

---

## İŞLETMELERİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİNE YÖNELİK FARKLI BİR DEĞERLENDİRME: MODİFİYE EDİLMİŞ DİJİTAL MANTIK (MDL)

---

Gülsün NAKİBOĞLU,<sup>1</sup>

Berna BULĞURCU<sup>2</sup>

### Öz

Kısıtlı doğal kaynakları kullanması, süreçlerin kirliliğe sebep olması ve çıktıların (ürünlerin) da benzer şekilde kullanım esnasında ve sonrasında istenmeyen çevresel etkilere sebep olması, üretim işletmelerinin özellikle çevresel sürdürülebilirlikleri açısından değerlendirilmesini gerektirmektedir. Uygulamada ve literatürde sürdürülebilirlik göstergelerinden bahsedilse de, genel kabul gören bir çevresel sürdürülebilirlik performans ölçütü ve sistemi bulunmamaktadır. Bu çalışma işletmelerin çevresel performanslarına ait göstergelerin ve bu göstergelerin önem düzeylerinin belirlenmesine yönelik olup, uygulama plastik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiş ve göstergelerin önemlerinin belirlenmesinde Denghan-Manshadi vd. (2007) tarafından geliştirilen yeni bir ikili karşılaştırma tekniği olan Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (MDL) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, oldukça yeni bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemini farklı bir alanda kullanmanın yanında, grup kararı verirken grupta yer alan ve farklı özellikler taşıyan uzmanların bu özelliklerinin de dikkate alınması amacıyla sezgisel bulanık sayıları kullanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** çevresel sürdürülebilirlik, çevresel performans, modifiye edilmiş dijital mantık (MDL), sezgisel bulanık sayılar.

**JEL Sınıflandırması:** M10, M11, Q53, Q57, C44

---

## AN ALTERNATIVE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDICATORS OF BUSINESSES: MODIFIED DIGITAL LOGIC (MDL)

---

### Abstract

Businesses are required to be assessed in terms of environmental sustainability due to the fact that they use limited natural resources, and their processes cause pollution and their outputs (products) similarly cause undesirable environmental influences during and after use. Although sustainability indicators are mentioned in practice and in the literature, there is not a generally accepted environmental sustainability performance criterion and/or system. This study intent to determine both the indicators for environmental performance of a business and the importance levels of these indicators. The study focused on a business operating in plastic packaging sector, and the importance indicators were determined by Modified Digital Logic (MDL) method ,which is a new binary comparison technique developed by Denghan-Manshadi et al. (2007). In addition to using a new Multi Criteria Decision Making Method in a different area, group decision was also considered, and intuitive fuzzy numbers were used in the study in order to take the different opinions of the specialists within the group into consideration

**Keywords:** environmental sustainability, environmental performance, Modified Digital Logic (MDL), Intuitionistic fuzzy numbers

**JEL Classification:** M10, M11, Q53, Q57, C44

---

<sup>1</sup>\* Yrd.Doç.Dr., Çukurova Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü Üretim Yönetimi ABD, [ngulsun@cu.edu.tr](mailto:ngulsun@cu.edu.tr), (sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Yrd.Doç.Dr., Çukurova Üniversitesi İİBF İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler ABD, [bkiran@cu.edu.tr](mailto:bkiran@cu.edu.tr)

## 1. Giriş

Günümüz toplumunun karşı karşıya kaldığı birçok çevresel sorun bulunmaktadır. İklim değişimi, ozon tabakası incilmesi, endüstriyel toksinler, su, hava ve toprak kirliliği bunların ilk akla gelen örnekleridir (Ding vd., 2016). Doğal kaynakların tüketimi, üretim esnasında oluşan kirlilik, yan ürünlerin oluşturduğu kirlilik, ürünlerin kullanımı esnasında ve sonrasında oluşan atıklar göz önüne alındığında, temelde bu çevresel sorunların, ürün üretimi ve kullanımı ile doğrudan bağlantısı bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik hakkındaki kapsamlı çalışmaların başladığı ilk yıllardan itibaren, çevrenin zarar görmesinde temel etken olarak özellikle gelişmiş ülkelerde görülen sürdürülebilir olmayan tüketim ve üretim yapıları gösterilmiştir (UNSD, 1992). Bu konudaki bilgiler ve genel duyarlılık düzeyi arttıkça işletmeler de devlet kurumları, tüketiciler ve diğer paydaşların artan çevresel duyarlılığına uyum sağlamak durumunda kalmaktadırlar. Bu sebeple işletmelerin süreçlerinde sürdürülebilir olmaya dair çabaları gün geçtikçe artmaktadır (Feng ve Joung, 2009; Ahi ve Searcy, 2015: 360). İşletmeler hem kısa dönemlik taktik, hem de uzun dönemlik stratejik kararlarında sadece kârlılık odaklı davranmamakta, sürdürülebilirlik uygulamalarına da yer vermektedirler.

Birleşmiş Milletler'e göre sürdürülebilirlik, bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini ellerinden almaksızın karşılama olarak tanımlanabilir ve temelde ekonomik, ekolojik ve sosyal olmak üzere üç boyutludur.

İşletme sürdürülebilirliği, organizasyonun finansal, çevresel, sosyal ve etik açılardan uzun dönemlik değeridir (UN, 2014). İşletmenin çevresel, ekonomik ve sosyal sistemlerle bağlantılı olarak iç ve dış olaylara karşı uzun dönemler boyunca kendini koruyabilmesi ve varlığını sürdürebilmesi olarak da düşünülebilir (Ahi ve Searcy, 2013: 329). Bir diğer deyişle, kurumun ve paydaşların bugünkü ihtiyaçlarını karşılarken, gelecekte de ihtiyaç duyulacak doğal kaynakların ve insan refahının korunması ve artırılması amacıyla işletme stratejilerinin ve faaliyetlerinin uyumlaştırılmasıdır (Labuschagne vd., 2005). Sürdürülebilirliğin genel olarak ne olduğu anlaşılabilir de uygulamada işletmeler için operasyonel terimler açısından ifadesi kolay değildir. Bu amaçla, çevresel sürdürülebilirliğin ölçülmesinde göstergelerin kullanımına başvurulmaktadır. Kullanılacak göstergeler ve önem düzeyleri işletmelere göre değişeceğinden, işletmelerin kendi kullanacakları göstergeleri seçmeleri ve çevresel performansı ölçmeye dair sistemi oluşturmaları gereklidir.

Bu çalışma, işletmenin çevresel performansının belirlenmesinde iç ve dış paydaşlar tarafından kullanılacak göstergelerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Kullanılacak göstergeler, işletmenin ve sektörün özellikleri ve baskı unsurlarının işletme üzerindeki etkisine göre değişebileceğinden, örnek bir sektör olması açısından veriler, plastik ve ambalaj işletmelerinden sağlanmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan MDL ile göstergeler incelenmiş ve sıralanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümü sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik konusunu ele almaktadır. Bu bölümde ayrıca işletmeler açısından çevresel sürdürülebilirlik konusu incelenmekte, çevresel göstergeler ve gösterge seçimi ve önemi açıklanmaktadır. Üçüncü bölüm önceki çalışmaları ifade etmekte ve literatürde kullanılan çevresel göstergeleri özetlemektedir. Dördüncü bölüm öncelikle MDL yöntemini ve karar vericiyi ağırlıklandırmak için sezgisel bulanık sayıların nasıl kullanıldığı göstermekte ve ardından uygulama aşamalarını açıklamaktadır.

## 2. Sürdürülebilirlik ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Karmaşık ve çok boyutlu konularda karar verebilmek ve sistemi yönetebilmek için, konuların ölçümünü tek bir ölçütü gerçekleştirilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yoğunlaştırılmış ölçütler de gösterge olarak adlandırılır. Doğal çevre, bahsedilen karmaşık ve çok boyutlu ortamlara bir örnek olduğundan, uygun göstergelerle ifade edilmesi gereklidir (Olsthoorn vd., 2001).

İşletmeler, ürünler ve süreçlerde sürdürülebilirlik için uluslararası organizasyonlar ve kâr amacı gütmeyen organizasyonlar tarafından geliştirilmiş bazı ölçüt, ilke ve rehberler aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

-Birleşmiş Milletler Küresel İlkeler, Kurumsal Sürdürülebilirlik Rehberi (UN Global Compact, Guide to Corporate Sustainability), işletmelerin kurumsal sürdürülebilirlikleri ile bağlantılı olarak insan hakları, işgücü, çevre ve iş kesintilerine karşın temel ilkeleri belirlemiştir (UN, 2014).

-Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri (UN Indicators of Sustainable Development): Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu tarafından 1995 yılında onaylanmış, 1996, 2001 ve 2007 yıllarında yeniden yayınlanmıştır. Ülkeler veya bölgeler bazında sürdürülebilirlik konusuna odaklanır, mevcut durumda 14 başlıkta, 96 gösterge içinde 50 anahtar gösterge söz konusudur (UN, 2007).

-Küresel Raporlama Girişimi (Global Reporting Initiative, GRI): 1997 yılında kurulan GRI, işletmelere, hükümetlere ve diğer organizasyonlara işletmenin kritik sürdürülebilirlik konularındaki etkisini anlamasına ve bilgi vermesine yardımcı olan uluslararası bağımsız bir organizasyondur. Doksandan fazla ülkede yüzlerce işletme GRI rehberlerini kullanmaktadır. GRI, işletmelere kendi istekleri ile hazırlayacakları sürdürülebilirlik raporları için genel bir çerçeve sunar. Sürdürülebilirliğin raporlanması ve yayınlanmasında dünyada en yaygın kullanılan standartlar serisidir. Raporlama standartları halen geliştirilmekte ve güncellenmektedir, 2015 yılında G4 serisi yayınlanmıştır (GRI online). Ekonomik, ekolojik ve sosyal ana başlıkları altında yetmişden fazla gösterge söz konusudur.

