



Tedarik Zincirlerinde Sürdürülebilir İmalatın Önündeki Engelleyici Faktörlerin Tam Tutarlılık Yöntemiyle (FUCOM) Değerlendirilmesi

Gülşah SEZEN AKAR^{1*}

Geliş Tarihi/Received Date: 20.09.2022

Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.10.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

ÖZET

Tedarik zincirlerinde sürdürülebilir imalat, doğal kaynaklara bağımlılık, karbon emisyonu yaratma ve atık üretme bakımından günümüz rekabet ortamında önem kazanmaktadır. İklim değişikliğinin, dünyanın birçok ülkesinde sel, kuraklık, orman yangınları gibi olumsuz etkileri tüketicilerin çevreye, insana, topluma duyarlı üretilmiş ürün kullanma hassasiyetini artırmaktadır. Bu çalışma, bir tarım makineleri imalat işletmesi için sürdürülebilir imalat uygulamasının önündeki engelleri belirlemeyi ve önceliklendirmeyi amaçlamaktadır. Bu engelleri ekonomik, çevresel, sosyal ve organizasyon dışı kategorilerde önceliklendirmek için FUCOM çok kriterli karar verme yönteminden faydalanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, yüksek yatırım maliyetleri, düşük yatırım getirisi ve finansal fon eksikliği en önemli kriterler olarak tespit edilmiştir. Engellerin farklı açılardan önceliklendirilmesinin, hükümet ve sektördeki karar/politika yapıcılarının bu engelleri etkili bir şekilde azaltmalarına yardımcı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Makine İmalat Sektörü, Çok Kriterli Karar Verme, Tedarik Zinciri Yönetimi, FUCOM.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Nazilli İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, Orcid No: 0000-0002-8541-3327

Evaluation of Barriers on Sustainable Manufacturing in Supply Chains with the Full Consistency Method (FUCOM)

ABSTRACT

Sustainable manufacturing in supply chains gains importance in today's competitive environment in terms of dependence on natural resources, creating carbon emissions and generating waste. The negative effects of climate change such as floods, droughts and forest fires in many countries of the world increase the sensitivity of consumers to use products that are produced sensitive to environment, people and society. This study aims to identify and prioritize the barriers on sustainable manufacturing for an agricultural machinery manufacturing firm. FUCOM multi-criteria decision-making method was used to prioritize these barriers in economic, environmental, social and non-organizational categories. As a result of calculations; high capital costs, low investment returns and funds gap are detected as most important criteria. Prioritization of barriers from different perspectives is expected to help decision/policy makers in government and industry to mitigate these barriers effectively.

Keywords: Sustainability, Machine Manufacturing Sector, Multi Criteria Decision Making, Supply Chain Management, FUCOM.

1. GİRİŞ

Geçmişte tedarik zinciri yönetimi için klasik çerçeve, zincir boyunca tüketicilere veya son kullanıcılara, üretim öncesinden kullanım aşamalarına kadar malzeme akışlarını dikkate almaktı. Küreselleşme ve kaliteli ürünlere olan tüketici talebi endüstrileri ve üyesi oldukları tedarik zincirini, ürünlerin kalite seviyesini iyileştirmeye zorlamıştır. Bu kalite gereksinimlerini karşılamak için endüstriler yalnızca düşük maliyetlere odaklanmış, iklim değişikliğinin en önemli nedeni olan sera gazı emisyonu yaratmaktan ve yenilenemeyen kaynakların tüketiminden kaçınmamıştır (Malek & Desai, 2020). Bugün ise bu anlayış yerini makine kullanımına dayalı üretim verimliliğinden daha bütünsel bir üretim görüşüne ve sürdürülebilirlik için tasarım, ürün yaşam döngüsü yönetimi ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine dayalı bir bakış açısına kaydırmaktadır (Chun & Bidanda, 2013).

Yalnızca tedarik zinciri performansını artırmaya odaklanmak bir organizasyonun başarılı olması ve rekabetçi kalması için yeni küresel iş ortamında yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda organizasyonun tedarik zinciri süreçlerini uygun, üretken ve sürdürülebilir bir şekilde düzenlemesi de zorunludur (Moshood vd., 2021). Tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik, malzeme, bilgi, sermaye akışlarının yönetimi ve tedarik zinciri boyunca şirketler arasındaki iş

birliğinin yanı sıra müşteri ve paydaşların gereksinimlerinden kaynaklanan sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere her üç boyutunun hedeflerini dikkate almaktır (Seuring & Müller, 2008). Tedarik zincirlerinde çevresel sürdürülebilirlik hedefleri olarak, operasyonlarda enerji tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, su kullanımının azaltılması, tehlike atık üretiminin azaltılması, imalattan kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılması sayılabilir. Bunun yanı sıra, kâr maksimizasyonu, rekabet avantajı elde etme, itibar oluşturma gibi ekonomik performansın artırılması ve çalışan ve toplumun refahı ile sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması da sürdürülebilirlik hedefleri arasında yer almaktadır (Moktadir vd., 2018).

Sürdürülebilir performansa ulaşabilmek için, ürünlerin tasarımı, üretimi, nakliyesi, geri dönüşümü ve yeniden üretimi dahil olmak üzere tüm operasyonlarda ekonomik, çevresel ve sosyal konuları iş süreçlerine entegre eden üçlü saç ayağı düşüncesi hakim olmalıdır. Genel iş geliştirme içinde, çevre, insanlar ve ekonomi üzerinde en olumsuz etkiye imalat endüstrisinin neden olması sebebiyle üretim süreçlerine çok daha fazla dikkat edilmesi gerekir (Wu vd., 2017). Öte yandan, tüketiciler, tedarik zincirinin sürdürülebilir olmayan davranışlarından, tedarik zinciri üyeleri arasında ayırım yapmaksınız, tedarik zinciri içerisindeki odak işletmeyi yani imalatçıyı sorumlu tutmaktadır (Hartmann & Moeller, 2014). Burada odak işletme ile kastedilen; i) tedarik zincirlerini yöneten, ii) müşteri ile doğrudan temas sağlayan, iii) sunulan ürün veya hizmeti tasarlayan şirketlerdir (Seuring & Müller, 2008).

Tedarik zincirleri, faaliyetlerinin doğası, hedef pazar, değer yargıları gibi birçok bakımdan birbirinden ayrılmaktadır. Dolayısıyla, tedarik zincirlerinin sürdürülebilir olmak için karşılaştıkları engeller de çeşitlilik göstermektedir (Silvestre, 2016). Farklı coğrafyalarda ve gelişmişlik düzeyindeki ülkelerde faaliyet gösteren tedarik zincirlerinde, sürdürülebilir imalatın önündeki engellerin kategorize edildiği ve sıralandığı çalışmalara rastlanılsa da Türkiye’de imalat endüstrisi bakımından sürdürülebilirliğin farklı boyutlarını göz önüne alarak bu engelleri ağırlıklandıran araştırma bulunmamaktadır. Sürdürülebilir imalat önündeki engellerin önceliklendirilmesine odaklanan bu çalışma, Türk İmalat endüstrisi için bir örnek teşkil etmesi ve eksiklerin keşfedilerek ortadan kaldırılmasına yardımcı olması bakımından önemlidir.

Bu çalışma, (i) Sürdürülebilir imalat önündeki engeller nelerdir ve nasıl kategorize edilir?

(ii) Tarımsal makine imalat sanayisinde faaliyet gösteren bir işletme için bu değerlendirmenin sonucu nedir ve engeller nasıl ortadan kaldırılabilir? sorularını cevaplamayı amaçlamaktadır.

