

## Otomotiv Endüstrisinde Döngüsel Ekonomi ve Elektrikli Araçlar İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin İncelenmesi

Sermin GÜNASLAN<sup>\*1</sup>, Berrak EROL NALBUR<sup>2</sup>, S.Sıddık CİNDORUK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı / Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı / Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

\*([gunaslansermin@gmail.com](mailto:gunaslansermin@gmail.com))

(Geliş Tarihi: 29 Nisan 2023, Kabul Tarihi: 20 Mayıs 2023)

(DOI: 10.59287/ijanser.722)

(1st International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2023, May 17-19, 2023)

**ATIF/REFERENCE:** Günaslan, S., Nalbur, B. E. & Cindoruk, S. S. (2023). Otomotiv Endüstrisinde Döngüsel Ekonomi ve Elektrikli Araçlar İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin İncelenmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(4), 313-318.

**Özet** – Dünya kaynaklarının hızla tüketildiği günümüzde döngüsel ekonomi kavramı gün geçtikçe daha çok önem kazanmaya başlamıştır. Ürünlerin imalat aşamalarında en az hammadde kullanımını amaçlayan ve sürdürülebilir bir endüstriyel sektör olarak tanımlanabilmektedir. Son birkaç yılda hem sosyal faydaları hem de çevre korumayı iyileştirdiği için araştırmacılar tarafından da dikkat çekmektedir. Karbon-nötr olma hedefini amaçlayan Avrupa Komisyonu 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatı anlaşmasını imzalamıştır. Ülkemizde de 2021 yılında imzalanan Yeşil Mutabakat, 2050 yılına kadar karbon emisyonundan arınmayı hedeflemektedir. Avrupa Mutabakatı kapsamında da kullanımının ve etkilerinin araştırılması yaygınlaşan elektrikli araçlar günümüzde de oldukça ilgi görmeye başlamıştır. Sera gazı azaltım hedefleri konusunda önemli katkı sunacağı düşünülen elektrikli araçların yaşam döngüsü değerlendirme yoluyla tüm çevresel etkileri belirlenerek değerlendirme ve yorumlama aşamaları sonunda elde edilmektedir. Çalışmada incelenen bazı literatür sonuçlarında bu araçların çevresel etkileriyle ilgili farklı sonuçlar olduğu görülmüştür. Elektrikli araçların sera gazı emisyonuna neden olan temel faktörün aracın üretim aşamasında ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak mevcut durumun iyileştirilmesi için yapılacak yeni çalışmalar ve farklı teknolojik gelişmelerle bu etkilerin azaltılabileceği düşünülmektedir. Ülkemizde ve dünyada hem döngüsel ekonomi hem de elektrikli araçlara geçiş konusunda önemli katkı sağlayacak adımlar atılmakta ve politika çalışmaları yakından takip edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Döngüsel Ekonomi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Karbon Nötr, Sürdürülebilir Üretim, Elektrikli Araçlar

## I. GİRİŞ

Döngüsel ekonomi (CE) terimi, Ellen MacArthur Vakfı (EMF) tarafından ürünleri, bileşenleri ve malzemeleri her zaman en yüksek fayda ve değerde tutmayı amaçlayan, onarıcı ve yenileyici bir endüstriyel ekonomi olarak tanımlanmaktadır.

Ellen MacArthur Vakfı (2013), dikkatsiz kaynak tüketimini ortadan kaldırmak ve endüstrideki mevcut maddi değeri canlandırmak için CE'nin dört ilkesini eylem noktaları olarak özetler:

1. Yaşam döngüleri boyunca kaynakların ve enerjinin kullanımını optimize etmek

2. Kullanımda olan ürünleri ve bileşenleri daha uzun süre korumak.

3. Malzemeler, basamaklı kullanımlar aracılığıyla sistemde mümkün olduğu kadar çok kez döner.

4. Kullanım ömrü sonrası kullanım kalitesini artırmak için saf malzemeleri kullanmak [1]

Doğrusal ekonomi modelinin dayandığı 'al-yap-at' modelinden farklı olarak ürünlerin imalat aşamasında ham maddelerin tüketimini en aza indirmeyi amaçlar. Döngüsel ekonomi sürdürülebilirliği ve çevre korumayı teşvik etmeye yönelik bir çaba olarak görülebilir ancak aralarındaki temel fark döngüsel ekonominin ömrünü tamamlamış ürünlerin çevresel etkiyi azaltmasının yanısıra maksimum dolaşıma vurgu yapmasıdır [2].

Döngüsel ekonomi son birkaç yılda hem sosyal faydaları göz önünde bulundurduğu hem de çevre korumayı iyileştirdiği için araştırmacılardan ve uygulamacılardan büyük ilgi görmüştür [3], [4].

Ayrıca, üretim sürecini optimize etme fırsatı sağlar ve sürdürülebilir ürünler üreterek ürünlerin değerini mümkün olduğunca korur [4]. Döngüsel ekonomi, ticari faaliyetlerin, hammadde gibi girdilerin üretim yoluyla ürüne dönüştürülerek sürdürülebilir kaynak kullanımı, sürdürülebilir geri dönüşüm ve kapalı döngü tedarik zincirlerinin ilerlemesi için üretim süreci ve ürün yaşam döngüsü boyunca çok az atık üretilmesini sağlamaktadır [2], [5], [6]. Gelişmekte olan birçok ekonomiye atık yönetimini iyileştirme fırsatı sağlamanın yanında durgun endüstrileri yeniden geliştirme ve işletmelerin sera gazı emisyonlarını düşürme potansiyeline sahiptir [7].

2019'un sonlarında Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilen Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın temel amacı, AB'yi modern, kaynakları verimli kullanan ve rekabetçi bir ekonomi ile gelişmiş bir topluma dönüştürmektir [8]. Bu yeni Avrupa stratejisinin gerçekleştirilmesindeki en önemli amaçlardan biri,

endüstrinin temiz ve döngüsel bir ekonomi (CE) için seferber edilmesidir [9]. Avrupa Komisyonu ayrıca doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçişte hammaddelerin verimli kullanılması, herhangi bir atık oluşumunda hammaddelerin geri dönüştürülmesi ve geri kazanımını da önermektedir [8].

Döngüsel ekonomiye yönelik dönüşüm, akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı büyüme için Avrupa 2020 stratejisi kapsamında öngörülen kaynak verimliliği hedefinin uygulanmasında kilit bir unsurdur [10].

Avrupa Birliği'nin öncelikli ekonomi politikasından biri döngüsel ekonomidir. AB için önemli döngüsel ekonomi yönergelerini gösteren dört ana belge yayınlamıştır :

- ✓ Tebliğ No. 398, 2014. Döngüsel bir ekonomiye doğru: Avrupa için sıfır atık programı [11]
- ✓ Tebliğ No. 614, 2015. Döngüyü kapatmak—Döngüsel Ekonomi için bir AB eylem planı [12]
- ✓ Tebliğ No. 29, 2018. Döngüsel ekonomi için izleme çerçevesi [13]
- ✓ Tebliğ No. 98, 2020. Daha temiz ve daha rekabetçi bir Avrupa için yeni bir Döngüsel Ekonomi Eylem Planı [14].

2020'nin sonuna kadar döngüsel ekonominin Avrupa ülkelerine 1.8 trilyon Euro katkı sağlayacağı düşünüldüğünden iş dünyası için büyük bir fırsat sunmaktadır [15].

Otomobil endüstrisi, en büyük ve en etkili endüstrilerden biridir. Döngüsel uygulamaları benimsemek israfı azaltacak, kaynak kullanımını sınırlayacak ve gelecek için daha sürdürülebilir bir endüstri yaratacaktır.