-Dow Jones Sürdürülebilirlik İndeksi (Dow Jones Sustainability Index): 1999 yılında uygulamaya konduğunda küresel sürdürülebilirlik kıyaslaması yapan ilk program olmuştur ve Dow Jones'da işlem gören en büyük 2500 işletmenin ilk %10'unun sürdürülebilirlik performansı değerlendirilmektedir. Kriterler ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları kapsamaktadır. 2012 yılından sonra RobecoSAM tarafından yönetilmektedir (RobecoSAM, 2017; S&P Dow Jones Indices, 2017).

-OECD Çevresel Göstergeler (OECD Environmental Indicators): Ulusal ve uluslararası düzeyde çevresel raporlama, çevresel performansın ölçülmesi ve sürdürülebilir kalkınma ile bağlantılı olarak gelişimi, amaçların ve önceliklerin belirlenmesi ve planlama için gerekli göstergeler üzerinde çalışır. Geliştirilen göstergeler ortak bir yaklaşım ve kavramsal çerçeve oluşturmak için girişimlerin uyumlaştırılması, gelişimin sağlanması ve tecrübe paylaşımı sağlama amacındadır. Bu kapsamda yer alan Core Environmental Indicators, OECD ülkeleri için genel kabul gören ve yaklaşık 50 göstergeye sahip bir yaklaşım olup, çevresel politikaları takip etmekte ve sonuçları düzenli olarak yayınlanmaktadır (OECD, 2003; 2004).

-EPA Çevre Raporu (EPA Report on the Environment, ROE), özellikle ABD'de geçerli bir rapordur. Çevre ve insan sağlığı ile ilgili konuları içeren (2015 yılı itibari ile) 85 göstergeye sahiptir (EPA online).

-Avrupa Çevre Ajansı Göstergeleri (EEA Indicators, European Environment Agency): Hedefleri tanımlamak, politikaları takip etmek ve kamu ile politika yapımcılar arasındaki iletişimi geliştirmek amacıyla sorulan temel soruları cevaplamak için oluşturulmuş bir dizi göstergedir. 2014 versiyonu çevresel 22 konu başlığı altında 127 göstergeden oluşmaktadır (EEA, 2014).

-Çevresel Performans İndeksi (Environmental Performance Index, EPI), karar vericilere yardımcı olmak amacıyla, insan sağlığının ve ekosistemin korunması alanlarında yüksek öncelikli çevresel konular açısından ülkelerin performansını sıralayan küresel bir ölçek sistemidir. 2016 yılı raporunda, 9 başlıkta 20 gösterge ile ülke değerleri hesaplanmıştır (EPI online).

-ISO 14031 Çevre Yönetimi Çevre Performans Değerlendirilmesi (ISO 14031 Environmental Performance Evaluation, EPE): İşletmeler tarafından ISO 14001 bünyesinde veya tek başına bir rehber olarak kullanılabilir (Bennett ve James, 1998; Jasch, 2000). Standart, çevresel performansın değerlendirilmesinde performans yönetim göstergeleri için rehberlik sunar (Dias-Sardinha vd., 2002) ve her tür işletme tarafından çevresel performans değerlendirme tasarımında kullanılabilir (ISO online). Üç tip göstergeden oluşmaktadır: Çevresel durum göstergeleri, operasyonel performans göstergeleri ve yönetim performans göstergeleri. ISO 14031 sistem,

doğrudan gösterge sunmak yerine, işletmelerin çevresel performanslarını değerlendirmek için kendi göstergelerini geliştirmeleri için önerilerde bulunur (Feng ve Joung, 2009).

Burada bahsedilen makro düzeydeki çevresel performans değerlendirme sistemlerine ek olarak ülkelerin geliştirdikleri (örn. Kanada, Japonya, Fransa) veya işletmelerin geliştirdikleri (örn. Ford, GM, Wal-Mart) sistemler de söz konusudur.

### 2.1.İşletmeler İçin Çevresel Sürdürülebilirlik

İşletmeler, ekonomik performansla birlikte çevresel performans gösterme konusunda rekabetçi, yasal ve toplumsal baskı altındadırlar (Anoop vd., 2014). İşletmeler, çevre konusundaki performanslarını anlayabilmek için, mevcut durumu doğru bir şekilde tanımlayabilmek, iyileştirilebilecek potansiyel alanları fark etmek, karar vericilere durumu takip etmek ve koordinasyon sağlamak amacıyla yardımcı olabilecek bir çevresel değerlendirme sistemi kurmak için çevresel göstergelerden faydalanırlar. İşletmeler anlaşılır ve ölçümü kolay, raporlanabilir ölçütlerle süreçlerini ve ürünlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek istemektedirler. İşletmelerin sürdürülebilirlik ölçütlerini ifade etmelerinde birçok göstergeden bahsedilebilir ve bu durum da uygun ölçütün seçimi konusunda farklı görüşlere ve karmaşıklığa sebep olabilmektedir (Joung vd.,2013). Çevresel gösterge tanımının çoğunlukla belirsiz ve muğlak olarak görülmesinin yanında, işletmenin türü, sektörü, büyüklüğü, çevreye duyarlı tüketicilere ve pazara yaklaşımı, çevresel yasaların kapsamı, organizasyon kültürü ve daha birçok faktöre bağlı olduğundan, kullanılacak göstergelerin seçimini farklılaştırmaktadır (Olsthoorn vd., 2001).

İşletmeler artık kararlarında, süreçlerinde ve ürünlerinde ekonomik sonuçlarla birlikte, çevresel sonuçları da düşünmek durumundadırlar. İşletmeye özgü çevresel gösterge sistemleri çevresel çabaların performansın ve maliyetin planlaması, yönlendirmesi ve kontrolü için oldukça önemli araçlardır (Jasch, 2000). Çevresel göstergelerin işletmelerde farklı karar vericiler tarafından ne amaçlarla kullanılacağı aşağıda ifade edilmiştir (Olsthoorn vd., 2001):

-Kurum yöneticisi: Belirlenen stratejik hedefler ile ilişkili olarak işletmenin çevre konusundaki gelişimini izlemek, işletme için en tehlikeli ve zararlı atıkları ve emisyonları tanımlamak, işletmenin paydaşları ve ilgili kişilerle (örn. hissedarlar, müşteriler, yasa koyucular) iletişimi sağlamak ve izleyen dönemler için bir referans performansı oluşturmak.

-Üretim birimi yöneticisi: Çevresel etkinliğin artırılması için fırsatları tanımlamak, süreçlerin çevresel etkilerini sınırlandırmak için gerekli veriyi iletmek.

-Pazarlama birimi yöneticisi: Yeni pazar fırsatlarını tanımlamak, rakiplerin çevresel performansına göre pazar pozisyonunu korumak.

-Satın alma yöneticisi: İşletmelerle ilişkilerde kullanılabilir.

-Çevre konusundaki otoriteler: İşlemin uygunluğunu denetlemek.

-Ulusal otoriteler: Gönüllülük esasına dayalı anlaşmalarda işletmenin performansını takip etmek, hükümetin çevre politikasını oluşturmasında ve uygulamasında veritabanı oluşmasını sağlamak.

-Yatırımcılar ve paydaşlar açısından: İşletmenin çevresel sorumluluklarını yerine getirdiğinin ifade etmesi (bu finansal performansı da etkileyebilir).

-Tüketiciler: Yeşil tüketicinin ihtiyacını karşılamak.

### 2.2.Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergeleri

Genel olarak farkındalığı artırmak, karar vericiye yardımcı olmak ve amaçlanan hedefler doğrultusunda iyileşmeyi ölçebilmek amaçlarına sahip olan göstergeler (Fan vd., 2010), sürdürülebilirlik alanında da sürdürülebilirliğin tanımlanması, izlenmesi ve geliştirilmesi için kullanılmaktadır. Çevresel göstergeler, mikro ve makro düzeyde birçok amaç için kullanılabilir. Göstergeler makro düzeyde genelde kurum dışındaki paydaşlara hizmet verir, örneğin ulusal veya

uluslararası yetkililerce düzenlenmiş yasalara uygunluğun denetlenmesi, hissedarlara bilgi verilmesi gibi. Mikro düzeyde ise işletme içindeki çeşitli birimler tarafından kullanılıyor olabilir. Örneğin ürün veya süreç hakkındaki hedefleri belirlemek ve kontrol etmek veya sürekli gelişme ve ürün geliştirme çabalarını desteklemek için rakiplerin performansı veya ortalama performansla karşılaştırma yapmak için kullanılabilir (Thoresen, 1999).

Yapılan çalışmalar ve karşılaştırma sonuçları göstermiştir ki, işletmelerin ürün ve süreçlerini iyileştirmeleri için kullanabilecekleri ve işletmelerin tüm özelliklerini kapsayan tek bir ideal gösterge seti bulunmamaktadır. Bu sebeple göstergeler, uygulama aşamasında ürün ve süreçteki iyileşmeleri sağlayacak uygulamalarda karar vericilere yardımcı olmak amacıyla tasarlanmaktadır (OECD, 2010: 17). Ancak işletmeler için standart bir gösterge setine ulaşmak, kullanmak ve veri toplamak, daha doğru kararlar alınması ve yatırımların doğru yönlendirilmesinde faydalı olacaktır.

Üretim ortamları için sürdürülebilirlik göstergeleri geliştirmek üretim ortamlarındaki belirsizlikler, müşteri isteklerindeki değişimler, üretim teknolojisindeki inovasyonlar, bilginin tam uygunluğunun ve yapısallığının sağlanamaması, karar modellerinin uygun olmaması, üretim ortamında kapsam ve sınırların tam tanımlanma zorluğu ve birçok ölçüm metodolojisinin bulunması gibi sebeplerle zorlaşmaktadır. Sürdürülebilirlik, aynı kalite kavramında olduğu gibi "bakana göre değişen" bir yapıdadır. Sürdürülebilirliğin anlamı sektöre ve bölgeye göre değişebilir (Mani vd., 2014).

