

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme: Otomotiv Ana Sanayi Örneği¹

Gözde Koca²
Sema Behdioğlu³

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Çok Kriterli Karar Verme: Otomotiv Ana Sanayi Örneği

Öz

Çalışmada Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi'nin (STZY) çevresel boyutu olan Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY), Türk Otomotiv Ana Sanayi bağlamında, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotları kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, YTZY ait kriterler belirlenmiştir. İkinci aşamada, kriterler oran ağırlıkları tekniği ile ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırma sonucunda, yeşil geri dönüşüm ve yeşil tasarıma ait alt kriterlerin ön plana çıktığı belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, Ford OTOSAN'ın fabrikaları mutlak sayıları, bulanık sayıları ve sezgisel bulanık sayıları içeren 8 ayrı metot kullanılarak, YTZY kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Dördüncü aşamada ise karar verici olarak yer alan 11 firmanın önem ağırlıkları değiştirilerek 10 farklı senaryo oluşturulmuştur. Böylelikle Ford OTOSAN'ın fabrikalarının sıralamalarındaki değişimler duyarlılık analizleri ile izlenmiştir. Sonuçta, bu çalışma için Entropi ile Ağırlıklandırılmış Sezgisel Bulanık TOPSIS Metotları daha etkin olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Çok Kriterli Karar Verme, Entropi, Sezgisel Bulanık TOPSIS

Multi-Criteria Decision Making in Green Supply Chain Management: An Example of Automotive Main Industry Abstract

In this study, the Green Supply Chain, which is the environmental dimension of the Sustainable Supply Chain Management was examined within the framework of the Turkish Automotive Main Industry by using Multi Criteria Decision Making methods. In the first phase, the criteria were determined. In the second phase, criteria weighted. The sub-criteria of the green recycling and the green design were determined to be the foreground. In the third phase, the factories of Ford OTOSAN were evaluated by using 8 different methods which include absolute numbers, fuzzy numbers and intuitive fuzzy numbers. In the fourth phase, 10 different scenarios were developed. In this way, the changes in the grading of the factories of Ford OTOSAN were traced with sensitivity analysis. In conclusion, Intuitionistic Fuzzy TOPSIS methods using entropy weight were seen as more effective ones.

Keywords: Green Supply Chain Management, Multi Criteria Decision Making, Entropy, Intuitionistic Fuzzy TOPSIS

1. Giriş

Günümüzde çevreye olan ilgi giderek önem kazanmaktadır. Özellikle Sanayi Devrimi'nden sonra dünya her geçen gün daha da kirlenmektedir. İnsanlar yalnızca günümüz kaynaklarını kirlenmekle kalmamakta, aynı zamanda gelecek nesillerin hayati kaynaklarına erişimini de etkilemektedir. Geçmişte çevreyi korumaya yönelik talep ve farkındalık bir ana akım hareketi değilse de günümüzde önemli bir faaliyet haline gelmiştir. Özellikle de üretim süreçleri çevre üzerinde en çok zarar veren uygulamalar olarak görülmektedir. Geleneksel tedarik zinciri yönetimi, çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle mevcut paydaş ihtiyaçlarına uygun bir yanıt verememekte ve sürdürülebilirliği sağlayamamaktadır.

¹ Bu çalışma Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Sema Behdioğlu danışmanlığında Gözde Koca tarafından hazırlanan "Bütünleşik Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Metotları: Türk Otomotiv Ana Sanayi Örneği" adlı doktora tezinden türetilmiştir.

² Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, gozde.koca@bilecik.edu.tr, Yazar ORCID bilgisi: <https://orcid.org/0000-0001-6847-6812>

³ Prof. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, sema.behdioglu@dpu.edu.tr, Yazar ORCID bilgisi: <https://orcid.org/0000-0002-4759-2088>

Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (STZY), sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları çerçevesinde tedarik zinciri boyunca malzeme ve bilgi akışının yönetimini sağlamaktadır. STZY'nin araştırma alanında artan bir ilgi olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle de STZY'nin çevresel boyutu olan Yeşil Tedarik Zincirine (YTZY) odaklanacak ve otomotiv gibi büyük bir endüstrinin etkisini değerlendirecek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. YTZY, çevresel ihtiyaçlara ve kurallara bağlı kalarak sürecin ve ürünlerin performansını arttıran bir yaklaşımdır.

Şirketler YTZY'yi stratejik bir analiz aracı olarak görmeye başlamışlardır. Bu artan ilgi, tüm üreticilerin hava, su ve toprak kirliliği içeren çevre için hassas olması gerektiğini kanıtlamaktadır. Bunlar, günümüzde birçok uluslararası anlaşmaya ve üstesinden gelmesi gereken iş birliğine ihtiyaç duyan en zorlu konulardan biri haline gelen küresel ısınmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda hem karlılık hem de çevresel duyarlılık faktörleri dikkate alınmaktadır. Bu duyarlılık faktörlerini en fazla dikkate alan endüstrilerden olan otomotiv endüstrisi, dünyanın birçok ülkesinde büyük ve büyüyen bir endüstridir. Özellikle ucuz işgücü piyasasına sahip, gelişmekte olan ülkelerde otomobil endüstrisine karşı büyük ilgi vardır. Türkiye'de bu ülkeler arasında bulunmaktadır. Otomotiv endüstrisi, Türkiye'de istihdama önemli katkılar sağlayan en büyük ve en yenilikçi sektörlerden biridir. Bu durum, Türk otomobil endüstrisinin neden ülke ekonomisi için çok önemli olduğunu anlatmaktadır. Otomotiv endüstrisinde, çevre dostu uygulamaların başında, daha az yakıt tüketimi veya kurşunsuz benzin kullanılması ve çevre üzerinde daha az olumsuz etki yaratması gibi girişimler gelmektedir. Bu gibi girişimlerde YTZY'yi kaçınılmaz kılmaktadır. Dolayısıyla bu araştırmanın amacını da gelişmekte olan ülkelerde ekonomi ve istihdam faktörlerine büyük etkisi olan otomotiv endüstrisinde YTZY uygulamalarını Türk Otomotiv Ana Sanayi bağlamında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotlarını ele alarak incelemek oluşturmaktadır. Bu açıdan bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ilgili literatürde yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiş ve kullanılacak olan mutlak sayıları, bulanık sayıları ve sezgisel bulanık sayıları içeren 8 ayrı ÇKKV metotlarından bahsedilmiştir. Daha sonraki bölümlerde analizler detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirme sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Son yıllarda, çevre ve iklim değişikliklerinden dolayı endişeler giderek arttığından YTZY araştırmaları daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır. YTZY, organizasyonların ekolojik etkinliğini arttırırken, çevresel risklerini ve etkilerini azaltarak bir organizasyonun kar ve pazar payı hedeflerine ulaşmak için önemli bir felsefe olarak meydana gelmiştir. Tüketici baskılarının artması, mevzuatların katılaşması ve kaynakların kısıtlılığı gibi farklı nedenlerle üreticilerin, çevresel etkileri minimuma indirmek, rekabet üstünlüğünü elde etmek ve sürdürmek için çevre ile ilgili projelerini stratejik planlama programlarına etkin bir şekilde bütünleştirmeleri zorunlu kılınmıştır. Ayrıca, YTZY'e adapte olunmasının, organizasyonların yeşil girişimlere olan eğilimlerini arttırdığı ve baskıların etkilerini azalttığı görülmüştür. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, benimsenen yeşil girişimlerin çoğu, kirliliği ya da atığı azaltmak için proaktif bir yaklaşım izlemek yerine, "boru sonu" çözümleri (kuruluşun yarattığı olumsuz çevresel etkileri ortadan kaldırmaya ya da azaltmaya çalışan geleneksel komuta ve kontrol) olarak kalmaya devam etmektedir. Geleneksel "boru sonu" yaklaşımı yalnızca doğayı kirleten maddeleri bir formdan diğerine dönüştürmektedir. Bu söz konusu maddeleri ortadan kaldırmamaktadır. YTZY kavramı ise "boru sonu" yaklaşımının aksine, hammaddelerin satın alınımından, nihai

kullanıma ve bertaraf edilmesine kadar organizasyonun ürün ve hizmetlerine yönelik tüm çevresel sorumluluğunu üstlenmektedir.

Literatürdeki YTYZ'e kapsamında araştırmaları iki grupta inceleyebiliriz. İlk grupta otomotiv sektörünü YTYZ açısından inceleyen araştırmalar yer almaktadır. Bu araştırmaları inceleyecek olursak, Diabat vd. (2013), çalışmalarında, bir otomobil fabrikasındaki yeşil tedarik zinciri uygulamaları ile performans sonuçları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuçta çevre tasarımı, müşterilerle işbirliği ve ters lojistik en çok önem verilen üç ana faktör olarak belirlenmiştir. Drohomerecki vd. (2014), Brezilya otomotiv sektöründe YTYZ uygulamalarındaki motive edici faktörleri ve zorlukları belirlemişlerdir. Bunun için üç vaka incelemesi ve 13 röportaj yapılmıştır. Sonuçta bu çalışmada YTYZ uygulamalarının benimsenmesi için otomotiv sektöründeki şirketlerin bilinçlendirilmesi ve yönlendirmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Luthra vd. (2011) , Hint otomobil endüstrisinde YTYZ'yi gerçekteştirirken karşılaşılan engelleri tanımlamayı amaçlamışlardır. Sonrasında bu engeller arasındaki ilişkiyi incelemiş ve sınıflandırmışlardır. Vanalle ve Santos (2014), Brezilya otomotiv sektöründe tedarik zincirleri üyelerine tedarikçi seçme ve geliştirme sürecinde düşünölen çevresel, finansal ve operasyonel performansla ilgili faktörlerin yanı sıra sürdürülebilirliğin en değerli uygulamalarını tanımlamışlardır. 20 şirketle görüşmüşlerdir. şirketler tarafından en çok değer verilen sürdürülebilirlik uygulamaların başında, tehlikeli maddelerin kullanımını ortadan kaldırmak veya azaltmak konusunun geldiğini ortaya koymuşlardır. Operasyonel performans, zamanında teslim edilen ürünlerin miktarı, kalite yönetimine bağlılık, teslimat süresi ve sipariş uyumluluk oranı ise diğer sürdürülebilirlik konuları arasında yer almıştır. Sanghavi vd. (2015), çalışmalarında son derece rekabetçi olan otomotiv endüstrisinde YTYZ uygulamalarını sunmuşlardır. Ağırlıklı olarak, otomotiv şirketlerinin yeşil tasarım, yeşil girişim uygulamaları ve karşılaştıkları engeller üzerinde durmuşlardır. Tedarik zincirlerinin yeşermesi, pazarlama performansı ile çevre sorunları dengelendiğinde gerçekteşeceğini ifade etmişlerdir. Demirci (2014) ise Türk Otomotiv Sanayi'nde bulunan 5 ana sanayi üzerinde ampirik bir çalışma gerçekteşirmiştir. Sorulan sorular neticesinde YTYZ'nin tam olarak uygulanamadığını ve Türk üreticiler için yeşil tasarım ve yeşil satın alma kavramlarının oldukça yeni kavramlar olduğunu ifade etmiştir. Jain ve Sharma (2012), çalışmalarında YTYZ uygulamaları literatürünü gözden geçirmişler ve Hindistan'da literatürde yer alan bu uygulamaların ne kadarının gerçekteştiğini incelemişlerdir. Verileri, 10 firmanın anketinden derlemişlerdir. Anket sonuçlarına göre, bazı YTYZ uygulamalarının daha başlangıç aşamasında olduğu görölmüştür.

