

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA YENİ ÜRÜN DEĞERLENDİRME KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ

Cansu Güler

Doktora Öğrencisi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
cansu.guler@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-9621-8597

Prof. Dr. Ali Görener

İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
egorener@ticaret.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6000-5143

ÖZ

Küresel iklim krizi doğrultusunda işletmeler, ürün portföylerini, çevreye olan olumsuz etkileri azaltılmış, daha sürdürülebilir ürünlerle dönüştürmeye çalışmaktadır. Ancak bu doğrultuda ele alacakları aktivitelerde bu değerlendirmeleri nasıl yapacakları, hangi unsurları nasıl önceliklendirecekleri ile ilgili yol haritaları ve araçlara ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı işletmelerin ürün fikirlerini salt çevre boyutu veya finansal unsurlar gibi tek boyutlu değerlendirme yaklaşımları yerine finansal, çevre ve sosyal boyutların tamamının temel alındığı bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektir. Bu değerlendirmeler işletmelerin yeni ürün kararlarında daha sürdürülebilir sonuçlar elde edebilmeleri için nitel ve nicel değişkenlerin bir arada değerlendirildiği ve hangi önem derecesi ile ele alacakları noktasında bir görüş sunacaktır. Çalışmada ele alınan finansal ve finansal olmayan kriterler, otomotiv sektöründen toplam 18 uzmanın değerlendirmeleri Bulanık FUCOM modeli ile analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda otomotiv sektöründe en baskın kriterlerin finansal kriterler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Yeni Ürün Geliştirme, Bulanık FUCOM.

Araştırma Alanı: Üretim Yönetimi

JEL Kodları: M10, C44

Gönderim Tarihi: 05.02.2025; Kabul Tarihi: 15.05.2025
Copyright © İstanbul Ticaret Üniversitesi Girişimcilik Dergisi

ANALYSIS OF EVALUATION CRITERIA FOR NEW PRODUCTS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY

ABSTRACT

In line with the global climate crisis, businesses are striving to transform their product portfolios with more sustainable products that have reduced negative environmental impacts. However, they require roadmaps and tools to determine how to assess these activities and how to prioritize different factors. The aim of this study is to evaluate business product ideas using a holistic approach that considers financial, environmental, and social dimensions, rather than single-dimensional assessment approaches based solely on environmental or financial factors. These evaluations will provide insights into how businesses can achieve more sustainable outcomes in their new product decisions by integrating both qualitative and quantitative variables and determining their relative importance. In this study, financial and non-financial criteria were analyzed using the Fuzzy FUCOM model based on assessments from a total of 18 experts in the automotive sector. The results indicate that financial criteria are the most dominant factors in the automotive industry.

Keywords: Sustainability, New Product Development, Fuzzy FUCOM.

Research Field: Production Management

JEL Codes: M10, C44

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte seri üretimin altın çağına geçişi, çok daha kısa ürün yaşam döngüleri ve müşterilerin yüksek ürün çeşitliliği beklentisini ortaya koymuştur (Anderson vd. 2023). Bu bağlamda, artan beklentilerin

karşılanması için yeni ürün geliştirme alanındaki araştırmalar da katlanarak artmıştır (Haug, 2022). Yeni ürün geliştirme alanında önde gelen otoritelerden biri olan Ürün Geliştirme ve Yönetim Derneği (PDMA) "PDMA Yeni Ürün Geliştirme El Kitabı" eserinin açılış bölümünde Cooper (2009)'a atıf yaparak yeni ürünleri pazarda kaybedenler ile kazananlar arasındaki ayırıcı rolünü vurgulamaktadır.

Risk ihtiva eden, zorlu ve yüksek maliyetli yapısına rağmen yeni ürün geliştirme süreci işletmelerin varlıklarını devam ettirebilmeleri için son derece önemlidir (Bulğurcu ve Koçak, 2020). Yeni ürünler işletmelere büyüme imkânı ve rekabet avantajı sağlamaktadır (Einizadeh ve Kasraei, 2021). Bir başka deyişle şirketler rekabet güçlerini sürdürebilmek için istikrarlı bir yeni ürün geliştirme süreci izlemeli ve bu ürünlerin pazara arzını sağlamalıdır (Yang ve Hsu, 2019). Ancak farklı çalışmalar analiz edildiğinde yeni ürün geliştirme süreçlerinde başarı oranının %25'in altında olduğu dair bulgular ile karşılaşmıştır (Martínez ve Seclen, 2023). Bu duruma benzer olarak literatürde, 7 ile 10 yeni ürün projesinden sadece bir tanesinin ticari başarıya ulaştığına dair bulgular yer almaktadır (Fabo, vd., 2023). Dolayısıyla son 30 yılda yeni ürün geliştirme kavramı çok disiplinli bir yaklaşım olarak ele alınarak, boyutlandırılmaya çalışılmış ve başarılı ürün geliştirme süreçlerine yönelik metodolojiler ortaya konmuştur (Marzi vd., 2021). Bu alanda sürdürülebilirlik odaklı bakış açıları da güncel bir çözüm önerisi olarak ele alınmaktadır.

Kyoto Protokolü, Kopenhag Anlaşması ve Paris İklim Değişikliği Anlaşması gibi iklim ve sürdürülebilirliğe ilişkin tartışmaların yer aldığı toplantı ve çalışmalar, çevresel sürdürülebilirliğe ilişkin endişelerin arttığını göstermektedir (Oliveira vd, 2019). Araştırmacılar, yeşil tasarım (Eco-Design) kavramından sürdürülebilirlik odaklı ürün tasarımına yönelik önemli bir kayma olduğunu vurgulamaktadır (Aguilar vd., 2022). Borah vd. (2023), yeni ürünlerin pazarda başarılı olabilmesi için işletmelerin yeşil politikaları ürün geliştirme süreçlerine entegre etmesinin önemini vurgulamıştır. Benzer şekilde çok sayıda çalışmada şirketlerin çevresel sürdürülebilirliğini iyileştirmenin bir yolu olarak yeni ürün geliştirmeye odaklanmaları önerilmektedir (Alnajem vd, 2021).

Khannan vd. (2021) yayınladıkları 2010-2019 yılları arasında yeni ürün alanındaki araştırmaları analiz ettikleri çalışmalarında sürdürülebilir ürün geliştirme, çevreci ürün tasarımı, genel ürün tasarımı olarak 3 kategorinin ön plana çıktığını tespit etmişlerdir. Temmuz 2022'de Amerika'da gerçekleşen 5. Ürün Geliştirme Yönetimi Derneği Doktora Konsorsiyumu 60'dan fazla yeni ürün geliştirme alanında çalışan akademisyenin katkısı ile yeni ürün geliştirme ve inovasyon alanında potansiyel çalışma alanlarını belirlemek için bir araya geldikleri etkinlikte en öncelikli araştırma konularından birini yeni ürün geliştirmede sürdürülebilirlik olarak belirlemiştir (Xiao ve Bharadwaj, 2023). Ancak, işletmelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine uyum çalışmalarında yeni ürünleri ve üretim süreçlerini şekillendirirken hangi sürdürülebilirlik indikatörünü kullanabileceklerinin araştırılması önemlidir (Agarwal ve Ojha, 2024). Kolse ve Fröhling (2025) de işletmelerin sürdürülebilir yeni ürünler

ortaya koyabilmeleri için geliştirme sürecinin erken aşamalarında sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapmalarını önermekte ancak bu aşamada sınırlı bilgi kaynaklı zorlu bir problem ile karşı karşıya olduklarını vurgulamaktadırlar.