OECD, sürdürülebilirlik yolunda ilerlemek isteyen işletmelere rehber olması amacıyla hazırladığı yayında, 7 adım belirlemiştir. İlk adım, işletmenin etkilerinin belirlenmesi ve önceliklerin ortaya konması, ikinci adım ise göstergelerin belirlenmesi ve hangi verilere ihtiyaç duyulacağını ortaya çıkarılmasıdır. *Hazırlık* aşaması olarak tanımlanan bu iki adımdan sonra *Ölçüm* ve ardından *İyileştirme* aşamaları gelmektedir. Dolayısıyla işletmelerin genel anlamda sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda durumlarını iyileştirebilmeleri için, gösterge belirlenmesi bir gerekliliktir (OECD, 2011).

### 3.Kavramsal Çerçeve ve Önceki Çalışmalar

Literatürde sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik ve işletme sürdürülebilirliği hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin *Sarkar vd. (2011)* sürdürülebilirlik göstergeleri setlerini tarayarak, üretim ortamlarında kullanılacak ölçütleri özetlemiş ve çevresel, ekonomik ve sosyal boyuta ek olarak teknolojik gelişmişlik ve performans yönetimi başlıklarını da ekleyerek ölçütleri gruplandırmışlardır. *Fan vd. (2010)*, işletmelerde kullanılan ve yönetim tarafından önemli bulunan sürdürülebilirlik göstergelerine odaklanmışlardır. Dokuz yönetici ile yapılan ankette, göstergelerin önem düzeyi sorulmuştur. Oluşturulan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) modeline göre sürdürülebilirlik ölçütleri ne kadar ilgili/önemli oldukları, analitik olarak uygunluğu ve ölçülebilirlikleri açısından değerlendirilmiştir.

*Rahdari ve Rostamy (2015)*'in çalışmalarında, çok sayıda sürdürülebilirlik ölçütleri içinden işletmenin, performansını doğru şekilde yansıtacak göstergeyi seçmesinin karmaşıklığına değinilmiş ve işletme düzeyinde en yaygın kullanılan göstergelerin hangileri olduğu sorusu araştırılmıştır. Genel kabul gören sürdürülebilirlik sistemleri, raporlama sistemleri ve yönetim sistemleri incelenerek, sürdürülebilirliğin üç boyutu hakkında genel göstergeler ortaya konmuştur. *Ahi ve Searcy (2013)* yeşil tedarik zinciri ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin karşılaştırmalı literatür analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada her iki kavram hakkında da literatürde birçok tanım bulunduğu ifade edilmiş, ortak noktalardan hareketle yeni bir tanım belirlenmeye çalışılmıştır. Yazarlar 2015 yılındaki çalışmalarında ise, yine yeşil ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin performansını belirlemeye yönelik bir literatür çalışması gerçekleştirmiş, 2012 yılına kadar olan yayınlarda kullanılan ölçütleri tanımlamışlardır. *Cowan vd. (2010)*, sürdürülebilirlik çabalarının başlangıcından beri uzun zaman geçmesine karşın ABD'de çevresel sürdürülebilirlik uygulamaları ve gereklilikleri hakkında halen üzerinde anlaşmaya varılmış bir kanun veya düzenleme olmaması, hatta işletmelerin sürdürülebilirlik programlarının da birbirinden farklı olmasından hareketle

programlardaki ortak noktaları belirlemeye çalışmışlardır. *Lee vd. (2015)* tedarikçilerin yeşil olmasının işletmenin çevresel performansa ve rekabet avantajına olan etkisini yapısal eşitlik analizi ile test etmişlerdir. Malezya’da ISO 14001 sahibi işletmeler üzerinde yapılan çalışmada bahsedilen ilişkinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu belirtilmiştir.

*Ocampo vd. (2015)* sürdürülebilir üretim için AHP yöntemini kullanarak kritik göstergeleri belirlemeye çalışmışlardır. Üç karar verici ile yapılan değerlendirmede, üretim işletmeleri için göreceli olarak en önemli görülen sürdürülebilirlik göstergeleri ve alt göstergeleri belirlenmiştir. *Anoop vd. (2014)*, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini ölçmede kullanılacak ölçütleri değerlendirmişlerdir. Hindistan için önemli olabilecek göstergeleri topladıkları çalışmada göstergeler girdi (örneğin malzemenin geri dönüştürülebilir içeriği), işlemler (örneğin atık su ve hava kirliliği) ve çıktılar (örneğin ürünün yeniden kullanılabilirliği) başlıkları altında tanımlanmışlardır.

*Ocampo (2015)*, NIST (ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)'ın sürdürülebilir üretim göstergelerini kullanarak AHP yöntemi ile göstergeleri ve alt göstergeleri ağırlıklandırmıştır. *Mani vd. (2014)*, bütünlüştürülmüş sürdürülebilir bilgi temeli oluşturabilmek amacıyla bilgi edinme ve değişimi için tanımlı ve yaygın kullanılan bir yöntem bulunmadığını belirtmiş, önceki çalışmalarda ve organizasyonların tanımladığı sürdürülebilirlik ölçütlerinde en sık kullanılan göstergeleri, kullanılabilir yazılımları özetlemiş ve üretim sürecine göre göstergelerin nasıl değişebileceğini açıklamışlardır.

*Sundin vd. (2015)*, geleneksel ürüne kıyasla daha sürdürülebilir alternatifler sunan ürün-hizmet sistemlerine (product-service systems) geçişte uygulanabilecek sürdürülebilirlik göstergelerini ifade etmiş ve üç örnek işletmenin kullandığı çevresel sürdürülebilirlik göstergelerini karşılaştırmışlardır. *Niemeijer ve de Groot (2008)* çalışmalarında çevresel performans göstergesi seçimi üzerinde durmuşlardır. Literatürde yer alan gösterge seçiminde dikkat edilmesi gereken ve göstergenin sahip olması gereken özellikleri özetlemiş, problem için göstergeler arası ilişkisel ağ oluşturmanın, gösterge seçiminin daha doğru yapılmasını sağlayacağını belirtmişlerdir.

*Kluczek (2016)* çalışmasında bir üretim işletmesinin sürdürülebilirlik göstergelerini AHP yöntemi ile belirlemiştir. Üretim sürecinde, sürdürülebilirlik üzerinde etkili olabilecek faaliyetler belirlenmiştir. *Veleva ve Ellenbecker (2001)* göstergelerin sahip olması gereken özellikleri de detaylandırdıkları çalışmada, işletmelerin sürdürülebilirlik performanslarını ölçmek amacıyla, süreci başlatmak için temel göstergeler ve ardından kullanmak için tamamlayıcı göstergeler kullanılmasını önermiş ve gösterge örnekleri sunmuşlardır.

İşletmelerin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmede en yaygın kullanılan yöntem, göstergelerin kullanımudur (Radhari ve Rostamy, 2015). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların çoğu genel sürdürülebilirlik göstergelerine odaklanıyor olsa da, en sık kullanılan çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Önceki Çalışmalarda Kullanılan Çevresel Göstergeler

<b>Toplam karbondioksit emisyonu</b> Sarkar vd., 2011; Razaee, 2016; Rahdari vd., 2015; Mani vd., 2014; Ahi ve Searcy, 2015	<b>Hava emisyonu</b> Sarkis ve Talluri, 2004; Ocampo vd., 2015; Ahi ve Searcy, 2015; Joung vd., 2013; Lee vd., 2015
<b>Toplam seragazi emisyonu / ozona zararlı gazlar</b> Veleva ve Ellenbecker, 2001; Razaee, 2016; Hamond vd., 1995; Lahouel, 2016; Azadi et al, 2015; Infante vd., 2013; Rahdari vd., 2015; Cowan vd., 2010; Sundin vd., 2015; Ahi ve Searcy, 2015; Ocampo vd., 2015; Joung vd., 2013	<b>Toplam atık emisyonu</b> Razaee, 2016; Erol vd., 2011; Joung vd., 2013; Lahouel, 2016; Sundin vd., 2015
<b>Toplam katı atık miktarı</b> Cowan vd., 2010; Sarkis ve Talluri, 2004; Salem ve Deif, 2014; Infante vd., 2013; Lee vd., 2015; Ocampo vd., 2015	<b>Toksik atıklar/bileşenler</b> Rahdari vd., 2015; Lee vd., 2015; Sarkis ve Talluri, 2004; Ocampo vd., 2015; Joung vd., 2013

