

T.C.
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**OTOMOBİL PASPASLARI İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ BOYUTUNDA
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERTUĞRUL ÖRÜCÜ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ BURÇİN ATILGAN TÜRKMEN

BİLECİK, 2021

10382380

T.C.
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**OTOMOBİL PASPASLARI İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ BOYUTUNDA
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERTUĞRUL ÖRÜCÜ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ BURÇİN ATILGAN TÜRKMEN

BİLECİK, 2021

10382380

BEYAN

“Otomobil Paspasları İçin Yaşam Döngüsü Boyutunda Sürdürülebilirlik Analizi” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmam, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmelidir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR ✓	
Destek alındı ise;			
Destekleyen Kurum:			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			

Ertuğrul ÖRÜCÜ

Tarih

.../.../2021

İmza

.....

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burçin ATILGAN TÜRKMEN'e değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmamda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tüm sorularımı içtenlikle yanıtlayan üretici firma yetkililerine, 06 Mayıs 2019 – 03 Ağustos 2019 tarihlerinde Autonomous University of Barcelona (ICTA) kurumunda yaptığım ERASMUS+ stajında staj boyunca benimle ilgilenen ve model oluşumunda GaBi, SimaPRO gibi programlarının kullanımını öğreten Xavier Gabarell DURANY ve Sussana TOBOSSA'ya ve diğer grup üyelerine çok teşekkür ederim.

Son olarak bu günlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli annem Mevlüde ÖRÜCÜ ve babam İsmet ÖRÜCÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ertuğrul ÖRÜCÜ

.../.../2021

ÖZET

OTOMOBİL PASPASLARI İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ BOYUTUNDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

Bu çalışmanın amacı kauçuk otomobil paspasının çevresel etkilerinin yaşam döngüsü boyutunda analiz edilmesidir. Kauçuk paspas için üretimde alternatif ham madde ve enerji kaynaklarının kullanılması ile farklı nakliye mesafesi verileri üzerinden hassaslık analizi yapılmıştır. Çalışmada ayrıca kauçuk otomobil paspası ile halı otomobil paspasının çevresel sürdürülebilirliği karşılaştırılmıştır. Yaşam döngüsü analizi için ISO 14040 ve 14044 serisi standartları takip edilmiştir. Çalışmanın sınırları ham madde elde edilmesi ve nakliyesi ile üretim süreci olarak belirlenmiş olup fonksiyonel birim olarak “1 set otomobil paspası” kullanılmıştır. Modelleme için GaBi v9.5 kullanılarak çevresel etkiler CML yöntemiyle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, kauçuk otomobil paspasının yaşam döngüsü çevresel etkileri incelendiğinde abiyotik kaynakların tükenmesi ve ozon tabakası tükenmesi dışındaki diğer dokuz etki kategorisinin en fazla üretim basamağından kaynaklandığı bulunmuştur. Ayrıca araçlarda kauçuk paspas kullanımını yerine halı paspas kullanımının tüm kategorilerdeki çevresel etkilerde artışa sebep olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Analizi, Sürdürülebilirlik, Araba Paspası, Kauçuk, Halı, Çevresel Etki.

ABSTRACT

LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF AUTOMOBILE MATS

This study aims to analyze the environmental impacts of rubber car mat in the life cycle dimension. Sensitivity analysis was performed on alternative raw materials and energy sources used in production for rubber mats and different transportation distance measurement data. In addition, in this study, the environmental sustainability of rubber car mats and carpet car mats were compared. ISO 14040 and 14044 series standards have been established for life cycle analysis. The system boundaries of our study are determined as obtaining the raw material and its transportation and production process. For this study, "1 set of automobile mat" is used as a functional unit. GaBi v9.5 was used for modeling and environmental impacts have been quantified using the CML 2001 impact assessment method. The results suggest that most of the impacts are mainly caused by the car mat production stage; the only exception to the trend is the depletion of abiotic resources and the ozone layer depletion potential. It has been concluded that the use of carpet mats instead of rubber mats in cars has caused an increase in environmental impacts in all categories.

Keywords: Life Cycle Analysis, Sustainability, Car Mat, Rubber, Carpet, Environmental Impact.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖN SÖZ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	3
2.1. Otomotiv Sektörü	3
2.2. Otomobil Paspası	7
2.2.1. Otomobil Paspası Türleri.....	8
2.2.1.1. PVC otomobil paspası.....	8
2.2.1.2. Deri otomobil paspası.....	9
2.2.1.3. Halı otomobil paspası.....	9
2.2.1.4. Kauçuk otomobil paspası.....	10
2.2.2. Otomotiv Sektörünün Çevresel Sürdürülebilirliği	11
2.3. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA).....	11
2.3.1. Amaç ve kapsamın tanımlanması.....	13
2.3.2. Envanter analizi	14
2.3.3. Etki analizi.....	14
2.3.4. Sonuçların yorumlanması	14
2.4. Literatür Taraması.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18