İkinci grupta ise, YTYZ'yi ÇKKV yöntemleri ile inceleyen çalışmalar yer almaktadır. Sarkis (2003), YTYZ'nin bileşenleri ve unsurları üzerine odaklanan Analitik Aę Sürecini (ANP) kullanarak stratejik bir karar çerçevesi sunmuştur. Chen vd. (2012), YTYZ'nin karmaşık strateji seçimi problemlerini çözmek ve iş fonksiyonlarının en önemli faaliyetlerini değerlendirmek için ANP'yi kullanmıştır. Diabat ve Govindan (2011), Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (ISM) çerçevesi kullanarak YTYZ'nin uygulanmasını etkileyen bir itici model geliştirmişlerdir. Shang vd. (2010), bir faktör analizi temelinde, kritik YTYZ yeterlilik boyutlarını ve firma performansını araştırmış ve yeşil imalat ve ambalajlama, yeşil pazarlama, çevreci katılım, yeşil tedarikçiler, yeşil stok ve yeşil eko tasarım olmak üzere altı boyut tespit etmişlerdir. Öte yandan, Mathiyazhagan vd. (2013), YTYZ konseptinin uygulanmasına ilişkin engelleri analiz etmiş ve yirmi altı engel belirlemiştir. YTYZ'nin en önemli konularından biri, yeşil tedarikçilerin değerlendirme ve seçim sürecidir. Shen vd.(2013), YTYZ'yi inceleyerek yeşil tedarikçilerin değerlendirmesi için bulanık bir TOPSIS yaklaşımı önermiştir. Büyüközkan ve Cifci (2012),

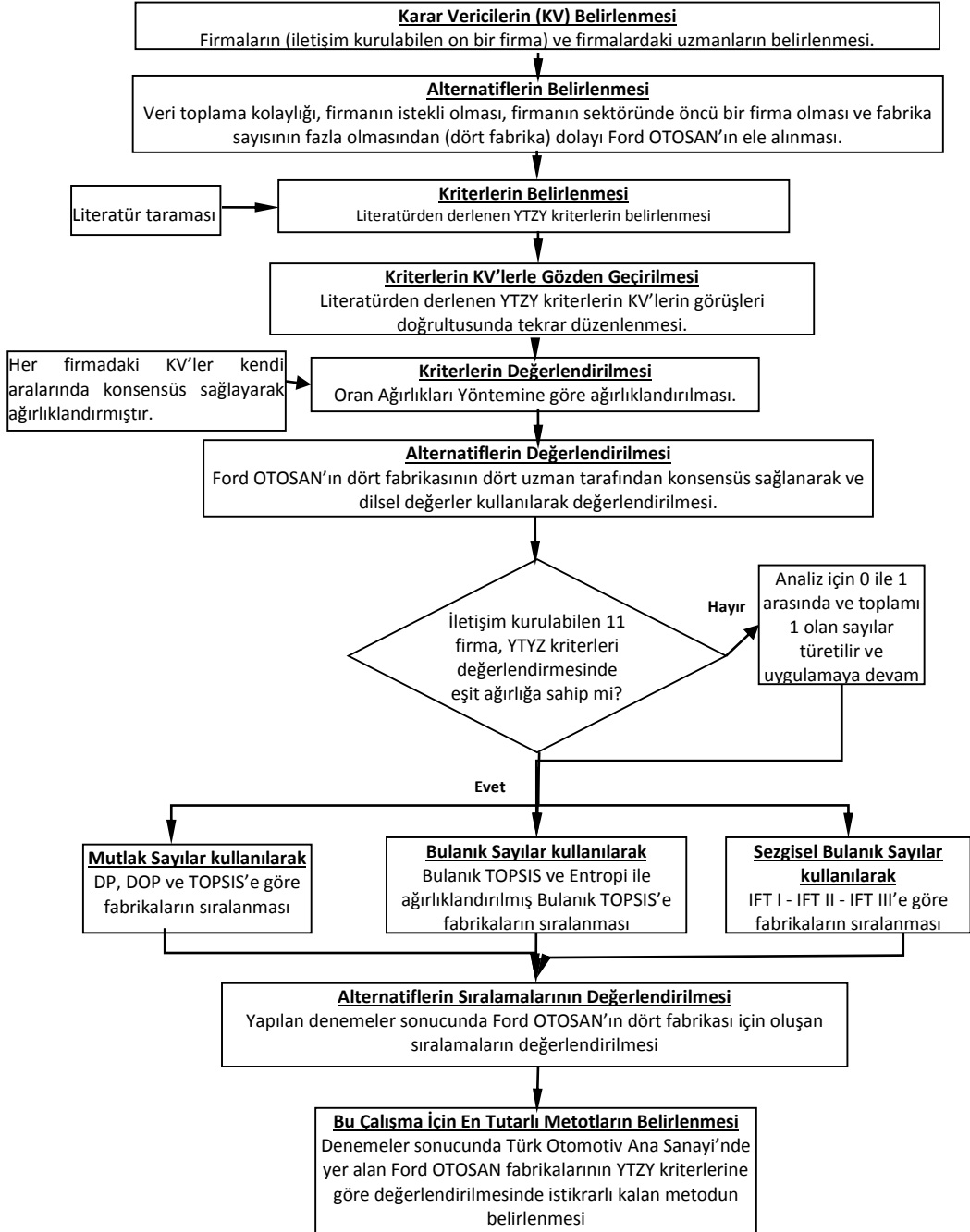
entegre bir metodoloji geliştirmiş ve gerçek bir vaka çalışmasında bulanık ortamda yeşil tedarikçi değerlendirmesi için DEMATEL, ANP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak uygulamışlardır. Tseng ve Chiu (2013), bir firma için uygun çevresel ve çevresel olmayan YTYZ ölçütlerini belirleyerek ve değerlendirerek, alternatif tedarikçileri sıralamak için gri ilişkisel analizi kullanmışlardır. Lin (2013), proaktif firmaların ekonomik ve çevresel performanslarının YTYZ'yi kabul ettikçe gelişeceğini iddia etmiştir. Bulanık küme teorisi ve DEMATEL yöntemini kullanarak sekiz kriter arasındaki etkili faktörleri incelemişlerdir. Mathiyazhagan vd. (2015), YTYZ'nin benimsenmesine yönelik baskıları araştırmayı ve madencilik ve maden endüstrisi bağlamında AHP tekniği aracılığıyla uzmanların görüşüne dayalı baskılar sıralamayı hedeflemişlerdir. Barari vd. (2012), tedarik zinciri varlıklarının kar maksimizasyonu amacı ile evrimsel oyun yaklaşımını kullanarak entegre ve bütüncül kavramsal çerçeve sağlamayı amaçlamıştır. Jamshidi vd. (2012) maliyet ve çevresel etkileri göz önüne alarak yeşil tedarik zinciri için çok objektif bir optimizasyon problemini çözmek için Taguchi yöntemi ile birlikte bir memetik algoritma kullanmıştır. Wang vd. (2011), çevresel yatırımlar için tasarım aşamasında alınan kararlarla ilgilenmiş ve toplam maliyet ile çevre etkisi arasındaki dengeyi temsil eden çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermiştir. Yüce ve Mastrocinque (2015), yeşil tedarikçi seçimi problemini çözmek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Arılar Algoritması'nı birleştiren bir yaklaşım önermiştir. YTYZ'yi ÇKKV yöntemlerini kullanarak tedarikçi değerlendirmeyip o firmanın fabrikalarını değerlendiren Rostamzadeh vd. (2015), ISO14001 sertifikasına sahip laptop hard diski üreten bir firmanın 4 fabrikası üzerinde belirlemiş olduğu YTYZ kriterlerini Bulanık VIKOR yöntemini kullanarak incelemiştir. Firmanın fabrikalarını YTYZ kriterlerine göre sıralamıştır. Bu çalışmada da Türk Otomotiv Ana Sanayi, YTYZ'ye ait kriterler boyutunda incelenmiştir. Her otomotiv firmasının YTYZ'ye ait bakış açısı farklı olduğundan Otomotiv Ana Sanayi'nde yer alan 11 otomotiv firmasında bulunan 40 uzman ile görüşülerek analiz yapılmıştır. Ayrıca genelden özele gidilerek Türk Otomotiv Ana Sanayi'nden alınan bilgi, ÇKKV yöntemlerini kullanarak bir firma üzerinde uygulanmıştır.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın temel amacı mutlak, bulanık ve sezgisel bulanık ÇKKV metotlarını kullanarak YTYZ girişimlerine ait kriterleri Türk Otomotiv Ana Sanayi'nde kapsamlı bir şekilde incelemektir. Bu bağlamda bir model önerilmiştir. Önerilen modelin metodolojisi Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre modelin ilk adımında karar vericilerin belirlenmesi bulunmaktadır. Bu adımda Türk Otomotiv Ana Sanayi'nde çalışmada yer alan 11 firma ve 40 uzman belirlenmiştir. İkinci adımda ise Ford OTOSAN'ın 4 fabrikası ve 4 uzman belirlenmiştir. Bir sonraki adımda YTYZ ait kriterler literatürden derlenmiş ve karar vericiler tarafından gözden geçirilip tekrar düzenlenmiştir. Sonrasında oran ağırlıkları yöntemi kullanılarak her firmadaki karar vericiler tarafından kriterler ağırlıklandırılmıştır. Devamında Ford OTOSAN'ın 4 fabrikası, 4 uzman tarafından konsensüs sağlanarak ve dilsel değerler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ford OTOSAN'ın fabrikalarının sıralaması yani ağırlıklandırılması yapılmadan önce YTYZ kriterlerini değerlendiren 11 firmanın önem ağırlıklarının eşit olup olmadığı sorgulanmıştır. Eşitlik söz konusu olduğu durumda her firmanın önem ağırlığı 1/11'dir. Ancak eşitlik olmadığı durumlar için 0 ile 1 arasında ve toplamı 1 olan sayılar türetilir ve uygulamaya devam edilir. Bu çalışmada 10 farklı senaryo türetilmiştir. Sonrasında mutlak sayıları, bulanık sayıları ve sezgisel bulanık sayıları içeren 8 ayrı metot kullanılarak, fabrikaların sıralamalarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Denemeler sonucunda Türk Otomotiv Ana Sanayi'nde yer alan Ford

OTOSAN fabrikalarının YTYZ kriterlerine göre değerlendirilmesinde istikrarlı bir şekilde aynı sıralamayı sağlayan metotlar, bu konuda en tutarlı metot olarak belirlenmiştir.