<b>Su kullanımı</b> Infante vd., 2013; Hervani vd., 2005; Veleva ve Ellenbecker, 2001; Sarkar vd., 2011; Lahouel, 2016; Azadi vd., 2015; Rahdari vd., 2015; Erol vd., 2011; Cowan vd., 2010; Ahi ve Searcy, 2015; Joung vd., 2013; Hamond vd., 1995; Sundin vd., 2015; Mani vd., 2014	<b>Toplam enerji kullanımı</b> Lahouel, 2016; Azadi vd., 2015; Sarkar vd., 2011; Razaee, 2016; Sarkis ve Talluri, 2004; Infante vd., 2013; Erol vd., 2011; Veleva ve Ellenbecker, 2001; Cowan vd., 2010; Sundin vd., 2015; Mani vd., 2014; Ahi ve Searcy, 2015; Joung vd., 2013; Hervani vd., 2005; Rahdari vd., 2015
<b>Yenilenebilir enerji kullanımı</b> Venkatraman ve Nayak, 2015; Cowan vd., 2010; Azadi vd., 2015; Rahdari vd., 2015; Erol vd., 2011; Veleva ve Ellenbecker, 2001	<b>Çevre maliyetleri, çevresel konular sebebiyle ortaya çıkan maliyetler</b> Azadi vd., 2015; Hervani vd., 2005; Ahi ve Searcy, 2015
<b>Atık su miktarı</b> Mani vd., 2014; Salem ve Deif, 2014; Ahi ve Searcy, 2015; Lee vd., 2015	<b>Ekosistemde sebep olunan değişim</b> Razaee, 2016
<b>Kullanılan hammadde miktarı</b> Ocampo vd., 2015; Sarkis ve Talluri, 2004; Joung vd., 2013	<b>Geri dönüştürülen malzeme miktarı</b> Ahi ve Searcy, 2015; Sarkis ve Talluri, 2004; Azadi vd., 2015; Venkatraman ve Nayak, 2015
<b>Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı</b> Razaee, 2016; Erol vd., 2011; Joung vd., 2013	<b>Geri dönüşüm oranı</b> Lahouel, 2016
<b>Yeniden değerlendirme oranları (geri dönüşüm, yeniden üretim vb)</b> Salem ve Deif, 2014; Joung vd., 2013	<b>Geri dönüştürülmüş ürün miktarı</b> Sarkis ve Talluri, 2004
<b>Çevre için ayrılan bütçe miktarı</b> Sarkis ve Talluri, 2004	<b>Çevre yüzünden ödenen cezalar</b> Hervani vd., 2005; Sarkis ve Talluri, 2004; Salem ve Deif, 2014
<b>Ödenen çevre vergileri</b> Salem ve Deif, 2014	<b>Güneş enerjisi kullanımı</b> Salem ve Deif, 2014
<b>Yeşil ürün sahipliği / yeşil tasarım</b> Azadi vd., 2015	<b>Çevre yönetim sistemi (örneğin ISO 14000) sahipliği</b> Azadi vd., 2015; Ahi ve Searcy, 2015
<b>Paketleme malzemelerinin çevreye dost olması</b>	<b>Paketlemede geri dönüşüm uygulamaları</b>
<b>Tedarikçi seçiminde çevre kriterlerine sahip olunması</b> Erol vd., 2011	<b>Karbon ayakizi hesaplamaları</b> Ahi ve Searcy, 2015
<b>Çevresel etkileri/performansı raporlamaları</b> Venkatraman ve Nayak, 2015	

Her bir üretim sürecinde ve sektörde bu göstergelerin farklı sebeplerle oluşan (örn. yasalar, tüketicilerin talebi vb) önem düzeyi, işletme performansının ölçümü açısından uygunluğu, ölçümünün ve zaman içindeki takibinin mümkün olup olmaması farklılık gösterecektir. Farklı ürünlerin ve sektörlerin üretim ve tedarik zinciri yönetimi süreçlerinde çevre üzerinde farklı etkileri olabilmektedir. Örneğin bir sektör daha fazla karbondioksit salınımına sebep olurken, bir başka sektör daha fazla su kullanıyor olabilir, bu da sürdürülebilirlik göstergelerinin ve önem düzeylerinin sektöre göre değişmesine sebep olabilir. Bu sebeple, çalışmanın bir sektörde uygulanması uygun görülmüş, çevresel etki açısından önemsenmesi gereken bir sektör olan plastik ve ambalaj sektörü seçilmiştir.

#### 4. Yöntem ve Uygulama

##### 4.1. MDL ve Sezgisel Bulanık Sayılar

Dehghan-Manshadi vd. tarafından 2007 yılında malzeme seçim probleminde ilk kez kullanılan bir yöntem olan Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (MDL), literatürde sıklıkla kullanılan bir teknik olan ve her alternatife ait oran ölçekli değerlerin her bir kritere ait ağırlık ile çarpılarak seçim yapıldığı Ağırlıklı Özellik Yönteminden (Weighted Property Method, WPM) geliştirilen bir karar verme yöntemidir. WPM ile birlikte dijital mantık (DL) yöntemi MDL yönteminin temellerini

oluşturmaktadır. WPM'nin niteliklerde büyük farklılıklar olduğu ve niteliğin önem derecesinin belirsiz olduğu durumlarda ağırlıklandırma faktörlerini hatalı belirleyebildiği veya güvenilmez seçimlere neden olduğu tespit edildiğinden yeni bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur (Dehghan-Manshadi vd., 2007: 9).

MDL'nin tanıtıldığı orijinal makalede malzeme seçim problemlerinde kullanılan WPM ve DL metodundan farklı bir yöntem olduğuna dikkat çekilmektedir. MDL'nin en az önemde olan faktörleri elemeye ihtiyaç duymadan hesaplama yapabiliyor olması farklı bir özellik olarak sunulmaktadır. Dehghan-Manshadi vd. (2007)'nin makalesinde iki örnek olay (sıvı azot taşınması için kriyonejik tank seçimi ve uçakların kanat süspansiyonu için yedek parça seçimi) üzerinedir. Her iki örnek olay için belirlenen kriterler doğrusal olmayan normalizasyon ile standart hale dönüştürülerek MDL ve DL'nin aşamaları ile sonuçlandırılmıştır. Buna göre MDL'nin DL'den daha mantıklı çözümler sunduğu belirlenmiştir.

Literatürde farklı alanlardaki uygulamalarına henüz çok sık rastlanmayan MDL ilk başlarda genellikle malzeme seçim problemlerinde uygulama alanı bulmuşsa da, yeni ürün tasarımı, proje seçimi, tedarikçi seçimi gibi problemlerde de uygulanmaya başlanmıştır. MDL yöntemini kullanan çalışmalara ilk örneklerden biri Fayazbakhsh vd. (2009)'nin ürün tasarımında en uygun malzemenin seçimi üzerinedir. Bu çalışma Z dönüşümü ile MDL yöntemini karşılaştırmış ve MDL'nin en az diğer yöntem kadar güçlü sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Rao ve Petel (2010) ise üç farklı örnek üzerinde malzeme seçimi ile kriterlerin önem derecelerini değerlendirerek objektif ve sübjektif değerlendirmenin her ikisinin de hesaba katıldığı bütünlük bir model önermiştir. Bu modelde kullanmak için kriterler üzerindeki objektif değerlendirmeyi istatistiksel varyans kullanarak, sübjektif değerlendirmeyi de MDL, DL ve AHP kullanarak elde etmiştir. Her iki değerlendirmenin birleştirildiği bir formül ile de üçüncü bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MDL'nin çok amaçlı karar verme teknikleri için etkili bir karar verme yöntemi olduğu vurgulanmıştır.

Çok kriterli malzeme seçimi yaklaşımı ve kriterlerin ağırlıklandırılmasına yönelik optimizasyon problemlerinde farklı tekniklerin değerlendirildiği bir başka çalışmada karma otomatik rayı ile ilgili çalışmadır. Bu çalışmada Alemi-Ardakani vd. (2016), yapılan hesaplamalarda MDL, AMB, NL, Entropi ve Critic adlı beş farklı ağırlıklandırma yöntemi kullanmıştır. Objektiflik, sübjektiflik ve birleşimlerinin tartışıldığı çalışmada ayrıca alternatif malzemeler arasından TOPSIS yöntemi ile seçim gerçekleştirilmiştir.

Aghaei vd. (2014) uçak tasarımının karmaşıklığı nedeniyle uzun dönem yatırımlarda yol haritasını MDL yöntemine başvurarak kolaylaştırmak istemişlerdir. Uçak tasarımı konusunda kullanılan 3 farklı yaklaşım, 6 farklı sistem ve 6 farklı yöntemi değerlendirmişlerdir.

MDL'nin kullanıldığı farklı problem türlerinden biri de proje seçimidir. Bu konudaki çalışmalardan ilki ürün ve süreçlerin kalitesini artırmak için kullanılan altı sigma projelerinin seçimi ile ilgilidir. Altı sigmanın otomotiv sanayinde başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu konudaki projeler arasından doğru olanın kritik seçimini bulanık bir ortamda bulanık TOPSIS yöntemi ile gerçekleştiren Rathi vd. (2015), kriterlerin kendi aralarındaki göreceli önemlerini belirlemek için MDL yönteminden faydalanmıştır. Beheshti-Nia ve Nemat-Abozar (2016) ise tedarik zincirinin tasarımı konusunda önemli rol oynayan tedarikçi seçimi için MDL ve Fuzzy TOPSIS tekniğini bir arada kullanmıştır. Reklam endüstrisinde hizmet veren beş tedarikçinin kendi aralarındaki sıralamalarını bulanık karar teorisi çerçevesinde ortaya koyan çalışmada Fuzzy AHP ve MDL-Fuzzy TOPSIS ile elde edilen sonuçlar ayrıca karşılaştırılmıştır. Sekiz uzman kriterleri değerlendirmiş ve MDL yöntemi ile öncelik dereceleri hesaplanmıştır.

Basit, sistematik ve mantıksal yöntemler ile karar vericilere rehberlik eden matematiksel araçlardan biri olan MDL seçim niteliklerinin sayısı ve birbirleriyle olan ilişkileri ikili karşılaştırma tekniğini kullanarak gerçekleştiren bir yöntemdir. Karar vericiler için değerlendirmeye alınacak kriter sayısı fazla olduğunda kriterlerin birbirleri arasındaki önceliklerinin belirlenmesinin zor



olduğu problemlerde önerilen bir tekniktir (Alemi-Ardakani vd., 2016). DL yönteminin geliştirilmesi sonucu ortaya çıkan ve kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmasının önerildiği MDL, ikili sayı düzeni yerine {1,2 ve 3} dijital sayı düzenini kullanan bir teknik durumundadır. Az önemli (1), eşit derece önemli (2) ve daha önemli (3) olarak gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalarda, kriterlerin MDL ile ortaya çıkan önem dereceleri Denklem (1)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1}^n C_{jk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n C_{jk}}, j \text{ ve } k = \{1, \dots, n\} \text{ ve } j \neq k \quad (1)$$

Eğer  $j$  ve  $k$  kriterleri eşit önemde ise  $C_{jk} = C_{kj} = 2$ ;

Eğer kriter  $k$ ,  $j$  kriterinden daha önemli ise  $C_{jk} = 3$  ve  $C_{kj} = 1$  ;

Eğer kriter  $k$ ,  $j$  kriterinden az önemli ise  $C_{jk} = 1$  ve  $C_{kj} = 3$  şeklindedir.