Bu çalışmada sera gazları konusunda çevre üzerinde önemli etkilere sahip olan otomobil endüstrisinde döngüsel ekonomi ve elektrikli araçlar için yaşam döngüsü değerlendirmesi konuları ele alınmıştır. Günümüzde artan tüketim alışkanlıkları sonucu çevresel tahribatların azaltılması konusunda döngüsel ekonominin önemine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Elektrikli araçlarda yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)

Günümüzde, dünyadaki ulaşım sistemlerinin %96'sı petrol bazlı yakıtlara ve ürünlere bağlıdır. Küresel ulaşım sistemleri, dünyadaki günlük yaklaşık 75 milyon varil

petrol tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır [16, 17]. Uluslararası standartlar ISO 14040, 14041, 14042, 14043 ile bağlantılı LCA çalışmaları ve değerlendirme yöntemleri, özellikle başlangıç ve tasarım aşamasında önemlidir [17].

Motorlu taşıtlar dünya üzerinde önemli bir çevresel etkiye sahiptir. Elektrikli araçlar ise sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda bir seçenektir [18]. Ancak yapılan bazı çalışmalarda [19] elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında hemen hemen aynı çevresel etkiyi gösterdiği sonucuna varılsa da tüm yaşam döngüsü incelendiğinde elektrikli araçların çevre konusunda daha az etkiye sahip olduğu ve daha az sera gazı emisyonuna sebep olduğunu ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur [20], [21].

Temel olarak yaşam döngüsü analizi 4 temel unsurdan oluşmaktadır [22]:

- Amaç belirleme
- Yaşam döngüsü envanteri
- Etki değerlendirmesi
- İyileştirme değerlendirmesi.

İlk aşama olan amaç belirleme LCA'nın en kritik bölümüdür. Bu aşamada sistem sınırlarının belirlenmesi, çalışmanın amacının ve hedeflerinin ortaya koyulması, çalışmayı yürütmenin nedeni ve uygulama amacını tanımlamaktadır.

Envanter aşamasında incelenen sistemde girdi ve çıktı verilerinin envanterinin oluşturulması sürecidir. Bu süreçte veriler literatürden veya pratik veri toplama yoluyla veya her ikisi kullanılarak da yapılabilir. Etki değerlendirme kısmında ise belirlenen envanterlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanır. Son aşamada duyarlılık ve tutarlılık kontrolleri ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve yaşam döngüsündeki tüm sorunlar değerlendirilir [20].

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir ürünün veya sistemin çevresel performansını tüm yaşam döngüsü boyunca değerlendirmek için kullanılan standartlaştırılmış bir metodolojidir. Uluslararası Standartlar Örgütü'ne (ISO) göre, ISO 14040 ve ISO 14044, LCA'nın yürütülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [23], [24], [25]. İncelenen çalışmalarda karşılanan sonuçlarda çoğunlukla elektrikli araçların CO<sub>2</sub> emisyonlarının büyük kısmının üretim aşamasında meydana geldiği sonuçları bulunmuştur. Özellikle pil üretimi aşamasında sera gazı emisyonlarına sebep olduğu ortaya konmuştur [20]. Ancak bu dezavantajlar konusunda pil üretim teknolojilerindeki yeni