3.1. Amaç ve Kapsam	18
3.2. Veri ve Kabuller.....	22
3.3. Etki Analizi.....	30
3.4. Sonuçların Yorumlanması	34
4. BULGULAR	35
4.1. Kauçuk Otomobil Paspası Yaşam Döngüsü Çevresel Etkileri.....	35
4.1.1. Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil olmayan (ADP)	38
4.1.2. Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil (ADP fosil).....	38
4.1.3. Asidifikasyon potansiyeli (AP).....	38
4.1.4. Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	38
4.1.5. Tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli (FAETP)	39
4.1.6. Küresel ısınma potansiyeli (GWP)	39
4.1.7. İnsan toksisitesi potansiyeli (HTP).....	39
4.1.8. Deniz suyu ekotoksitesitesi potansiyeli (MAETP)	39
4.1.9. Ozon tabakası tükenmesi potansiyeli (ODP).....	40
4.1.10. Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP).....	40
4.1.11. Kara ekotoksitesitesi potansiyeli (TETP)	40
4.2. Kauçuk Paspası için Hassaslık Analizi	40
4.2.1. Sentetik kauçuk kullanılması.....	41
4.2.2. Ulaşım mesafesinin değiştirilmesi	42
4.2.3. Rüzgar enerjisinin kullanılması	42
4.2.4. Güneş Enerjisinin kullanılması	42
4.3. Yıllık Toplam Çevresel Etki	43
4.4. Kauçuk ve Halı Otomobil Paspası Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması	43
5. TARTIŞMA.....	45
5.1. Kauçuk Otomobil Paspası Yaşam Döngüsü Çevresel Etkileri.....	45

5.2. Hassaslık Analizi.....	47
5.3. Yıllık Toplam Çevresel Etki	48
5.4. Kauçuk Paspas ile Halı Paspasın Karşılaştırılması.....	48
6. SONUÇLAR.....	50
KAYNAKÇA.....	52
EKLER.....	56
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. 2010-2019 yılları küresel boyutta otomotiv sektöründeki toplam üretim	4
Şekil 2.2. 2018-2019 yılları bölge bazında otomotiv sektöründeki toplam üretim.....	4
Şekil 2.3. PVC otomobil paspası	8
Şekil 2.4. Deri otomobil paspası	9
Şekil 2.5. Halı otomobil paspası	9
Şekil 2.6. Kauçuk otomobil paspası.....	10
Şekil 2.7. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde dikkate alınan ana aşamalar ile giriş ve çıkış akımları.....	12
Şekil 2.8. Yaşam döngüsü analizi metodu ve bu metodun uygulamaları	13
Şekil 3.1. Fonksiyonel birim olan 1 set kauçuk paspas	19
Şekil 3.2. Kauçuk paspas yaşam döngüsü basamakları	21
Şekil 3.3. Fonksiyonel birim olan 1 set halı paspas	27
Şekil 3.4. Halı paspas yaşam döngüsü basamakları.....	28
Şekil 3.5: GaBi yazılım ile oluşturulan örnek model görüntüsü.....	31
Şekil 4.1. Kauçuk otomobil paspasının yaşam döngüsü çevresel etkileri	36
Şekil 4.2. Kauçuk otomobil paspası çevresel etkilerinin YDA basamaklarına göre dağılımı .	37
Şekil 4.3. Kauçuk paspas üretim aşamalarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı.....	37
Şekil 4.4. Hassasiyet analizi sonuçları	41
Şekil 4.5. Kauçuk paspas üretiminden gelen yıllık toplam çevresel etkiler	43
Şekil 4.6. Kauçuk ve halı paspas çevresel etkilerinin karşılaştırılması	44

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. 2018-2019 yılları bölge bazında otomobil üretimi.....	5
Tablo 2.2. 2018-2019 yılları bölge bazında ticari araç üretimi	5
Tablo 2.3. 2018-2019 yılları ülkeler bazında toplam otomotiv üretimi	6
Tablo 3.1. Kauçuk paspas üretimi için ham madde ve ambalaj malzemesi miktarları	22
Tablo 3.2. Kauçuk paspas üretimine ait ulaşım verileri	24
Tablo 3.3. Kauçuk paspas üretimine ait enerji verileri.....	25
Tablo 3.4. Halı paspas üretimi için ham madde ve ambalaj malzemesi miktarları.....	29
Tablo 3.5. Halı paspas üretimine ait ulaşım verileri.....	30
Tablo 3.6. Halı paspas üretimine ait enerji verileri	30