Pozitif karar tabloları oluşturan MDL, Saaty'nin 1980'li yıllarda yarattığı ikili karşılaştırmalar tekniğini temel almıştır. İki farklı kriter bir arada düşünülerek gerçekleştirilen bu karşılaştırma yöntemlerinden ilki Saaty (1980)'nin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'dir. AHP  $n$  adet kriter için  $n(n-1)/2$  adet karşılaştırma yapmaktadır. Böylelikle çok büyük boyutlu problemlerde karşılaştırılacak kriter sayısı fazla ise yapılacak karşılaştırma da fazla olacaktır. Bu fazlalık kafa karıştırıcı olabildiği gibi, karşılaştırma yapanın hata yapmasına da neden olma ihtimali çok yüksektir. DL ve MDL bu dezavantajları ortadan kaldıran ve insani hataları aza indirerek karar sonuçlarının güvenilirliğini basit bir şekilde artıran tekniklerdir (Alemi-Ardakani vd., 2016).

Tablo 2: Karar Vericilerin Önem Derecesi Tespitinde Kullanılan Dilsel İfadeler ve Sezgisel Bulanık Sayı Karşılıkları

Dilsel Değişken	Sezgisel Bulanık Sayılar $(\mu, \nu, \pi)$
Çok Önemsiz	(0.1, 0.9, 0)
Önemsiz	(0.35, 0.6, 0.05)
Orta Derecede Önemli	(0.5, 0.45, 0.05)
Önemli	(0.75, 0.2, 0.05)
Çok Önemli	(0.9, 0.1, 0)

Bu çalışmada MDL yöntemi ile tespit edilmiş göstergelerin değerlendirilmesinin yanında değerlendirmeyi yapan karar vericilerin de vermiş oldukları karara etkileri hesaba katılmıştır. Bu etki, Atanassov (1986) tarafından önerilen sezgisel bulanık yaklaşımını daha da geliştirerek sezgisel bulanık ağırlık birleştirme operatörünü bulan Xu (2007)'nin önermiş olduğu model ile hesaplanmıştır. Literatürde genellikle kriterlerin ya da alternatiflerin değerlendirilmesine yönelik önerilmiş farklı dilsel değişkenler bulunmaktadır. Ancak karar vericilerin değerlendirilmesine yönelik kullanılan dilsel ifadeler grup kararı vermede sezgisel bulanık ilişkisi ile ortaya çıkmıştır ve Tablo 2'de sunulan dilsel değişkenler ve sezgisel bulanık sayı karşılıkları bu amaçla kullanılan ilk dilsel değişkenler olma özelliği ile çalışmada kullanılmaya uygun görülmüştür. Dilsel ölçeği de içeren matematiksel formül yine aşağıda verilmiştir.

$$D_k = [\mu_k, \nu_k, \pi_k] \quad (2)$$

$$\lambda_k = \frac{(\mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right))}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right))} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (4)$$

İşletmedeki görevleri ve eğitim durumları göz önünde bulundurularak grup içindeki yetkinlikleri sözel olarak ifade edilen karar vericilerin bu yetkinliklerinin Denklem (2)'de  $D_k$  sembolüyle gösterilen sezgisel bulanık sayı karşılıkları önem dereceleri hesabı için gereklidir. Buna göre  $\lambda$  ile gösterilen önem dereceleri Denklem (3)'te sunulan formül ile hesaplanırken bu sayılardan

yararlanmaktadır. Karar vericilerin önem ağırlıkları toplamının 1'e eşit olması zorunluluğu Denklem (4) ile gösterilerek genel formülasyon elde edilmiştir.

#### 4.2.Uygulama

OECD raporlarında da bahsedildiği üzere işletmelerin süreç iyileştirmeleri için kullanabilecekleri ideal bir gösterge seti bulunmamaktadır. Bu sebeple ele alınan sektörün kendine özgü farklı önem düzeyinde göstergeleri bulunmaktadır. Bu noktadan hareketle bu çalışma plastik ve ambalaj sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Çevresel göstergeleri belirlemek adına detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Ardından ikili karşılaştırmada toplanan tüm göstergeler kullanılamayacağından, sektör için uygun olabilecek göstergeler belirlenmiştir. Bu kararı çevre konularında uzman kişilerden ve işletmeleri çevresel sürdürülebilirlikleri açısından değerlendirilebilecek nitelikteki akademisyenlerden oluşan bir karar verici topluluğu plastik ambalaj sektörü, ürünler ve üretim süreçlerini dikkate alınarak gerçekleştirmiştir. Ardından gerekli düzenlemeler yapılmış ve uygulamada yer alan karar vericiler için ikili karşılaştırmaları içeren anket formu hazırlanmıştır. Üzerinde anlaşılan 19 göstergenin (Tablo 5'te sunulmuştur) değerlendirmesini ise o işletmede görev yapan ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda uzman kişilerden oluşan 5 kişilik bir grup yapmıştır. Tablo 3'te görüldüğü üzere, karar verici mekanizma topluluğunda yer alan kişilerin eğitimleri ve yaptıkları görevler farklılık göstermektedir. Bu nedenle çalışmada genellikle eşit olarak kabul edilen grup üyesinin karara etkisi aslında farklıdır. Bu farklılığı, yani karardaki farklı önem düzeylerini hesaplamak için sezgisel bulanık küme teorisine dayanan bulanık sayılar işleme alınmıştır.

Tablo 3: Karar Verici Mekanizmanın Eğitim Durumu, Görevleri ve Önem Derecesi Tespitindeki Dilsel İfadesi

Karar Verici	Eğitim Durumu	Görevi	Dilsel İfade
Uzman 1	Yüksek Lisans (Çevre Mühendisi)	Yönetici	Çok Önemli
Uzman 2	Doktora (Çevre Mühendisi)	Yönetici	Çok Önemli
Uzman 3	Lisans (Endüstri Mühendisi)	Eleman	Orta Derecede Önemli
Uzman 4	Lisans (Kimya Bölümü)	Eleman	Orta Derecede Önemli
Uzman 5	Yüksek Lisans (Endüstri Mühendisi)	Sorumlu	Önemli

Tablo 2'de verilen ölçek her bir karar vericinin yapmış olduğu değerlendirmeyi temsil eden pozitif karar tablolarının birbirinden ayrı bir ağırlıkta ele alınmasına imkân sağlamıştır. Sezgisel bulanık sayılar yardımı ile hesaplanan uzman karar vericilerin grup içindeki önem dereceleri böylelikle hesaplanmış ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Karar Verici Mekanizmaların Grup İçinde Farklılaşan Önem Düzeyleri

Karar Verici Mekanizma	Önem Düzeyi
Uzman 1	0,2471
Uzman 2	0,2471
Uzman 3	0,1445
Uzman 4	0,1445
Uzman 5	0,2168

Yaptıkları gösterge değerlendirmelerinde uzman 1 ve uzman 2'nin değerlendirmesinin eşit derecede ve en önemli olduğu, uzman 5'in kararının 3. derecede önem arz ettiği ve son olarak uzman 3 ve uzman 4'ün eşit düzeyde ve en az önemde olduğu hesaplanmıştır.

Ardından, karar vericilerin belirlenen göstergeler üzerinde gerçekleştirdikleri değerlendirmeler ile pozitif karar tabloları oluşturulmuştur. Uygulamada kullanımına karar verilen bu göstergeler, Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Uygulamada Kullanılan Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergeleri

<b>Göstergeler</b>	
G1	Toplam sera gazı emisyonu
G2	Baca gazı emisyonu
G3	Toplam atık miktarı
G4	Atık su deşarj miktarı
G5	Atık suyun arıtımı/ yeniden kullanımı
G6	Toplam enerji kullanımı
G7	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı
G8	Su tüketimi
G9	Kullanılan geri dönüştürülmüş hammadde/malzeme miktarının tamamıyla yeni malzemeye oranı
G10	Satin alınacak hammadde seçiminde çevre kriterlerinin dikkate alınması
G11	Ödenen çevre cezaları
G12	Ödenen çevre vergileri
G13	Yeşil ürün sahipliği / yeşil tasarım yapılması
G14	Çevre yönetim sistemi (örneğin ISO 14000) sahipliği
G15	Çevre dostu ambalaj kullanımı
G16	Ambalajlarda geri dönüşüm uygulamaları
G17	Karbon ayak izi hesaplanması
G18	Çevresel etkileri/performansı raporlamaları
G19	Çevre mevzuatlarına uyum

Çalışma plastik ambalaj sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin çevresel sürdürülebilirlik performansını ölçerken kullanabileceği göstergeleri belirlemek amacını taşımaktadır. Çevresel performans değerlendirme çalışması aşamalarla ilerleyeceğinden, en önemli göstergelerin belirlenmesi faydalı olacaktır. OECD, işletmeler için hazırladığı yol haritasında, başlangıçta verisine ulaşılması kolay olan 1-5 gösterge kullanılmasını, ardından işletmenin öncelikleri doğrultusunda 6-12 gösterge kullanılmasını, sonrasında ise daha fazla iyileşme sağlanabilmesi için gösterge sayısının artırılmasını önermiştir (OECD, 2011: 18). Bu sebeple sonraki tablolarda ilk beş gösterge vurgulanmıştır.

Farklı önem derecelerine sahip 5 uzman karar vericinin 171 adet ikili karşılaştırma sorusuna verdikleri cevaplarla oluşturulan pozitif karar tablolarından ilki Uzman 1 (karar verici 1) için Tablo 6'da gösterilmiştir.