Bu temelden yola çıkarak çalışmamızda öncelikle yeni ürün geliştirme alanında hangi sürdürülebilirlik kriterlerinin kullanılabileceği ile ilgili araştırmalar yapılmış, devamında bulanık mantık tekniklerinden yararlanılarak otomotiv sektöründeki uzmanların değerlendirmeleri doğrultusunda belirlenen kriterlerin önem dereceleri belirlenerek işletmelerin yeni ürün kararlarında kullanabileceği bir değerlendirme yaklaşımı sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmamız dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konuya ilişkin kavramsal çerçeve yer almakta, özet olarak literatüre değinilmektedir. Üçüncü bölümde araştırmanın yapısına dair bilgiler aktarılmış olup, kullanılan yöntem ve uygulama çalışması bulunmaktadır. Dördüncü bölümde ise sonuçların irdelenmesi ve benzeri çalışmalarla birlikte değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

İşletmelerin, sürdürülebilirliği bir maliyet unsuru yerine bir gelişim fırsatı olarak görmeye başlaması ile yeni ürün geliştirme süreçlerinde sürdürülebilirlik uygulamaları ile ilgili araçlar ve tekniklere yönelik ilgi artmıştır (Kalish, vd. 2018). Günümüz dünyasında, bir yandan müşteriler daha sürdürülebilir ürünler talep ederken diğer tarafta da hükümetlerin daha sürdürülebilir iş süreçlerine yönelik yaptırımları her geçen gün artmaktadır (Gupta ve Gupta, 2020). Bu alanda literatürdeki çalışmalar da ya çevresel stratejilerin yeni ürün süreçlerine entegre edildiği ya da finansal boyutun daha baskın olduğu bir noktadadır, çok boyutlu ve bütünsel yaklaşımların ele alındığı çalışmaların sayısı oldukça azdır (Hynds, vd. 2014). Bu alanda yapılan bazı güncel dönem çalışmaları aşağıda açıklanmaktadır.

Driessen vd. (2013) çalışmalarında kimya ve gıda endüstrilerini ele alarak yeşil ürün geliştirme sürecinde ürünün çevreci özellikleri ile maliyet ve yenilik derecesi arasında dengeleme sağlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca yeşil ürün geliştirme sürecinde pazar yönelimi, şirket politikası gibi unsurların ön planda olması gerektiği çıkarımında da bulunulmuştur. Gmelin ve Seuring (2014) araştırmasında sürdürülebilir ürünler için, PLM (Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi), sürdürülebilirlik ve yeni ürün geliştirme arasındaki bağlantılara dair kavramsal bir çerçeve sunmuştur. Alblas vd. (2014) çalışmalarında imalat sektöründe çalışan 6 farklı işletme üzerinde yaptıkları çalışmada sürdürülebilirliğin yeni ürün süreçlerine entegrasyonunda karşılaştıkları zorlukları tespit etmeye odaklanmış ve bu alanda yöntem ve araç eksiklikleri, hedef ve kapsam tanımlama zorlukları ve bazı iç motivasyon eksiklikleri ile ilgili bulgular elde etmişlerdir.

Goffin (2017) kitabının bir bölümünde yeni ürün geliştirme süreçlerinde Stage – Gate yaklaşımının uygulaması ile ilgili kavramsal çerçeve ve uygulama örneklerine yer vermiştir. Zetterlund, vd. (2016) çalışmasında ürün

geliştirmede sürdürülebilirlik odaklı karar verme ile ilgili uygulama fırsat ve zorluklarına değinmiştir. Hallstedt (2017) ürün geliştirmede sürdürülebilirliğin üç boyutunu da kapsayacak şekilde alt kriterlerin belirlenmesi ve karar vermeye yardımcı bir matris oluşturulmasına yönelik çalışmalar sunmuştur. Schögl vd. (2017) otomotiv endüstrisinde sürdürülebilirliğin üç boyutunu da ele alacak şekilde ürün geliştirmede kriterlerin belirlenmesine yönelik bir çalışma ortaya koymuştur.

Bibaud-Alves vd. (2018) çalışmasında yeni ürün geliştirmenin, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden 8 (insana yakışır iş ve ekonomik büyüme) , 9 (sanayi, yenilikçilik ve altyapı) ve 12 (sorumlu üretim ve tüketim) ile olan ilişkisinden yola çıkarak yeni ürün geliştirme, Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik yaklaşımı arasındaki karmaşık ilişkiyi açıklamaya çalışmıştır. Chang ve Cheng (2019) sürdürülebilirliğin 3 boyutu ile ilgili 31 kriteri ele alan çok kriterli karar verme çalışması sunmuşlardır. Ahmadi-Gh ve Pintado (2021) üretim sektöründe sürdürülebilirlik konseptinin yeni ürün geliştirme başarısına etkisini araştırmıştır ve kalite, maliyet, üretim kolaylığı gibi açılardan olumlu etkisi ile ilgili bulgulara ulaşmıştır. Delaney vd. (2022) çalışmasında sürdürülebilirliğin özellikle çevresel boyutunu temel alarak tasarım aşamasında sürdürülebilirlik bakış açısının ürüne yansıtılmasının önemini vurgulamıştır.

Borah vd. (2023) firmaların ürün geliştirme ve ürün arzında yeşil yaklaşımları stratejilerine ve süreçlerine entegre etmesinin ürün başarısına etkisini araştırmış ve özellikle yeşil inovasyon süreçlerinin ürünlerin pazardaki kabul edilmesi ile olumlu ilişkisini tespit etmiştir. Ncube vd. (2023) araştırmasında özellikle kimya endüstrisini temel alarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için, yenilenebilir hammaddelerden üretilen, yeniden kullanım, geri dönüşüm veya geri kazanım için tasarlanmış ve düşük enerji kullanılarak işlenebilen yeni ürünlerin önemini açıklamıştır. Hegab vd. (2023)'nin imalat sektöründe sürdürülebilirlik stratejileri için hangi yönetim araçlarının kullanılabileceğine yönelik araştırması ile yeni ürünlerin üretim aşamasında hangi noktalara odaklanılacağı ile ilgili bir kılavuz sunmuştur.

Dias vd. (2024) kimyasal hammaddelerin güvenlik ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesine yönelik Avrupa Komisyonu tarafından SSbD (Safe and Sustainable by Design) tekniği ile çok kriterli karar verme yaklaşımlarının kullanımını değerlendirmiş ve yöntemlerin beraber kullanılmasının faydalarından bahsetmiştir. Vijaya vd.(2025) otomotiv sektörü için 17 ESG (Çevre, Sosyal ve Yönetişim) indikatörlerini değerlendirdiği araştırmasında sürdürülebilir ürün geliştirme, sürdürülebilir üretim, ürün güvenilirliği, emisyonlar ve kurumsal sürdürülebilirlik stratejileri gibi başlıklar yeni ürün geliştirme açısından da oldukça önemli olduğunu belirtmiştir. Klein vd. (2025) kozmetik sektöründe ürünlerin sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli bir bileşeni olan ambalajlarının sürdürülebilirliğini doğrudan çevresel etki, dolaylı çevresel etki, sertifikalı malzeme kullanımı ve ambalaj verimliliği olarak 4 boyutta incelemiş ve geri dönüşüm malzeme kullanımını en önemli öncelik olarak değerlendirmiştir.