Çalışmada bu sorulara yanıt aramak için, öncelikle sürdürülebilir imalat kavramı açıklanmış, literatürde var olan araştırmalar incelenerek farklı gelişmişlik düzeyine sahip

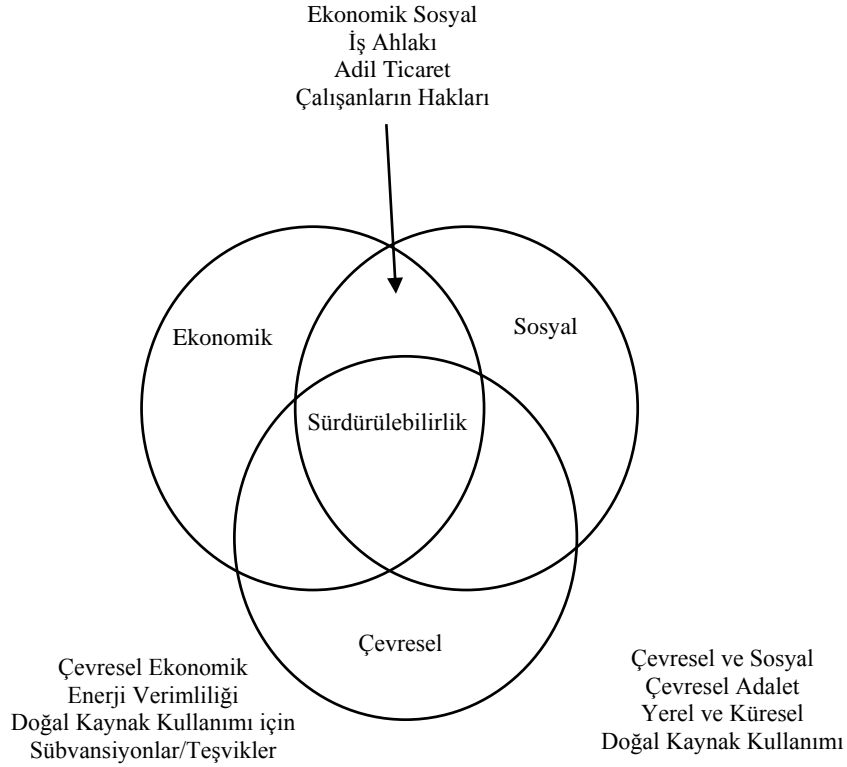
ülkelerde ve farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin karşılaştıkları engeller ortaya konulmuştur. Bu engeller bir tarımsal makine imalat işletmesi özelinde kategorize edilerek çok kriterli karar verme yöntemlerinden Tam Tutarlılık Yöntemiyle (Full Consistency Method-FUCOM) önceliklendirilmiştir. Son kısımda, elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler geliştirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE: SÜRDÜRÜLEBİLİR İMALAT

İmalatın, ekonomi ve toplum üzerindeki etkisi kuşkusuz yadsınamaz. Toplumun ve çalışanların yaşam standartlarının artmasını desteklemek için önemli bir yere sahip olmasının yanı sıra, dünya ekonomisine büyük ölçüde katkılar sunmaktadır. Öte yandan imalat, çevre üzerinde de özellikle hammadde ve enerji kullanımı ile büyük etkilere sahiptir. Avrupa’da imalat süreçlerindeki enerji tüketiminin büyük bir kısmı elektrik enerjisi ve petrol kullanımından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, sera gazı etkisi, tehlikeli ve katı atık üretimi, su kirliliği, ömrünü tamamlamış ürünlerin etkileri ile birlikte küresel ısınmada payı bulunmaktadır (Garetti & Taisch, 2012).

Sürdürülebilir imalatın, genel kabul görmüş bir tanımı olmamakla birlikte mevcut tanımlar ve yorumlar değiştirilerek sayısız tanım geliştirilmiştir (Moldavska & Welo, 2017). ABD Ticaret Bakanlığı sürdürülebilir imalatı “olumsuz çevresel etkileri en aza indiren, enerjiyi ve doğal kaynakları koruyan, çalışanlar, toplum ve tüketiciler için güvenli ve ekonomik açıdan sağlam süreçleri kullanarak imal edilmiş ürünlerin yaratılması” olarak tanımlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan bu tanım, Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü ve Lowell Sürdürülebilir Üretim Merkezi tarafından verilen tanımlara benzer şekilde sürdürülebilirliğin birçok yönünü dikkate almaktadır (Paju vd., 2010).

İşletmelerin sürdürülebilir imalat yapması için birçok neden bulunmaktadır. Sürdürülebilir imalatın faydaları arasında kaynak verimliliği ve mevzuata uyumun iyileştirilmesi yoluyla maliyetlerin düşürülmesi, daha iyi marka itibarı, yeni pazarlara erişim, cazip işyerleri yaratarak daha az işgücü devri, finansman ve sermayeye erişim fırsatları yaratarak uzun vadeli iş yaklaşımı yer almaktadır (Mançado vd., 2019).



Şekil 1. Üç boyutlu sürdürülebilirlik performansı

Kaynak. Abualfaraa vd., 2020.

İşletmeler, ürünlerinin ve süreçlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için sürdürülebilirlik ölçütlerine ihtiyaç duymaktadır. Bir performans ölçütü serisi hem kısa hem de uzun vadede sürdürülebilirlik programlarının ve eylemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması için kritik öneme sahiptir (Gunasekaran & Spalanzani, 2012). Joung ve diğerleri (2012) çalışmalarında sürdürülebilirliğin ölçülmesinde çeşitli kuruluşlarca ortaya konulan kamuya açık gösterge setlerini derlemiştir. Bunlardan bazıları, i) Küresel Raporlama İnisiyatifi (GRI) tarafından geliştirilen sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel üç boyutu kapsamında belirlenen 70 gösterge, ii) Dow Jones Sürdürülebilirlik Endeksi ile Dow Jones Küresel Borsa Endeksindeki şirketlerin ilk %10'unun finansal ve sürdürülebilirlik performansını değerlendiren ekonomik, çevresel ve sosyal 12 gösterge, iii) Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün (OECD) sanayileşmiş ülkelerde endüstriyel faaliyetlerin çevre üzerindeki etkisini ölçmede kullandığı Temel Çevresel Göstergeleri (CEI) adlı 46 gösterge, iv) Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonunun insan faaliyetlerinin çevre bozulması üzerindeki etkisini ölçmede kullandığı 96 gösterge, v) Avrupa Birliği için Çevresel Baskı Göstergeleri (EPrI) ile çevre üzerinde olumsuz etkisi olan en önemli 10 politika alanında insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını ölçmede kullanılan 60 gösterge, vi) Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), Çevre Performans Değerlendirme (EPE) standardı (ISO 14031) göstergeleri imalatla ilgili operasyonel performans, yönetim performansı ve çevresel koşul olmak üzere üç kategoriden

oluşan göstergelerdir. Ülkemizde de işletmelerin özellikle kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesine yönelik 2014 yılından bu yana Borsa İstanbul (BİST) Sürdürülebilirlik endeksi yayınlanmaktadır. BİST Sürdürülebilirlik Endeksi, yalnızca Borsa İstanbul'da işlem gören seçili işletmelerin sürdürülebilirlik performanslarına ilişkin bilgi sunmaktadır (BİST, 2022).

Sürdürülebilir imalat için performans ölçüm yaklaşımlarının çoğu, büyük imalat şirketlerinde tasarlanan ve test edilen ölçüm seti, yöntem ve modele dayanmaktadır. Pek çok endeks ve ölçüm seti, model ve yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde faaliyet gösteren imalatçı KOBİ'lerin sürdürülebilirlik performans değerlendirmesi için odaklanmış bir ölçüm seti ve yöntem bulunmamaktadır (Singh vd., 2016).

Sürdürülebilir imalatın başarılı şekilde uygulanabilmesi birçok faktöre bağlıdır. İmalat süreçlerini değerlendirebilmek için nicel ve nitel bilgilere (örneğin bir prosesin kullandığı metal miktarı ve türü, kirleticilerin türü emisyonu gibi) ihtiyaç vardır. Bu bilgiler çoğu zaman hazır olmayabilir ve erişim zordur. Sürdürülebilirlik konularının bütünsel olarak yönetim tarafından ele alınması tutarsız bir uygulamanın ve sürdürülebilirlik odaklı bir kültürün gelişmesine engel olabilir, bunun yerine uzmanlaşmış departmanlarda çalışılmalıdır. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için karar verme ve eylemlerde daha az prosedür ile sürdürülebilirlik konularını etkin şekilde ele almak gerekmektedir (Rosen & Kishawy, 2012).