Yukarıdaki tablo ilk karar vericinin yapmış olduğu ikili karşılaştırmanın karar matrisine dönüştürülmüş halidir. Aslında MDL özel bir tablo kullanarak yapılan değerlendirmeleri göstermekten ziyade 171 adet kararın gösteriminde zorluk olacağı düşüncesi ile tablo bu şekilde düzenlenmiştir. Tablodaki her bir karşılaştırmada görülen sayılar, tercihleri göstermektedir. Örneğin "3" sayısı daha yüksek bir tercih kriterini işaret ederken, "1" sayısı ise karşısında yer alan kriterin daha az tercih edileceği anlamını taşımaktadır. "2" sayısı ise kriterlerin eşit derecede tercih edilebilirliğini ifade etmektedir. Tüm veriler toplandıktan sonra kriterleri işaret eden sayıların toplamı pozitif karar (P.K.) toplamıdır. Pozitif karar toplamının bir diğer adı ise normalize edilmemiş ağırlık değerleridir. Normalize edilen ağırlık değerleri kriterler arası önem derecesini gösterdiği için değerlendirme normalize edildikten sonra yapılmaktadır.

Tablo 6: Karar Verici 1'in MDL ile Gerçekleştirdiği Göstergeler Arası Pozitif Karar Tablosu

	G1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	P.K.
<b>G1</b>	2	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	3	1	28
<b>G2</b>	3	2	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	3	3	1	30
<b>G3</b>	3	3	2	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	3	3	1	30
<b>G4</b>	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	1	1	3	3	1	30

G5	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1	3	1	1	3	3	3	1	42
G6	3	3	3	3	1	2	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	36
G7	3	3	3	3	1	3	2	3	1	1	1	3	1	1	3	3	3	1	40
G8	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	3	3	3	1	30
G9	3	3	3	3	1	3	3	3	2	2	1	3	1	1	3	3	3	1	43
G10	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	3	1	1	3	3	3	1	45
G11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	1	52
G12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	18
G13	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	2	1	3	1	3	1	44
G14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	1	50
G15	3	3	3	3	1	3	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	1	3	33
G16	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2	1	3	33
G17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	2	3	26
G18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	20
G19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	54

Diğer karar vericilere ait pozitif karar tabloları da aynı şekilde düzenlenmiş matris tablolardır. İlk karar vericinin karar matrisi sonuçları ile diğer karar vericilerin sonuçları her bir karar vericinin gruptaki ağırlıkları da hesaba katılarak ağırlıklı ortalama ile bir araya getirilmiştir. Çevresel göstergelerin önemine dair ortaya çıkan nihai sonuç Tablo 7'de gösterildiği gibidir.

Tablo 7: İşletmelerin Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergelerine ait MDL Önem Ağırlık ve Sıralama Sonuçları

Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra	Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra
G1	0,0473	16	G11	<b>0,0638</b>	<b>2</b>
G2	0,0498	12	G12	0,0519	10
G3	<b>0,0560</b>	<b>5</b>	G13	0,0549	6
G4	0,0426	19	G14	<b>0,0617</b>	<b>3</b>
G5	0,0465	17	G15	0,0476	15
G6	0,0530	8	G16	0,0441	18
G7	0,0502	11	G17	0,0523	9
G8	0,0488	13	G18	0,0485	14
G9	<b>0,0662</b>	<b>1</b>	G19	<b>0,0604</b>	<b>4</b>
G10	0,0546	7	Σ	<b>1,0000</b>	

İlk beş sırada yer alan göstergeler işletmelerin çevresel performanslarını değerlendirme ve iyileştirme sürecinin ilk aşamasında dikkate alınması gereken göstergeler olarak kararlaştırılmıştır. Kullanılan geri dönüştürülmüş hammadde/malzeme miktarının tamamıyla yeni malzemeye oranı en önemli gösterge olarak tespit edilirken, sırasıyla ödenen çevre cezaları, çevre yönetim sistemi, çevre mevzuatlarına uyum ve toplam atık miktarı göstergeleri en önemli 5 gösterge olarak belirlenmiştir. Sonuçlar işletme ile paylaşıldığında, bu göstergelerin veri toplaması veya takibi kolay, uygulama açısından da daha hızlı sonuç alınabilecek göstergeler olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla bu 5 göstergenin diğer göstergeler arasından ilk sıralarda yer alması işletmenin faaliyet amacına uygun ve mantıklı görülmektedir.

#### 4.3. Duyarlılık Analizi

Çalışma sonuçlarının duyarlılığın ölçülmesi amacıyla, ilk olarak MDL ile gerçekleştirilen değerlendirmeye yeni bir gösterge (Y20) eklenmiştir. Yeni eklenen bu göstergenin diğer göstergelere kıyasla en iyi gösterge olduğu düşünülerek hesaplama gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizin sadece Karar verici 1 için geçerli olan sonuçları ise Tablo 8'de sunulmuştur. Hesaplamalar sonucu elde edilen göstergelere ait genel sıralama ve göstergelerin elde edilen ağırlıkları ise Tablo

9'da sunulmuştur. Tablo 9'a göre, yeni eklenen gösterge (Y20) en iyi gösterge olarak sıralamada ilk sırada yer alırken, ardından en iyi gösterge kullanılan geri dönüştürülmüş hammadde/malzeme miktarının tamamıyla yeni malzemeye oranı olmuştur. Böylelikle genel sıralamanın değişmediği ancak her bir göstergenin önem düzeyinde ortalama 0,0039'luk bir azalış olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8: Duyarlılık Analizinde Yeni Eklenen Göstergenin En İyi Olması Durumunda Karar Verici 1'in Pozitif Karar Tablosu

	G1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	P.K.
G1	2	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	1	29	
G2	3	2	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	1	31	
G3	3	3	2	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	1	31	
G4	1	1	3	2	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1	1	3	3	1	1	31	
G5	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1	3	1	1	3	3	3	1	1	43	
G6	3	3	3	3	1	2	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	3	3	1	37	
G7	3	3	3	3	1	3	2	3	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3	1	41	
G8	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3	1	31	
G9	3	3	3	3	1	3	3	3	2	2	1	3	1	1	3	3	3	3	1	44	
G10	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	3	1	1	3	3	3	3	1	46	
G11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	1	53	
G12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	19	
G13	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	2	1	3	1	3	3	1	45	
G14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	1	51	
G15	3	3	3	3	1	3	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	1	3	1	34	
G16	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2	1	3	1	34	
G17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	2	3	1	27	
G18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	21	
G19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	55	
Y20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	57

Duyarlılığın ölçülmesi amacıyla yapılan diğer işlem ise grup içinde yer alan karar vericilerin karar tablolarına etki düzeylerinin değiştirilerek sonuçların değerlendirilmesidir. Buna göre, grup içinde yer alan beş karar vericiye, çalışmanın ilk halinden farklı olarak eşit düzeyde önem atfedilerek hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlara dair ilk tespit, öncelik sıralamasında ilk dört gösterge için herhangi bir değişiklik gözlenmezken, diğer göstergelerin sıralamalarında farklılıklar meydana gelmiş olmasıdır. Tablo 10'da çalışmaya konu olan göstergelere ait yeni ağırlık ve sıralama sonuçları görülmektedir.

Tablo 9: Yeni Gösterge Eklenmesi ile Elde Edilen Göstergelere Ait Yeni MDL Önem Ağırlık ve Sıralama Sonuçları

Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra	Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra
G1	0,0439	17	G11	0,0504	3
G2	0,0461	13	G12	0,0587	11
G3	0,0518	6	G13	0,0481	7
G4	0,0396	20	G14	0,0508	4
G5	0,0432	18	G15	0,0568	16
G6	0,0490	9	G16	0,0442	19
G7	0,0465	12	G17	0,0410	10
G8	0,0452	14	G18	0,0450	15
G9	0,0609	2	G19	0,0556	5
G10	0,0546	8	Y20	0,0750	1
			Σ	1,0000	

Tablo 10: Grup İçindeki Karar Vericilere Eşit Önem Verilmesi ile Elde Edilen Göstergelere Ait Yeni MDL Önem Ağırlık ve Sıralama Sonuçları

Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra	Göstergeler	Önem Ağırlıkları	Sıra
G1	0,0485	15	G11	0,0611	2
G2	0,0491	13	G12	0,0526	9
G3	0,0558	6	G13	0,0564	5
G4	0,0415	19	G14	0,0602	3
G5	0,0468	17	G15	0,0488	14
G6	0,0518	10	G16	0,0444	18
G7	0,0509	11	G17	0,0410	8
G8	0,0485	16	G18	0,0544	12
G9	0,0649	1	G19	0,0494	4
G10	0,0553	7	Σ	1,0000	

Tablo 10 ile Tablo 7'ye ait sonuçlar karşılaştırıldığında görülmektedir ki, göstergelerin tümünün önem ağırlıkları ortalama 0,001 düzeyinde artış göstermiştir. Beş uzman karar vericinin farklı önem düzeylerinde söz hakkına sahip olması fazla sayıda göstergenin daha hassas bir değerlendirmeye tabi tutulmasını sağlamıştır.