Şekil 1: Önerilen modelin metodolojisi



3.1. Materyal

Çalışmada kriterlerin düzenlenmesi ve ağırlıklandırılması için Karar Verici (KV) olarak yer alan firmalar aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Çalışmaya Katılan Türk Otomotiv Ana Sanayi’nde Yer Alan 11 Firma

Kod	Firma Adı
KV1	Ford OTOSAN (Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.)
KV2	Mercedes-Benz Türk A.Ş.
KV3	TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.
KV4	Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş.
KV5	Karsan Otomotiv Sanayii ve Tic. A.Ş.
KV6	RENAULT (MAİS Motorlu Araçlar İmal ve Satış A.Ş.)
KV7	Honda Türkiye A.Ş.
KV8	Hyundai Assan Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.
KV9	TOYOTA Otomotiv Sanayi Türkiye A.Ş.
KV10	TEMSA Ulaşım Araçları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
KV11	Türk Traktör ve Ziraat Makineleri A.Ş.

Tablo 1’de yer alan bu firmalar, ülkemiz Otomotiv Sanayi’ni uluslararası platformda temsil eden Otomotiv Sanayi Derneği’nin (OSD) üyeleridir. Bu firmaların çoğu farklı niteliklerde, Türkiye’nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu (İSO 500) arasında yer almaktadır.

Araştırmada kriterlerin düzenlenmesi ve ağırlıklandırılması için Tablo 1’de yer alan tüm firmalar kullanılmıştır. Ancak alternatif sıralamasında Ford OTOSAN ele alınmıştır. Ford OTOSAN, Türk otomotiv sektöründe ilk Ar-Ge çalışmalarını başlatan ve sektöründeki en büyük Ar-Ge merkezi yapılanmasına sahip olan firmadır. Ayrıca Türkiye’de sıfırdan araç ve motor tasarlayıp, test edebilen ve üretebilen de tek otomotiv firmasıdır. Ford OTOSAN’ın, Kocaeli’nde Gölcük (F1) ve Yeniköy fabrikaları (F2), Eskişehir İnönü’de kamyon (F3) ve motor fabrikaları (F4) olmak üzere dört üretim tesisi bulunmaktadır. Bununla beraber İstanbul Sancaktepe’de Yedek Parça Dağıtım Merkezi ve Sancaktepe Ar-Ge merkezi bulunmaktadır.

Söz konusu fabrikaların sıralaması Türk Otomotiv Ana Sanayi tarafından düzenlenen ve ağırlıklandırılan YTYZ kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Kriterler Rostamzadeh vd. (2015) tarafından yapılan çalışmadan alınmış ve daha sonra Türk Otomotiv Ana Sanayi’ne göre tekrar düzenlenmiştir. Çalışmayı oluşturan kriterlerin 6 ana ve 30 alt kriterden oluştuğu görülmektedir. Bu kriterler kullanılarak 4 fabrikanın değerlendirilmesi ve sonuçta YTYZ kriterlerine göre sıralaması yapılmaktadır. Altı ana kriter yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil depolama, yeşil taşıma ve yeşil geri dönüşümden oluşmaktadır.

3.2. Metot

Araştırmada kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında Oran Ağırlıkları Tekniği kullanılmıştır. Ford OTOSAN fabrikalarının sıralanmasında ise mutlak sayılar, bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayıları içeren 8 ayrı metot kullanılmaktadır. Bunlardan Doğrusal Puanlama (DP), Doğrusal Olmayan Puanlama (DOP) ve Mutlak TOPSIS metodu, mutlak sayıları içermekte; Bulanık TOPSIS ve Entropi ile Ağırlıklandırılmış Bulanık TOPSIS metodu ise bulanık sayıları içermektedir. Üç farklı Entropi ile ağırlıklandırılmış Sezgisel Bulanık TOPSIS metotları (IFT-I, IFT-II, IFT-III) ise sezgisel bulanık sayıları içermektedir. Bu metotlar kullanılırken dilsel değerlendirmeler kullanılmaktadır. Aşağıda Tablo 2’de dilsel değerlendirmelerin metotlara göre karşılıkları verilmiştir.

Tablo 2: Dilsel Değerlendirmelerin Karşılıkları

Dilsel Değerlendirme	Semboller	Doğrusal Puanlama	Doğrusal Olmayan Puanlama	Üçgensel Bulanık Küme			Sezgisel Bulanık Küme		
				Kötü	Orta	İyi	μ	U	π
Çok Kötü	ÇK	1	1	0.00	0.00	0.25	0.20	0.70	0.10
Kötü	K	2	2	0.00	0.25	0.50	0.30	0.60	0.10
Orta	O	3	5	0.25	0.50	0.75	0.45	0.35	0.20
İyi	İ	4	8	0.50	0.75	1.00	0.60	0.30	0.10
Çok İyi	Çİ	5	10	0.75	1.00	1.00	0.80	0.10	0.10

Kaynak: Wood, 2016, s. 599

Çalışmada kullanılan ÇKKV problemi için Karar Matrisi (KM) aşağıdaki gibidir:

$$KM = \begin{matrix} & F_1 & F_2 & \cdots & F_n \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ \vdots \\ K_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

KM karar matrisi olmak üzere; $F_j = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ ($j=1,2,\dots,n$) fabrikaların kümesini,

$K_i = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ ($i=1,2,\dots,m$) Kriterlerin kümesini,

$W_{c_i} = \{W_{c1}, W_{c2}, \dots, W_{cm}\}$ ($i=1,2,\dots,m$) kriterlerin ağırlıkları kümesini ve

$W_{g_k} = \{W_{g1}, W_{g2}, \dots, W_{gl}\}$ ($k=1,2,\dots,l$) ise l karar vericinin önem ağırlığını ifade etmektedir.

Bu araştırma için $n = 4$ fabrika, $m = 30$ kriter, $l = 11$ firma olarak belirlenmiştir.

3.2.1. Oran Ağırlıkları Tekniği

Oran ağırlıkları atama/tahmin prosedüründe karar vericilerden kriterlerin görece önemlerine göre sıralanmasından sonra, diğer tüm kriterlerin "en önemsiz" olarak görülen belirli bir kritere göre "ne kadar daha fazla önemli" olduğu bilgisi istenmektedir (Borcherding vd., 1995, s. 7). Bu prosedür şöyle gerçekleşmektedir (Edwards, 1977):

1. Adım: Kriterler önem sırasına göre sıralanmaktadır.

2. Adım: En az önemli (en önemsiz) kritere 1 değeri atanır. Sonra, diğer kriterlerin bu en az önemli olana oranla ne kadar daha fazla önemli oldukları belirlenerek, diğerlerine 1'den fazla değerler verilir.

3. Adım: 2. adımdaki işlem tüm kriterler için tamamlanınca, atanan bu ham ağırlıklar toplamalarına bölünerek normalize edilir:

$$W_{c_i} = \frac{W_{c_i}^*}{\sum_{i=1}^m W_{c_i}^*} \quad (2)$$

Burada, $W_{c_i}^*$ i. kriterin ham oran ağırlığıdır. W_{c_i} , i'nci normalize edilmiş ağırlıktır.

3.2.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Puanlama

Doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama, basitlik ve hesaplama kolaylığı nedeniyle karar vericiler tarafından tercih edilmektedir. Ancak daha fazla bilgi içeren daha karmaşık / sofistike

metodolojilerle karşılaştırarak değerlendirmek de önemlidir. Bu yaklaşımlarda, dilsel değerlendirmeler (Tablo 2) için sayısal puanlar atanmıştır. Doğrusal yaklaşımda ÇK=1, K=2, O=3, İ=4 ve Çİ=5 iken, olumlu değerlendirmelere daha fazla ağırlık veren doğrusal olmayan yaklaşımda ise ÇK=1, K=2, O=5, İ=8 ve Çİ = 10 olarak ifade edilmektedir. Daha sonra bu puanlar, fabrikaları (sütunlar) ve kriterleri (satırlar) ayırt etmeye yardımcı olan bilgileri ortaya çıkarmak için sütunların ve satırların toplamıyla birlikte matrisler olarak ifade edilmektedir. Matris biçiminde sütunların toplamaları aşağıdaki gibidir (Wood, 2016:600-603):

$$\tilde{F}_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}; \text{ ile } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

\tilde{F}_j , her j. Fabrika için ağırlıklandırılmamış kriter puanlarının toplamı olarak ifade edilmektedir.

Literatürde tanımlanabilir birçok puanlama sistemi karşımıza çıkmaktadır. Örneğin; olumsuz değerlendirmeyi negatif, olumlu değerlendirmeyi pozitif olarak puanlayan ÇK=-5, K=-2.5, O=0, İ=+2.5 ve Çİ=5 gibi ölçeklerdir. Hem negatif hem pozitif sayıları içeren ölçek bu çalışmada kullanılmamıştır. Bu yaklaşımlarda ölçek kullanımı tamamen isteğe bağlı olarak yapılmaktadır. Amaç, sadece matematiksel hesaplamaları sağlayan sayısal bir temel oluşturmaktır. Hiçbir şekilde nicel bir analizi temsil etmemekle birlikte belirsizlikleri de ifade etmemektedirler. Burada önemli olan, kriter ağırlıklarını ve KV'lerin önem ağırlıklarını da hesaplamalara dahil etmektir. Bu hesaplamalar için matris formatı aşağıda verilmiştir:

$$p_{jk} = \sum_{i=1}^m x_{ij} \times Wc_i \times Wg_k; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l \quad (4)$$

p_{jk} , k. karar vericinin önem ağırlığı ile j. fabrikanın ağırlıklandırılmış kriter puanlarının toplamı ifade etmektedir.

$$\tilde{P}_j = \sum_{k=1}^l p_{jk}; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, l \quad (5)$$

\tilde{P}_j , j. fabrika için toplam ağırlığı ifade etmektedir.

3.2.3. TOPSIS Metodu

TOPSIS metodolojisi ile doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama yaklaşımları arasındaki fark, TOPSIS'in, her kriter değerlendirmesinde pozitif ideal ve negatif ideal çözüm uzaklığını dikkate alarak, negatif ideal çözümden olan uzaklığını en üst düzeye çıkararak, görelî yakınlık değerini (RC) dikkate almasıdır (Krohling ve Campanharo, 2011; Ghazanfari vd., 2014).