Bu alandaki mevcut araştırmalarda daha kısıtlı veya tek boyutlu değerlendirme kriterleri kullanıldığı gözlemlenmiştir. Çalışmamızda işletmeler için çok boyutlu, farklı sektörlerde farklı özelliklere sahip yeni ürünlerin tasarımı ürünün yaşam döngüsü sonuna kadarki etkilerini bütünsel olarak anlamlandırabilecekleri bir çerçeve sunulmaktadır. Ayrıca alanında uzman profesyonellerin görüşlerinin bulanık FUCOM gibi tutarlılığı yüksek bir analiz yaklaşımı ile değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylelikle uygulamacılar için sürdürülebilir yeni ürünler geliştirmede hangi kriterlerin daha etkili olduğu ile ilgili görünürlük sağlanmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Amacı

İmalat sanayi için daha sürdürülebilir ürünler geliştirmek günümüzde temel bir öncelik haline almıştır (Chang vd., 2014,s.48). Bu önceliğin temelinde,

- i. Tüketicilerin daha sürdürülebilir ürünlere yönelmesi (Gmelin ve Seuring, 2014)
- ii. Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve Döngüsel Ekonomi Eylem Planı gibi regülatif uygulamaların daha sürdürülebilir ürünlere yönelik yaptırımları (Thormann vd. 2021)
- iii. Paydaşların çevre bilincinin artması (Chen vd., 2020)
- iv. Doğru kararlar verildiğinde sürdürülebilir ürünlerin daha yüksek gelirler ve daha düşük operasyon maliyetleri ile daha karlı bir yapı sunması (Palmer ve Truong, 2017)

gibi motivasyon kaynakları yatmaktadır. Ancak bir şirketin sürdürülebilirlik taahhüdü, organizasyonun genelini etkileyen bir karar verme sürecidir ve bu süreçte sürdürülebilirlik hedeflerine uygun hareket edebilmek için, sürdürülebilirlik kriterlerinin ürünün erken konsept geliştirme aşamasına dahil edilebilmesi bir ön koşuldur (Watz ve Hallsted, 2022). İşletmelerde ürün geliştirmekten sorumlu ekiplerin sürdürülebilirlik açısından bütünsel bir bakış açısı sunması zorlu alandır ve genellikle yeterli bilgiye ulaşılmamaktadır (Turan vd. 2016). Araştırmanın amacı Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat ve Döngüsel Ekonomi Eylem Planında önceliklendirilen endüstri alanlarından biri olan otomotiv sektörü (Istrițeanu, vd., 2024) için bu kriterlerin ortaya konması ve önceliklerinin belirlenmesi ile işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarında bir başlangıç noktası sunulmasıdır.

3.2. Veri Toplama

Veri toplama çalışmalarında araştırmanın hedef sektörü olan otomotiv sektöründen toplam 18 uzman ile görüşmeler yapılmış ve yarı yapılandırılmış formlar aracılığıyla veriler toplanmıştır. Uzmanların belirlenmesinde ürün geliştirme alanında bilgi sahibi olmaları, eğitimleri, tecrübe seviyeleri, pozisyonları gibi hususlar dikkate alınmıştır. Ayrıca uzmanların sürdürülebilirlik disiplini hakkında bilgi sahibi olmalarına da özen gösterilmiştir. Eğitim seviyesi olarak en az lisans mezunu seviyesi değerlendirilmiştir. Araştırmada Ar-Ge ve ürün geliştirme alanında çalışan uzman, mühendis,

yönetici, şef, müdür ve direktör gibi pozisyonlar ile görüşmeler yapılmıştır. Uzmanların tamamı 8 sene ve üzeri iş tecrübesine sahiptir. Uzmanların %55'i eğitim olarak lisans üzeri seviyededir. Uzmanlar yoğunlukla makine mühendisliği gibi disiplinlerden mezundur. Otomotiv sektöründeki uzmanların demografik bilgileri Tablo 1 de sunulmuştur.

Tablo 1. Uzmanlara ait Demografik Bilgiler

	Yaş	Eğitim	Tecrübe	Pozisyon
KV1	55-59	Lisans	33	Ar-Ge Merkezi Yöneticisi
KV2	40-44	Doktora	20	Akademisyen, Yönetici
KV3	35-39	Yüksek Lisans	15	Ar-Ge Merkezi Proje Yöneticisi
KV4	35-39	Yüksek Lisans	14	Şef
KV5	30-34	Lisans	9	Proje Yöneticisi
KV6	50-54	Yüksek Lisans	29	Ar-Ge Direktörü
KV7	40-44	Yüksek Lisans	21	Ar-Ge Merkezi Yöneticisi
KV8	30-34	Yüksek Lisans	12	Ar-Ge Proje Yöneticisi
KV9	35-39	Lisans	13	Ar-Ge Proje Yöneticisi
KV10	30-34	Lisans	8	Ar-Ge Proje Uzmanı
KV11	30-34	Yüksek Lisans	9	Otomotiv Yan Sanayi Müdürü
KV12	35-39	Lisans	14	Otomotiv Ürün Geliştirme Yöneticisi
KV13	35-39	Lisans	11	Proje Uzmanı
KV14	30-34	Lisans	9	Proje Uzmanı
KV15	35-39	Yüksek Lisans	9	Elektrikli Araç Sistemleri Sorumlusu
KV16	30-34	Lisans	8	Elektrikli Araçlar Yazılım Mühendisi
KV17	30-34	Yüksek Lisans	8	Proje Yönetim Uzmanı
KV18	35-39	Yüksek Lisans	16	Ar-Ge ve Test Mühendisi Şef

3.3. FUCOM ve Bulanık FUCOM

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında sübjektif bir kriter ağırlıklandırma yaklaşımı olan Tam Tutarlılık Metodu FUCOM (Full Consistency Method) kullanılmıştır. Sübjektif kriter ağırlıklandırma yaklaşımları, ikili kıyaslama prensibi ile çalışan, oldukça yaygın kullanıma sahip yöntemlerdir (Pamucar vd.,2018).

FUCOM yöntemi Pamucar vd tarafından 2018'de "A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM) " çalışması ile literatüre kazandırılmıştır. Pamucar vd.(2018)'e göre daha az sayıda ikili kıyaslama içermesi dolayısıyla BWM (Best Worst Method) ve AHP (Analytic Hierarchy Process) metodlarına göre avantajlıdır (Akbari vd., 2021). BWM yönteminde $2n - 3$ (Rezaei, 2015), AHP yönteminde ise $(n^2 - n)/2$ (Leal, 2020) adet ikili kıyaslama yapılırken, FUCOM yöntemi sadece $n - 1$ adet ikili kıyaslamaya ihtiyaç duymaktadır (Böyükaslan ve Ecer, 2021). İkili kıyaslama sayısının azalması modellerdeki tutarsızlık problemi açısından olumlu bir etkiye sahiptir (Ecer, 2021). Ayrıca yöntem farklı dilsel ölçekler ile kullanım açısından esnektir. Modelin iki temel koşulu bulunmaktadır. Bu koşullar Pamucar ve Ecer (2020)'göre

- Kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkilerin kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması
- Kriter karşılaştırmalarında matematiksel geçişliliğin sağlanmasıdır.

Çok sayıda değerlendirici ile yapılan görüşmelerde, verilerin kesin olmayan yapısı ve dilsel ifadelerin sayısal değerlere dönüştürülebilmesi için bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır. Bulanık küme teorisi, dilsel değişkenlere üyelik dereceleri atar ve onları olasılık dağılımı olarak kabul eder (Ayadi vd.,2021). Teori 1965 yılında Zadeh tarafından literatüre kazandırılmıştır (Atçı ve Atalay, 2022). Yamuk, üçgen veya Gauss gibi bulanık sayıların çeşitli şekilleri olmasına rağmen, literatürde araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen uygulama üçgen bulanık sayılardır (Pamucar ve Ecer, 2020).

Üçgen bulanık sayı üç gerçek sayı ile temsil edilen bir bulanık küme türüdür (Katrancı ve Kundakçı, 2020). Üçgen bulanık sayı, bulanık bir olayda sırasıyla alt sınır değerini, merkezi ve üst sınır değerini, " l , m ve u " notasyonları ile ifade eder (Madenoglu,2019). Ayrıca $T=(l,m,u)$ olarak gösterilirse $l \leq m \leq u$ olacak şekilde sıralanmaktadır ve bulanık bir olayda l değeri alt sınır değerini, m değeri merkezi değeri, u değeri ise üst sınır değerini belirtmektedir. Bulanık üçgen sayının üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0 & , x < l \\ (x-l)/(m-l) & , l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & , m \leq x \leq u \\ 0 & , x > u \end{cases}$$

Bulanık FUCOM, metodun ilk geliştiricisi olan Pamucar tarafından, 2020 yılında ilk kez uygulanmıştır, aynı yıl içinde Pamucar ve Ecer tarafından yapılan iyileştirme çalışmaları ile metod son haline getirilmiştir (Ecer,2021).

Bulanık FUCOM yönteminde kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayı değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Çalışmada kriterlerin dilsel karşılıkları için Tablo 2'de sunulan değerler esas alınmıştır.

