafyalar için yapılmış olsaydı iklim şartlarına göre sonuçlar değişebilirdi. Hali hazırda motor yağı üreten firmalar farklı iklim şartlarına özel farklı yağlar üretmektedir. Örneğin, Sibiry coğrafyasında bulunan Rusya ve Kazakistan gibi ülkelerde kullanılacak yağlar soğuk iklim şartları önceliklerine göre formüle edilmiş iken, bazı Arap Devletlerini ve Somali, Cibuti gibi ülkeleri içine alan Sahra altı coğrafyasında ise yüksek sıcaklık altında kullanılacak motor yağları sıcak iklim koşulları önceliklerine göre üreticiler tarafından farklılaştırılmaktadır ve bu tip ülkelerde farklı ürünler piyasaya sunulmaktadır. Bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak bu motor yağlarının farklı viskozite değerlerinde farklı standartları karşılaması beklenmektedir. Araştırmanın sınırlılıklarını oluşturan temel unsur Türkiye sınırları içerisinde gerçekleşmesidir. Bu çalışma eğer farklı ülke coğrafyalarını kapsayabilseydi daha farklı sonuçlar karşımıza çıkabilirdi. Gelecek çalışmalar açısından baktığımızda bu çalışma kısıtlanmış coğrafya alanında yapılmış olup, dünyanın herhangi bir noktasında veya farklı bölgelerde yapılacak olan çalışmalar yönünden ufuk açıcı olabileceği gibi, daha geniş ölçekli yapılacak olan çalışmalara başlangıç noktası oluşturabilecek niteliktedir. Günümüz araçları ileri teknoloji ürünü olup yağ seçimi noktasında iklime göre en doğru yağın seçilmesi hem yakıt tasarrufu hem de motor ömrünü doğrudan etkileyen unsur olup, yine bu çalışmadan yola çıkılıp motor ömrü motor yağı ilişkisini veya yakıt tüketimi motor yağı ilişkisini ortaya koyan bir çalışma yapılabilir. Dahası bu çalışma bu var sayılan ilişkisel bağları içine alarak geliştirilebilir.

Bu çalışmada hususi otomobil kullanıcıları için motor yağı alternatiflerinin farklı iklim şartlarına göre seçim problemi ele alınmıştır. Motor yağı değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları FUCOM ve BWM yöntemleri ile bulunmuş, motor yağı alternatifleri de MABAC ve MAIRCA yöntemleri ile sıralanmış ve karşılaştırılmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda;

- Aynı motor yağı alternatiflerinin farklı ÇKKV yöntemleri ile analizleri yapılabilir,
- ÇKKV yöntemleri kullanılarak, otobüs, kamyon, tır, traktör gibi farklı ulaşım araçlarının kullandığı motor yağı alternatifleri değerlendirilebilir,
- ÇKKV yöntemleri kullanılarak, otomotiv sektöründeki ulaşım araçlarının çalışmasını hareket etmesini sağlayan farklı mekanizma ve unsurlar değerlendirilebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- V.G., A.Ö., M.K.K.; Veri Toplama- V.G.; Veri Analizi/Yorumlama- A.Ö., V.G., M.K.K. ; Yazı Taslağı- M.K.K., V.G., A.Ö.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- A.Ö., V.G., M.K.K.; Son Onay ve Sorumluluk- V.G., A.Ö., M.K.K.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- V.G., A.Ö., M.K.K.; Data Acquisition- V.G.; Data Analysis/ Interpretation- A.Ö., V.G., M.K.K.; Drafting Manuscript- M.K.K., V.G., A.Ö.; Critical Revision of Manuscript- A.Ö., V.G., M.K.K.; Final Approval and Accountability- V.G., A.Ö., M.K.K.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

Kaynakça

- Arsić, S. N., Pamučar, D., Suknović, M. ve Janošević, M. (2019). Menu Evaluation Based on Rough MAIRCA and BW Methods. *Serbian Journal of Management*, 14(1), 27-48.
- Avcı, A. (2009). Bir Kargo Firmasına Ait 6 Adet Diesel Aracın Optimum Yağ Değişim Süreçlerinin Ekonomik Etüdü. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ayçin, E. (2020). Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA Yöntemlerinin Kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Bakır, M. (2019). SWARA ve MABAC Yöntemleri ile Havayolu İşletmelerinde Ewom'a Dayalı Memnuniyet Düzeyinin Analizi, *İzmir İktisat Dergisi*, 34 (1), 51-66. Doi: 10.24988/ije.2019341787.
- Biswas, T. K. ve Das, M. C. (2018). Selection of Commercially Available Electric Vehicle using Fuzzy AHP-MABAC. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 100(3), 531–537, <https://doi.org/10.1007/s40032-018-0481-3>.
- Bozanic, D., Tešić, D. ve Kočić, J. (2019). Multi-Criteria FUCOM–Fuzzy MABAC Model for The Selection of Location for Construction of Single-Span Bailey Bridge. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 132-146. DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame1901132b>.
- Bozanic, D., Tešić, D., ve Milić, A. (2020). Multicriteria Decision Making Model With Z-Numbers Based on FUCOM and MABAC Model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 19-36. DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame2003019d>.