Eşitlik 1'deki karar matrisini boyutsuz bir matrise dönüştürmek için normalleştirme yapmak gerekmektedir. Her satırdaki (kriterler) matris elemanlarının, o sıradaki bütün elemanların karelerinin toplamının kareköküne bölünmesi ile o sıranın elemanları normalize edilmiş olmaktadır (rij).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

R , normalize edilmiş karar matrisi olmak üzere;

$$R = [r_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Normalleştirilmiş karar matrisine Eşitlik (4) uygulanarak, önem ağırlıkları (Wg) hariç tutularak yalnızca kriter ağırlıkları (WC) dikkate alınarak ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmekte ve Pozitif İdeal Çözüm (A^+) ve Negatif İdeal Çözüm (A^-) olarak tanımlanmaktadır:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad (8)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (9)$$

Burada;

$$p_i^+ = \max_j(p_{ij}), \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$p_i^- = \min_j(p_{ij}), \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (11)$$

Daha sonra, her kriteri (i) için pozitif-ideal ve negatif-ideal çözümlerden normalleştirilmiş matristeki her elemanın Öklid uzaklığı hesaplanır ve her bir fabrika (j) için toplanır.

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (p_i^+ - p_{ij})^2}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_i^-)^2}, \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (13)$$

Burada;

d_j^+ ; pozitif ideal çözümden (A^+) Öklid uzaklığı

d_j^- ; negatif ideal çözümden (A^-) Öklid uzaklığı

Daha sonra, her bir fabrikaya ilişkin toplam Öklid uzaklıkları, göreceli yakınlık indeksini (RCj) hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$RC_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ - d_j^-}; \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

Görelî yakınlık değeri büyüklüğü daha sonra fabrikaları sıralamak için kullanılmaktadır. En büyük görelî yakınlık değerine sahip fabrika, değerlendirilen tüm m kriterlerinden, negatif

ideal çözümden en uzakta ve dolayısıyla pozitif ideal çözümün en yakınında bulunduğu için 1. sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada sunulan TOPSIS analizi iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adım, her karar vericinin için ayrı TOPSIS analizini içermektedir. İkinci adımda ise her bir karar vericiye ait RC_j oranlarını kullanarak, her birine tanımlanmış önem ağırlıklarıyla ikinci bir TOPSIS analizini içermektedir. İkinci aşamada hesaplanan RC_g oranı hem kriterleri hem de önem ağırlıklarını barındıran göreceli yakınlık değeridir.

3.2.4. Bulanık TOPSIS Metodu

Bulanıklık, Tablo 2'teki dilsel değerlendirmeleri, üçgensel sayı kümelerine dönüştürerek problemdeki belirsizlik unsurunu benimsemektir. Üçgensel bulanık sayılar, ÇKKV'de belirsizlik ve öznellik (sübjektiflik) yakalamak için etkili bir yol sunmaktadır. Her değerlendirme bulanık kümeye ait yüksek, orta ve düşük sayıların üçlüsü olarak ifade edilen bulanık bir sayı ile temsil edilmektedir (Krohling ve Campanharo, 2011; Ghazanfari vd., 2014).

Bulanık sayıları içeren TOPSIS yönteminde, pozitif-ideal çözüm ve negatif ideal çözümde Öklid uzaklıklarının hesaplamalarındaki farklılık dışında, mutlak sayıları içeren TOPSIS yönteminde olduğu gibi Eşitlik (4)'ten Eşitlik (14)'e kadar aynı uygulanmaktadır. Bulanık TOPSIS'te üçgensel bulanık sayıların kullanımından dolayı Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) yerine aşağıda verilen Eşitlik (15) ve Eşitlik (16) kullanılmaktadır.

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (1/3) [(pa_i^+ - pa_{ij}^+)^2 + (pb_i^+ - pb_{ij}^+)^2 + (pc_i^+ - pc_{ij}^+)]}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (1/3) [(pa_{ij}^- - pa_i^-)^2 + (pb_{ij}^- - pb_i^-)^2 + (pc_{ij}^- - pc_i^-)]}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (16)$$

Burada;

d_j^+ ; pozitif ideal çözümden (A^+) Öklid uzaklığı

d_j^- ; negatif ideal çözümden (A^-) Öklid uzaklığı

a, b, c ; bulanık kümeye ait yüksek, orta ve düşük sayı üçlüsü.

Bulanık TOPSIS analizi, mutlak sayıları içeren TOPSIS analizinde olduğu gibi iki aşamada yürütülmektedir. İlk aşamada, her bir karar vericinin yani 11 firma tarafından belirlenen ağırlıklar ile oluşturulan 11 ayrı Bulanık TOPSIS analizi hesaplanmaktadır. İkinci aşamada ise, ilk aşamada türetilen her bir karar verici için RC_j oranları kullanılarak TOPSIS analizi ile RC_g oranları hesaplanmaktadır. İkinci aşamada hesaplanan RC_g oranı hem kriter ağırlıklarını hem de önem ağırlıklarını içermektedir.

3.2.5. Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS Metodu

Bulanık TOPSIS yöntemine entropi uygulaması eklenerek, objektif entropi ağırlıkları elde edilmektedir. Bulanık üçgensel sayılar önce entropi ile ağırlıklandırılıp (yani, objektif ağırlıklandırma) sonrasında karar vericilerin kriter ağırlıkları ve önem ağırlıkları (yani, sübjektif ağırlıklandırma) hesaplanarak sıralamalar yapılmaktadır. Burada uygulanan Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS Yöntemi, Wang vd. (2007) tarafından önerilen metodun bir uyarlamasıdır.

Entropi değerini hesaplamak için öncelikle Eşitlik (17) kullanılarak karar matrisini oluşturan bulanık üçgensel sayılar mutlak sayılara dönüştürülmektedir:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} + b_{ij} + c_{ij}}{3}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (17)$$

Daha sonra, elde edilen mutlak sayılar, her kriter için Eşitlik (18) kullanılarak normalize edilmektedir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (18)$$

Karar matrisindeki her kriter için entropi değeri (e), Eşitlik (19) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$e_i = -k \sum_{j=1}^n (r_{ij} * \ln r_{ij}), i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (19)$$

Burada; k bir sabittir ve $k = (\ln(n))^{-1}$ şeklinde hesaplanmaktadır.

Daha sonra, her kriter için entropi değerler kümesi, $E(C_i)$, entropi ağırlıklarını hesaplamak için kullanılmaktadır (W_e). Entropi değerler kümesi 1'den çıkarılarak farkın derecesi hesaplanmaktadır.

$$d_i = 1 - E(C_i), i = 1, \dots, m \quad (20)$$

Fark derecesi, her bir kriterin değerlendirmesi arasındaki doğal kontrast yoğunluğunu ifade edilmektedir (Wang vd., 2007). d_i 'nin görel değeri ne kadar yüksekse, objektiflikte o kadar yüksektir. Daha sonra, her kriter i için entropi ağırlığı w , entropi ağırlıklarının kümesini oluşturmak üzere hesaplanır (W_e):

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i}, i = 1, \dots, m \quad (20)$$

Oluşturulan entropi ağırlıkları kümesi; $W_e = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m)$

$$\text{Burada; } w_i \geq 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (21)$$

Bulanık karar matrisi, entropi (objektif) ağırlıkları ve karar vericinin (öznel) kriter ağırlıkları ile hesaplanmaktadır. Daha sonra Bulanık TOPSIS metodolojisinde olduğu gibi devam etmektedir.

3.2.6. Entropi Ağırlıklı Sezgisel Bulanık TOPSIS Metotları

Sezgisel Bulanık Kümeler (IFS), bir elemanın söz konusu kümeye ait olma derecesini (μ), ait olmama derecesini (ν) ve tereddüt indeksini (π) içermektedir. Bu durum, kriterlerin dilsel değerlendirmelerini oluşturan bilgiyi, kesin olmayan bilgiyi ve tereddüdü etkin bir şekilde karakterize edebilmektedir.

Atanassov (1999), X evreninde sezgisel bulanık sayılar kümesi olan A 'yı şu şekilde tanımlamıştır:

$$A = \{[x, \mu_A(x), \nu_A(x)] / x \in X\} \quad (22)$$

Burada;

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1], \nu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (23)$$

Şu şartlar altında:

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, \forall x \in X \quad (24)$$

Bu nedenle, μ_A ya da ν_A , 0 ya da 1'e eşitse, A yalnızca mutlak sayılar kümesine dönüşmektedir. $\mu_A + \nu_A$ 'nın toplamı 1'den küçük olduğunda, π_A 'nın değeri şu şekilde tanımlanmaktadır (Hung ve Chen, 2009):

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (25)$$

π_A , x 'in A 'ya olan tereddüt derecesi olarak tanımlanmaktadır. Yani, x 'in A 'nın üyesi olup olmadığına ilişkin değerlendirmedeki belirsizlik derecesini ifade etmektedir.

Sezgisel ortamda, entropi ölçütü, her kriterle ilişkili görelî değer içeriği hakkında bilgi vermektedir. IFT entropisini hesaplamak için önerilen ve uygulanan birkaç farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada ise IFT için üç tür yöntem (IFT-I, IFT-II, IFT-III) uygulanmaktadır.

Birinci yöntemde (IFT-1), Hung ve Chen (2009) tarafından uygulanan De Luca ve Termini'nin (1972) kavramlarına dayanan Vlachos ve Sergiadis (2007) tarafından önerilen entropi uygulaması kullanılmaktadır. Entropi değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Burada; } i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (26)$$

Ayrıca $(1/n \ln 2)$ sabiti ile $0 \leq E(C_j) \leq 1$ sağlanmaktadır.

Entropi ağırlıklarını W_e hesaplamak için Eşitlik (20) ve Eşitlik (21) kullanılmaktadır. Entropi ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisi Z , entropi ağırlıkları W_e ile sezgisel bulanık karar matrisinin D 'nin çarpımıdır.

$$Z = W_e \otimes D = [\bar{x}_{ij}] \quad (27)$$

Burada;

$$\bar{x}_{ij} = \left[1 - (1 - \mu_{ij})^{w_i}, \nu_{ij}^{w_i} \right], i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (28)$$

IFS'yi ağırlıklandırmak için Eşitlik (28), Atanassov (1999) tarafından önerilmiştir. Eşitlik (28) ile sezgisel bulanık karar matrisi elde edilmektedir. Sonrasında, mutlak sayıları içeren TOPSIS yönteminde olduğu gibi Eşitlik (4)'den Eşitlik (14)'e kadar aynıys uygulanmaktadır. Ancak IFT-1' de Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) yerine Eşitlik (15) ve Eşitlik (16) kullanılmaktadır.

İkinci yöntemde (IFT-2), Szmidt & Kacprzyk (2001) tarafından önerilen değere dayalı bir entropi uygulaması kullanılmaktadır:

(29)

$$E(C_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(\mu_{ij}(C_i), v_{ij}(C_i)) + \pi_{ij}(C_i)}{\max(\mu_{ij}(C_i), v_{ij}(C_i)) + \pi_{ij}(C_i)}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$$

Daha sonra, IFT-2 entropi değerleri Eşitlik (30) ile normalize edilmektedir:

$$h_i = \frac{E(C_i)}{\max[E(C_i)]}, i = 1, \dots, m \quad (30)$$

Burada; h_i , IFT-2 metodu için normalize edilmiş karar matrisini, $E(C_i)$ kriterlerin entropi değerlerinin kümesini ifade etmektedir. h_i değeri her kriter için en yüksek 1'e, en düşük 0'a eşittir.