Tablo 2. Bulanık FUCOM Ölçeği

Dilsel Terimler	Kısaltmalar	Bulanık Sayı Değeri		
Eşit derecede önemli	EI	1	1	1
Zayıf derecede önemli	WI	2/3	1	3/2
Oldukça önemli	FI	3/2	2	5/2
Çok önemli	VI	5/2	3	7/2
Kesinlikle önemli	AI	7/2	4	9/2

Kaynak: Pamucar ve Ecer, 2020

Bulanık FUCOM'un adımları aşağıdaki gibidir. (Pamucar ve Ecer, 2020)

Adım 1: Önceden belirlenmiş kriterler en önemliden en az önemli kriterine doğru sıralanır.

$$C_{J(1)} > C_{J(2)} > \dots > C_{J(k)}$$

k: gözlemlenen kriter sıralaması

İki ya da daha çok kriterin aynı derecede öneme sahip olduğu bir durum varsa, bu kriterler arasında ">" yerine eşitlik işareti kullanılır.

Adım 2: Kriterler aşağıdaki denklem yardımıyla birbiri ile kıyaslanır. Karşılaştırma ilk sıradaki (en önemli) kriterine göre yapılmaktadır. Bu kıyaslama ile kriterlerinin karşılaştırmalı önem vektörü oluşturulur. Böylece ikinci adımda sıralanan tüm kriterler için bulanık kriter anlamlılığı ($\omega c_j(k)$) elde edilmektedir. Birinci sıradaki kriter kendisiyle kıyaslandığından anlamı " $\omega c_j(1)=EI$ " olarak tanımlanmaktadır. Kalan kriterlerin ise "n-1" karşılaştırması yapılmaktadır.

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{\omega c_{j(k+1)}}{\omega c_{j(k)}} = \frac{(\omega c_{j(k+1)}^l, \omega c_{j(k+1)}^m, \omega c_{j(k+1)}^u)}{(\omega c_{j(k)}^l, \omega c_{j(k)}^m, \omega c_{j(k)}^u)}$$

$$\phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \dots, \varphi_{k/(k+1)})$$

Adım 3: Bu aşamada kriterlerin nihai ağırlıkları aşağıdaki iki koşul göz önünde bulundurularak hesaplanır.

Koşul 1: Ağırlık katsayılarının oranının, Adım 2'de tanımlanan gözlemlenen kriterler karşılaştırmalı önemine eşit olmalıdır.

Koşul 2: Ağırlık katsayılarının nihai değerleri, matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamalıdır.

$$\frac{\omega_k}{\omega_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$$

Modelde tam tutarlılık, yani minimum TTS (χ)'e ulaşılması hedeflenmektedir. Yukarıdaki iki koşul sağlandığında maksimum tutarlılık (0.000) sağlanır.

Adım 4: Kriterlerin final ağırlıklarının hesaplanması için aşağıdaki denklem grubu kullanılır.

min X

s.t.

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq x, \forall_j \\ \left| \frac{\omega_k}{\omega_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq x, \forall_j \\ \sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \forall_j \\ \omega_j^l \leq \omega_j^m \leq \omega_j^u \\ \omega_j^l \geq 0, \forall_j \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

3.4. Değerlendirme Kriterleri

Çalışmanın kriterlerinin belirlenmesinde “sürdürülebilir yeni ürün geliştirme”, “sürdürülebilir ürün geliştirme”, “ürünlerin sürdürülebilirlik değerlendirme”, “sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri” gibi anahtar kelimeler ve varyasyonları Türkçe ve İngilizce olarak araştırılmıştır. Benzer tanımlamalara sahip kriterler ortaklaştırılmıştır. Hem literatürdeki gruplandırma hem de seçilen metotta bir boyut için 9'un üzerinde kriter olduğu durumda optimum değere ulaşmak ile ilgili kısıtlılığı dolayısıyla kriterler beş boyut altında gruplanmıştır. Bu boyutlandırmada i) finansal kriterler (maliyetler, gelirler ve süspansiyonlar), ii) pazar kriterleri (ürünün konumlanması ve firmaya

sağlayacağı pazar algısı) iii) ürüne ait çevresel kriterler (ürünün kullanımında ve yapısında kullanılan kaynakların çevreye olan etkileri ile ilgili unsurlar), iv) üretim sürecine ait çevresel kriterler (ürünün üretimindeki uygulamaların çevreye olan etkilerinin değerlendirildiği kriterler), v) sosyal kriterler (ürünün ve ürene ait üretim sürecinin insan üzerindeki sosyal etkilerinin değerlendirildiği kriterler) olarak gruplama yapılmıştır.

Kriterler ve destekleyici literatür kaynakları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Araştırmada Kullanılan Sürdürülebilirlik Değerlendirme Kriterleri

Boyutlar		Alt Kriterler	Destekleyici Literatür
FINANSAL KRİTERLER	C11	Ürün Maliyeti	Stone, vd. (2019), Ladu ve Morone 2021
	C12	Ürünle İlgili Dolaylı Maliyetler	Sinha ve Anand (2018), Jugend vd. 2020
	C13	Ulaştırma, Paketleme, Tamir, Bakım Maliyetleri	Lee ve Saen (2012), Neri vd. 2021
	C14	Karlılık ve Satış Gelirleri	Gupta ve Gupta (2020), Lee vd. 2021
	C15	Vergiler ve Devlet Süspansiyonları	Stone, vd. (2019), García-Muiña, vd. (2020)
PAZAR KRİTERLERİ	C21	Çeviklik- Talep Dalgalanmalarına Cevap Verme Kabiliyeti- Aşağı ve Yukarı Tedarik Zinciri Adaptasyonu	Lee vd. 2021, Bao ve Bodapati, 2011
	C22	Güvenilirlik- Pazardaki İhtiyacı Karşılama	Lee vd. 2021, Jugend vd. 2020
	C23	Ticaret Fırsatları- Yeni Müşteri ve Pazarlar	Jayakrishna vd. 2015, Jugend vd. 2020
	C24	Şirket İmajına Katkı	Jugend vd. 2020, Neri vd. 2021
	C25	Müşteri Şikayetlerini Azaltma	Tseng 2013, Gani vd. 2021
ÜRÜNE AIT ÇEVRESEL KRİTERLER	C31	Hammadde ve Malzemeler- Üründe Doğal Kaynak Kullanımını Azaltma	Hallstedt ve Pigosso 2017, Villamil vd. 2022
	C32	Hammadde ve Malzemeler- Üründe Tehlikeli Madde Kullanımının Azaltılması	Woodhouse vd. 2018, Ladu ve Morone 2021

	C33	Hammadde ve Malzemeler- Geri Dönüşüm Hammadde, Bileşen, Malzeme Kullanımı	Chang ve Cheng 2018, Ladu ve Morone 2021
	C34	Hammadde ve Malzemeler- Ürünün Yaşan Döngüsü Sonunda Geri Dönüşü veya Yeniden Kullanılabilirliği	Bertoni vd. 2018, Villamil vd. 2021
	C35	Üründe Enerji Verimliliği ve Yeşil Enerji Kullanımı	Schögggl vd. 2016, Kono vd. 2018
	C36	Emisyonlar- Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması	Ahmadi-Gh ve Bello-Pintado 2021, Kono vd. 2018
ÜRETİM SÜRECİNE AİT ÇEVRESEL KRİTERLER	C41	Atık Azaltma - Ürünün Üretiminde, Geri Dönüşümünde, Dağıtım ve Kullanımında Atık Oluşturmaması	Villamil vd. 2021, Ganji vd. 2018
	C42	Atık Azaltma - Tedarikçilerin Süreçlerindeki Atığın Azaltılması	Lin vd. 2010, Ganji vd. 2018,
	C43	Temiz Su Kullanımında Verimlilik	Ahmadi-Gh ve Bello-Pintado 2021, Ladu ve Morone 2021
	C44	Enerji - Enerji Kullanımını Azaltma ve Yeşil Enerji Kullanımı	Kono vd. 2018, Ladu ve Morone 2021
	C45	Emisyonlar - Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması	García-Muiña, vd. 2020, Lee vd. 2021
	C46	Emisyonlar - Gürültü Emisyonlarının Azaltılması	Hallstedt ve Pigosso 2017; Chang ve Cheng 2018
	C47	Biyoçeşitliliğin Korunması	Kono vd. 2018, Ladu ve Morone 2021
SOSYAL BOYUT	C51	İstihdam Etkisi	Chang ve Cheng 2018, Ladu ve Morone 2021
	C52	İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sağlanması	Ahmadi-Gh ve Bello-Pintado 2021, Ladu ve Morone 2021,
	C53	Çeşitlilik, Fırsat Eşitliği ve Ayrımcılığın Engellenmesi	García-Muiña vd. 2020, Staniškienė ve Stankevičiūtė 2018
	C54	Yakın ve Genel Çevrenin Sağlığı ve Güvenliği	Bertoni vd. 2018, Jayakrishna vd. 2015
	C55	Çalışan Geliştirme	Bao ve Bodapati 2011, Joung vd. 2012