3. LİTERATÜR TARAMASI: SÜRDÜRÜLEBİLİR İMALATIN ÖNÜNDEKİ ENGELLEYİCİ UNSURLARININ BELİRLENMESİ

Tedarik zincirlerinde sürdürülebilir imalat, sağladığı faydalar bakımından birçok işletme için tercih edilebilecek bir yaklaşım olmasına rağmen uygulamada karşılaşılan engeller nedeniyle gereken ilgiyi görememektedir. Alan yazında bu engeller birçok ülkeden araştırmacı tarafından farklı yöntemler ile değerlendirilmiştir.

Malek ve Desai (2019), sürdürülebilir imalat önündeki engellerin ağırlıklandırılmasına ilişkin çalışmalarında, Hindistan'da bulunan bir imalat işletmesi için belirledikleri 39 kriteri Best-Worst yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. Üst yönetimin destek eksikliği, sürdürülebilir anlayışa karşı negatif tutum gibi organizasyonel; yüksek katı atık bertaraf maliyeti ve sürdürülebilir projelerin fon eksikliği gibi ekonomik kriterlerin sürdürülebilir imalat önündeki temel engeller olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Alsanad (2018), Kuveyt'te sürdürülebilir çimento imalatına ilişkin yaptığı çalışmada paydaşların görüşleri doğrultusunda engelleri sosyal, ekonomik ve teknik olmak üzere üç grupta incelemiş, hayati öneme sahip engelleri ise çevre bilinci eksikliği, sürdürülebilirliği teşvik etmek için strateji eksikliği, yetersiz destek düzenlemeleri olarak belirtmiştir.

Malezya’da Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerle, Ghazilla ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışmada ise engeller, organizasyon yapısının yetersizliği, Ar-Ge, tasarım ve testte sürdürülebilirliğin desteklenmemesi olarak açıklanmıştır. Bu durum Malezya’daki KOBİ’lerin aile işletmeleri olmaları, öncelikli olarak günlük iş operasyonlarına odaklanmaları ve yalnızca kritik durumlara yanıt verme eğilimi göstermeleri ile açıklanmaktadır.

Güney Afrika’da imalat sektöründe yapılan bir çalışmada ise yüksek maliyetler ve yetersiz fonlama gibi ekonomik kriterler sürdürülebilir imalattaki engellerin başında gelmektedir (Mutingi vd., 2017).

Yavuz (2018), Türkiye’de sürdürülebilirlik raporu hazırlayan işletmelerle yaptığı anket çalışması sonucunda sürdürülebilir imalatı engelleyen en önemli faktörleri farkındalığın ve bilinirliğin azlığı ile devlet desteği ve teşviklerin yetersizliği olarak saptamıştır.

Bhanot ve diğerleri (2015), çalışmalarında farklı coğrafi bölgelerden (Hindistan, ABD, Almanya, İtalya vb.) 106 araştırmacı ve 99 sektör profesyonelinden oluşan örneklem grubuyla sürdürülebilir imalatı teşvik edici ve sınırlayıcı faktörleri ortaya koymaktadır. Sanayici ve araştırmacılardan oluşan iki farklı örneklem grubuyla yapılan çalışmada gruplar arasındaki farklılıklar da incelenmiştir. Anket sonucunda sürdürülebilirlik anlayışına farkındalık eksikliği ve sürdürülebilir imalat için yüksek yatırım maliyetleri iki grup için de en önemli engelleyici faktörler olarak tespit edilmiştir.

Bhanot ve diğerleri, 2017’de yaptıkları çalışmada iki fazlı anket ve detaylı analiz için dört tekniğin kullanıldığı entegre yaklaşım ile sürdürülebilir imalatta teşvik edici ve engelleyici faktörleri değerlendirmiştir. Sanayicilerin, sürdürülebilir imalat konusunda farkındalık eksikliğinin önemli bir engel olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yazarlar bu farkındalığın artırılmasına yönelik sürdürülebilir imalatın yararları ve teknikleri ile ilgili uygun bir çerçeve çizilmesinin, olumsuz tutumları önemli ölçüde azaltacağını ve üst yönetimden destek sağlanmasına yardımcı olacağını belirtmektedir. Öte yandan sürdürülebilir teknolojilerin uygulanmasındaki yüksek maliyetlerde sürdürülebilir imalatın önündeki kritik engel olarak tespit edilmiştir. Bu engelin ortadan kaldırılmasında hükümet müdahalesi ile düşük kredi imkânlarının sunulması ve araştırmacılar tarafından ucuz sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi önerilmektedir.

Mittal ve diğerleri (2013) çalışmalarında çevreye duyarlı üretim önündeki engelleri değerlendirirken Hindistan ve Almanya arasında karşılaştırma yapmıştır. Hindistan ve Almanya’daki imalat işletmelerine yapılan anketlerin analizi sonucunda en önemli engeller iki ülkede de benzer şekilde yüksek kısa vadeli yatırım maliyetleri ve belirsiz kazançlar olarak elde edilmiştir. Aynı çalışmada, Almanya’da var olan sıkı yasal düzenlemelerin, Hindistan’da

olmamasının çevreye duyarlı imalatın yapılmasında işletmelerin isteğine bağlı bir uygulamaya yol açtığına değinilmektedir.

Mathiyazhagan ve diğerleri (2013) tarafından sürdürülebilir imalatın, bütüncül bir şekilde tedarik zinciri üzerinden incelendiği çalışma, otomobil parçaları imalat sektöründe uygulanmış ve yorumlayıcı yapısal modelleme yöntemi ile analiz edilmiştir. Sürdürülebilirlik önündeki 26 farklı engelin tanımlandığı çalışmada, analiz sonucunda tedarikçilerin çevre bilinç eksikliği dominant engel olarak tespit edilmiştir. Dominant engelin ortadan kaldırılmasıyla birlikte tedarik zincirlerinde sürdürülebilir anlayışın daha fazla benimsenmesi beklenilmektedir.

Mittal ve Snagwan (2014), yeşil imalatın önündeki engelleri bulanık TOPSİS yöntemiyle önceliklendirmiştir. Çalışmada en önemli 3 engel bilgi ve ilgi eksikliği, teknolojik riskler ve yetersiz yasal düzenlemeler olarak tespit edilmiştir.

Jamwal ve diğerleri (2020), ilaç endüstrisinde sürdürülebilir imalat önündeki engelleri akademisyen ve sektör profesyonellerine yapılan anketler yoluyla bulanık yorumlayıcı yapısal modelleme tekniği (Fuzzy ISM) kullanarak değerlendirmiştir. İlaç endüstrisinin sürdürülebilirliğinin büyük ölçüde endüstrinin sürdürülebilirlik projelerine yönelik olumsuz tutumlarından ve yeşil ürünlerde yerel müşteri bilincinin yetersizliğinden etkilendiği tespit edilmiştir. Endüstrinin, dünyadaki sürdürülebilirlik yaklaşımları hakkında verilecek uygun bir eğitim ve bilgi birikimi ile ortadan kaldırılabilir bu iki soruna odaklanması önerilmektedir.

Tanco ve diğerleri (2021), Latin Amerika ülkelerinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin sürdürülebilir imalat yapmasının önündeki engelleri belirlemeye yönelik bir literatür taraması ve anket çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda başlıca engeller yüksek yatırım maliyetlerine karşın düşük getiri ve finansal kaynak eksikliği olarak tespit edilmiştir.

Koho ve diğerleri (2011) çalışmalarında Amerikan Yönetim Derneği'nin 2007 yılında uyguladığı sürdürülebilir imalatta engeller ölçeğini, İspanyol işletmelere uygulamıştır. Çalışmanın sonucunda en önemli engeller, standartlaştırılmış ölçü birimi veya performans ölçütlerinin olmaması ve tüketicilerin/müşterilerin sürdürülebilir ürünlere olan talep eksikliği olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, daha önce Amerika'da yapılan çalışmanın sonuçları ile karşılaştırıldığında benzerlik göstermektedir.