Her kriter i için entropi ağırlıkları Eşitlik (21) kullanılarak, IFT-1 metodunda olduğu gibi hesaplanmaktadır. Bu ağırlıklar daha sonra Eşitlik (28) kullanılarak IFT-2 karar matrisine uygulanmaktadır. Sonrasında, mutlak sayıları içeren TOPSIS yönteminde olduğu gibi Eşitlik (4)'ten Eşitlik (14)'e kadar aynı uygulanmaktadır. Ancak IFT-2' de Eşitlik (12) ve (13) yerine aşağıda Eşitlik (31) ve Eşitlik (32) kullanılmaktadır.

$$d_j^+ = \sum_{i=1}^m \max \left[(p\mu_i^+ - p\mu_{ij}^+), (pv_i^+ - pv_{ij}^+) \right], i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$d_j^- = \sum_{i=1}^m \max \left[(p\mu_{ij}^- - p\mu_i^-), (pv_{ij}^- - pv_i^-) \right], i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (32)$$

d_j^+ ; pozitif ideal çözümden (A^+) Öklid uzaklığı

d_j^- ; negatif ideal çözümden (A^-) Öklid uzaklığı

$p\mu_i^+$ ve pv_i^+ , kriterlerin maksimum ağırlıklı değerleri.

$p\mu_i^-$ ve pv_i^- , kriterlerin minimum ağırlıklı değerleri.

Üçüncü yöntem (IFT-3), IFT-1 ile aynı metodoloji kullanılmakta, ancak Ye (2010) tarafından önerilen yöntemle entropi hesaplaması değişmektedir. IFT-1 metodolojisindeki Eşitlik (26), aşağıda Eşitlik (33) ile değiştirilmektedir:

$$E(C_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \left\{ \left[\sin \frac{\pi \times [+ \mu_{ij}(C_i) - v_{ij}(C_i)]}{4} + \sin \frac{\pi \times [1 - \mu_{ij}(C_i) - v_{ij}(C_i)]}{4} \right] \times \frac{1}{\sqrt{2} - 1} \right\} \quad (33)$$

Burada; $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$

$1/(\sqrt{2} - 1)$ sabiti ile $0 \leq E(C_i) \leq 1$ sağlanmaktadır. π , burada tereddütlik indeksi değil matematiksel sabiti ifade etmektedir. IFT-1 metodolojisindeki adımlar daha sonra IFT-3 metodolojisinde de tekrarlanmaktadır.

Sezgisel Bulanık TOPSIS metotları, diğer metotlarda da olduğu gibi iki aşamada yürütülmektedir. İlk aşamada, her bir karar vericinin yani 11 firma tarafından belirlenen ağırlıklar ile oluşturulan 11 ayrı Bulanık TOPSIS analizi hesaplanmaktadır. İkinci aşamada ise,

ilk aşamada türetilen her bir karar verici için RC_j oranları kullanılarak TOPSIS analizi ile RC_g oranları hesaplanmaktadır. İkinci aşamada hesaplanan RC_g oranı hem kriter ağırlıklarını hem de önem ağırlıklarını içermektedir.

4. Bulgular ve Tartışmalar

YTZY kriterleri. Rostamzadeh vd. (2016) tarafından bir laptop firmasında uygulaması yapılan çalışmadan alınmıştır. Ancak çalışmada ele alınan bu kriterler Türk Otomotiv Ana Sanayi'ne uygunluğu açısından uzmanlar tarafından tekrar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3: Türk Otomotiv Ana Sanayi İçin Tekrar Değerlendirilip Son Halini Alan Kriterler

KRİTERLER		
Yeşil tasarım	K1	Materyal/Enerji tüketimini azaltan ürün tasarımının yapılması
	K2	Materyallerin tekrar kullanımı (reuse), geri dönüşümünü (recycle), tekrar kazanımını (recovery) sağlayan ürün tasarımının yapılması
	K3	Zararlı ürünlerin ve/veya üretim prosesinin kullanımının azaltılmasını veya kullanımından kaçınılmasını sağlayan ürünlerin tasarımının yapılması
	K4	En fazla enerji tasarrufu sağlayacak şekilde kolayca kullanılacak ürünlerin tasarımının yapılması
	K5	Eko-tasarım için müşterilerle iş birliği yapılması
Yeşil satın alma	K6	Çevresel kriterleri dikkate alan tedarikçilerin seçilmesi
	K7	Çevre-dostu hammaddelerin satın alınması
	K8	Çevresel önlemler almaları için tedarikçilere baskı yapılması
	K9	Tedarikçi çevre yönetim sisteminin olması
	K10	Tedarikçilerin çevresel iç denetim mekanizmasının olması
Yeşil üretim	K11	Yeniden üretim (re-manufacturing) ve yalın üretimin (lean production) olması
	K12	Temiz üretimin olması
	K13	Atık oranının azaltımı ve ürün kalitesini yükseltilmesi
	K14	Daha iyi (gelişmiş) kapasite kullanılması
	K15	Zamanında teslim edilen ürünlerin miktarının artırılması
	K16	Müşterilerle çalışılarak çevresel etkiyi azaltacak faaliyetlerde bulunulması
Yeşil Depolama	K17	Çevre dostu paketleme yapılması
	K18	Ürün stok seviyelerinin azaltılması
	K19	Fazla stokların satılması
	K20	İmalata girecek hammaddelerin/parçaların depolanması
	K21	Atıl durumdaki ekipmanların değerlendirilmesi
Yeşil Taşıma	K22	Çevre dostu taşımacılık yapılması
	K23	Çevre dostu dağıtım yapılması
	K24	Eko-verimlilik sağlayan taşımacılık filosu kullanılması
	K25	Düşük salınım içeriği olan yakıtların kullanılması
	K26	Yakıt tüketimini azaltıcı yönde sürüş alışkanlıklarının geliştirilmesi için destek verilmesi
Yeşil Geri Dönüşüm	K27	Tedarikçilere kendi çevre yönetim sistemini kurması için yardım edilmesi
	K28	Ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanılması
	K29	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması
	K30	Atıkların başka fabrikalar tarafından değerlendirilmesi

4.1. YTZY Kriterlerinin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında, oran ağırlıkları tekniği kullanılmıştır. Ağırlıklar hesaplanırken Eşitlik (2)'den yararlanılmıştır. Tablo 4'te tüm alt kriterlerin global ağırlıkları verilmiştir. Bu kriterlerin arasında ağırlıkları yüksek olanlar yeşil geri dönüşüm ve yeşil tasarımda yoğunlaşmıştır. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı, tedarikçilere kendi çevre yönetim sistemini kurması için

yardım edilmesi, zararlı ürünlerin ve/veya üretim prosesinin kullanımının azaltılmasını veya kullanımından kaçınılmasını sağlayan ürünlerin tasarımının yapılması, materyallerin tekrar kullanımı (reuse), geri dönüşümünü (recycle), tekrar kazanımını (recovery) sağlayan ürün tasarımının yapılması ve materyal/enerji tüketimini azaltan ürün tasarımının yapılmasıdır. Bu kriterlerin arasında ağırlığı düşük olanlar ise ürün stok seviyelerinin azaltılması, fazla stokların satılması. imalata girecek hammaddelerin/parçaların depolanması, atıl durumdaki ekipmanların değerlendirilmesi ve müşterilerle çalışılarak çevresel etkiyi azaltacak faaliyetlerde bulunulması olarak belirlenmiştir.

Tablo 4: Alt Kriterlerin Global Ağırlıkları

Kriterler	GLOBAL AĞIRLIKLAR											G.O.	A.O.	
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9	KV10	KV11			
Yeşil Tasarım	K1	0.044	0.038	0.041	0.066	0.027	0.042	0.019	0.054	0.034	0.033	0.050	0.039	0.041
	K2	0.055	0.038	0.041	0.040	0.020	0.062	0.039	0.043	0.042	0.033	0.050	0.041	0.042
	K3	0.055	0.048	0.041	0.040	0.034	0.062	0.039	0.054	0.042	0.033	0.050	0.044	0.045
	K4	0.044	0.038	0.033	0.053	0.027	0.042	0.019	0.043	0.034	0.033	0.025	0.034	0.036
	K5	0.011	0.038	0.033	0.033	0.017	0.055	0.031	0.054	0.034	0.033	0.025	0.030	0.033
Yeşil Satın Alma	K6	0.049	0.040	0.022	0.029	0.030	0.025	0.031	0.026	0.030	0.033	0.050	0.032	0.033
	K7	0.049	0.040	0.022	0.020	0.024	0.025	0.031	0.043	0.030	0.033	0.050	0.032	0.033
	K8	0.039	0.040	0.017	0.020	0.024	0.019	0.025	0.043	0.030	0.033	0.025	0.027	0.029
	K9	0.024	0.040	0.017	0.015	0.024	0.019	0.031	0.043	0.030	0.033	0.050	0.028	0.030
	K10	0.024	0.040	0.017	0.010	0.024	0.019	0.031	0.043	0.030	0.033	0.025	0.025	0.027
Yeşil Üretim	K11	0.048	0.033	0.033	0.015	0.046	0.024	0.032	0.022	0.038	0.028	0.044	0.031	0.033
	K12	0.048	0.033	0.033	0.020	0.046	0.015	0.032	0.022	0.038	0.028	0.044	0.031	0.033
	K13	0.038	0.033	0.033	0.020	0.046	0.015	0.032	0.028	0.030	0.028	0.022	0.028	0.030
	K14	0.024	0.033	0.041	0.020	0.046	0.015	0.032	0.028	0.019	0.028	0.022	0.027	0.028
	K15	0.019	0.033	0.041	0.025	0.046	0.012	0.026	0.028	0.030	0.028	0.044	0.028	0.030
	K16	0.010	0.033	0.033	0.015	0.019	0.024	0.032	0.022	0.030	0.028	0.022	0.023	0.024
Yeşil Depolama	K17	0.013	0.023	0.029	0.050	0.029	0.025	0.044	0.011	0.055	0.033	0.020	0.027	0.030
	K18	0.007	0.017	0.029	0.037	0.029	0.020	0.035	0.011	0.027	0.033	0.020	0.022	0.024
	K19	0.007	0.003	0.029	0.025	0.036	0.020	0.035	0.011	0.027	0.033	0.020	0.018	0.022
	K20	0.033	0.020	0.029	0.025	0.014	0.020	0.035	0.006	0.027	0.033	0.020	0.022	0.024
	K21	0.033	0.003	0.029	0.050	0.018	0.020	0.035	0.011	0.011	0.033	0.020	0.019	0.024
Yeşil Taşıma	K22	0.034	0.027	0.026	0.049	0.031	0.042	0.030	0.027	0.030	0.033	0.020	0.031	0.032
	K23	0.034	0.027	0.026	0.049	0.013	0.042	0.030	0.027	0.030	0.033	0.020	0.028	0.030
	K24	0.034	0.027	0.026	0.039	0.031	0.042	0.030	0.027	0.030	0.033	0.020	0.030	0.031
	K25	0.042	0.027	0.026	0.024	0.031	0.067	0.030	0.034	0.030	0.033	0.020	0.031	0.033
	K26	0.042	0.027	0.039	0.024	0.019	0.017	0.030	0.034	0.030	0.033	0.020	0.027	0.029
Yeşil Geri Dönüşüm	K27	0.026	0.044	0.046	0.033	0.136	0.021	0.046	0.044	0.049	0.042	0.033	0.042	0.047
	K28	0.052	0.056	0.061	0.053	0.045	0.042	0.046	0.056	0.049	0.042	0.067	0.051	0.052
	K29	0.052	0.056	0.061	0.066	0.045	0.084	0.046	0.056	0.062	0.042	0.067	0.057	0.058
	K30	0.010	0.044	0.046	0.033	0.023	0.063	0.046	0.044	0.025	0.042	0.033	0.034	0.037