	C56	Tedarikçi Geliştirme	Neri vd. 2021, Jugend vd. 2020,
--	------------	----------------------	------------------------------------

3.5. Uygulama

Hedef sektörlerde karar verici ile yapılan veri toplama çalışmaları sonucunda belirlenen ana kriterler ve alt kriterlere ait sıralamalar gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler esas alınarak her bir karar verici için ikili kıyaslamalar yapılarak bulanık karşılaştırmalı anlamlılık değerleri doğrultusunda ikili kıyaslamalarına ait önem vektörleri ve matematiksel geçişlilik koşulları oluşturulmuştur. Uygulama kapsamında yapılan çalışmalar, Karar Verici 1-KV1 esas alınarak Tablo 4'te açıklanmaktadır.

Tablo 4. Karar Verici 1- Bulanık Anlamlılık Değerleri

Ana Kriterler		l	m	u
	C1	1	1	1
	C2	0,667	1	1,5
	C4	1,5	2	2,5
	C3	2,5	3	3,5
	C5	3,5	4	4,5

Bulanık anlamlılık değerleri denklem 2 kullanılarak önem vektör değeri oluşturulmuştur. Bu değerler Tablo 5 olarak sunulmuştur.

Tablo 5. Karar Verici 1- Önem Vektörü

	l	m	u
$\phi_{C2/C1}$	0,667	1	1,5
$\phi_{C4/C2}$	1	2	3,75
$\phi_{C3/C4}$	1	1,5	2,333
$\phi_{C5/C3}$	1	1,333	1,8

Önem vektör değerleri denklem 3 kullanılarak koşul değerleri oluşturulmuştur. Koşul değerler Tablo 6 olarak sunulmuştur.

Tablo 6. Koşul Değerleri

Koşul Değerler	l	m	u
$\phi_{C1/C2}$	0,667	1	1,5
$\phi_{C2/C4}$	1	2	3,75
$\phi_{C4/C3}$	1	1,5	2,333
$\phi_{C3/C5}$	1	1,333	1,8
$\phi_{C1/C4}$	0,667	2	5,625

$\phi_{C2/C3}$	1	3	8,75
$\phi_{C4/C5}$	1	2	4,2

Ana kriterler için yapılan çalışma tüm alt kriter grupları için de gerçekleştirilmiş ardından Lingo 17 yazılımı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Araştırmamızda kullandığımız Bulanık FUCOM yöntemi, minimum tutarsızlık koşulu içeren doğrusal olmayan bir optimizasyon yöntemidir (Pamucar ve Ecer, 2020). Lingo 17, doğrusal ve doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan güçlü bir hesaplama yazılımıdır.

Tüm karar vericilere ait ana kriterler ve alt kriterlere ait denklemlerin çözülmesi sonrasında sonuçlar global ağırlıklar ile çarpılarak nihai ağırlıklar hesaplanmış ve farklı karar vericilerin değerlendirmelerinin ortaklaştırılması için geometrik ortalama kullanılarak kriterlerin önem sıralarına ulaşılmıştır.

3.6. Bulgular

Otomotiv sektörüne ait değerlendirmede ana kriterlerde C1- Finansal Kriterler 0,23612'lik ağırlık katsayısı ile en önemli ana kriter, C5- Sosyal Kriterler ise 0,10275'lik katsayı ile en az önemli ana kriter olarak elde edilmiştir. Ana kriterlerin sıralaması ve önem katsayıları Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Ana Kriterlerin Sıralaması

	Kriter Açıklamaları	Geometrik Ortalama	Sıralama
C1	Finansal Boyut	0,23613	1
C2	Pazar Boyut	0,19595	4
C3	Ürüne ait Çevresel Boyut	0,21216	2
C4	Üretim Sürecine ait Çevresel Boyut	0,20050	3
C5	Sosyal Boyut	0,10275	5

Alt kriterlerden C14 (Karlılık ve satış gelirleri) 0,06234'lik önem derecesi ile en önemli kriter olarak tespit edilmiştir. Sırası ile C11 (Ürün maliyetleri) 0,06015 , C22 (Güvenilirlik- Pazardaki ihtiyacı karşılama) 0,05257, C36 (Emisyonlar - Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması) 0,04193, C12 (Ürünle ilgili dolaylı maliyetler) 0,04058, C32 (Hammadde ve malzemeler - Üründe tehlikeli madde kullanımının azaltılması) 0,03996 ve C13 (Ulaştırma, paketleme, tamir, bakım maliyetleri) 0,03902'lik önem derecesi ile en önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Alt kriterlerin ağırlıkları ve sıralaması Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Kriterlerin Ağırlıkları ve Sıralaması

Kriterler	Kriter Adı	Ağırlıklar	Sıralama
C11	Ürün maliyeti	0,06015	2
C12	Ürünle ilgili dolaylı maliyetler	0,04059	5

C13	Ulaştırma, paketleme, tamir, bakım maliyetleri	0,03902	7
C14	Karlılık ve satış gelirleri	0,06235	1
C15	Vergiler ve devlet süspansiyonları	0,02422	20
C21	Çeviklik- Talep dalgalanmalarına cevap verme kabiliyeti- aşağı ve yukarı tedarik zinciri adaptasyonu	0,03764	9
C22	Güvenilirlik - Pazardaki ihtiyacı karşılama	0,05258	3
C23	Ticaret Fırsatları- Yeni müşteri ve pazarlar	0,03433	10
C24	Şirket imajına katkı	0,02563	19
C25	Müşteri şikayetlerini azaltma	0,03318	11
C31	Hammadde ve malzemeler- Üründe doğal kaynak kullanımını azaltma	0,02854	16
C32	Hammadde ve malzemeler- Üründe tehlikeli madde kullanımının azaltılması	0,03996	6
C33	Hammadde ve malzemeler- Geri dönüşüm hammadde, bileşen, malzeme kullanımı	0,03117	14
C34	Hammadde ve malzemeler- Ürünün yaşan döngüsü sonunda geri dönüşü veya yeniden kullanılabilirliği	0,02734	18
C35	Üründe enerji verimliliği ve yeşil enerji kullanımı	0,02999	15
C36	Emisyonlar- Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması	0,04193	4
C41	Atık Azaltma- Ürünün üretiminde, geri dönüşümünde, dağıtım ve kullanımında atık oluşturmaması	0,03864	8
C42	Atık Azaltma- Tedarikçilerin süreçlerindeki atığın azaltılması	0,02074	23
C43	Temiz su kullanımında verimlilik	0,02805	17

C44	Enerji- Enerji kullanımını azaltma ve yeşil enerji kullanımı	0,03245	12
C45	Emisyonlar- Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması	0,03169	13
C46	Emisyonlar- Gürültü emisyonlarının azaltılması	0,01926	24
C47	Biyoçeşitliliğin korunması	0,02213	21
C51	İstihdam Etkisi	0,01505	26
C52	İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması	0,02194	22
C53	Çeşitlilik, fırsat eşitliği ve ayrımcılığın engellenmesi	0,01362	28
C54	Yakın ve genel çevrenin sağlığı ve güvenliği	0,01917	25
C55	Çalışan geliştirme	0,01469	27
C56	Tedarikçi geliştirme	0,01241	29