### 5.Sonuç

İşletmeler için çevresel açıdan sürdürülebilir olmak hem yasalar hem de rekabet koşulları gereği bir zorunluluk haline gelmiştir. Ürün, süreç ve genel olarak işletmenin çevre açısından ne kadar sürdürülebilir olduğunu anlamının, amaçlar koyup zaman içindeki gelişmeyi takip etmenin ve buna göre hem kısa hem de uzun dönemde alınan kararları yönlendirebilmenin ilk adımlarından biri, göstergeleri oluşturabilmektir. Genel olarak sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik hakkında birçok gösterge seti bulunsa da, bu setlerin her tedarik zinciri, her işletme, her sektör ve tüm üretim süreçleri için bütün olarak uygulanması mümkün değildir. Çünkü işletmelerin çevresel sürdürülebilirlik performansları için literatürde tespit edilen göstergeler farklı işletme kollarında farklılıklar göstermektedir. Üretim ortamının ve pazarın belirsizliği, müşteri taleplerinde değişimler, üretim süreç ve teknolojisindeki yenilikler, bilgi toplama araçlarının değişimi ve gereken bilgi düzeyi gibi birçok etken, çevresel göstergeleri sektöre, ürüne ve işletmeye göre özelleştirmeyi gerekli kılmaktadır. Bu sebeple literatürde, göstergeleri değerlendirme ve kullanılacak göstergeleri kararlaştırma adına da çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, örnek olarak ele alınan plastik ve ambalaj sektörü için uygun göstergeler belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürden toplanan çok sayıdaki gösterge, konunun uzmanları ile tartışılarak sadeleştirilmiş ve göstergelerin değerlendirebilmesi için ikili karşılaştırma anket formu hazırlanmıştır. Uzman kişilerle yapılan değerlendirmelerde çok kriterli karar verme teknikleri ile farklı hibrit çalışmalara imkân sağlayacak yeni bir ikili karşılaştırma tekniği MDL'nin gösterge önceliklendirme sonuçları elde edilmiştir. Çalışma yeni bir tekniği farklı bir alanda kullanmanın yanında, grup kararı verirken izlediği sezgisel bulanık mantık yöntemiyle de bir farklılık yaratmaktadır. Bir grup içindeki karar vericilerin karara farklı deneyim, eğitim ve konularından ötürü farklı bir bakış açısı ile yaklaşabilecek olmalarının da hesaba katılması ve bu hesabın literatürde sadece karar vericilere yönelik yeni sunulan dilsel değişkenler ve sezgisel bulanık sayı karşılıkları ile hesaplanması çalışmayı daha da özgün kılmaktadır.

Türkiye'de %90 oranında KOBİ işletmesi olarak faaliyet gösteren plastik ve ambalaj işletmelerinin, çevresel sürdürülebilirlikle ilgili konularda eksikliklere sahip oldukları görülmektedir. Bu eksikliklerin giderilebilmesi ve çevresel sürdürülebilirlikle ilgili performans sergileyebilmek için belirli bir hazırlık aşamasına ihtiyaçları vardır. Bu çalışma hazırlık aşamasına yardımcı olabilmek adına belirlenen çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri arasından önceliğin hangilerinde olması gerektiğini belirlemiştir. Bu göstergeler kullanılan geri dönüştürülmüş hammadde/malzeme miktarının tamamıyla yeni malzemeye oranı, ödenen çevre cezası, çevre yönetim sistemi, çevre

mevzuatlarına uyum ve toplam atık miktarı göstergeleridir. Bu göstergelere yönelik iyileştirmeler ikinci önemli beş göstergenin iyileştirme aşamasına geçişi için önem taşımaktadır. Yeşil ürün sahipliği, satın alınacak hammadde seçiminde çevre kriterlerinin dikkate alınması, toplam enerji kullanımı, karbon ayak izi hesaplanması ve ödenen çevre vergileri şeklinde sıralanan ikinci beş önemli gösterge, uzun vadede çevresel sürdürülebilirlik performans artırımı için dikkatle üzerinde durulması gereken göstergelerdir. Karar verici mekanizmalar, işletme ile ilgili herhangi bir problemde meydana gelebilecek değişimlerin optimal çözüme etkisini de öğrenmek istemektedirler. Bu nedenle MDL ve sezgisel bulanık yaklaşımının bütünleşik kullanımı sonucu ortaya çıkan değerlendirme için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre yeni bir kriterin en iyi olduğu düşünülerek eklenmesi halinde yeni kriter en iyi kriter olması sebebiyle ilk sırada yer alırken geri kalan sıralama değişmemiş ve aynı kalmıştır. Bu sonuç çalışmanın güvenilir sonuçlar verdiğini de destekler niteliktedir. Ayrıca karar vericilerin grup içindeki görüşlerinin eşit olduğu kabul edilerek gerçekleştirilen bir başka duyarlılık hesabında ise ilk dört kriterin öncelik sıralamasında herhangi bir değişikliğin gözlenmediği, diğer kriterlerin sıralamalarında ise farklılıklar meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum deneyimleri, eğitimleri ne olursa olsun temel konu düşünüldüğünde karar vericilere ait ilk fikirlerin aynı yönde olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, işletmelerde çevresel performansın ölçülebilmesi için kapsamlı sistemler oluşturulması bir gerekliliktir. İşletmeler için uygun göstergelerin seçimi de bunun ilk adımı olacaktır. Teorik olarak bakıldığında, çevresel göstergelerin farklı alanlarda çok sayıda detaylı ölçme durumu söz konusudur. Bu çalışmanın da amacı, işletmelerin çevre konusundaki duyarlılığını artırmak, karar vericilere destek olmak ve amaçlar doğrultusunda iyileştirmeleri gözlemlemek için kullanılan sürdürülebilirlik göstergelerini oluşturmada bir temel sunabilmektir. Çalışmada, şimdiye dek literatürde yer alan, ilgili organizasyonlarca geliştirilmiş, raporlamada kullanılan ve işletmelerin de uygulamalarında yararlanabilecekleri göstergeler özetlenmiştir. Örnek bir işletme üzerinde, bu göstergelerin nasıl seçilebileceği detaylandırılmıştır. Ayrıca oldukça yeni bir çok kriterli karar verme tekniği olan MDL'nin böyle bir konuda ilk kez kullanılması ve grup kararı vermede yaratılan farklılıkla da göstergelerin amacına daha da uygun değerlendirildiği söylenebilmektedir. Gelecekte farklı sektörler için de çevresel sürdürülebilirlik performans ölçümü yapılabileceği gibi sektörler arası farklılıkların ortaya konduğu bir çalışma da gerçekleştirilebilir. Hangi sektörün ortak çevresel sürdürülebilirlik konusunda daha iyi olduğunun araştırıldığı çalışmalarda çok kriterli karar verme tekniklerinin sezgisel bulanık ortama genişletildiği hibrit tekniklerden de yararlanılarak yeni ve farklı çalışmalar literatüre kazandırabilir.

#### Kaynakça

- Aghaei, H.A., Beheshtinia, M.A., Amalnick, M.S., Gholimotlagh, M. ve Fartash, K. (2014). Studying Technology Road Mapping Development and Selecting the Appropriate Model for Aircraft Design and Manufacturing Industry. *International Journal of Scientific Studies*, 1(2), 43-54.
- Ahi, P. ve Searcy, C. (2013). A Comparative Literature Analysis of Definitions for Green and Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329-341
- Ahi P. ve Searcy, C. (2015). An Analysis of Metrics Used To Measure Performance in Green and Sustainable Supply Chains. *Journal of Cleaner Production*, 86, 360-377
- Alemi-Ardakani, M., S.Milani, M., Yannacopoulos, S. ve Shokouhi, G. (2016). On The Effect of Subjective, Objective and Combinative Weighting in Multiple Criteria Decision Making: A Case Study on Impact Optimization of Composites. *Expert Systems with Applications*, 46, 426-438.
- Anoop A.T., Joseph, N, ve Kumar R. (2014). Review of Green and Sustainable Indicators for Indian Supply Chain Networks. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3(3), 326-330.

- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic Fuzzy-Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Azadi M., Jafarian M., Saen R.F. ve Mirhedayatian S.M. (2015). A New Fuzzy DEA Model for Evaluation of Efficiency and Effectiveness of Suppliers in Sustainable Supply Chain Management Context. *Computers & Operations Research*, 54, 274–285.
- Beheshti-Nia, M.A. ve Nemati-Abozar, V. (2016). A Novel Hybrid Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model for Supplier Selection Problem (A Case Study in Advertising industry). *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9 (4), 65-79.
- Bennett, M. ve James, P. (1998). ISO 14031 and the Future of Environmental Performance Evaluation. *Greener Management International*, Spring, 21, 71-86.
- Cowan, D.M., Dopart, P., Ferracini, T., Sahlmei, J., Merryman, K., Gaffney, S. ve Paustenbach, D.J. (2010). A Cross-Sectional Analysis of Reported Corporate Environmental Sustainability Practices. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58, 524-538
- Dehghan-Manshadi, B. Mahmudi, H., Abedian, A. ve Mahmudi, R. (2007). A Novel Method for Materials Selection in Mechanical Design: Combination of Non-Linear Normalization and A Modified Digital Logic Method. *Materials and Design*, 28, 8–15.
- Dias-Sardinha, I., Reijnders, L. ve Antunes, P. (2002). From Environmental Performance Evaluation to Eco-Efficiency and Sustainability Balanced Scorecards. *Environmental Quality Management*, Winter, 51-64.
- Ding, H., Liu, Q. ve Zheng, L. (2016). Assessing the Economic Performance of an Environmental Sustainable Supply Chain In Reducing Environmental Externalities. *European Journal of Operational Research*, 255, 463–480
- EEA (2014). Digest of EEA indicators 2014. EEA Technical Report No 8/2014 <http://www.eea.europa.eu/publications/digest-of-eea-indicators-2014> e.t. 12.01.2017.
- EPA online. EPA's Report on the Environment (ROE). <https://cfpub.epa.gov/roe/> e.t. 11.01.2017
- EPI online, <http://epi.yale.edu/> e.t. 11.01.2017.
- Erol I., Sencer S. ve Sari R. (2011) A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. *Ecological Economics*, 70, 1088–1100.
- Fan, C., Carrell, J. ve Zhang, H.C. (2010). An Investigation of Indicators for Measuring Sustainable Manufacturing. *International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, May 19-21, 1-5
- Fayazbakhsh, K., Abedian, A., Dehghan Manshadi, B. ve Khabbaz, R. S. (2009). Introducing a Novel Method for Materials Selection in Mechanical Design Using Z-Transformation in Statistics for Normalization of Material Properties. *Materials and Design*, 30, 4396–4404.
- Feng, S.C. ve Joung, C.B. (2009). An Overview of a Proposed Measurement Infrastructure for Sustainable Manufacturing. *Proceedings of the 7th Global Conference on Sustainable Manufacturing*.
- GRI online. <https://www.globalreporting.org/information/about-gri/Pages/default.aspx> e.t. 10.01.2017.
- ISO online. <https://www.iso.org/standard/52297.html> e.t.12.01.2017
- Jasch, C. (2000). Environmental Performance Evaluation and Indicators. *Journal of Cleaner Production*, 8, 79-88.
- Joung, C.B., Carrell, J., Sarkar, P. ve Feng, S.C. (2013). Categorization of Indicators for Sustainable Manufacturing. *Ecological Indicators*, 24, 148-157.