- Cao, Q., Esangbedo, M. O., Bai, S., & Esangbedo, C.O. (2019). Grey SWARA-FUCOM Weighting Method for Contractor Selection MCDM Problem: A Case Study of Floating Solar Panel Energy System Installation. *Energies*, 12(13), 2481. <https://doi.org/10.3390/en12132481>.
- Castrol, (2020). Castrol MAGNATEC STOP-START 5W-30 A5. Erişim tarihi: 20.09.2020, [https://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/8DF7EB67C6A8566980257F6C0059DA45/\\$File/BPXE-A7YAPZ.pdf](https://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/8DF7EB67C6A8566980257F6C0059DA45/$File/BPXE-A7YAPZ.pdf).
- Ćirović, G., Pamučar, D. ve Popović-Miletić, N. (2020). Multi-Criteria Model Based on Linguistic Neutrosophic Numbers: The Selection of Unmanned Aircraft. *Proceedings of International Conference on Contemporary Theory And Practice in Construction XIV*, 277-287, I Doi 10.7251/STP2014277C.
- Ecer, F. (2021). FUCOM Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi Ile Rüzgâr Çiftliği Yer Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 24-34.
- Genç, V. (Görüşme tarihi: 20.12.2021). Ağır Vasıta Sürüş Eğitmeni, MEB, Motorlu taşıt usta öğreticiliği sertifikası, Sertifika tarihi: 23.08.2019, Pub. L. No. 198661220190062700000.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. ve Milićević, M., (2016). The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots. *Sustainability*, 8(4), 372, 1-30, doi:10.3390/su8040372.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bozanic, D. ve Ljubojevic, S. (2017). Application of The Gis-Danp-Mabac Multi-Criteria Model Forselecting The Location of Wind Farms: A Case Study of Vojvodina, Serbia. *Renewable Energy*. 103. 501-521. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.057>.
- Gupta, Himanshu. (2018). Assessing organizations performance on the basis of GHRM practices using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Journal of Environmental Management*, 226, 201–216. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.005.
- Halis, S. (2016). Araç Kullanım Sürelerinin Motor Yağ Viskozitesine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- İpek, R. İ. ve Erdoğan, M. (2006). Motor Yağı Takviyelerinin, Aşınma Mekanizmalarına Etkisinin Deneysel Araştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12, 67–78.
- Ji, P., Zhang, H. Y., ve Wang, J. Q. (2018). Selecting an outsourcing provider based on the combined MABAC–ELECTRE method using single-valued neutrosophic linguistic sets. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 429-441. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.012>.
- Kıran, M. B. (2019). Ülke İş Sağlığı ve Güvenliği Performanslarını Değerlendirmek Amacıyla MAIRCA Yönteminin Dört Farklı Ağırlıklandırma Yaklaşımı ile Uygulanması. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mamak Ekinci, E.B. ve Can, G.F. (2018). Algılanan İş Yükü ve Çalışma Duruşları Dikkate Alınarak Operatörlerin Ergonomik Risk Düzeylerinin Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi. *Ergonomi*, 1(2), 77-91. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.478732>.
- Matić, B., Jovanović, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Sremac, S. ve Marinković, M. (2019). A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in A Construction Company. *Symmetry*, 11(3), 353. <https://doi.org/10.3390/sym11030353>.
- Mobil, (2020). Mobil Super 3000 X1 FORMULA FE 5W-30. Erişim tarihi: 20.09.2020, <https://www.mobil.com/tr-tr/passenger-vehicle-lube/pds/gl-xx-mobil-super-3000-x1-formula-fe-5w30>.
- Motul, (2020). Motul 8100 ECO-ENERGY 5W-30. Erişim tarihi: 20.09.2020, https://d23zpyj32c5wn3.cloudfront.net/images/product_descriptions/technical_data_sheets/42560/8100_ECO-ENERGY_5W-30_tr_TR_motul_20190827.pdf?1566916094.
- Nabeeh, N.A., Abdel-Monem, A., ve Abdelmouty, A. (2020). A Novel Methodology for Assessment of Hospital Service according to BWM, MABAC, PROMETHEE II. *Neutrosophic Sets and Systems*, 31(1), 63-79.
- Nunic, Z. (2018). Evaluation and Selection of The Pvc Carpentry Manufacturer Using The FUCOM-MABAC Model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*. *Theory Appl.* 1(1), 13–28. DOI: <https://doi.org/10.31181/oresta190101s>.

- Özçelik, A.E. (2004). Konya İlinde Otomotiv Taşıtlarında Motor Yağ-Yakıt Seçimi ve Bakım Alışkanlıklarının Belirlenmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Pamucar, D. S., Tarle, S. P., ve Parezanovic, T. (2018c). New Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Dematel Mairca Model: Sustainable Selection of A Location for The Development of Multimodal Logistics Centre. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 31 (1), 1641–1665. Doi:10.1080/1331677X.2018.1506706.
- Pamućar, D. ve Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42 (6), 3016-3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>.
- Pamucar, D., Lukovac, V., Božanić, D. ve Komazec, N. (2018b). Multi-criteria FUCOM-MAIRCA Model for The Evaluation of Level Crossings: Case Study in The Republic of Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129. DOI: <https://doi.org/10.31181/oresta190101s>.
- Pamucar, D., Stevic, Ź. ve Sremac, S. (2018a). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry*, 10 (393), 1-22. doi:10.3390/sym10090393.
- Shell, (2020). Shell Helix Ultra Professional AF 5W-30. Erişim tarihi: 20.09.2020, http://tdc.ge/wp-content/uploads/2014/03/HELIX_ULTRA_PROFESSIONAL_AF_5W-30.pdf.
- Sofuoğlu, M. A. (2020). Fuzzy Applications of FUCOM Method in Manufacturing Environment. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 189-195. <https://doi.org/10.2339/politeknik.586036>.
- Total, (2020). Total Quartz 9000 Future NFC 5W-30. Erişim tarihi: 20.09.2020, <http://www.lubs-products-database.total.com/gallery/ORIGINALS/visuels/31500/31539>.
- Zolfani, S. H., Ecer, F., Pamučar, D. ve Raslanas, S. (2020). Neighborhood selection for a newcomer via a novel BWM-based revised MAIRCA integrated model: a case from the Coquimbo-La Serena conurbation, Chile. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(2), 102-118, <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.11543>.