4.2. Ford OTOSAN Fabrikalarının Değerlendirilmesi

Ford OTOSAN'nın 4 fabrikası, mutlak sayılar- bulanık sayılar- sezgisel bulanık sayılar kullanılarak sekiz ayrı metotla, belirlenen YTYZ kriterlerine göre göreceli olarak değerlendirilmiştir. Bu metotlar kullanılmadan önce fabrikalar Tablo 2'ye göre dilsel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme fabrikalarda çalışan yönetici düzeyinde dört uzman tarafından konsensüs sağlayarak yapılmıştır. Yapılan dilsel değerlendirme Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Ford OTOSAN Fabrikalarının Dilsel Değerlendirmeleri

Kriterler		Ford OTOSAN Fabrikalarının Değerlendirilmesi			
		Gölcük Fabrika (F1)	Yeniköy Fabrika (F2)	İnönü Kamyon Fabrikası (F3)	İnönü Motor Fabrikası (F4)
Yeşil Tasarım	1	K	Çi	O	Çi
	2	O	i	i	O
	3	i	K	O	i
	4	i	Çi	K	Çi
	5	O	i	K	ÇK
Yeşil Satın Alma	6	i	O	Çi	i
	7	Çi	i	O	K
	8	i	O	i	O
	9	O	i	i	Çi
	10	K	Çi	O	i
Yeşil Üretim	11	O	ÇK	Çi	i
	12	i	O	i	O
	13	Çi	i	O	K
	14	Çi	O	Çi	Çi
	15	K	O	K	Çi
	16	Çi	i	O	K
Yeşil Depolama	17	K	Çi	O	i
	18	i	O	i	O
	19	i	O	i	O
	20	Çi	i	O	K
	21	Çi	i	O	K
Yeşil Taşıma	22	i	Çi	K	Çi
	23	K	Çi	O	i
	24	i	K	Çi	O
	25	K	Çi	O	i
	26	i	K	Çi	ÇK
Yeşil Geri Dönüşüm	27	i	K	Çi	i
	28	O	i	O	Çi
	29	O	ÇK	O	Çi
	30	O	i	O	ÇK

ÇK:Çok Kötü. K:Kötü. O:Orta. İ:İyi. Çi:Çok İyi

4.3 Mutlak Sayılar Kullanılarak Yapılan Değerlendirme

Burada doğrusal-doğrusal olmayan puanlama ve TOPSIS olmak üzere üç farklı metot kullanılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama, Tablo 2’de yapılan dilsel değerlendirmelerin karşılıkları alınarak yapılmıştır. Doğrusal puanlama için doğrusal karşılıklar, doğrusal olmayan için doğrusal olmayan karşılıklar kullanılmıştır. Böylelikle Eşitlik (3) kullanılarak doğrusal-doğrusal olmayan puanlama matrisi oluşturulmuştur. Bu matris Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde toplam puanlamadaki sıralamanın hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ağırlıklandırılmamış puanlama için değişmediği görülmektedir. Her ikisi içinde Ford OTOSAN fabrikalarında sıralama $F2 > F1 > F3 > F4$ şeklindedir. Bu sıralamalar, dilsel değerlendirmelere karşılık gelen sayıların farklarından dolayı değişebilirdi. Ancak yapılan değerlendirmeler dört fabrika için çok yakın olduğu için bir değişiklik olmamıştır. Ayrıca bu tablodaki kriterler ile kriterlerin önem değerine bakıldığında farklılıklar görülmektedir. En

yüksek puanlamaya sahip olan kriterler sırasıyla K6, K9 ve K4'tür. Bunlar; çevresel kriterleri dikkate alan tedarikçilerin seçilmesi, tedarikçi çevre yönetim sisteminin olması, en fazla enerji tasarrufu sağlayacak şekilde kolayca kullanılabilir ürünlerin tasarımının yapılması şeklinde belirlenmiştir. En düşük puanlamaya sahip olan kriterler ise sırasıyla K15, K30, K29 ve K26'dır. Bunlar; zamanında teslim edilen ürünlerin miktarının artırılması, atıkların başka fabrikalar tarafından değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve yakıt tüketimini azaltıcı yönde sürüş alışkanlıklarının geliştirilmesi için destek verilmesi olarak belirlenmiştir. Örneğin; K29 önem ağırlığı olarak en yüksek değere sahiptir. Ancak, doğrusal-doğrusal olmayan puanlamada en düşük ikinci değerdir. Bunun gibi örneklerin nedeni; YTZY konusunda olması beklenen ile gerçekleşen durumu arasındaki farktır. Çok önemli olarak görülen kriterler her zaman istenildiği kadar gerçekleştirilemeyebilir.

Tablo 6: Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Puanlama Matrisleri

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Karar vericilerin değerlendirmelerinin doğrusal puanları					Karar vericilerin değerlendirmelerinin doğrusal olmayan puanları				
		F1	F2	F3	F4	Doğrusal Toplam	F1	F2	F3	F4	Doğrusal Olmayan Toplam
Yeşil tasarım	1	2	5	3	5	15	2	10	5	10	27
	2	3	4	4	3	14	5	8	8	5	26
	3	4	2	3	4	13	8	2	5	8	23
	4	4	5	2	5	16	8	10	2	10	30
	5	3	4	2	1	10	5	8	2	1	16
Yeşil Satın Alma	6	4	3	5	4	16	8	5	10	8	31
	7	5	4	3	2	14	10	8	5	2	25
	8	4	3	4	3	14	8	5	8	5	26
	9	3	4	4	5	16	5	8	8	10	31
	10	2	5	3	4	14	2	10	5	8	25
Yeşil Üretim	11	3	1	5	4	13	5	1	10	8	24
	12	4	3	4	3	14	8	5	8	5	26
	13	5	4	3	2	14	10	8	5	2	25
	14	3	3	4	3	13	5	5	8	5	23
	15	2	3	2	3	10	2	5	2	5	14
	16	5	4	3	2	14	10	8	5	2	25
Yeşil Depolama	17	2	5	3	4	14	2	10	5	8	25
	18	4	3	4	3	14	8	5	8	5	26
	19	4	3	4	3	14	8	5	8	5	26
	20	5	4	3	2	14	10	8	5	2	25
	21	5	4	3	2	14	10	8	5	2	25
Yeşil Taşıma	22	4	5	2	5	16	5	8	2	10	25
	23	2	5	3	4	14	2	10	5	8	25
	24	4	2	5	3	14	8	2	10	5	25
	25	2	5	3	4	14	2	10	5	8	25
	26	4	2	5	1	12	8	2	10	1	21
Yeşil Geri Dönüşüm	27	4	2	5	4	15	8	2	10	8	28
	28	3	4	3	5	15	5	8	5	10	28
	29	3	1	3	5	12	5	1	5	10	21
	30	3	4	3	1	11	5	8	5	1	19
Toplam puan		105	106	103	99		187	193	184	177	

Doğrusal ve doğrusal olmayan puanlamalar belirlendikten sonra 11 karar verici firma tarafından belirlenen global kriter ağırlıkları (Tablo 4) ile Eşitlik (4)–(5) kullanılarak

puanlamalar ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılmış doğrusal ve doğrusal olmayan puanlama değerlendirmelerin özeti aşağıda Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7' de karar vericilerin farklı kriter ağırlıklandırmalarının uygulanması nedeniyle farklı sıralamalar söz konusu olmaktadır. Ağırlıklı doğrusal puanlamada $F2 > F4 > F1 > F3$ olarak, ağırlıklı doğrusal olmayan puanlamada $F4 > F2 > F3 > F1$ olarak sıralamalar oluşmaktadır. Doğrusal ağırlıklandırılmış puanlamada da ağırlıklandırılmamış puanlamada da F2 ilk sıradadır. Doğrusal olmayan ağırlıklandırılmamış puanlamada F2 birinci, F4 ise son sıradadır. Ancak ağırlıklandırılmış puanlamada F4 ilk sıradadır. Bunların temel on bir KV'nin kriterleri sıralamadaki farklılıklarıdır. Doğrusal skorlamada KV, KV4, KV6, KV8 ve KV10; F2'yi birinci sırada ağırlıklandırmıştır. Doğrusal olmayan puanlamada ise KV1, KV2, KV9 ve KV11; F4 'ü diğer fabrikalara göre daha yüksek düzeyde ağırlıklandırmıştır.

Özetle, ağırlıklı doğrusal puanlamada Ford OTOSAN'ın Yeniköy Fabrikası'nın (F2) YTYZ konusunda daha iyi olduğu ancak, ağırlıklı doğrusal olmayan puanlamaya göre İnönü Motor Fabrikası (F4) YTYZ konusunda diğer fabrikalara göre daha etkili olduğu söylenebilmektedir.