Gupta ve diğerleri (2020), çalışmalarında engelleri inovasyon perspektifinde değerlendirmiştir. Farklı imalat sektörlerinden profesyonellere yaptıkları anketleri çok kriterli karar verme teknikleri ile analiz ederek sıralamıştır. Çalışmanın sonucunda sürdürülebilir teknolojileri uygulamak için teknik uzmanlık ve eğitim eksikliği engeller arasında ilk sırada yer almıştır. Bir diğer önemli engel, benzer şekilde sürdürülebilir imalatta inovatif faaliyetleri yerine getirmek için çok sınırlı işgücüne ve olanaklara sahip olmaları olarak tespit edilmiştir.

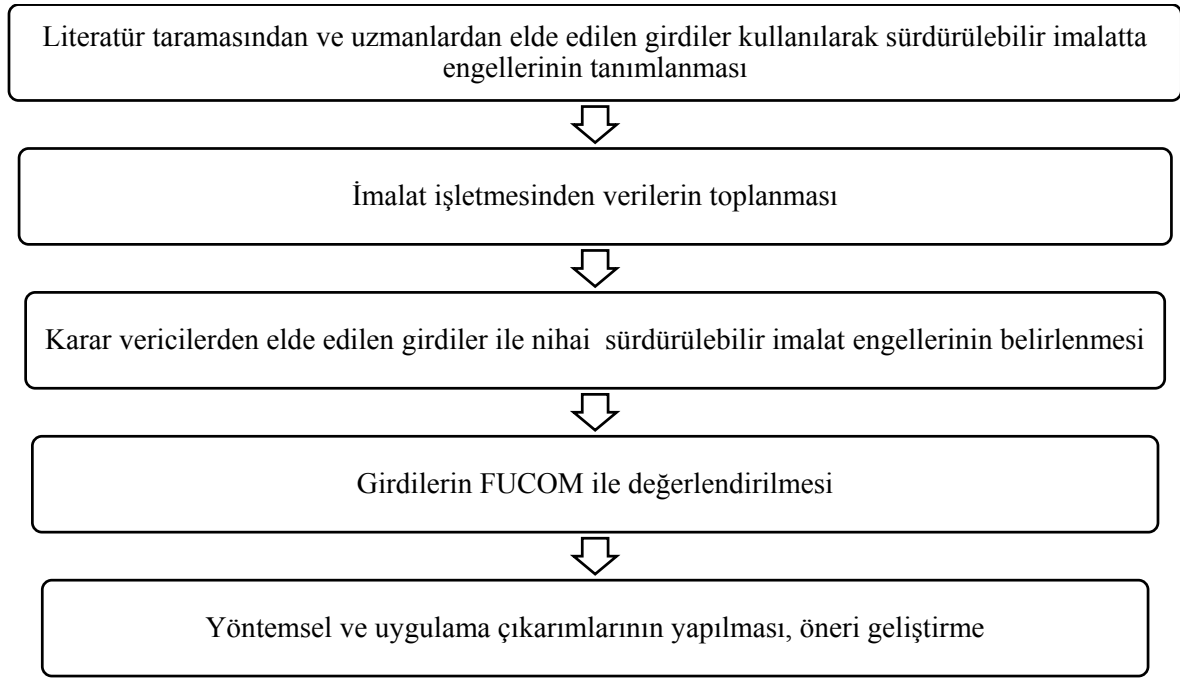
Deepak ve diğeri (2014) çalışmalarında sürdürülebilirliğin önündeki engelleri 57 farklı ülkedeki karar vericilere gönderdiği anketler yoluyla ve AHP yöntemiyle ağırlıklandırmıştır. Tedarikçilerin çevresel uygulamalarını ölçme ve izlemede karmaşıklık, yeni teknolojilerin eksikliği, etkili ölçüm tekniklerinin eksikliği sürdürülebilirlik önünde en önemli engeller olarak sıralanmıştır.

Bunların dışında, sürdürülebilir imalat önündeki engeller üzerine akademik çalışmalardan derlenen çalışmalar da bulunmaktadır. Alayon ve diğeri (2022) çalışmasında KOBİ'ler tarafından sürdürülebilir imalatın benimsenmesinin önündeki engelleri, alan yazında var olan çalışmaları gruplandırdıktan sonra işletme dışından teknik bilgiye erişim eksikliği olarak saptamıştır. Hariyani ve diğeri (2022), detaylı bir literatür taraması ile ulaştığı sürdürülebilir imalat önündeki engellere ilişkin 118 çalışmadan 31 farklı engeli tespit etmiştir. Çalışma, işletmeler ve politika yapıcılara bu engellerin ortadan kaldırılabilmesi için stratejik bir yaklaşımın benimsenmesi gerektiğini önermektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, tedarik zincirlerinde sürdürülebilir imalat önündeki engellerin önem derecelerinin sektör ve gelişmişlik düzeyi bakımından farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir imalat için fona ulaşılabilirliğin yüksek olması, ileri teknoloji ve devlet destekleyici düzenlemelerin varlığı, gelişmekte olan ülkeler ile karşılaştırıldıklarında engellerin farklılığını açıklamaktadır (Malek & Desai, 2020). Ayrıca, alanyazın incelemesi Türkiye'de sürdürülebilir imalat üzerine çalışmaların kısıtlı olduğunu ortaya çıkarmakta ve bu çalışmanın önemini artırmaktadır.

4. METODOLOJİ

Bu çalışmada, sürdürülebilir imalatın önündeki engellerin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) kullanılmıştır. Uzman karar vericilerden elde edilen birincil veriler analiz edilmiştir. Uygulama yapılacak işletmenin Aydın ilinden seçilmesinin iki önemli sebebi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Aydın'ın sürdürülebilir imalat göstergelerinden biri olan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi noktasında, ilde bulunan jeotermal enerji santrallerinin sayısı, güneş ve rüzgâr tribünlerinden elektrik üretiminin elverişliliği bakımından oldukça fazla olmasıdır. Diğer sebep ise, özellikle tarım makineleri imalat sanayisinde hem Türkiye'nin hem de ihracat ile dünyadaki birçok ülkenin bu alandaki ihtiyacının karşılandığı sektörün ilde faaliyet göstermesidir.



Şekil 2. Çalışma iş akış diyagramı

Çalışmanın metodolojisine ilişkin iş akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Öncelikle, literatür taramasından ve uzmanlarla yapılan görüşmelerden elde edilen sürdürülebilir imalata ilişkin engeller belirlenmiştir. Aydın’da bulunan ve tarım makineleri sanayiinde faaliyet gösteren firmanın profesyonel ekibinden oluşan karar vericiler ile görüşmeler yapılmıştır. Karar vericilerin de önerileri dikkate alınarak sürdürülebilir imalatın önündeki engellere ilişkin nihai değerlendirme kriterleri ortaya çıkarılmıştır. Bu kriterler Tam Tutarlılık Yöntemiyle (FUCOM) değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Son olarak, yöntemsel ve uygulamaya yönelik çıkarımlar yapılarak işletmeye öneriler sunulmuştur.

Sürdürülebilir üretimin önündeki engellere ilişkin kriterlerin belirlenmesinde Bölüm 3’de verilen çalışmalardan faydalanılmıştır. Sonuçları ile birlikte verilen ilgili çalışmalar ve uzman görüşleri de değerlendirilerek Tablo 1’de verilen sürdürülebilir imalatın önündeki engellere ilişkin ana ve alt kriterler listesi belirlenmiştir.

Tablo 1. Sürdürülebilir imalatı engelleyen kriterler

Kriter Kodu	Ana Kriter	Alt Kriter	Açıklama
E1	EKONOMİK KRİTERLER	Yüksek yatırım maliyetleri	Sürdürülebilir teknoloji uygulaması için yüksek yatırım ve uygulama maliyetlerinin gerekmektedir.
E2		Düşük getiri	Sürdürülebilir üretim yatırımları uzun süren daha az yatırım getirisi sunmaktadır.
E3		Yüksek bertaraf maliyetleri	Atık bertarafında yüksek maliyetler bulunmaktadır.
E4		Yetersiz Finansal Destek	Sürdürülebilir ve yeşil projeler için finansal fon eksikliği bulunmaktadır. Devlet desteği yoktur.
E5		Yetersiz işletme kaynağı	İşletme kaynakları (Teknoloji, malzeme vs.) sürdürülebilir üretim yapmamız için yetersizdir.