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

- AB** : Avrupa Birliği
- ABD** : Amerika Birleşik Devletleri
- AP** : Asidifikasyon potansiyeli
- CFC** : Klorflorokarbon
- CZ** : N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide
- DCB** : Dikloro benzen
- DPG** : Diphenyl guanidine
- EP** : Ötrofikasyon potansiyeli
- GJ** : Gigajoule
- GWP** : Küresel ısınma potansiyeli
- HTP** : İnsan toksisitesi potansiyeli
- ISO** : Uluslararası Standardizasyon Örgütü
- MBT** : Mercaptobenzothiazole
- MJ** : Megajoule
- ODP** : Ozon tabakası tükenme potansiyeli
- POCP** : Fotokimyasal duman oluşturma potansiyeli
- PP** : Polipropilen
- PVC** : Polivinil klorür
- R11** : Trikloroflorometan
- TMTD**: Tetramethyl thiuram disulfide
- VCM** : Vinilklorür monomeri
- VOC** : Uçucu organik bileşik
- YDA** : Yaşam Döngüsü Analizi

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı ve önlenemez yükselişi, kaynakları sınırlı olan gezegenimizdeki su, hava, toprak ve yeraltı zenginlikleri doğal kaynakların sürdürülebilirliği hakkında problemler yaratmaktadır. Günümüzde doğal kaynaklar kapasite üstü kullanılarak kirletilmekte ve gelecek nesillerin bu kaynakları kullanabilmesi kısıtlanmaktadır. Çevre bilincinin artmasıyla bir ürünün, sistemin ya da hizmetin kalite ve maliyet gibi değerlendirme kriterlerinin yanında artık doğal kaynak kullanımı ve küresel boyuttaki çevre sorunları gibi etkileri de karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık göz önünde bulundurulmuş faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün bunlara bağlı olarak sürdürülebilir üretim kavramının önemi artmıştır (Hauschild, Jeswiet, & Alting, 2005: 1).

Sürdürülebilir üretim kavramı yaşam döngüsü yaklaşımını gerektirir. Bu yaklaşım ham madde çıkarılmasından başlayarak, nakliye, üretim, tüketim, kullanım ve atık yönetimi basamaklarını kapsayan bütünsel bir sistemi temel alır. İnsanların sağlıklı olarak yaşamaları ve çevre kalitesinin artırılması için ürün ve üretim sistemlerinin çevresel etkileri yaşamları boyunca değerlendirilmelidir. Yaşam döngüsü analizi (YDA) 1990'lerden bu yana çevresel sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi için kullanılan bir çevresel etki analizi yöntemidir. Ürün veya üretim sistemlerinde bu yöntem kullanılarak yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkiler analiz edilerek alternatifler değerlendirilmekte, geliştirme ya da iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır (Azapagic, 2010: 140; Sørensen, 2011: 67).

Otomotiv sanayi, otomobil ve ticari araçların üretildiği ana sanayi ile belirlenen teknik dokümanlara uygun olarak parça, sistem ya da aksam üreten yan sanayiye kapsayan çok geniş bir sektördür (ISO, 2002: 5). Bu sanayi kolu sağladığı katma değer, yarattığı istihdam ve etkileşim içinde olduğu diğer endüstri kollarıyla otomotiv sanayi ülkelerin ekonomilerinde yer alan en önemli sektörlerden biridir. Otomotiv sektörü demir-çelik, petrokimya, lastik, tekstil, cam, elektrik-elektronik gibi ana üretim dallarının başlıca alıcısı ve bu sektörlerdeki teknolojik gelişmelerin tetikleyicisidir (Pişkin, 2017: 1).

Otomotiv sanayi üretim hacmi ve ilişkili olduğu diğer sanayi kolları ile küresel boyutta yönlendirici bir sektördür. Bu sebepten dolayı bu sektörün sürdürülebilirliğinin artırılması için yaşam döngüsü boyutundaki çevresel etki analizinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Her araçta kullanılan otomobil paspası otomotiv sektörünün büyüklüğü düşünüldüğünde büyük bir öneme sahip olmaktadır. Literatürde otomobil paspasının sürdürülebilirliğinin değerlendirildiği bir çalışma mevcut değildir. Bu ürün için kullanılan üretim metodu, ham madde ve atık yönetimi alternatiflerinin doğal kaynaklar, insanlar ve

ekosistem üzerine etkilerinin yaşam döngüsü boyutunda incelenmesi otomotiv sektörünün önemli bir kısmını oluşturan otomotiv sektörü yan sanayi için gelecekteki ham madde, teknoloji ve atık yönetim sistemi seçimi için örnek teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında otomobil için üretilen kauçuk paspasın çevresel etkilerinin yaşam döngüsü boyutunda incelenmesi ve seçilen ürün için potansiyel iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ayrıca hassaslık analizi yapılarak verilere bağlı çevresel etkilerdeki değişikliklerin değerlendirilmesi ile sektöre çevresel sürdürülebilirlik için daha fazla sonuç sunulmuştur. Bunların yanında ayrıca kauçuk otomobil paspasının alternatifi olarak kauçuk paspastan sonra en fazla kullanılan halı otomobil paspası için de yaşam döngüsü boyutunda model oluşturularak iki paspas türü için çevresel sürdürülebilirlik karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmamız otomobil paspasının sürdürülebilirliğinin analizinin yapıldığı ilk çalışmadır. Yapılan çalışmanın otomotiv kauçuk parçaları ile zemin kaplamalarının sürdürülebilirliği alanında yapılacak araştırmalara ve pratik uygulamalara temel oluşturulması beklenilmektedir.