gelişmeler ve araç ağırlıklarının azaltılması gibi çözümler emisyon yükünün de azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bunların yanında elektrikli araç pillerinin yeniden kullanımının önemli maliyet ve çevresel faydalar sağlayacağı düşünülmektedir [20]. Literatürde farklı çalışmalarda elektrikli araçların çevresel ve ekonomik etkileri incelenmiş ve Brady ve ark. tarafından yapılan çalışmada Dublin şehrinde elektrikli araçların pazar piyasasına girme senaryolarını değerlendirmiştir. Sonuçlar, elektrikli araçların önemli ölçüde emisyon azaltma potansiyeli ile geleneksel araçlara uzun vadeli alternatifler olarak kabul edilebileceğini kanıtlamıştır [26]. Hawkins ve ark. elektrikli araçlar ve geleneksel içten yanmalı motorlu araçları karşılaştırmak için bir LCA çalışması gerçekleştirmiştir. Sonuçlarda elektrikli araçların sera gazı emisyonlarını %29'a kadar azaltabileceğini ortaya koymuştur [27]. Yapılan bu çalışmaların günümüzde kullanımı artış gösteren elektrikli otomobiller için daha teşvik edici olacağı düşünülmektedir. Kullanım sonuna ulaşan otomobillerin de döngüsel ekonomi baz alınarak araçtaki tekrar kullanılabilir parçaların değerlendirilmesi, araçların ömrünün sonunda geri dönüştürülmesi, değerli malzemelerin israf edilmemesini sağlar.

Tablo 1. Gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde araçların yaşam döngüsü [28]

	Konsept ve tasarım (yıl)	Üretim (yıl)	Kullanım aşaması (yıl)	Toplam ömür (yıl)
Gelişmiş ülkeler	4-5	7-8	10-12	>25
Gelişmekte olan ülkeler	6-8	10-12	15-20	>35
Az gelişmiş ülkeler	Yok	Yok	20-25	>40

LCA metodolojisi iki ana zorluktan muzdariptir [29]. Bunlardan birincisi malzemelerdeki çeşitlilik ve farklılıklar, işleme teknikleri ve bertaraf yolları, diğeri ise LCA ile ilişkili genişletilmiş zaman çizelgesidir. Yukarıda Tablo 1'de gösterildiği gibi gelişmiş ülkelerde bir aracın toplam ömrü 25 ila 35 yıl arasında değişirken, az gelişmiş ülkelerde 45 yıla ulaşmaktadır [28].

Ashby [30] ve Boon ve diğerleri [31]'ne göre, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı yalnızca işlenmemiş ham madde, enerji ve su tüketimini en aza indirmekle kalmaz, aynı zamanda atık, hava ve su kirliliğini ve buna bağlı enerji tüketimini azaltmada da rol oynamaktadır [17]. Ürünün yaşam döngüsü boyunca kullanılan malzeme miktarını azaltmak, çevresel etkisini azaltmanın önemli bir yoludur [32, 33]. Çevresel etkinin ana kaynağı, bir ürünün kullanım aşamasında tükettiği enerjidir [17, 30]. Avrupa Ömrünü Tamamlamış Araç Direktifi, otomobil üreticilerinin 2002'den itibaren, imha edilmesi gereken tüm yeni kayıtlı araçları geri almasını şart koşturmuştur [34]. Sürdürülebilirlik amaçları için aracın hafifletilmesindeki yeni eğilimler, yalnızca aracın yakıt verimliliğini artırmayı değil, aynı zamanda emisyonlarını azaltarak sürüş performansını da iyileştirmeyi amaçlamaktadır [35]. Bu da, alüminyum ve plastik gibi daha hafif malzemelerin kullanılmasıyla yüksek derecede elde edilebilir [36].

## 2.2 Avrupa Birliği Döngüsel Ekonomi Eylem Planı

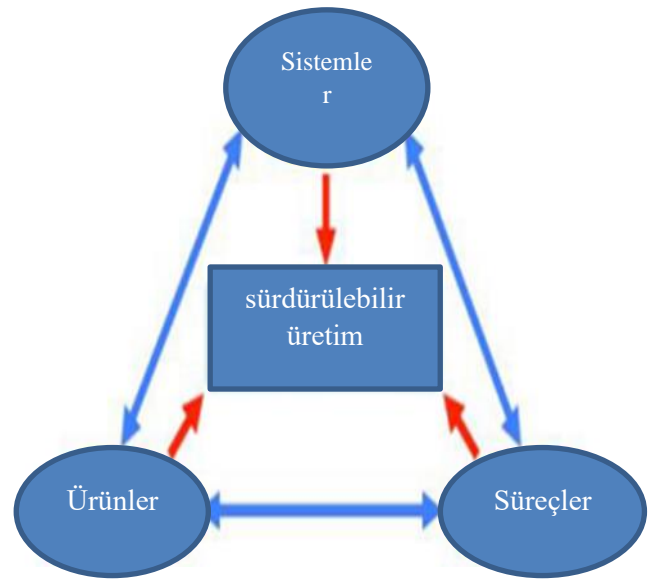
2015 yılında "Döngüsel Ekonomi Eylem Planı"nın yayınlanmasından bu yana, AB geniş kapsamlı bir dizi politika reformu gerçekleştirmiştir. Güncellenen Atık Çerçeve Direktifi (2008/98/EC) üye devletlerin aşağıda belirtilen önlemleri içermesi gereken atık önleme programları oluşturmasını gerektirmektedir:

- Kaynak verimli, dayanıklı, onarılabılır, yeniden kullanılabilir ve yükseltilebilir ürünlerin üretimini ve tasarımını teşvik etmek.
- Kritik hammaddelerin korunmasını sağlamak.
- Yedek parça ve kılavuzların mevcudiyeti dahil olmak üzere ürünlerin yeniden kullanımını ve onarımını teşvik etmek.
- Madencilik, imalat ve inşaat sektörlerinde endüstriyel atıkların azaltılması.
- Gıda israfını azaltmak ve gıda bağışını teşvik etmek.
- Ürünlerdeki tehlikeli madde içeriğinin yanı sıra yeniden kullanılamayan, tamir edilemeyen veya geri dönüştürülemeyen atık oluşumunun azaltılması.

- Başta deniz çöpü olmak üzere zararlı çevresel çöpün ana kaynaklarının belirlenmesi ve önlenmesi.
- Çöp atma ve atık önleme konusunda bilinçlendirme kampanyaları geliştirmek [37].

Avrupa Birliği geri kazanım faaliyetleri ve atık yönetimi ile ilgili konulara oldukça önem vererek kaynak verimliliği ile yakından ilgilenmektedir [37].

Aşağıda Şekil 1'de sürdürülebilir üretimin entegre unsurları gösterilmiştir.



Şekil 1. Sürdürülebilir üretimin entegre unsurları [38]

## III. BULGULAR

Sürdürülebilir atık yönetimi ve çevre kirliliğinin azaltılması için mevcut kaynakların korunması ve bu amaçla planlanan döngüsel ekonomi modeli amaçlara ulaşılması konusunda klavuz niteliğindedir. Atık azaltımı ve üretim aşamasında hammadde miktarının azaltılması ve geri dönüşümü ekonomi politikaları kapsamında ülkeler için olumlu sonuçlar sağlayacak stratejik çalışmalardan oluşmaktadır. Bu konudaki ilerlemeler ve yapılması planlanan hamleler takip edilerek en yüksek geri kazanım eldesine odaklanılmalıdır. 2019 yılında imzalanan Avrupa Mutabakatı kapsamında da sera gazı azaltım hedefleri doğrultusunda ülkemizde de benimsenen Yeşil Mutabakat karbon emisyonlarının azaltılması ve 2050 yılı itibariyle karbondan arınma hedefine ulaşılması için gerekli tüm kısıtlama ve tedbirler ülkemizde ve dünyada