Diğer yöntemler (TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS, IFT-1, IFT-2 ve IFT-3) için oluşturulan sıralamalar Tablo 7'de olduğu gibi gerekli formülasyonlar kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 7: Ağırlıklandırılmış Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Puanlama Değerlendirmeleri

Doğrusal skrolama		Her karar verici için ağırlıklandırılmış kriter toplamları												
Fabrikalar	Ağırlıklandırılmış toplam skor	KV1 (X x Wc)	KV2 (X x Wc)	KV3 (X x Wc)	KV4 (X x Wc)	KV5 (X x Wc)	KV6 (X x Wc)	KV7 (X x Wc)	KV8 (X x Wc)	KV9 (X x Wc)	KV10 (X x Wc)	KV11 (X x Wc)		
F1	105	3.535	3.411	3.453	3.399	3.515	3.326	3.502	3.350	3.423	3.472	3.410		
F2	106	3.428	3.458	3.400	3.602	3.212	3.545	3.463	3.498	3.452	3.507	3.368		
F3	103	3.494	3.407	3.406	3.291	3.628	3.277	3.461	3.340	3.448	3.420	3.445		
F4	99	3.502	3.442	3.336	3.538	3.502	3.453	3.286	3.430	3.485	3.317	3.524		
Doğrusal skrolama		Her karar verici için (XxWcxWg) toplamları												
Fabrikalar	Ağırlıklandırılmış toplam skor	KV1 (XxWcxWg)	KV2 (XxWcxWg)	KV3 (XxWcxWg)	KV4 (XxWcxWg)	KV5 (XxWcxWg)	KV6 (XxWcxWg)	KV7 (XxWcxWg)	KV8 (XxWcxWg)	KV9 (XxWcxWg)	KV10 (XxWcxWg)	KV11 (XxWcxWg)	TOPLAM	SIRA 1=En iyi
F1	105	0.321	0.310	0.314	0.309	0.320	0.302	0.318	0.305	0.311	0.316	0.310	34.360	3
F2	106	0.312	0.314	0.309	0.327	0.292	0.322	0.315	0.318	0.314	0.319	0.306	34.485	1
F3	103	0.318	0.310	0.310	0.299	0.330	0.298	0.315	0.304	0.313	0.311	0.313	34.197	4
F4	99	0.318	0.313	0.303	0.322	0.318	0.314	0.299	0.312	0.317	0.302	0.320	34.377	2
Doğrusal olmayan skrolama		Her karar verici için ağırlıklandırılmış kriter toplamları												
Fabrikalar	Ağırlıklandırılmış toplam skor	KV1 (X x Wc)	KV2 (X x Wc)	KV3 (X x Wc)	KV4 (X x Wc)	KV5 (X x Wc)	KV6 (X x Wc)	KV7 (X x Wc)	KV8 (X x Wc)	KV9 (X x Wc)	KV10 (X x Wc)	KV11 (X x Wc)		
F1	187	6.340	6.027	6.135	5.928	6.331	5.748	6.251	5.879	6.039	6.178	6.044		
F2	193	6.181	6.282	6.138	6.577	5.574	6.488	6.282	6.377	6.241	Haz.38	6.114		
F3	184	6.283	6.054	6.052	5.741	6.622	5.702	6.214	5.887	6.155	6.107	6.176		
F4	177	6.382	6.293	6.005	6.005	6.425	6.358	5.881	6.295	6.382	5.967	6.457		
Doğrusal olmayan skrolama		Her karar verici için (XxWcxWg) toplamları												
Fabrikalar	Ağırlıklandırılmış toplam skor	KV1 (XxWcxWg)	KV2 (XxWcxWg)	KV3 (XxWcxWg)	KV4 (XxWcxWg)	KV5 (XxWcxWg)	KV6 (XxWcxWg)	KV7 (XxWcxWg)	KV8 (XxWcxWg)	KV9 (XxWcxWg)	KV10 (XxWcxWg)	KV11 (XxWcxWg)	TOPLAM	SIRA 1=En iyi
F1	187	0.576	0.548	0.558	0.539	0.576	0.523	0.568	0.534	0.549	0.562	0.549	60.818	4
F2	193	0.562	0.571	0.558	0.598	0.507	0.590	0.571	0.580	0.567	0.580	0.556	62.395	2
F3	184	0.571	0.550	0.550	0.522	0.602	0.518	0.565	0.535	0.560	0.555	0.561	60.903	3
F4	177	0.580	0.572	0.546	0.591	0.584	0.578	0.535	0.572	0.580	0.542	0.587	62.677	1

4.4. Karar Vericilerin Önem Ağırlıklarına Uygulanan Duyarlılık Analizi

Her seçim ya da sıralama metodolojisinde daha fazla bilgi sağlamak için temel durum girdilerinin varsayımlarından birkaçına göre duyarlılık analizi gerçekleştirmek, durumun daha kapsamlı bir şekilde görülmesine yardımcı olmaktadır. Bu gibi yöntemleri uygularken, seçimi veya sıralamayı yönlendiren faktörler için maksimum faydayı sağlayan bütün duyarlılıklar değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada, buraya kadar her bir karar verici için önem ağırlıkları eşit (1/11) kabul edilmiştir. Sonrasında çalışmaya katılan ve Türk Otomotiv Ana Sanayi'nde yer alan 11 firma, sektörde her zaman eşit ağırlıkta yer alamayacağından ve objektif olmak için MATLAB'ta 11 karar verici için toplamı 1 olan, 0 ile 1 arasında 10 senaryodan oluşan sayılar türetilmiştir. Türetilen sayılar ise aşağıda Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Türetilen Sayılar

Senaryo	Türetilen Sayılar										
1. Senaryo	0.0206	0.0261	0.0648	0.0974	0.1165	0.0784	0.1420	0.1263	0.1650	0.0975	0.0656
2. Senaryo	0.0393	0.1358	0.1679	0.1000	0.0364	0.0700	0.0484	0.0728	0.1032	0.1198	0.1065
3. Senaryo	0.1271	0.0805	0.1360	0.0961	0.1378	0.0444	0.1011	0.0507	0.1006	0.1036	0.0219
4. Senaryo	0.0522	0.0476	0.1129	0.1388	0.0653	0.1294	0.1140	0.0157	0.1032	0.0716	0.1493
5. Senaryo	0.0176	0.0981	0.0915	0.0979	0.1518	0.0737	0.1544	0.0997	0.0237	0.0481	0.1434
6. Senaryo	0.0958	0.0422	0.0737	0.1181	0.0487	0.1400	0.0573	0.1699	0.0616	0.1445	0.0482
7. Senaryo	0.0534	0.0263	0.0931	0.1079	0.0890	0.0724	0.1025	0.1029	0.1073	0.1013	0.1439
8. Senaryo	0.0488	0.1278	0.0531	0.0346	0.1117	0.0868	0.0882	0.1203	0.1374	0.0711	0.1203
9. Senaryo	0.0764	0.1394	0.1381	0.0528	0.1056	0.1010	0.0948	0.1436	0.0540	0.0619	0.0324
10. Senaryo	0.1300	0.0932	0.0725	0.0925	0.0806	0.0935	0.0805	0.1027	0.0779	0.1368	0.0399

Tablo 8' de her bir karar vericiye verilen önem ağırlıkları ile fabrikaların sıralamalarındaki değişimleri belirlemek daha kolay hale gelmiştir. Önem dereceleri her metodolojide ilgili analizin son aşamasında uygulanır. Bu nedenle her bir karar vericinin sıralamalarına yol açan temel hesaplamaları kökten değiştirmeye gerek yoktur. Kullanılan 8 metot için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Tablo 9' da belirtildiği üzere mutlak sayılar, bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayılardan oluşan 8 ayrı metot için Ford OTOSAN fabrikalarının duyarlılık analizlerine göre sıralamalarındaki değişimler görülmektedir. Yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre Entropi Ağırlıklı Sezgisel Bulanık TOPSIS metotları (IFT-1, IFT-2, IFT-3) dışında diğer metotlar (Doğrusal Puanlama, Doğrusal Olmayan Puanlama, TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS) Ford OTOSAN fabrikalarının YZY kriterlerine göre sıralamaları değişkenlik göstermektedir. Doğrusal Puanlamaya göre duyarlılık analizi sonucunda oluşturulan senaryolarda F2 ön plana çıkmaktadır. Doğrusal Olmayan Puanlamaya ve TOPSIS göre ise F4 ön planda bulunmaktadır. Mutlak sayılara göre oluşturulmuş bu metotlara bakınca sıralamaların tutarsızlık gösterdiği görülmektedir.

Bulanık TOPSIS'e göre yapılan duyarlılık analizindeki senaryolar dağınık bir yapı göstermektedir. Ancak Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS'e göre oluşturulan senaryolarda F1 ön plana çıkmaktadır. Mutlak sayılarla oluşturulan metotlarda olduğu gibi bulanık sayılarla oluşturulan metotlardaki sıralamalarda da benzer tutarsızlıklar görülmektedir.

Entropi Ağırlıklı Sezgisel Bulanık TOPSIS (IFT-1, IFT-2, IFT-3) metotlarında ise; duyarlılık analizindeki senaryoların sıralamalarına göre tutarlılık göstermekte olup, F3 her üç metotta da ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla bu tutarlılığın sağlanmasında, sezgisel bulanık sayıların ve

entropi ağırlıklarının kullanımının duyarlılık analizi sonucu oluşturulan sıralamalara etki ettiği düşünülmektedir.

Tablo 9: Kullanılan Sekiz Ayrı Metot İçin Yapılan Duyarlılık Analizleri Sonuçlar

Mutlak sayılar kullanımı sonucu yapılan değerlendirmelerin duyarlılık analizi												
Duyarlılık Senaryoları	Doğrusal Puanlama				Doğrusal Olmayan Puanlama				TOPSIS			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Temel Senaryo	3	1	4	2	4	2	3	1	3	4	2	1
1. Senaryo	2	1	4	3	4	2	3	1	3	4	2	1
2. Senaryo	3	1	4	2	3	1	4	2	2	4	3	1
3. Senaryo	1	3	2	4	4	2	3	1	2	4	1	3
4. Senaryo	3	1	4	2	3	1	4	2	2	4	3	1
5. Senaryo	3	4	1	2	4	1	3	2	3	4	1	2
6. Senaryo	3	4	1	2	4	2	3	1	2	4	3	1
7. Senaryo	3	1	4	2	4	2	3	1	3	4	2	1
8. Senaryo	3	2	4	1	4	2	3	1	3	4	1	2
9. Senaryo	2	1	4	3	4	2	3	1	1	4	3	2
10. Senaryo	2	1	4	3	1	2	4	3	1	4	3	2
Bulanık sayıların kullanımı sonucu yapılan değerlendirmelerin duyarlılık analizi												
Duyarlılık Senaryoları	Bulanık TOPSIS				Entropi Ağırlıklı Bulanık TOPSIS							
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4				
Temel Senaryo	4	2	3	1	1	2	3	4				
1. Senaryo	4	3	1	2	1	2	4	3				
2. Senaryo	3	1	4	2	1	2	3	4				
3. Senaryo	2	4	1	3	2	1	4	3				
4. Senaryo	4	1	3	2	1	2	3	4				
5. Senaryo	3	4	1	2	2	1	4	3				
6. Senaryo	3	4	1	2	1	4	2	3				
7. Senaryo	4	2	3	1	1	2	3	4				
8. Senaryo	3	4	2	1	2	1	3	4				
9. Senaryo	4	3	2	1	1	2	4	3				
10. Senaryo	4	1	3	2	1	2	3	4				
Sezgisel bulanık sayıların kullanımı sonucu yapılan değerlendirmelerin duyarlılık analizi												
Duyarlılık Senaryoları	IFT-1				IFT-2				IFT-3			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Temel Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3
1. Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3
2. Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3
3. Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3
4. Senaryo	2	4	1	3	2	3	1	4	2	4	1	3
5. Senaryo	3	4	1	2	2	3	1	4	2	4	1	3
6. Senaryo	2	4	1	3	2	4	1	3	2	4	1	3
7. Senaryo	3	4	1	2	2	3	1	4	2	4	1	3
8. Senaryo	3	4	1	2	2	3	1	4	2	4	1	3
9. Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3
10. Senaryo	3	4	1	2	2	4	1	3	2	4	1	3