Hazırlanan tezde ilk olarak kauçuk ham maddeleri ve otomotiv sektörü ile ilgili literatür bilgisi verilerek, küresel ve ulusal boyutta üretim, tüketim ve geri dönüşüm bilgileri sunulmuştur. Sonrasında ise otomotiv kauçuk parçaları ve zemin kaplamaları ile ilgili olarak önceden yapılmış olan sürdürülebilirlik çalışmaları incelenmiştir. Çalışmamızın bir sonraki bölümünde, yaşam döngüsü analizi metodolojisine uygun olarak çalışmanın amacı, kapsamı, modellenen sistemlere ait envanter analizi bilgileri sunulmuştur. Yaşam döngüsü yaklaşımıyla otomobil kauçuk paspası üretim sistemi için hesaplanan 11 adet CML çevresel etki kategorisi ile çevresel sürdürülebilirlik değerlendirilmiş olup hassaslık analizi ve alternatif ürün karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmamızın son kısmında ise elde ettiğimiz bulgular tartışılarak çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

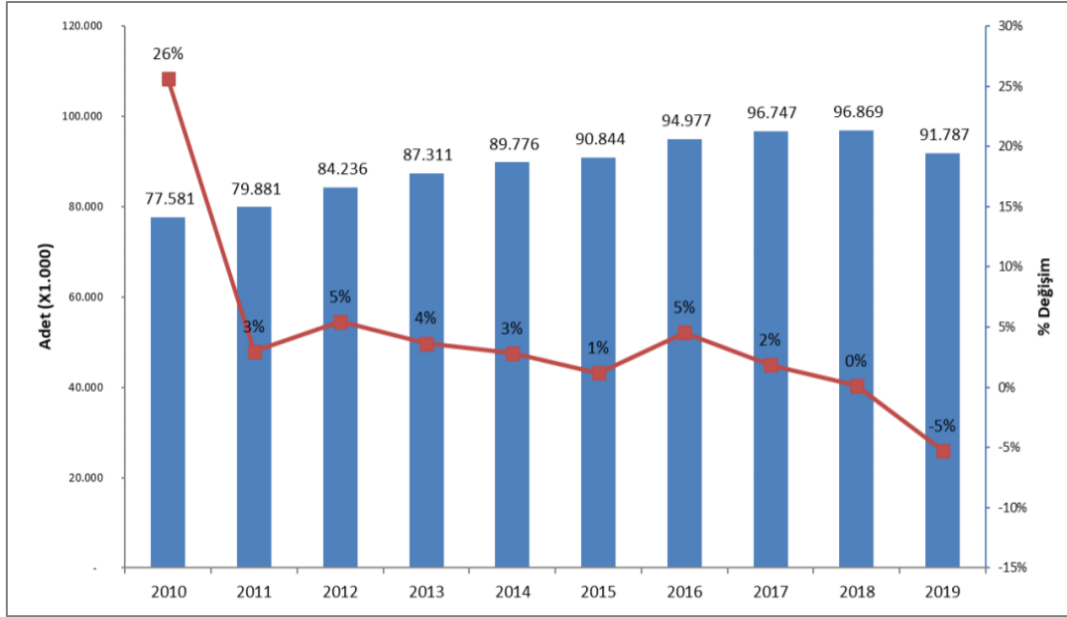
2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1. Otomotiv Sektörü

Motorlu taşıt “bir yanmalı veya patlamalı motorla tahrik edilen yük veya yolcu taşımak ve karayolu trafiğinde seyretmek üzere belirli teknik mevzuata göre üretilmiş bulunan dört veya daha fazla lastik tekerlekli araç” olarak tanımlanmaktadır. Motorlu taşıtları üreten sanayi “Otomotiv Ana Sanayi” olarak adlandırılırken hem bu sanayiye hem de araç yenileme talebine yönelik sistem, modül, aksam ya da parça üreten sanayi koluna ise “Otomotiv Yan Sanayi” denilmektedir (ISO, 2002: 5). Otomotiv yan sanayinin kapsamındaki ürün grupları motor sistemi ve parçaları, aktarma organları, fren sistemi ve parçaları, hidrolik ve pnömatik aksamlar, süspansiyon parçaları, emniyet parçaları, kauçuk ve lastik kısımlar, şasi sistemi, dövme ve döküm parçalar, elektrik ve aydınlatma sistemleri, akü, camlar ve tekstil parçaları olarak sınıflandırılmaktadır (ÇTSO, 2020: 7).

Otomotiv sanayi üretim hacmi ve ilişkili olduğu diğer sanayi kolları ile küresel boyutta yönlendirici bir sektördür. Otomotiv sektöründeki üretim otomobil ve ticari araç olarak iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Sanayide yapılan üretimin büyük çoğunluğunu otomobil ve kamyonetlerden oluşan hafif araçlar sınıfı oluşturmaktadır. Üretim adetleri otomobil sınıfına göre nispeten az olan minibüs, midibüs, otobüs, kamyon ve çekici gibi diğer araç sınıfları ise istatistiklerde ticari araçlar olarak anılmaktadır (ÇTSO, 2020: 7; ISO, 2002: 5).