SONUÇ ve TARTIŞMA

Finansal kriterler içinde en önemli kriter “karlılık ve satış gelirleri” olup, aynı zamanda bu kriter otomotiv sektörü özelinde de en önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilirlikle ilgili değerlendirme kriteri çalışmalarında maliyet odaklı kriterlere daha çok yer verilmesi sebebi ile çalışmamızın sonuçları mevcut çalışmalardan farklılaşmaktadır. Çalışmada temel odaklardan biri de yeni ürün değerlendirmesidir. Yeni ürünlerin başarısının değerlendirilmesinde satışlar, karlılık ve ROI gibi göstergeler en yaygın kullanılan metrikler arasındadır (Cooper, 2019). Dolayısıyla çalışmada ürün C14 kriterinin maliyet temelli kriterlerden daha önemli bir kriter olarak ortaya çıkması kabul edilebilir bir sonuçtur. Ayrıca Maldonado-Guzmán ve Pinzón-Castro (2023) finansal kaynaklar, eko-inovasyon ve sürdürülebilirlik performansı ilişkisini belirlemeye yönelik çalışmasında da finansal performansın sürdürülebilirlik performansı üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu göstermiştir. Gelirler ve karlılığın finansal performansın bir parçası olduğunu vurgulamıştır. Bu açıdan karlılık ve satış gelirleri gibi finansal performans göstergelerinin ön plana çıkmasını desteklemektedir. Swarnakar vd. (2021) imalat sektöründe sürdürülebilirlik kriterlerini önceliklendirmeye yönelik çalışmasında ekonomik indikatörleri en önemli kriter olarak ele almış ve bu indikatörler içinde ilk sırada operasyonel maliyetler ön plana çıkmıştır. Araştırmamızdaki, C11, C12 ve C13 ün de önem derecelerinin üst sıralarda olması bu çalışma ile paralellik göstermektedir. Bu kriterler ürün maliyeti,

ürünle alakalı dolaylı maliyetler ve üretim sürecindeki ek maliyetler olarak genel anlamda operasyonel maliyetler olarak tanımlanabilir.

Çevresel kriterler değerlendirildiğinde en önemli kriter C36- Emisyonlar (Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması) olarak tespit edilmiştir. Swarnakar vd. 2021 araştırmasında da çevresel boyutta en önemli kriter emisyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yeşil mutabakat kapsamında 2030 yılında net sıfır karbon emisyonu bölgelerine ait regülatif uygulamalarda otomotiv endüstrisinde ürünlerin emisyon değerlerinin azaltılması açısından üretici üzerinde son derece büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu doğrultuda gerek ürünün kendi emisyonları gerekse üretim süreçlerindeki emisyon etkisinin düşük olması çevresel etki açısından ön plana çıkması beklenen kriterlerdir.

Yine çevresel boyutta ön plana çıkan kriterlerden biri C32 (Hammadde ve malzemeler– Üründe tehlikeli madde kullanımının azaltılması)'dir. Otomotiv sektörü çok ciddi bir regülasyon baskısı altındadır. Özellikle yeşil teknolojilerin uygulanmasında bataryalarda kullanılan kimyasallar veya araçlarda korozyon vb. durumlara karşı kullanılan kimyasallar sektörde sürekli iyileştirmeye odaklanılan konular arasındadır. Yine ürünlerdeki yapıştırıcı vb. malzemelerde solvent tabanlı alternatifler yerine su bazlı alternatiflerin tercih edilmesi gibi durumlar üreticilerin ürün geliştirme ve kalite faaliyetlerinde ele aldıkları genel ürün geliştirme konularıdır. Ürün geliştirici açısından üründe zararlı hammaddelerin azaltılması hem ürünün kullanımı hem de ürünün yaşam döngüsü sonucu atık olduğu noktada zararlı etkilerinin azaltılması açısından öncelikli bir konudur. Lisowski vd. (2020) otomotiv endüstrisi için küresel kalkınma indikatörleri belirlemeye yönelik çalışmasında ürünlerdeki hammadde ve malzemeler, bu hammadde ve malzemelerin olumsuz etkilerinin değerlendirilmesine unsurların sürdürülebilirlik açısından doğrudan etkili olduğunu vurgulamaktadır.

Araştırmamızda önemli kriterler arasında yer alan C22 (Güvenilirlik-Pazardaki ihtiyacı karşılama) kriteri de yine yeni ürün geliştirme odağı ile ilgili bir sonuçtur. Zhang vd. 2020 yeşil inovasyon ve ürün geliştirme ile ilgili kritik başarı faktörlerini değerlendirdikleri çalışmasında pazar odaklılık, pazardaki müşterinin taleplerini karşılama unsurunun başarı açısından son derece önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmamız yeni ürün kararlarını sürdürülebilirlik perspektifi ile ele almakta olup, ürünün pazardaki ihtiyacı karşılayan bir kapsam sunması ürünün pazarda kabul görmesi ve devamlılığının sağlanması açısından ön plana çıkması beklenen bir durumdur.

Sosyal boyut gerek ana kriter gerekse de alt kriterler olarak en az önem derecesine sahip kriterleri barındırmaktadır. Çalışmadaki uzman grupları olan ürün geliştirici, araştırmacı gibi rollerin ürün tasarımı ve konsept belirlemede ekonomik ve teknik unsurları önceliklendirdikleri gözlemlenmektedir. Bu grupta en yüksek öncelik derecesi C52- İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması kriterine aittir. Salvado, vd. (2015)'in otomotiv endüstrisinde sürdürülebilirlik indeksi geliştirme çalışması sosyal boyutta iş kazası azaltma olarak ele aldığı kriterler benzer bir içeriğe sahip olan C52 kriteri yine bu boyut altında teknik kapsama daha yakın bir kriter olarak da dikkat çekmektedir.

Araştırmamızda en az öneme sahip kriterler arasında yer alan C53- Çeşitlilik, fırsat eşitliği ve ayrımcılığın engellenmesi, Vijaya, vd. (2025) araştırmasında da genel amaç seviyesini temsille sahiptir, bu doğrultuda yeni ürünler için önem derecesinin teknik ve mali kriterlere göre daha az öneme sahip olması anlaşılabilir bir sonuçtur. Benzer şekilde C56 ve C55 kriterleri tedarikçi ve çalışan gelişimi ile ilgili olup, bu kriterin çevresel ve finansal kriterlere göre daha az etkiye sahip olması beklenen bir sonuçtur. Wang (2020), Sinha ve Anand. (2018) in araştırmalarında da benzer sonuçlar yer almaktadır.

Araştırmamızda otomotiv sektöründe uzman, sürdürülebilirlik ve yeni ürün geliştirme alanlarında bilgi sahibi uzmanlar ile çalışılmıştır. Bu gereksinimler dolayısıyla otomotiv ana sanayi ve yan sanayinde ürün geliştirme, Ar-Ge ve tasarım departmanlarında görevli ekipler içinden sürdürülebilirlik alanında akademik veya uygulama seviyesinde bilgisi olduğunu beyan eden çok kısıtlı bir uzman havuzuna ulaşılabilmektedir. Ayrıca uzman görüşü temelli değerlendirme yaklaşımları belirli seviyede öznellik içermektedir. Bu öznelliği azaltmak için uzmanların belirlenmesinde eğitim ve geçmiş tecrübelerine yönelik çeşitlilik sağlanmasına çaba gösterilmiştir.