uygulanmalıdır. Dünyada bu konuda yaşanan yeni gelişmeler takip edilmeli ve sürdürülebilir çevre ve ekonomi alanlarında yeniliklere ayak uydurulmalıdır.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada dögüsel ekonomi kavramı ve elektrikli araçlar için yaşam dögüsü değerlendirmesi konusu ele alınmıştır. Dögüsel ekonomi modeli ürünlerin üretim aşamasından itibaren atık üretim miktarını azaltmayı ve hem ekonomik hem de çevresel açıdan yüksek verim sağlamayı amaçlayan dönüşümdür. İşletmeler için de fayda sağlayan bu model mevcut kaynakların sınırsız olmaması ve çevresel etkilerin minimuma indirilmesi için teşvik edilmeli ve sürdürülebilir bir kaynak yönetimi ve ürün dögüsü için önemli katkı sağlayacaktır. Herhangi bir ürün veya hizmetin tüm yaşam sürecinde çevreye olan etkisi yaşam dögüsü analiziyle belirlenmektedir. Elektrikli araçlar için de yapılan mevcut çalışmaların bir kısmında geleneksel otomobillere kıyasla aynı etkiyi gösterdiği belirlenirken bazı çalışmalarda da tüm yaşam dögüsü değerlendirildiğinde sera gazı etkisinin daha düşük olduğu bulunmuştur. Yeni gelişmeler ve teknolojik iyileştirmelerle elektrikli araçların gelecekte yaygın olarak kullanılması ve emisyon miktarlarının azaltılacağı düşünülmektedir. Avrupa Mutabakatı ve dögüsel ekonomi modeli konusunda ülkemizin de önemli adımlar attığı görülmektedir. Süreç iyileştirilmesi için yeni hamleler yakından takip edilmektedir.

Sonuç olarak dögüsel ekonomi ve elektrikli araçlara geçiş konusunda ülkemizde ve küresel çapta gelişmeler devam ettirilmektedir. Sürdürülebilir kaynak ve ekonominin sağlanması için gerekli stratejilerin benimsenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tübitak 22AG001 No'lu Elektrikli Taşıtlar için Batarya Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Platformu (BATEG) tarafından desteklenmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] I. C. De los Rios and F. J. S. Charnley, "Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design," *Journal of Cleaner Production*, vol. 160, pp. 109-122, 2017.
- [2] M. Bernon, B. Tjahjono and E. F. Ripanti, "Aligning retail reverse logistics practice with circular economy values:

an exploratory framework," *Production Planning & Control*, vol. 29, pp. 483-497, 2018.

[3] I. S. Jawahir and R. Bradley, "Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing," *Procedia Cirp*, vol. 40, pp. 103-108, 2016.

[4] K. Govindan and M. Hasanagic, "A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective," *International Journal of Production Research*, vol. 56, pp. 278-311, 2018.

[5] P. Schroeder, P. Dewick, S. Kusi-Sarpong and J. S. Hofstetter, "Circular economy and power relations in global value chains: tensions and trade-offs for lower income countries," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 136, pp. 77-78, 2018.

[6] M. Yang, "Palie Smart, Mukesh Kumar, Mark Jolly, and Steve Evans. 2018. "Product-Service Systems Business Models for Circular Supply Chains."," *Production Planning & Control*, vol. 29, pp. 498-508,

[7] Y. Geng, J. Sarkis, S. Ulgiati and P. Zhang, "Measuring China's circular economy," *Science*, vol. 339, pp. 1526-1527, 2013.

[8] M. Smol, P. Marcinek, J. Duda and D. Szoldrowska, "Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and the European Green Deal Strategy," *Resources*, vol. 9, pp. 55, 2020.

[9] G. Tóth, "Circular economy and its comparison with 14 other business sustainability movements," *Resources*, vol. 8, pp. 159, 2019.

[10] E. Commission, *Communication from the commission Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. 2010.

[11] D. C. Deselnicu, G. Militaru, V. Deselnicu, G. Zăinescu and L. Albu In *Towards a circular economy—a zero waste programme for Europe*, Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Materials and Systems, Bucharest, Romania, 2018; 2018; pp 18-20.

[12] E.-E. Commission, "Closing the loop—An EU action plan for the circular economy," *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions*, Brussels, Belgium, vol., pp., 2015.

[13] C. o. E. C. European Commission, Communication No. 29, 2018. Monitoring Framework for the Circular Economy. In Commission of European Communities Brussels, Belgium: 2018.

[14] C. E. A. Plan, "For a cleaner and more competitive Europe," *European Commission (EC): Brussels, Belgium*, vol., pp. 28, 2020.