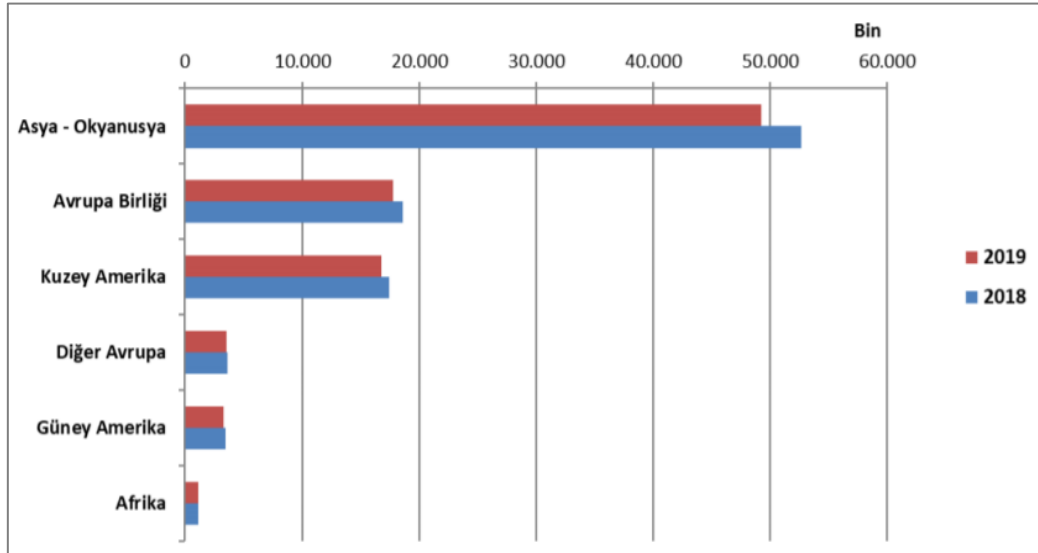
Küresel ölçekte 2010-2019 yılları arasında motorlu araç üretim rakamlarını gösteren Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 2019 yılında taşıt üretimi 2018 yılına göre %5 azalmıştır (OSD, 2020: 12).



Şekil 2.1. 2010-2019 yılları küresel boyutta otomotiv sektöründeki toplam üretim

Kaynak: (OSD, 2020: 12)

Şekil 2.2'de belirtildiği üzere 2019 yılında bir önceki yılda olduğu gibi otomotiv sektöründe toplam üretim en fazla yapıldığı bölge Asya-Okyanusya olmuştur. Üretimin en az olduğu bölge ise Afrika'dır (OSD, 2020: 12). Sektörde ihracatta en iyi bölge Avrupa Birliği olup ve onu Doğu Asya takip etmektedir. Asya ve Afrika ise yabancı yatırım için cazip olan bölgelerdir (Altay, 2019: 33).



Şekil 2.2. 2018-2019 yılları bölge bazında otomotiv sektöründeki toplam üretim

Kaynak: (OSD, 2020: 12)

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 değerlendirildiğinde küresel boyutta otomobil üretimi 2019 yılında 2018 yılına göre %6 azalarak 67 milyon 149 bin adet olurken ticari araç üretimi ise %2 azalarak 24 milyon 638 bin adet olarak gerçekleşmiştir. Otomobil üretiminde 2019 yılında bir önceki yıla göre en büyük değişim %13 daralma ile Kuzey Amerika’da olmuştur. Ticari araç üretiminde ise bu yıllarda en büyük değişim %7 oranında azalma ile Avrupa Birliği dışındaki Avrupa ülkeleri ile Güney Amerika’da gerçekleşmiştir (OSD, 2020: 12).

Tablo 2.1. 2018-2019 yılları bölge bazında otomobil üretimi

Bölge	Üretim 2018	Üretim 2019	Değişim 19/18
Asya-Okyanusya	43.622.768	40.666.078	-%7
Avrupa Birliği	16.746.049	15.837.082	-%5
Kuzey Amerika	5.022.072	4.356.864	-%13
Diğer Avrupa	2.914.874	2.885.445	-%1
Güney Amerika	2.668.216	2.616.440	-%2
Afrika	776.967	787.287	%1
Toplam	71.750.946	67.149.196	-%6

Kaynak: (OSD, 2020: 12)

Tablo 2.2. 2018-2019 yılları bölge bazında ticari araç üretimi

Bölge	Üretim 2018	Üretim 2019	Değişim 19/18
Asya-Okyanusya	9.034.058	8.600.795	-%5
Avrupa Birliği	1.858.030	1.898.069	%2
Kuzey Amerika	12.402.403	12.426.534	%0
Diğer Avrupa	743.587	691.486	-%7
Gney Amerika	754.927	702.921	-%7
Afrika	325.069	317.860	-%2
Toplam	25.118.074	24.637.665	-%2