CS1	ÇEVRESEL VE SOSYAL KRİTERLER	Yetersiz Yönetim Desteği	Üst yönetim ve uzman yöneticilerin sürdürülebilir üretim konusunda desteği bulunmamaktadır.
CS2		Farkındalık Eksikliği	Sürdürülebilirlik kavramlarına ilişkin çalışanlarda farkındalık eksikliği bulunmaktadır.
CS3		Yetersiz Planlama	Sürdürülebilir üretim uygulamaları için işletmemizin bir yol haritası bulunmamaktadır.
CS4		Başarısızlık Korkusu	İşletmemizde sürdürülebilir üretimde başarısız olma korkusu bulunmaktadır.
CS5		Bilgi eksikliği	İşletmemizin sürdürülebilir üretime karşı bilgi ve vizyon eksikliği bulunmaktadır.
OD1	ORGANİZASYON DIŞI KRİTERLER	Müşteri talebinin yetersizliği	Sürdürülebilir ürünler için müşterimizin talebi bulunmamaktadır.
OD2		Tedarikçi ilgisizliği	Sürdürülebilir hammadde tedarikinde tedarikçi tarafın negatif tutumu/ilgisizliği bulunmaktadır.
OD3		Standart Ölçümün Bulunmaması	Sürdürülebilirlik için standart bir ölçüm ya da yöntem bulunmamaktadır.
OD4		Yetersiz Mevzuat	Etkisiz ve/veya karmaşık mevzuatlar ile çevre yasalarının yokluğu sürdürülebilir üretimi önlemektedir.
OD5		Yenilenebilir Enerji Kaynağının Doğrudan Kullanılamaması	Aydın Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olmasına rağmen ilde bulunan santrallerde üretilen elektriğin doğrudan imalatta kullanımı mümkün değildir.
OD6		Toplumun ilgisizliği	Toplumun sürdürülebilir üretim yapmamıza ilişkin talebi bulunmamaktadır.

4.1. Tam Tutarlılık Yönteminin (FUCOM) Genel Çerçevesi

Birçok farklı alanda çalışan araştırmacılar tarafından çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulamalarına olan ilgi önemli şekilde artış göstermektedir. Son yıllarda yeni yöntemler ortaya çıkmakta ya da eski yöntemlerden bazıları güncellenmektedir. Bu çalışmada Pamucar vd. (2018) geliştirilen Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method- FUCOM) kullanılmıştır. FUCOM'un tutarlılık ile kriterlerin gerekli sayıda karşılaştırması arasındaki ilişki dikkate alındığında birçok farklı yöntemden (BWM ve AHP) daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Yöntem, az sayıda karşılaştırma ($n-1$) ve kriterlerin optimal değerlerini hesaplarken tanımlanan kısıtlamalar ile karşılaştırmada hata olasılığını mümkün ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, ağırlık vektörleri için sapma değerini hesaplayarak modeli doğrulama yeteneği sunmaktadır (Pamucar vd., 2018).

Yöntem, sağlık, lojistik, finans, enerji, insan kaynakları gibi değişik çalışma alanlarında ve farklı yöntemlerin entegre edilmesiyle birçok problemin çözümünde kullanılmıştır. Bu çalışmalara ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. FUCOM ile Yapılan Çalışmalar

Yazar/lar	Yöntem	Uygulama Alanı
Fazlollahtabar vd., 2019	FUCOM	Forklift seçimi
Durmic, 2019	FUCOM	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi
Ecer, 2020	FUCOM	Kuruluş yer seçimi
Böyükaslan ve Ecer, 2021	FUCOM- F'B	Kripto para yatırımlarında belirleyicilerin ağırlıklandırılması
Vukasovic vd., 2021	FUCOM F- EDAS F	Etkili stok yönetimi için envanter gruplandırma
Hoan ve Ha, 2021	ARAS- FUCOM	Savaş uçağı değerlendirme ve seçimi
Pamucar vd., 2021	FUCOM F –SVNF MARCOS	Alternatif yakıtlı araç seçimi
Ayçin ve Aşan, 2021	FUCOM	İş zekâsı uygulamaları seçimi
Abdullah vd., 2022	FUCOM-MARCOS	Sağlık kuruluşlarının değerlendirilmesi
Khan vd., 2022	FUCOM	Soğuk tedarik zinciri risklerinin sıralanması

FUCOM ile kriterlerin ağırlıklandırılması aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilir (Pamucar vd, 2018):

1. *Adım* Önceden tanımlanmış kriter setlerinden kriterler $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ sıralanır. Sıralama, en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenenden en az önemli kritere göre yapılır. k gözlenen kriter sırasını göstermek üzere, ağırlık katsayılarının beklenen değerlerine göre sıralanan kriterler 1'deki gibi elde edilir.

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

Aynı öneme sahip birden fazla kriter söz konusu ise, eşitlik 1'de ">" yerine eşittir (=) işareti konulur.

2. *Adım* Sıralanan kriterlerin karşılaştırması yapılır ve değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önceliği $\varphi_{k/k+1}, k = 1, 2, \dots, n$ belirlenir. Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önceliği $(\varphi_{k/k+1}), C_{j(k)}$ kriterinin sıralamasının $C_{j(k+1)}$ kriterinin sıralamasının karşısındaki avantajıdır.

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

FUCOM Modeli, kriterlerin ikili karşılaştırması için, önceden tanımlanmış ölçek değerleri, ondalık değerler ya da tamsayı değerler kullanılmasına olanak sağlar

3. *Adım* Değerlendirme kriterlerinin $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ ağırlık katsayılarının nihai değerleri hesaplanır. Ağırlık katsayılarının nihai değerleri iki koşulu sağlaması beklenir. Bunlar;

(i) ağırlık katsayılarının oranı, 2. Adım'da tanımlanan gözlemlenen kriterler $(\varphi_{k/k+1})$ arasındaki karşılaştırmalı önceliğe eşit olmalı; yani, 3'teki koşulu karşılamalıdır.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

ii) ağırlık katsayılarının nihai değerleri, 4'teki matematiksel geçişlilik koşulunu karşılamalıdır.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (4)$$

Tam tutarlılık, 3. Adımdaki koşulların sağlanması durumunda gerçekleşir ve minimum tam tutarlılıktan sapma (TTS) değeri ($\chi = 0$) elde edilir.

Tanımlanan seriye bağlı olarak, değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin belirlenmesi için doğrusal programlama modeli tanımlanabilir.

(5)

$$\begin{aligned} & \min \chi \\ & \text{s. t.} \\ & \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+1)} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \forall j \\ & \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+2)} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \\ & w_j \geq 0, \forall j \end{aligned}$$

Model (5) ile değerlendirme kriterlerinin $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ değerleri ve Tam Tutarlılıktan Sapma (TTS) derecesinin (χ) nihai değerleri üretilir.

4.2. Tarım Makineleri İmalat Sektöründe Bir Uygulama

Aydın'da bulunan tarım makineleri imalat sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın yetkilileri ile yapılan görüşmelerden elde edilen birincil veriler bu bölümde değerlendirilmiştir. Firma, yurtiçi ve yurtdışı pazarda önemli bir yere sahip olmakla birlikte yaptığı makinelerin bazılarının sürdürülebilirliğe katkı sağlaması bakımından önem arz etmektedir. Organik atığın kaynağında dönüştürülmesini sağlayan kompost makineleri buna örnek olarak verilebilir.

Çalışmada sürdürülebilir imalatın önündeki engeller ekonomik, çevresel ve sosyal, organizasyon dışı olmak üzere üç kategoride ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kategoriler önce ana kriterler sonra alt kriterler bakımından incelenmiştir. Sonra her bir alt kriterin ağırlığı hesaplanmıştır.