Araştırmamızın imalat sanayi için ürün geliştirme kararlarında sürdürülebilirlik eksenli bir karar verme süreci ilerletmelerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Devam çalışması olarak farklı karar verme teknikleri kullanılarak kriter ağırlıklandırma çalışmamız tekrarlanabilir, sonuçlar kıyaslanarak farklı yöntemler ile bu sonuçlar bütünleştirilebilir ve farklı sanayi kollarında uygulama yapılarak sonuçların etkisi yaygınlaştırılarak güvenilirliği artırılabilir. Ayrıca alternatif bir devam çalışması olarak bu kriterler ve ağırlıklar kullanılarak yeni ürün alternatiflerinin değerlendirmesine yönelik alternatif çok kriterli karar verme yöntemlerinin de yer aldığı araştırmalar ile sanayi için sürdürülebilir yeni ürün geliştirme alanında karar aşamasında kullanabilecekleri bir fizibilite yaklaşımı sunulabilir.

KAYNAKÇA

- Agarwal, A., & Ojha, R. (2024). Prioritizing implications of Industry-4.0 on the sustainable development goals: A perspective from the analytic hierarchy process in manufacturing operations. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141189.
- Aguiar, M. F., Mesa, J. A., Jugend, D., Pinheiro, M. A. P., & Fiorini, P. D. C. (2022). Circular product design: Strategies, challenges and relationships with new product development. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(2), 300-329.
- Ahmadi-Gh, Z., & Bello-Pintado, A. (2021). The effect of sustainability on new product development in manufacturing—internal and external practices. *Administrative Sciences*, 11(4), 115.
- Akbari, M., Meshram, S. G., Krishna, R. S., Pradhan, B., Shadeed, S., Khedher, K. M., ... & Darabi, F. (2021). Identification of the groundwater potential recharge zones using MCDM models: full consistency method (FUCOM), best worst method (BWM) and

- analytic hierarchy process (AHP). *Water Resources Management*, 35, 4727-4745.
- Alblas, A. A., Peters, K., & Wortmann, J. C. (2014). Fuzzy sustainability incentives in new product development: An empirical exploration of sustainability challenges in manufacturing companies. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(4), 513-545.
- Alnajem, M., Mostafa, M.M. and ElMelegy, A.R. (2021), "Mapping the first decade of circular economy research: a bibliometric network analysis", *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(1), 29-50.
- Anderson, A., McAllister, C., & Harris, E. (2024). *Product Development and Management Body of Knowledge: A Guidebook for Product Innovation Training and Certification*. John Wiley & Sons.
- Atçı, S. H., & Atalay, K. (2022). Web Sitesi Tasarım Aşamasındaki Kriterlerin Önem Derecelerinin Bulanık Fucom ile Belirlenmesi. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 1010-1027.
- Ayadi, H., Hamani, N., Kermad, L., & Benaissa, M. (2021). Novel fuzzy composite indicators for locating a logistics platform under sustainability perspectives. *Sustainability*, 13(7), 3891.
- Bao, H. P., & Bodapati, S. (2011, January). Development of Sustainable Indicators for Products and Processes. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (54792, 977-983)
- Bertoni, A., Dasari, S. K., Hallstedt, S. I., & Andersson, P. (2018). Model-based decision support for value and sustainability assessment: Applying machine learning in aerospace product development. In *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 2585-2596).
- Bibaud-Alves, J., El-Haouzi, H. B., Thomas, P., & Boucinha, V. (2019). *Toward a sustainable new product development approach based on industry 4.0 assets*. In *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing: Proceedings of SOHOMA 2018* (pp. 156-167). Springer International Publishing.
- Borah, P. S., Dogbe, C. S. K., Pomegbe, W. W. K., Bamfo, B. A., & Hornuvo, L. K. (2023). Green market orientation, green innovation capability, green knowledge acquisition and green brand positioning as determinants of new product success. *European Journal of Innovation Management*, 26(2), 364-385.
- Böyükaslan, A., and Ecer, F. (2021). Determination of drivers for investing in cryptocurrencies through a fuzzy full consistency method-Bonferroni (FUCOM-F'B) framework. *Technology in society*, 67, 101745.

- Bulğurcu, B., & Koçak, F. S. (2020). Yeni Ürün Geliştirme Projelerinde Risk ve Başarı Faktörlerinin Bulanık DEMATEL Tekniği ile Değerlendirilmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 732-748.
- Chang, A. Y., & Cheng, Y. T. (2019). Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium-sized enterprises in Taiwan. *Journal of cleaner production*, 207, 458-473.
- Chang, D., Lee, C. K. M., & Chen, C. H. (2014). Review of life cycle assessment towards sustainable product development. *Journal of cleaner production*, 83, 48-60.
- Chen, Y. S., Lin, S. H., Lin, C. Y., Hung, S. T., Chang, C. W., & Huang, C. W. (2020). Improving green product development performance from green vision and organizational culture perspectives. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(1), 222-231.
- Cooper, R. G. (2019). The drivers of success in new-product development. *Industrial marketing management*, 76, 36-47.
- Delaney, E., Liu, W., Zhu, Z., Xu, Y., & Dai, J. S. (2022). The investigation of environmental sustainability within product design: a critical review. *Design Science*, 8, e15.
- Dias, L. C., Caldeira, C., & Sala, S. (2024). Multiple criteria decision analysis to support the design of safe and sustainable chemicals and materials. *Science of The Total Environment*, 916, 169599.
- Driessen, P. H., Hillebrand, B., Kok, R. A., & Verhallen, T. M. (2013). Green new product development: The pivotal role of product greenness. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(2), 315-326.
- Ecer, F. (2021). Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi: Fucom Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi Temelli Mairca Yaklaşımı. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 8(1), 26-48.
- Einizadeh, A., & Kasraei, A. (2021). Proposing a Model of Green Supply Chain Management Based On New Product Development (NPD) In Auto Industry. *Journal of Economics & Management Research*, 10.
- Fabo, L., Supekova, S. C., Durda, L., & Gajdka, K. (2023). Success factors for product development and new product launch projects. *Marketing i menedžment inovacij*, 14(2), 196-207.
- Gani, A., Asjad, M., & Talib, F. (2021). Prioritization and Ranking of indicators of sustainable manufacturing in Indian MSMEs using fuzzy AHP approach. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6631-6637.
- Ganji, E. N., Shah, S., Coutroubis, A., & Gestring, I. (2018, November). Towards a sustainable demand chain framework: Successful product development integration and drivers. *In 2018 IEEE International*

- Conference on Technology Management, Operations and Decisions* (ICTMOD) (pp. 166-171). IEEE.
- García-Muiña, F. E., Medina-Salgado, M. S., Ferrari, A. M., & Cucchi, M. (2020). Sustainability transition in industry 4.0 and smart manufacturing with the triple-layered business model canvas. *Sustainability*, 12(6), 2364.
- Gmelin, H., & Seuring, S. (2014). Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. *International Journal of Production Economics*, 154, 166-177.
- Goffin, K. (2017). Sustainability and new product development. In *Cranfield on corporate sustainability* (pp. 105-118). Routledge.
- Gupta, A. K., & Gupta, N. (2020). Effect of corporate environmental sustainability on dimensions of firm performance—Towards sustainable development: Evidence from India. *Journal of cleaner production*, 253, 119948.
- Hallstedt, S. I. (2017). Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. *Journal of Cleaner production*, 140, 251-266.
- Hallstedt, S. I., & Pigosso, D. C. (2017). Sustainability integration in a technology readiness assessment framework. In *21th International Conference on Engineering Design* (pp. 229-238). Design Society.
- Haug, A. (2022). Factors influencing knowledge sharing in new product development in high-tech manufacturing firms. *International Journal of Production Research*, 1-16.
- Hegab, H., Shaban, I., Jamil, M., & Khanna, N. (2023). Toward sustainable future: Strategies, indicators, and challenges for implementing sustainable production systems. *Sustainable Materials and Technologies*, 36, 617.
- Hynds, E. J., Brandt, V., Burek, S., Jager, W., Knox, P., Parker, J. P., ... & Zietlow, M. (2014). A maturity model for sustainability in new product development. *Research-Technology Management*, 57(1), 50-57.
- Istrițeanu, S., Badea, F., & Băjenaru, V. (2024). Eco-Innovation and Eco-Design In The Current Automotive Industry. *International Journal*, (15), 135.
- Jayakrishna, K., Vimal, K. E. K., & Vinodh, S. (2015). ANP based sustainable concept selection. *Journal of Modelling in Management*, 10(1), 118-136.
- Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., & Feng, S. C. (2013). Categorization of indicators for sustainable manufacturing. *Ecological indicators*, 24, 148-157.