5.Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmanın en önemli noktalarından bir tanesi YZY kriterlerinin araştırmaya katılan Türk otomotiv ana sanayi firmaları tarafından ağırlıklandırılması, ağırlıklandırılan kriterler ile de Ford OTOSAN'ın fabrikalarının değerlendirilmesidir. Burada ilgi çeken nokta, otomotiv ana sanayide yer alan firmalardan elde edilen genel bilgi, o firmaların içerisinde yer alan bir firmaya uygulanmış olmasıdır. Diğer bir önemli nokta ise bu çalışma ile Türk otomotiv ana sanayi, YZY konusunda eksikliklerini görebilir ve bu eksikleri tamamlayabilir. Ayrıca bu

çalışma sektöründe yer alan firmaların önem ağırlıkları değiştikçe kararlarda gözlenen değişimleri görmek adına bir kaynaktır. Çalışmanın ilk aşamasında literatürden alınan YTZY kriterleri, Türk otomotiv ana sanayinde yer alan uzmanların görüşleri alınarak tekrardan oluşturulmuştur. İkinci aşamada YTZY kriterlerinin değerlendirilmiş, ağırlıkları yüksek olanlar kriterler yeşil geri dönüşüm ve yeşil tasarım ana kriterlerinin altında yer alan alt kriterlerde bulunduğu görülmüştür. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı, tedarikçilere kendi çevre yönetim sistemini kurması için yardım edilmesi, zararlı ürünlerin ve/veya üretim prosesinin kullanımının azaltılmasını veya kullanımından kaçınılmasını sağlayan ürünlerin tasarımının yapılması, materyallerin tekrar kullanımı (reuse), geri dönüşümünü (recycle), tekrar kazanımını (recovery) sağlayan ürün tasarımının yapılması ve materyal/enerji tüketimini azaltan ürün tasarımının yapılması olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerin arasında ağırlığı düşük olanlar yeşil depolama ana kriterinin altında bulunduğu görülmüştür. Bunlar; ürün stok seviyelerinin azaltılması, fazla stokların satılması, imalata girecek hammaddelerin/parçaların depolanması, atıl durumdaki ekipmanların değerlendirilmesi ve müşterilerle çalışılarak çevresel etkiyi azaltacak faaliyetlerde bulunulması olarak belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında Ford OTOSAN'nın dört fabrikası, YTZY kriterleri kapsamında mutlak sayılar, bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayılar kullanılarak sekiz ayrı metotla değerlendirilmiştir. Farklı sıralamalar elde edilmiştir. Bu nedenle karar vericilerinin ağırlıklarının değiştirildiği 10 farklı senaryo türetilerek sıralamalar tekrardan değerlendirilmiştir. Sonucunda Entropi Ağırlıklı Sezgisel Bulanık TOPSIS metotlarının, bu tip uygulamalarda, diğer metotlara göre daha etkin olduğu görülmüştür.

İleriki çalışmalar için öneriler:

- Bu çalışma otomotiv ana sanayi dışında farklı sanayi kollarında da gerçekleştirilebilir. Özellikle de beyaz eşya sektörüne uygulandığında çok başarılı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.
- Farklı metotlar uygulanarak daha geniş çapta karşılaştırmalar yapılabilir.
- Yapılan duyarlılık analizinde belirlenen senaryolar artırılarak metotların tutarlılığı daha derin olarak incelenebilir.
- Çalışmada yer alan YTZY kriterleri dikkate alınarak Türk Otomotiv Ana Sanayi'nde görülen eksiklikler firmalar tarafından tamamlanabilir.
- Firmaların sayısı artırılarak Türk Otomotiv Ana Sanayi daha geniş bir yelpazede incelenebilir.

Kaynaklar

- Atanassov, Krassimir T (1999), "Intuitionistic Fuzzy Sets", *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications* içinde (s.1-137), Physica-Verlag, Heidelberg.
- Barari, Sikhar; Agarwal, Gaurav; Zhang, W. J. Chris; Mahanty, Biswajit; Tiwari, M. Kumar (2012), "A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach", *Expert Systems With Applications*, C.39(S.3), s.2965-2976.
- Borcherding, Katrin; Schmeer, Stefanie; Weber, Martin (1995), "Biases in multiattribute weight elicitation", *Contributions to Decision Making*, Elsevier.
- Büyükoğkan, Gülçin; Çifçi, Gizem (2012), "A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers", *Expert Systems with Applications*, C. 39(S.3), s.3000-3011.
- Chen, Chiau-Ching; Shih, Hsu-Shih, Shyur; Huan-Jyh; Wu, Kun-Shan (2012), "A Business Strategy Selection Of Green Supply Chain Management Via An Analytic Network Process", *Computers & Mathematics with Applications*, C.64(S.8), s.2544-2557.
- De Luca, Aldo.; Termini, Settimo. (1972), "A Definition Of A Nonprobabilistic Entropy In The Setting Of Fuzzy Sets Theory", *Information and Control*, C.20(S.4), s.301-312.
- Demirci, Uğraş (2014), "*Green Supply Chain Management Case: Turkish Automotive Industry by Practices, Pressures And Performance*", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, University of Gavl.
- Diabat, Ali; Govindan, Kannan (2011), "An Analysis of The Drivers Affecting The Implementation Of Green Supply Chain Management", *Resources, Conservation and Recycling*, C.55(S.6), s.659-667.
- Diabat, Ali; Khodaverdi, Roohollah; Olfat, Laya (2013), "An Exploration of Green Supply Chain Practices and Performances in An Automotive Industry", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, C.68(S.1), s.949-961.
- Drohomeretski, Everton; Gouvea da Costa, Sergio; Pinheiro de Lima, Edson (2014), "Green Supply Chain Management", *Journal of Manufacturing Technology Management*, C.25(S.8), s.1105-1134.
- Edwards, Ward (1977), "How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decisionmaking", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, C.7(S.5), s.326-340.
- Ghazanfari, Mehdi; Rouhani, Saeed; Jafari, Mostafa (2014), "A Fuzzy TOPSIS Model To Evaluate The Business Intelligence Competencies of Port Community Systems", *Polish Maritime Research*, C.21(S.2), s.86-96.
- Hung, Chia-Chang; Chen, Liang-Hsuan (2009), "A Multiple Criteria Group Decision Making Model with Entropy Weight in an Intuitionistic Fuzzy Environment" (ss. 17-26).
- Jain, V. K.; Sharma, Shivani (2012), "Green Supply Chain Management Practices in Automobile Industry: An Empirical Study", *Journal of Supply Chain Management Systems*, C.1(S.3), s.20.
- Jamshidi, Rasoul; Ghomi, S. Fatemi; Karimi, Behrooz (2012), "Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method", *Scientia Iranica*, C.19(S.6), s.1876-1886.
- Krohling, Renato A.; Campanharo, Vinicius C. (2011), "Fuzzy TOPSIS For Group Decision Making: A Case Study For Accidents With Oil Spill In The Sea", *Expert Systems With Applications*, C.38(S.4), s.4190-4197.
- Lin, Ru-Jen (2013), "Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices", *Journal of Cleaner Production*, C.40, s.32-39.
- Luthra, Sunil; Kumar, Vinod; Kumar, Sanjay; Haleem, Abid (2011), "Barriers To Implement Green Supply Chain Management in Automobile Industry Using Interpretive Structural Modeling Technique-An Indian Perspective", *Journal of Industrial Engineering and Management*, C.4(S.2), s.231-257.
- Mathiyazhagan, Kaliyan; Diabat, Ali; Al-Refaie, Abbas; Xu, Lei (2015), "Application of analytical hierarchy process to evaluate pressures to implement green supply chain management", *Journal of Cleaner Production*, C.107, s.229-236.
- Mathiyazhagan, Kaliyan; Govindan, Kannan; NoorulHaq, A.; Geng, Yong (2013), "An ISM Approach For The Barrier Analysis in Implementing Green Supply Chain Management", *Journal of Cleaner Production*, C.47, s.283-297.
- Rostamzadeh, Reza; Govindan, Kannan; Esmaeili, Ahmad; Sabaghi, Mahdi (2015), "Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices", *Ecological Indicators*, C.49, s.188-203.
- Sanghavi, Punith; Rana, Yash; Shenoy, Shridhar; Yadav, Rohit (2015), "A Review On Green Supply Chain Management in Automobile Industry", *International Journal of Current Engineering and Technology*, C.5(S.6), s.3697-3702.
- Sarkis, Joseph (2003), "A Strategic Decision Framework For Green Supply Chain Management", *Journal of Cleaner Production*, C.11(S.4), s.397-409.
- Shang, Kuo-Chung; Lu, Chin-Shan; Li, Shaorui (2010), "A Taxonomy Of Green Supply Chain Management Capability Among Electronics-Related Manufacturing Firms in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, C.91(S.5), s.1218-1226.

- Shen, Lixin; Olfat, Laya; Govindan, Kannan; Khodaverdi, Roohollah; Diabat, Ali (2013), "A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences", *Resources, Conservation and Recycling*, C. 74, s.170-179.
- Szmidt, Eulalia; Kacprzyk, Janusz (2001), "Entropy For Intuitionistic Fuzzy Sets", *Fuzzy Sets And Systems*, C.118(S.3), s.467-477.
- Tseng, Ming-Lang; Chiu, Anthony S.F. (2013), "Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences" *Journal of cleaner production*, C. 40, s.22-31.
- Vanalle, Maria Rosangela ve Blanco Santos, Leandro (2014), "Green Supply Chain Management in Brazilian Automotive Sector", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, C.25(S.5), s.523-541.
- Vlachos, Ioannis K.; Sergiadis, George D. (2007), "Intuitionistic Fuzzy Information-Applications To Pattern Recognition", *Pattern Recognition Letters*, C.28(S.2), s.197-206.
- Wang, Fan; Lai, Xiaofan; Shi, Ning (2011), "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*, 51(2), 262-269.
- Wang, Tien-Chin; Lee, Hsien-Da; Chang, Michael Chao-Sheng (2007), "A Fuzzy TOPSIS Approach With Entropy Measure For Decision-Making Problem", *Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE International Conference on*, 124-128.
- Wood, David A. (2016), "Supplier Selection For Development Of Petroleum Industry Facilities, Applying Multi-Criteria Decision Making Techniques Including Fuzzy and Intuitionistic Fuzzy TOPSIS With Flexible Entropy Weighting", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, C.28, s.594-612.
- Ye, Jun (2010), "Multicriteria Fuzzy Decision-Making Method Using Entropy Weights-Based Correlation Coefficients Of Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets", *Applied Mathematical Modelling*, C.34(S.12), s.3864-3870.
- Yuçe, Barış; Mastrocinque, Ernesto (2015), "A hybrid approach using the Bees Algorithm and Fuzzy-AHP for supplier selection", *Handbook of Research on Advanced Computational Techniques for Simulation-Based Engineering*, 171.