Karar vericilere ilişkin bir takım demografik özellikler ile sürdürülebilir üretime ilişkin görüşleri Tablo 3’de verilmiştir. Karar verici grubu imalatın başındaki uzman üretim ekibinden oluşmaktadır.

Tablo 3. Karar vericilere ilişkin bilgiler

Karar Verici Kodu	Karar Vericilerin Şirketteki Görevi	Şirketteki Çalışma Yılı	Karar Vericilerin Faaliyetlerin Sürdürülebilir Olduğuna İlişkin Görüşleri	
			Mevcut Değerlendirmesi	Sürdürülebilir İsteklilik
KV1	Teknik Müdür	16 Yıl	Sürdürülebilir	Evet
KV2	Üretim Sorumlusu	8 Yıl	Kısmen Sürdürülebilir	Evet
KV3	Proje Sorumlusu	7 Yıl	Sürdürülebilir	Evet
KV4	Ürün Geliştirme (ÜR-GE) Mühendisi	6 Yıl	Sürdürülebilir Değil	Hayır

4.2.1. Ana Kriterlerin Değerlendirilmesi

Karar vericilerin öncelikle ana kriterler olan ekonomik (Eko), çevresel ve sosyal (Çev&Sos), organizasyon dışı (Org.Dış) kriterlerini kendi aralarında değerlendirmesi istenmiştir. Tam tutarlılık yönteminin ilk basamağı olan kriterlerin sıralanması karar vericiler tarafından yapılmıştır. Üretimden sorumlu ve deneyimli tüm karar vericiler ekonomik faktörleri öncelikli olarak Tablo 4’deki gibi sıralamış ve değerlendirmiştir.

Tablo 4. Ana kriterlerin sıralaması ve değerlendirmeler

Karar Verici	Sıralama	Değerlendirme
KV1	Eko.>Çev&Sos.>Org. Dışı	1-4-8
KV2	Eko.>Çev&Sos.>Org. Dışı	1-3-7
KV3	Eko.>Çev&Sos.>Org. Dışı	1-3-6
KV4	Eko.>Çev&Sos.>Org. Dışı	1-4-8

Tüm karar vericilerin ana kriterleri 1’den 9’a (1 eşit, 9 en yüksek olmak üzere) değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirmeler en önemli kriterin diğer kriterlerle kıyaslanması ile oluşturulmuştur. İkili karşılaştırmaların hemen ardından her bir karar verici için kriterlerin karşılaştırmalı önceliğini bulunmuştur. Örneğin, karar verici 1 için en önemli kriter ekonomik kriter olup, organizasyon dışı kriterlerden 8 kat daha önemlidir. Karar verici 1 için ana kriterlerin karşılaştırma önceliği şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\varphi_{\frac{c_1}{c_2}} = \frac{4}{1} = 4 \qquad \varphi_{\frac{c_2}{c_3}} = \frac{8}{4} = 2$$

Bir sonraki adımda tüm kriterler için karşılaştırmalı öncelikleri göz önüne alınarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Adım 3’te belirtildiği gibi ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin iki koşulu sağlanması beklenmektedir. Bunlardan ilki ağırlık katsayılarının oranı, kriterler arasındaki

karşılaştırmalı önceliğe eşittir. Örneğin Karar verici 1 için ağırlık katsayılarının oranı aşağıda gösterilen şekilde elde edilir.

$$\frac{w_{c_1}}{c_2} = \frac{4}{1} = 4 \quad \frac{w_{c_2}}{c_3} = \frac{8}{4} = 2$$

Diğer koşul olan ağırlık katsayılarının nihai değerleri, matematiksel geçişlilik koşulunu sağlaması gerekmektedir. Karar verici 1'in değerlendirmesiyle birlikte 1. ana kriterin, 3. ana kritere göre değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{w_1}{w_3} = w_{\frac{1}{2}} * w_{\frac{2}{3}} = 4 * 2 = 8$$

Karar verici 1'in değerlendirmeleri sonucunda ana kriterler için nihai kriter ağırlıklarının elde edilmesi için aşağıda verilen doğrusal programlama modeli kurulmuştur.

$$\begin{aligned} & \text{Min } x \\ & \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{w_1}{w_2} - 4 \right| \leq x, \left| \frac{w_2}{w_3} - 2 \right| \leq x, \left| \frac{w_1}{w_3} - 8 \right| \leq x \\ \sum_{j=1}^3 w_j = 1, \quad w_j \geq 0 \quad \forall j \end{array} \right. \end{aligned}$$

Bu modelin Excel solver ile çözülmesi ile ana kriter önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Tüm karar vericiler için tekrarlanan bu işlemler sonucunda ana kriterlerin önem ağırlıklarının nihai hali Tablo 5'te verildiği gibi bulunmuştur. Ana kriterlerin yerel ağırlıkları hesaplanmak üzere aritmetik ortalamaları alınmıştır (Ecer, 2020). En önemli ana kriterin %72,4 ile ekonomik engeller olduğu tespit edilmiştir. Çevresel ve sosyal engeller %17,9 ve organizasyon dışı engellerin %9,8 olarak hesaplanmıştır. Ağırlık katsayılarının güvenilirliğini test eden tam tutarlılıktan sapma değerleri (TTS) "0" elde edilmiştir. Elde edilen tam tutarlılık değeri güvenilirlik için istenilen optimum değerdir.

Tablo 5. Ana kriterlerin yerel ağırlıkları

Ana Kriterler/ Karar Verici	KV1	KV2	KV3	KV4	Yerel Ağırlıklar
Ekonomik	0,727	0,774	0,667	0,727	0,724
Çevresel&Sosyal	0,182	0,129	0,222	0,182	0,179
Organizasyon Dışı	0,091	0,097	0,111	0,091	0,098
TTS	0,000	0,000	0,000	0,000	

4.2.2. Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

Tüm karar vericilerin ana kriter değerlendirmelerinde yaptıkları şekilde alt kriterleri sıralamaları ve 1'den 9'a (1 eşit, 9 en yüksek olmak üzere) değerlendirmeleri istenmiştir. Karar vericilerin alt kriterlere ait sıralama ve değerlendirmeleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Alt kriterlerin sıralaması ve değerlendirmeler

Karar Verici	Sıralama	Değerlendirme
KV1	E1>E2>E3>E5>E4	1-2-3-8-9
	CS3>CS5>CS2>CS4>CS1	1-3-5-8-9
	OD6>OD1=OD2=OD5>OD3>OD4	1-4-4-4-5-6
KV2	E1>E3>E2>E5>E4	1-3-4-6-8
	CS3>CS5>CS2>CS4>CS1	1-2-4-6-7
	OD6>OD2>OD1=OD4>OD3=OD5	1-3-5-5-6-6
KV3	E1>E3>E2>E5>E4	1-3-4-6-8
	CS3>CS5>CS2>CS4>CS1	1-2-4-6-7
	OD6>OD2>OD1=OD4>OD3=OD5	1-3-5-5-6-6
KV4	E4>E1>E2>E5>E3	1-2-3-4-5
	CS1=CS3>CS5>CS4>CS2	1-1-2-4-5
	OD6>OD1=OD2=OD3>OD4>OD5	1-3-3-3-5-7

Ana kriter hesaplamalarında yapılan tüm adımlar takip edilerek alt kriterlere ilişkin karşılaştırmalı öncelikler ve doğrusal programlama modelleri oluşturulmuştur. Bir önceki bölümde örneklendirildiği şekilde, tüm alt kriterler ve tüm karar vericiler için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen alt kriterlerin önem ağırlıkları Tablo 7’de verilmiştir. Alt kriterler için Tam tutarlılıktan sapma değerleri (TTS), “0” elde edilmiştir. Tüm alt kriterler, ana kriter ağırlıkları göz önüne alınmadan yerel ağırlıklar bakımından karşılaştırıldığında sürdürülebilir imalat önündeki en önemli engel OD6 kriteri olan “toplumun ilgisizliği” olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7. Alt kriterlerin yerel ağırlıkları