[15] G. Bressanelli, F. Adrodegari, M. Perona and N. Saccani, Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. Sustainability, 10 (3), 639. In 2018.

[16] J. W. McAuley, "Global sustainability and key needs in future automotive design," *Environmental science & technology*, vol. 37, pp. 5414-5416, 2003.

[17] A. Mayyas, A. Qattawi, M. Omar and D. Shan, "Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 1845-1862, 2012.

- [18] P. Egede, T. Dettmer, C. Herrmann and S. Kara, "Life Cycle Assessment of Electric Vehicles – A Framework to Consider Influencing Factors," *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 233-238, 2015.
- [19] F. G. ÜÇTUĞ, "Türkiye’de Üretilen Elektrikli ve İçten Yanmalı Motorlu Araçların Karşılaştırmalı Çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 10, pp. 1701-1714,
- [20] X. Xia and P. Li, "A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries," *Science of The Total Environment*, vol. 814, pp. 152870, 2022.
- [21] W. J. Smith, "Can EV (electric vehicles) address Ireland’s CO2 emissions from transport?," *Energy*, vol. 35, pp. 4514-4521, 2010.
- [22] A. E. Sünbül, "Otomotiv endüstrisinde geri dönüşüm-ürün yaşam döngü değerlendirmesi (LCA)," vol., pp., 2006.
- [23] I. S. Organization, *ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework*. 1997.
- [24] E. M. C. AssessmentRequirements, "Guidelines (ISO 14044)," *International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland*, vol., pp., 2006.
- [25] S. Verma, G. Dwivedi and P. Verma, "Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 49, pp. 217-222, 2022.
- [26] J. Brady and M. O’Mahony, "Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles on climate change and urban air quality," *Transportation research part D: transport and environment*, vol. 16, pp. 188-193, 2011.
- [27] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez and A. H. Strømman, "Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles," *Journal of industrial ecology*, vol. 17, pp. 53-64, 2013.
- [28] U. Mildemberger and A. Khare, "Planning for an environment-friendly car," *Technovation*, vol. 20, pp. 205-214, 2000.
- [29] M. A. Omar, *The automotive body manufacturing systems and processes*. John Wiley & Sons: 2011.
- [30] M. F. Ashby, *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Elsevier: 2012.
- [31] J. E. Boon, J. A. Isaacs and S. M. Gupta, "Economic impact of aluminum-intensive vehicles on the US automotive recycling infrastructure," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 4, pp. 117-134, 2000.
- [32] N. Warburg, C. Herrmann and J. Chiodo In *Accompanying the (re) design of products with environmental assessment (DfE) on the example of ADSM*, Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. 2001 IEEE ISEE (Cat. No. 01CH37190), 2001; IEEE: 2001; pp 202-207.
- [33] S. R. Sopher In *Automotive interior material recycling and design optimization for sustainability and end of life requirements*, Society of plastics engineers (SPE)-global plastic and environment conference (GPEC), 2008; 2008.
- [34] N. Kanari, J.-L. Pineau and S. Shallari, "End-of-life vehicle recycling in the European Union," *Jom*, vol. 55, pp. 15-19, 2003.
- [35] A. Mayyas, Q. Shen, A. Mayyas, D. Shan, A. Qattawi and M. Omar, "Using quality function deployment and analytical hierarchy process for material selection of body-in-white," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 2771-2782, 2011.
- [36] E. R. Fuchs, F. R. Field, R. Roth and R. E. Kirchain, "Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design," *Composites science and technology*, vol. 68, pp. 1989-2002, 2008.
- [37] M. Calisto Friant, W. J. V. Vermeulen and R. Salomone, "Analysing European Union circular economy policies: words versus actions," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 27, pp. 337-353, 2021.
- [38] A. Jayal, F. Badurdeen, O. Dillon Jr and I. Jawahir, "Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 2, pp. 144-152, 2010.