Kaynak: (OSD, 2020: 12)

Küresel boyuttaki otomotiv sektöründe büyük bir rekabet vardır. Tablo 2.3’te belirtildiği üzere Çin 2019 yılı toplam otomotiv üretiminde ilk sırada yer almaktadır ve dünyadaki toplam otomotiv üretiminin %28’i bu ülkede gerçekleşmektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ikinci sırada yer alarak toplam otomotiv üretiminde Çin’i takip etmektedir. ABD’nin 2019 otomotiv üretimi 2018 yılına göre %4 azalarak 10 milyon 880 bin olmuştur.

Küresel boyuttaki otomotiv üretiminde üçüncü sırada bulunan Japonya'da ise otomotiv üretimi 2019 yılında 9 milyon 684 bin adet olmuştur (OSD, 2020: 12).

Tablo 2.3. 2018-2019 yılları ülkeler bazında toplam otomotiv üretimi

Dünya 2018	Dünya 2019	Ülke	Toplam Üretim 2018	Toplam Üretim 2019	Değişim 19/18
1	1	Çin	27.809.196	25.720.665	-%7,5
2	2	ABD	11.297.911	10.880.019	-%3,7
3	3	Japonya	9.729.594	9.684.298	-%0,5
5	4	Almanya	5.120.409	5.661.328	%10,6
4	5	Hindistan	5.142.809	4.516.017	-%12,2
6	6	Meksika	4.100.770	3.986.794	-%2,8
7	7	Güney Kore	4.028.834	3.950.617	-%1,9
8	8	Brezilya	2.881.018	2.944.988	%2,2
9	9	İspanya	2.819.565	2.822.355	%0,1
10	10	Fransa	2.267.764	2.202.460	-%2,9
11	11	Tayland	2.167.694	2.013.710	-%7,1
12	12	Kanada	2.025.794	1.916.585	-%5,4
13	13	Rusya	1.768.546	1.719.784	-%2,8
15	14	Türkiye	1.550.260	1.461.244	-%5,7
16	15	Çek Cumhuriyeti	1.442.884	1.433.963	-%0,6
14	16	Birleşik Krallık	1.604.328	1.381.405	-%13,9
17	17	Endonezya	1.343.714	1.286.848	-%4,2
19	18	Slovakya	1.093.215	1.100.000	%0,6
20	19	İtalya	1.062.332	915.305	-%13,8
18	20	İran	1.095.210	821.06	-%25,0

Kaynak: (OSD, 2020: 12)

Türkiye'de otomotiv sektörü, üretim hacmi, etkileşimi ve ekonomik katkı oranı dikkate alındığında ülkedeki üretim sektörü içinde önemli bir yere sahiptir. Otomotiv sektörü 1960'lardan itibaren ülkemizde önemli gelişmeler kaydetmiştir. Türkiye'de otomotiv sektörü 1960'lı yıllarda ithal ikamesi amaçlı traktör ve ticari araçların montaj üretimi amacı ile kurulmuştur. Otomotiv sektöründe 1970'li yıllarda aksam ve parça üretimine yönelik yerleşirme ve otomobil üretimi ile 1980'li yıllarda ise kapasite ve teknoloji yatırımları ön plana çıkmıştır. Sektör, 1990'lı yıllarda ihracata yönelik rekabetçi bir nitelik kazanmış olup 1990'lı yılların sonlarına doğru küresel boyutta önde gelen otomotiv firmaların Türk ortaklarla ülkemizde kurdukları tesislerle birlikte önemli bir konum elde ederek bunlardan bazıları ortak oldukları yabancı otomotiv firmalarının ihracat üssü haline gelmiştir. 2000'li

yıllara gelindiğinde ise daha yüksek katma değer yaratarak dünya pazarına yönelik tasarım ve üretim için sürdürülebilir küresel rekabet süreci başlamıştır. İhracatta yaşanan büyüme, önde gelen üreticilerin Türkiye'deki tesisleri küresel üretim planlarına dâhil etmesiyle ortaya çıkmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2018: 36). Ülkemiz otomotiv sektörünün uzun yıllara dayanan geçmişi olmasına rağmen yerli otomobil üretimi bulunmamaktadır.

Küresel ve bölgesel satış amacıyla her geçen gün daha çok sayıda yabancı markaya ait model araç Türkiye'de üretilirken, Türkiye'de üretilmeyen diğer araçlar ise ithal edilmektedir. Türkiye'nin bu şekilde küresel üretim planlamasına katılması, Avrupa Birliği ile yapılan ve 1996'dan beri yürürlükte olan Gümrük Birliği ile mümkün olmuştur. Bugün gelinen noktada, üretim ve pazarlama alanlarında küresel entegrasyon büyük oranda tamamlanmıştır. Otomotiv sektörü, üretimde kalite yönetimi ve verimlilikteki yetkinliğini, küresel ve gelişmiş pazarlara yaptığı ihracat ile kanıtlamıştır. Türkiye otomotiv sektöründe uygulanan üretim yöntem ve teknolojileri, uluslararası düzeyde ana firmaların kullandıkları yöntem ve teknolojilerle eşdeğerdedir (Görener & Görener, 2008: 1213; Kalkınma Bakanlığı, 2018: 36).