Alt Kriterler/ Karar Verici	KV1	KV2	KV3	KV4	Yerel Ağırlıklar
E1	0,483	0,533	0,480	0,219	0,429
E2	0,242	0,133	0,160	0,146	0,170
E3	0,161	0,178	0,120	0,088	0,137
E4	0,060	0,067	0,120	0,438	0,171
E5	0,054	0,089	0,120	0,109	0,093
CS1	0,066	0,069	0,339	0,359	0,208
CS2	0,119	0,121	0,085	0,072	0,099
CS3	0,593	0,486	0,339	0,359	0,444
CS4	0,074	0,081	0,068	0,090	0,078
CS5	0,148	0,243	0,169	0,120	0,170
OD1	0,118	0,097	0,119	0,142	0,119
OD2	0,118	0,161	0,159	0,142	0,145
OD3	0,094	0,081	0,096	0,142	0,103
OD4	0,079	0,097	0,080	0,085	0,085
OD5	0,118	0,081	0,068	0,061	0,082
OD6	0,472	0,484	0,478	0,427	0,465
TTS	0,000	0,000	0,000	0,000	

4.2.3. Kriterlerin Nihai Ağırlıkları

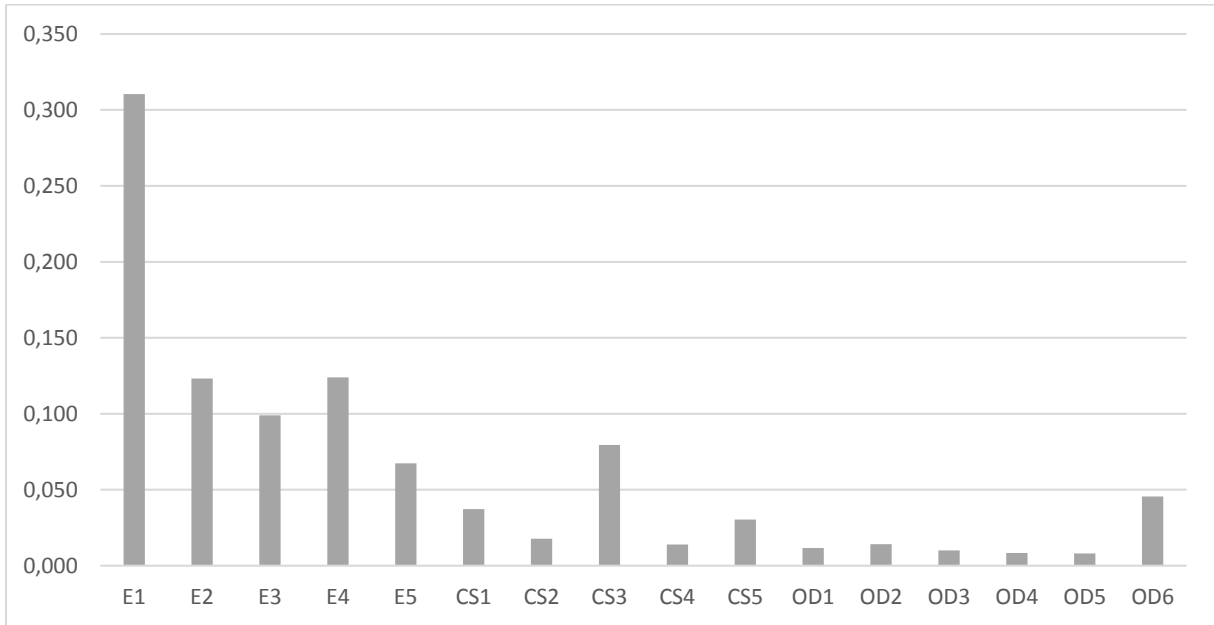
Ana ve alt kriterler birlikte değerlendirilerek hesaplanan nihai kriter ağırlıkları Tablo 8’de verilmiştir. Global ağırlıklarla yapılan değerlendirme sonucunda sürdürülebilir imalat önündeki en önemli engelin yüksek yatırım maliyetleri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tüm ekonomik

kriterler, sıralamada üstte yer alırken dikkat çekici diğer önemli kriter işletmenin sürdürülebilir imalat için yol haritasının olmaması yani “yetersiz planlama” olmuştur.

Tablo 8. Nihai ağırlıklar ve sıralama

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Global Ağırlıklar	Sıralama
Ekonomik (0,724)	E1 (0,429)	0,310	1
	E2 (0,170)	0,123	3
	E3 (0,137)	0,099	4
	E4 (0,171)	0,124	2
	E5 (0,093)	0,067	6
Çevresel ve Sosyal (0,179)	CS1 (0,208)	0,037	8
	CS2 (0,099)	0,018	10
	CS3 (0,444)	0,080	5
	CS4 (0,078)	0,014	12
	CS5 (0,170)	0,030	9
Organizasyon Dışı (0,098)	OD1 (0,119)	0,012	13
	OD2 (0,145)	0,014	11
	OD3 (0,103)	0,010	14
	OD4 (0,085)	0,008	15
	OD5 (0,082)	0,008	16
	OD6 (0,465)	0,046	7

Tüm kriterler için hesaplanan nihai kriter ağırlıkları Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kriterlerin nihai önem ağırlıkları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile bir tarımsal makine imalat işletmesinde sürdürülebilir imalatın önündeki engellerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden Tam tutarlılık (FUCOM) Yöntemi ile yapılan değerlendirme sonucunda, yüksek yatırım maliyetleri sürdürülebilir imalat önündeki en önemli engel olarak tespit edilmiştir. Özellikle ana kriterler içerisinde ekonomik faktörlerin dört karar verici tarafından da çok baskın bir ağırlığa sahip

olması, yapılması gereken yatırımların büyüklüğü ve bunlar için uygulamanın gerçekleştiği orta ölçekli işletmelerin sermaye yetersizliği ve kaynak bulma sıkıntıları bakımından değerlendirildiğinde şaşırtıcı bulunmamaktadır. KOBİ'ler üzerinde yapılan benzer bir çalışmada aynı sonuçlar elde edilmiştir (Tanco vd., 2021). Türkiye'deki sürdürülebilir imalata yönelik devlet destekleri ve teşvikler incelendiğinde özellikle Ar-Ge çalışmaları kapsamında vergi indirimleri ve muafiyetlerle ilgili destekleri içerdiği anlaşılmaktadır (Cılız vd., 2011). Bunun dışında Ticaret Bakanlığının Yeşil Mutabakat Eylem Planı çerçevesi kapsamında farklı bir takım finansman çalışmalarının hazırlığının yapıldığı belirtilmektedir (Ticaret Bakanlığı, 2021).

Çalışmada diğer bir dikkat çekici sonuç, global ağırlık hesaplanmasında 6. Sırada yer alan “yetersiz planlama” yani “sürdürülebilir imalat yapmak için yol haritasının bulunmaması” kriteridir. İşletmenin sürdürülebilir imalat ile ilgili bir strateji oluşturması ve tüm çalışanların, üst yönetim ile birlikte uygun bir yol haritasını en kısa sürede uygulamaya geçirmesi gerekmektedir. Özellikle AB ülkelere ihracat yapan bu firma ve benzer firmaların AB ticaret düzenlemelerine uygun üretim şartlarını şimdiden oluşturması önerilmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek Aydın ili özelinde sürdürülebilir imalatın artırılmasına yönelik fırsatların adaptasyonu sağlanmalıdır. Özellikle yenilenebilir enerji üretiminde öne çıkan ilde üretimde kullanılan enerjinin sürdürülebilirliğinin garantisi sağlanabilir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin yapılacak dağıtım sistemleri yatırımı ile doğrudan satışına imkân tanınmalıdır. Dünya üzerinde benzer uygulamaların bulunduğu bilinmektedir. Çalışma incelenen sektörde, tüm tedarik zinciri üyelerinde sürdürülebilirliği engelleyen kriterlerin ortaya konularak değerlendirilmesiyle daha da genişletilebilir.