- Kluczek, A. (2016). Application of Multi-Criteria Approach For Sustainability Assessment of Manufacturing Processes. *Management and Production Engineering Review*, 7(3), 62–78.
- Labuschagne, C., Brenta, A.C. ve van Erck, R.P.G. (2005). Assessing the Sustainability Performances of Industries. *Journal of Cleaner Production*, 13, 373-385.
- Lahouel B.B. (2016). Eco-efficiency analysis of French firms: A Data Envelopment Analysis Approach. *Environ Econ Policy Stud*, 18, 395–416.
- Lee, V.H., Ooi, K.B., Chonc, A.Y.L. ve Lin, B. (2015). A Structural Analysis of Greening the Supplier, Environmental Performance and Competitive Advantage. *Production Planning & Control*, 26, 2, 116-130.
- Mani, M., Madan, J., Lee, J.H., Lyons, K.W. ve Gupta, S.K. (2014). Sustainability Characterisation for Manufacturing Processes. *International Journal of Production Research*, 52(20), 5895-5912.
- Niemeijer D., ve de Groot R.S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, 8, 14–25.
- Ocampo, L.A. (2015). A Hierarchical Framework for Index Computation in Sustainable Manufacturing. *Advances in Production Engineering & Management*, 10(1), 40–50.
- Ocampo, L.A., Vergara, V.G.N., Impas, C.G., Tordillo, J.A.S. ve Pastoril, J.S. (2015). Identifying Critical Indicators in Sustainable Manufacturing Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, 14(3-4), 1-8.
- OECD (2003). Environmental indicators Development, Measurement and Use Reference Paper. Online <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf> e.t. 10.01.2017.
- OECD (2004). OECD Key Environmental Indicators. Online <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/31558547.pdf> e.t. 10.01.2017.
- OECD (2010). Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth, Executive Summary. <http://www.oecd.org/sti/ind/44424374.pdf> e.t. 15.01.2017.
- OECD (2011). OECD Sustainable Manufacturing Toolkit Start-up Guide: Seven steps to environmental excellence. <http://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/48661768.pdf> e.t. 15.01.2017.
- Olsthoorn, X., Tyteca, D., Wehrmeyer, W. ve Wagner, M. (2001). Environmental Indicators for Business: A Review of the Literature and Standardisation Methods. *Journal of Cleaner Production*, 9, 453–463.
- Rahdari, A.H. ve Rostamy, A.A.A. (2015). Designing a General Set of Sustainability Indicators at the Corporate Level. *Journal of Cleaner Production*, 108, 757-771.
- Rao R.V. ve Patel B.K. (2010). A subjective and objective integrated multiple attribute decision making method for material selection. *Materials and Design*, 31: 4738–4747.
- Rathi, R., Khandujab, D. ve Sharmac, S.K. (2015). Six Sigma Project Selections Using Fuzzy TOPSIS Decision Making Approach. *Management Science Letters*, 5, 447–456.
- RobecoSAM (2017), <http://www.sustainability-indices.com/sustainability-assessment/index.jsp> e.t. 10.01.2017
- S&P Dow Jones Indices (2017). DJSI World. <http://eu.spindices.com/indices/equity/dow-jones-sustainability-world-index> e.t. 10.01.2017.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.

- Salem, A.H. ve Deif, A.M. (2014). An Integrated Approach to Assess Manufacturing Greenness Level. *Proceida CIRP* 17, 541-546.
- Sarkar, P., Joung, C.B., Carrell, J. ve Feng, S.C. (2011). Sustainable Manufacturing Indicator Repository. Proceedings of the ASME 2011 *International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference* IDETC/CIE 2011 August 29-31, Washington.
- Sarkis J. ve Talluri S. (2004). Ecoefficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis: Research and Practitioner Issues. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 6(1), 91–123.
- Sundin, E., Nasslander, E. ve Lelah, A. (2015). Sustainability Indicators for Small and Medium Sized Enterprises (SMEs) in the Transition to Provide Product-Service Systems (PSS). *7<sup>th</sup> Industrial Product-Service Systems Conference – PSS, industry transformation for sustainability and business*. Procedia CIRP 30, 149-154.
- Thoresen, J. (1999). Environmental Performance Evaluation - A Tool for Industrial Improvement. *Journal of Cleaner Production*, 7, 365-370.
- UN (2007). Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. October 2007, Third Edition, NY. Online, <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf> e.t. 10.01.2017.
- UN (2014). Guide to Corporate Sustainability, United Nations Global Compact, NY. Online, [https://www.unglobalcompact.org/docs/publications/UN\\_Global\\_Compact\\_Guide\\_to\\_Corporate\\_Sustainability.pdf](https://www.unglobalcompact.org/docs/publications/UN_Global_Compact_Guide_to_Corporate_Sustainability.pdf) e.t. 10.01.2017.
- UNSD (1992). Agenda 21. United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janerio, Brazil, 3-14 June 1992. United Nations Sustainable Development.
- Veleva, V. ve Ellenbecker, M. (2001). Indicators of Sustainable Production: Framework and Methodology. *Journal of Cleaner Production*, 9, 519–549.
- Xu, Z.S. (2007). Intuitionist Fuzzy Aggregation Operators. *IEE Transaction of Fuzzy Systems*, 15(6), 1179–1187.

## AN ALTERNATIVE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDICATORS OF BUSINESSES: MODIFIED DIGITAL LOGIC (MDL)

### *Extended Abstract*

**Aim:** Business sustainability is the harmonization of business strategies and activities along with protecting and increasing the natural resources that will be needed in the future at same time taking care of people's well-being, and finally satisfying the today's needs of institutions and shareholders. Although it is easy to define what sustainability is, in practice it is not easy for businesses to actually do. Therefore, different indicators are being used to measure environmental sustainability of a company.

The studies and benchmarking results have shown so far that there is no single ideal set of indicators that businesses can use to improve their products and processes and at the same time encompass all the features of the business (OECD, 2010: 17). Although most of the studies in the literature focus on general sustainability indicators, the most commonly used environmental sustainability indicators have been identified as follows:

Total carbon dioxide emission	Total greenhouse gas emission (*)
Stack gas emission (*)	Total waste emission
Total amount of solid waste (*)	Toxic wastes/components
Amount of waste water (*)	Use of waste water (*)
Total energy use (*)	Renewable energy use (*)
The amount of recycled product	Water use (*)
Change caused in ecosystem	Amount of raw materials used
Amount of recycled material	Recycled material use rate (*)
Environmental effects/performance reporting (*)	Carbon footprint calculations (*)
Penalties due to the environment (*)	Paid environmental taxes (*)
Using environmental criteria in material selection (*)	Green product design (*)
Ownership of environmental management system (*)	Recycling rate
Recycling applications in packaging (*)	Adaptation to environmental legislation (*)
Environmentally friendly packaging materials (*)	Environmental costs
Using environmental criteria in supplier selection	The recycling rates of the products

This study aims to identify the indicators that can be used by the internal and external shareholders in determining the environmental performance of a business. However, due to the fact that the decisions have to be made on which indicators should be used, since they will change as features of the business and industry change and the indicators are also affected by the influences or those pressure elements that exist in each business. For this study the data was supplied from a plastics and packaging business since it is an exemplary sector.

**Method:** MDL, is based on the binary comparison technique that uses a multi-criteria decision making method. It was used in the evaluation of the indicators that were chosen. Furthermore, MDL method is a technique that uses decision markers in problem solving, moreover the criterion weights are difficult to determine due to a large number of options (Alemi-Ardakani et al., 2016). The significance criteria that emerges from MDL, is presented in a positive decision table that used a binary comparison. Additionally, using the MDL digital number order instead of binary {1,2 and 3} number order can also be used and listed as following least significant (1), equally important (2), and more important (3). Taking a decision of a group, consisting of specialists with different characteristics, required the research to take these characteristics into account. Therefore, the weight of the evaluations made by decision makers was calculated with intuitive fuzzy numbers proposed by Xu (2007) in the study. The indicators that have (\*) above were used in the weighting the study along with binary comparisons as a result of negotiations done with specialists.

**Findings:** The first five indicators that should be used during the preparation phase, which is the initial phase of the environmental sustainability performance improvement process of a business,

were decided using MDL and the intuitive fuzzy logic method where specialists' opinions are also taken into account. While the ratio of recycled raw materials to the brand new materials being used was determined to be the most important indicator; paid environmental penalties, environmental management system, compliance with environmental legislation and total amount of waste were determined to be the other 4 indicators as part of the 5 most important indicators. It was agreed on by businesses in the plastics and packaging sector that environmental sustainability could be improved, and that placing these indicators near the top was found to be a suitable and logical way of doing this.

**Conclusion:** Establishing comprehensive systems is a necessity in order to be able to measure the environmental performance of businesses. The selection of right indicators is the first step in this process. The purpose of this study was to increase the environmental sensitivity of businesses, support decision makers, and in line with these objectives to provide a basis for creating sustainability indicators that could be used to monitor improvements. It can also be said that the indicators have been evaluated more appropriately for their purpose, due to the fact that MDL, a new multi-criteria decision-making technique, was used for the first time in such a case and that the difference it created in group decision making.