Otomotiv sektörü üretim, teknolojik gelişim, ekonomi ve istihdam alanlarına doğrudan etki ettiği için ülkelerin gelişmişliği açısından stratejik öneme sahiptir. Tablo 2.3'te gösterildiği gibi Türkiye toplam otomotiv üretiminde Avrupa'da 4. sırada yer alırken küresel sektörde 14. sıradadır. 2019 yılında bir önceki yıla göre ülkemizdeki toplam taşıt üretimi %6 azalma ile 1 milyon 461 bin adet düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde otomobil üretimi ise 982 bin 642 adet olmuştur. 2019 yılında 2018 yılına göre toplam taşıt ihracatı taşıt sayısı bazında %5 oranında, dolar bazında ise %3 azalırken toplam ihracat 1 milyon 252 bin 586 adet düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu dönemde toplam otomotiv ihracatı 31,2 Milyar US\$ olmuştur (OSD, 2020: 12).

Otomotiv sektöründeki tek kişilik istihdam artışı bu sektörün ilişki içerisinde bulunduğu diğer sektörlerdeki 4 kişilik istihdam artışını sağladığı belirtilmektedir. İstihdam açısından değerlendirildiğinde otomotiv sektörü ülkemizde 500 bin kişiye istihdam sağlamaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2018: 36).

2.2. Otomobil Paspası

Otomobil paspasları, bayilerin genellikle bir araç satın alarak dahil ettikleri araba iç parçası aksesuarıdır. Her araçta mutlaka bulunması gereken otomobil paspasları çeşitli malzemeler kullanılarak farklı şekillerde üretilmektedir. Otomobil paspasları kir ve suyu yakalamak için sivri uçlar, oluklar veya kapaklar içerebilmektedir.

Bir otomobil paspasında aranan ilk özellik dayanıklı olmasıdır. Otomobil ekipman üreticileri tarafından üretilen paspasların ayrıca koku salımı, dayanıklılık, ses geçirgenliği, çeşitli ısı seviyelerinde performans vb. özellikleri giderek yaygınlaşmakta olan özellikleridir. Paspasın otomotiv sektöründeki yeri aslında her ne kadar aksesuar gibi adlandırılabilirse bile aslında hemen hemen her arabada olduğu gerçeğini düşündüğümüzde balata ya da tekerlek gibi olmazsa olmaz bir parçadır.

2.2.1. Otomobil Paspası Türleri

Otomobil paspasları malzeme, şekil ve tasarım olarak birbirinden farklıdır. Bazı paspaslar sadece bir şasiye uyacak şekilde özel olarak tasarlanırken bazı paspaslar çok sayıda farklı araca uyabilmektedir. Bazı paspaslar altlarında kapalıyı kavramak için küçük, esnek çiviler içerir. Daha yaygın tutma yöntemi ise halihazırda araç zemininde konumlandırılmış bir ankraj noktasına kancalanan, klipslenen veya bükülen bir bağlantı sistemidir.

Otomobil paspasları üretildikleri malzemeye göre PVC, deri, halı ve kauçuk olmak üzere 4 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Seçimler kullanıcının inisiyatifinde olup tamamen zevk ve performansa göre gerçekleşmektedir. Aşağıda malzemeye göre sınıflandırılan otomobil paspas türleri açıklanmıştır.

2.2.1.1. PVC otomobil paspası

Granül halde bulunan PVC ham madde enjeksiyon kalıba ön ısıtma işlemi ile akışkan hale getirildikten sonra enjekte edilir ve kalıp dolduktan sonra işlem tamamlanıp paspas kalıptan ayrılır bu şekilde PVC paspas oluşturulur. PVC otomobil paspası Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. PVC otomobil paspası

2.2.1.2. Deri otomobil paspası

Deri otomobil paspası Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Suni deri imalatı yapan fabrikalardan rulo veya tabaka halde alınan suni deriler lazer kesim makinelerinde ya da presli kesim tezgahlarında istenilen boyutlarda kesilir ve sonrasında dikiş makineleri ile etrafı ve üzeri dikilerek araçlarda kullanılmak üzere son ürün halini alır.