- Jugend, D., Pinheiro, M. A. P., Luiz, J. V. R., Junior, A. V., & Cauchick-Miguel, P. A. (2020). Achieving environmental sustainability with ecodesign practices and tools for new product development. *In Innovation strategies in environmental science*(pp. 179-207). Elsevier.
- Kalish, D., Burek, S., Costello, A., Schwartz, L., & Taylor, J. (2018). Integrating Sustainability into New Product Development: Available tools and frameworks can help companies ensure that sustainability is embedded as a fundamental building block of new product development. *Research-Technology Management*, 61(2), 37-46.
- Katrancı, A., & Kundakçı, N. (2020). Bulanık CODAS yöntemi ile kripto para yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(4), 958-973.
- Keijer, T., Bakker, V., & Slootweg, J. C. (2019). Circular chemistry to enable a circular economy. *Nature chemistry*, 11(3), 190-195.
- Khannan, M. S. A., Tontowi, A. E., Herliansyah, M. K., & Sudiarso, A. (2021). New Product Development Method Trends and Future Research: A Systematic Literature Review. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 11-24.
- Klein, M., Oleynikova, A., Neumair, C., Tacker, M., & Apprich, S. (2025). Assessment of Sustainability Indicators for Cosmetic Product Packaging in the DACH Region. *Cosmetics*, 12(2), 56.
- Klose, S. A., & Fröhling, M. (2025). A new circular economy conception for sustainable product design. *Journal of Industrial Ecology*. 29(2), 546-560.
- Kono, J., Ostermeyer, Y., & Wallbaum, H. (2018). Investigation of regional conditions and sustainability indicators for sustainable product development of building materials. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1356-1364.
- Ladu, L., & Morone, P. (2021). Holistic approach in the evaluation of the sustainability of bio-based products: An Integrated Assessment Tool. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 911-924.
- Leal, J. E. (2020). AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. *MethodsX*, 7, 100748.
- Lee, J., Lee, T., Jeong, J., & Jeong, J. (2021). Sustainability and performance assessment of binary blended low-carbon concrete using supplementary cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, 280, 12437
- Lee, K. H., & Saen, R. F. (2012). Measuring corporate sustainability management: A data envelopment analysis approach. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 219-226.
- Lee, Y., Hu, J., & Lim, M. K. (2021). Maximising the circular economy and sustainability outcomes: An end-of-life tyre recycling outlets selection model. *International Journal of Production Economics*, 232, 107965.

- Lin, Y., Cheng, H. P., Tseng, M. L., & Tsai, J. C. (2010). Using QFD and ANP to analyze the environmental production requirements in linguistic preferences. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2186-2196.
- Lisowski, S., Berger, M., Caspers, J., Mayr-Rauch, K., Bäuml, G., & Finkbeiner, M. (2020). Criteria-based approach to select relevant environmental SDG indicators for the automobile industry. *Sustainability*, 12(21), 8811.
- Madenoglu, F. S. (2019). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Ortamında Yeşil Tedarikçi Seçimi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), 1850-1869
- Maldonado-Guzmán, G., & Pinzón-Castro, S. Y. (2023). Effects of Sustainable Culture on CSR and Financial Performance in Manufacturing Industry. *Retos*, 13(26), 191-203.
- Martínez-Lobatón, J. I., & Seclen-Luna, J. P. (2023). Assessing the New Product Development Process activities in Peruvian medium-sized manufacturing companies. *Estudios Gerenciales*, 39(166), 2-12.
- Marzi, G., Ciampi, F., Dalli, D., & Dabic, M. (2020). New product development during the last ten years: The ongoing debate and future avenues. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(1), 330-344.
- Ncube, A., Mtetwa, S., Bukhari, M., Fiorentino, G., & Passaro, R. (2023). Circular economy and green chemistry: the need for radical innovative approaches in the design for new products. *Energies*, 16(4), 1752.
- Neri, A., Cagno, E., Lepri, M., & Trianni, A. (2021). A triple bottom line balanced set of key performance indicators to measure the sustainability performance of industrial supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 648-691.
- Oliveira, A. S. D., Miguez, J. D. G., & Andrade, T. C. M. D. A. (2019). The Climate change convention and its Kyoto protocol as action drivers. <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9552/1/The%20climate%20change%20convention%20and%20its%20kyoto%20protocol%20as%20action%20drivers.pdf>
- Palmer, M., & Truong, Y. (2017). The impact of technological green new product introductions on firm profitability. *Ecological Economics*, 136, 86-93.
- Pamucar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM–F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437.
- Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, 10(9), 393.

- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Salvado, M. F., Azevedo, S. G., Matias, J. C., & Ferreira, L. M. (2015). Proposal of a sustainability index for the automotive industry. *Sustainability*, 7(2), 2113-2144
- Schöggel, J. P., Baumgartner, R. J., & Hofer, D. (2017). Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1602-1617.
- Sinha, A. K., & Anand, A. (2018). Development of sustainable supplier selection index for new product development using multi criteria decision making. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1587-1596.
- Staniškienė, E., & Stankevičiūtė, Ž. (2018). Social sustainability measurement framework: The case of employee perspective in a CSR-committed organisation. *Journal of Cleaner Production*, 188, 708-719.
- Stone, J. A. (2019). A sustainability theme for introductory programming courses. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 12(2), 1.
- Swarnakar, V., Singh, A. R., Antony, J., Tiwari, A. K., & Cudney, E. (2021). Development of a conceptual method for sustainability assessment in manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107403.
- Thormann, L., Neuling, U., & Kaltschmitt, M. (2023). Opportunities and challenges of the European Green Deal for the chemical industry: An approach measuring circularity. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 5, 100044.
- Tseng, M. L. (2013). Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences. *Journal of Cleaner Production*, 40, 46-56.
- Turan, F. M., Johan, K., Lanang, W. N. S. W., & Nor, N. H. M. (2016, November). Development of Systematic Sustainability Assessment (SSA) for the Malaysian Industry. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1), 012047. IOP Publishing.
- Vijaya, A., Meisterknecht, J. P. S., Angreani, L. S., & Wicaksono, H. (2025). Advancing sustainability in the automotive sector: A critical analysis of environmental, social, and governance (ESG) performance indicators. *Cleaner Environmental Systems*, 16, 100248.
- Villamil, C., Schulte, J., & Hallstedt, S. (2022). Sustainability risk and portfolio management—A strategic scenario method for sustainable product development. *Business strategy and the environment*, 31(3), 1042-1057.
- Wang, Y. (2020). Extend sustainable new product development to suppliers: cases from the US computer and electronic industry. *International Journal of Logistics Economics and Globalisation*, 8(3), 224-242.

- Watz, M., & Hallstedt, S. I. (2022). Towards sustainable product development—Insights from testing and evaluating a profile model for management of sustainability integration into design requirements. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131000.
- Woodhouse, A., Davis, J., Pénicaud, C., & Östergren, K. (2018). Sustainability checklist in support of the design of food processing. *Sustainable Production and Consumption*, 16, 110-120.
- Xiao, Y., & Bharadwaj, N. (2023). The 2022 PDMA Doctoral Consortium: Emerging research priorities in new product development and innovation and insights into community building. *Journal of Product Innovation Management*. 40(5), 582-592.
- Yang, C. L., & Hsu, H. K. (2019). Optimized new product development strategy. *International Journal of Organizational Innovation (Online)*, 12(1), 110-121.
- Zetterlund, H., Hallstedt, S., & Broman, G. (2016). Implementation potential of sustainability-oriented decision support in product development. *Procedia Cirp*, 50, 287-292.
- Zhang, Y., Sun, J., Yang, Z., & Wang, Y. (2020). Critical success factors of green innovation: Technology, organization and environment readiness. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121701.