KAYNAKÇA

Abdullah, A., Ahmad, S., Athar, M. A., Rajpoot, N., & Talib, F. (2022). Healthcare performance management using integrated FUCOM-MARCOS approach: The case of India. *The International Journal of Health Planning and Management*, 37(5), 2635-2668. <https://doi.org/10.1002/hpm.3488>

Abualfaraa, W., Salonitis, K., Al-Ashaab, A., & Ala'raj, M. (2020). Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability: A critical review. *Sustainability*, 12(3), 981.

Alayón, C. L., Säfsten, K., & Johansson, G. (2022). Barriers and enablers for the adoption of sustainable manufacturing by manufacturing smes. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4), 1-34. <https://doi.org/10.3390/su14042364>

Alsanad, S. (2018). Barriers to implementation sustainable cement manufacturing in kuwait. *European Journal of Sustainable Development*, 7(4), 317-322. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n4p317>

Ayçin, E., & Aşan, H. (2021). İş zekası uygulamaları seçimindeki kriterlerin önem ağırlıklarının FUCOM yöntemi ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 195-208. <https://doi.org/10.33707/akuiibfd.903563>.

Bhanot, N., Rao, P. V., & Deshmukh, S. G. (2015). Enablers and barriers of sustainable manufacturing: Results from a survey of researchers and industry professionals. *Procedia CIRP*, 29, 562–567. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.036>

Bhanot, N., Rao, P. V., & Deshmukh, S. G. (2017). An integrated approach for analysing the enablers and barriers of sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4412–4439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.123>

BİST (2022), Sürdürülebilirlik endeksi. <https://borsaistanbul.com/tr/sayfa/165/bist-surdurulebilirlik-endeksi>

Böyükaslan, A., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101745>

Chun, Y., & Bidanda, B. (2013). Sustainable manufacturing and the role of the International Journal of Production Research. *International Journal of Production Research*, 51(23–24), 7448–7455. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.762135>

Cılız, N., Daylan, B., & Baydar, G. (2011). Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-II, Temiz Üretim. *Ankara, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*.

Deepak, M., Haq, A. N., & Mathiyazhagan, K. (2014). Identification of pressures, barriers and drivers for the implementation of green supply chain management. *In 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014)*, Assam, India.

Durmić, E. (2019). Evaluation of criteria for sustainable supplier selection using FUCOM method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1), 91-107.

Ecer F. (2020). FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemi ile rüzgâr çiftliği yer seçimini etkileyen faktörlerin analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 24-34.

Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49–65. <https://doi.org/10.31181/dmame1901065f>

Garetti, M., & Taisch, M. (2012). Sustainable manufacturing: Trends and research challenges. *Production Planning and Control*, 23(2–3), 83–104. <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.591619>

Ghazilla, R. A. R., Sakundarini, N., Abdul-Rashid, S. H., Ayub, N. S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2015). Drivers and barriers analysis for green manufacturing practices in Malaysian smes: A preliminary findings. *Procedia CIRP*, 26, 658–663. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.085>

Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2012). Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.011>

Gupta, H., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, J. (2020). Barriers and overcoming strategies to supply chain sustainability innovation. *Resources, Conservation and Recycling*, 161(November 2019), 104819. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104819>

Hariyani, D., Mishra, S., Sharma, M. K., & Hariyani, P. (2022). Organizational barriers to the sustainable manufacturing system: A literature review. *Environmental Challenges*, 9(May), 100606. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100606>

Hartmann, J., & Moeller, S. (2014). Chain liability in multitier supply chains? Responsibility attributions for unsustainable supplier behavior. *Journal of Operations Management*, 32(5), 281–294. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.01.005>

Hoan, P., & Ha, Y. (2021). ARAS-FUCOM approach for VPAF fighter aircraft selection. *Decision Science Letters*, 10(1), 53-62. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2020.10.004>

Jamwal, A., Agrawal, R., Gupta, S., Dangayach, G. S., Sharma, M., & Sohag, M. A. Z. (2020). Modelling of sustainable manufacturing barriers in pharmaceutical industries of himachal pradesh: an ism-fuzzy approach. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 174(June), 157–167. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2647-3_15

Joung, C. B., Carrell, J., Sarkar, P., & Feng, S. C. (2012). Categorization of indicators for sustainable manufacturing. *Ecological Indicators*, 24, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.030>

Khan, A. U., Ali, Y., Pamucar, D., & Vasa, L. (2022). Risk management for cold supply chain: Case of a developing country. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(8).

Koho, M., Torvinen, S., & Romiguer, A. T. (2011). Objectives, enablers and challenges of sustainable development and sustainable manufacturing: Views and opinions of Spanish companies. In *2011 IEEE international symposium on assembly and manufacturing (ISAM)*, 1-6. IEEE.

Machado, C. G., Winroth, M. P., & Ribeiro da Silva, E. H. D. (2019). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: An emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777>

Malek, J., & Desai, T. N. (2019). Prioritization of sustainable manufacturing barriers using Best Worst Method. *Journal of Cleaner Production*, 226, 589–600. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.056>

Malek, J., & Desai, T. N. (2020). A systematic literature review to map literature focus of sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120345>

Mathiyazhagan, K., Govindan, K., NoorulHaq, A., & Geng, Y. (2013). An ISM approach for the barrier analysis in implementing green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 47, 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.042>

Mittal, V. K., Sangwan, K. S., Herrmann, C., Egede, P., & Nee, Song and Ong (Eds) (2013). Comparison of drivers and barriers to green manufacturing: A case of India and Germany. *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*, Springer, Singapore

Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014). Prioritizing barriers to green manufacturing: Environmental, social and economic perspectives. *Procedia CIRP*, 17, 559–564. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.075>

Moktadir, M. A., Ali, S. M., Rajesh, R., & Paul, S. K. (2018). Modeling the interrelationships among barriers to sustainable supply chain management in leather industry. *Journal of Cleaner Production*, 181, 631–651. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.245>

Moldavska, A., & Welo, T. (2017). The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.006>

Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Sorooshian, S., & Adeleke, A. Q. (2021). Green and low carbon matters: A systematic review of the past, today, and future on sustainability supply chain management practices among manufacturing industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100144>

Mutingi, M., Musiyarira, H., Mbohwa, C., & Kommula, V. P. (2017, 25-27 Ekim). An analysis of enablers and barriers of sustainable manufacturing in Southern Africa. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2, 25-28.

Oğuzhan, Y. (2018). Sürdürülebilir üretimi teşvik eden ve sınırlandıran faktörlerin belirlenmesine yönelik bir alan araştırması. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 73(2), 475–500. https://doi.org/10.1501/sbfter_0000002506

Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkilä, A., Johansson, B., Leong, S., & Lyons, K. (2010, December). Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology. *In Proceedings of the 2010 winter simulation conference*, 3411-3422. IEEE.

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), 1–22. <https://doi.org/10.3390/sym10090393>

Pamucar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of The Total Environment*, 788, 147763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763>

Rosen, M. A., & Kishawy, H. A. (2012). Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs. *Sustainability*, 4(2), 154-174. doi:10.3390/su4020154.

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>

Silvestre, B. (2016). Sustainable supply chain management: current debate and future directions. *Gestão & Produção*, 23, 235-249. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2202-16>.

Singh, S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2016). Development of sustainable manufacturing performance evaluation expert system for small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, 40, 608–613. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.142>

Tanco, M., Kalemkerian, F., & Santos, J. (2021). Main challenges involved in the adoption of sustainable manufacturing in Uruguayan small and medium sized companies. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126139>

Ticaret Bakanlığı. (2021). Yeşil Mutabakat Eylem Planı. <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>

Vukasović, D., Gligović, D., Terzić, S., Stević, Ž., & Macura, P. (2021). A novel fuzzy MCDM model for inventory management in order to increase business efficiency. *Technological and economic development of economy*, 27(2), 386-401. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.14427>

Wu, H., Lv, K., Liang, L., & Hu, H. (2017). Measuring performance of sustainable manufacturing with recyclable wastes: A case from China's iron and steel industry. *Omega (United Kingdom)*, 66, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.01.009>