Şekil 2.4. Deri otomobil paspası

2.2.1.3. Halı otomobil paspası

%100 polipropilen iplikten imal edilmiş rulo veya tabaka halde alınan halı paspas ham maddeleri kesim makinelerinde ya da presli kesim tezgahlarında istenilen boyutlarda kesilir ve sonrasında dikiş makineleri ile etrafı ve üzeri dikilerek araçlarda kullanılmak üzere son ürün halini alır. Şekil 2.5'te araçlar için üretilen halı paspas örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Halı otomobil paspası

2.2.1.4. Kauçuk otomobil paspası

Kauçuk, petrol alkolün bileşimiyle ya da bazı tropikal bitkilerin lateks adı verilen öz suyundan imal edilen, uygulanan kuvvetin kaldırılması sonucunda normal boyuna dönebilen elastik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Ağaçların öz suyundan üretilene doğal kauçuk, petrol ürünlerinden üretilene sentetik kauçuk denir. Doğal kauçuğun en önemli özelliği, çekildiğinde, boyunun dört ya da beş katına gerilmesi ve serbest bırakıldığında değişmeden eski haline dönmesidir. Sentetik kauçuklar, elastomer olarak davranan yapay olarak elde edilmiş polimerlerdir. Sentetik kauçuklar doğal kauçuk kadar nitelikli olmayıp büyük oranda üretilip dolgu lastiklerinde kullanılmıştır. Kauçuk malzemeler sızdırmazlık, yumuşaklık, dayanıklılık, aşınma dayanımı ve elektriğe karşı direnci gibi özelliklerinden dolayı endüstrinin önemli malzemelerinden biridir. Özellikle otomotiv sektöründe kauçuktan üretilmiş ürünler çok sık kullanılmaktadır (PAGEV, 2017: 28)

Kauçuk paspas hamuru için gerekli olan kauçuk, dolgu ve kimyasallar reçeteye uygun olarak belirli bir sıcaklık ve basınçta belirlenen sürede karıştırılır ve kauçuk ürün hamuru elde edilir. Bu hamur makinelerde kalın bir şekilde çekilir ve daha sonra son kademe kimyasalları eklenerek daha ince çekilir. Sonrasında kesim yapılmak üzere kat kat olacak şekilde kesim tezgahına serilir ve şablon yardımı ile kalıplara uygun olacak şekilde hamur kesilir ve bu parçalar kalıplara yerleştirilerek kauçuk preslerinde pişirilir. Pişmiş paspas parçaları kalıptan dışarı çıkan kısımları maket bıçağı ile kesilir ve son ürün elde edilir. Şekil 2.6'da kauçuk paspas örneği gösterilmiştir (RSDC, 2013: 26).



Şekil 2.6. Kauçuk otomobil paspası

Her otomobil paspasının kullanımında avantaj ve dezavantajı vardır. Örneğin, halı paspaslar genellikle püsküllüdür ve lastik kaplı kaymaz bir arka yüzeye sahipken, kauçuk

paspaslar daha ağır hizmet ve daha dayanıklıdır. PVC otomobil paspasları kolay değiştirilebilmelerinden dolayı gittikçe daha fazla kullanılmalarına rağmen kauçuk araç paspasları hala en güvenli ve en çok kullanılan seçenektir.

2.2.2. Otomotiv Sektörünün Çevresel Sürdürülebilirliği

Otomotiv sektörü ana üretim sektörü ve yan sanayi ile ürün pazarlama, satış, servis, yakıt, finans ve sigorta sektörleriyle ilişkili olan bir sanayi dalıdır (Görener & Görener, 2008: 1213). Günümüzde otomotiv sektöründe az yakıt tüketen ve az emisyon veren veya hiç vermeyen, tamamen geri dönüşümü olan ve tehlikeli maddeler kullanılmayan otomobiller üretmek gittikçe önem kazanmaktadır (Orsato & Wells, 2007: 989). Sektörün kendine özgü katı, sıvı ve gaz atıkları vardır. Otomotiv sektörünün çevresel etkileri üretim basamağındaki, kullanım sırasındaki ve ömrünü tamamlamış hurda araçlardan kaynaklanan emisyonlar ve atıklar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Katip, Karaer, & Özengin, 2014: 41).

Otomotiv üretim aşamasında birçok ham madde, su ve enerji kullanılmaktadır. Üretim sürecinde metal kesme ve şekillendirme, yüzey hazırlama, ısıl işlemler, kaplama gibi işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler sırasında çok çeşitli ham madde ve yoğun enerji ve su girdi olarak kullanılırken işlem sonrasında katı, sıvı ve gaz atık ortaya çıkmaktadır. Otomotiv üretim basamağından kaynaklanan emisyonlar ve atıklar için her yıl düzenli olarak bildirimlerde bulunulması gerekmektedir (Katip et al., 2014: 41).

Fosil yakıt kullanan araçların kullanım sırasındaki çevresel etkileri karayollarında dolaşmalarından kaynaklanan ve araçların ömürleri boyunca yaydıkları emisyonlar ve atıkları içermektedir. Hızla artan araç sayısı ile orantılı olarak emisyon miktarları ve buna bağlı olarak da hava kirliliği artmaktadır. Ulaşım ve taşımacılık sektörü küresel boyuttaki sera gazı emisyonlarının yaklaşık %20 oranından sorumludur (Civelekoğlu & Bıyık, 2018: 157).

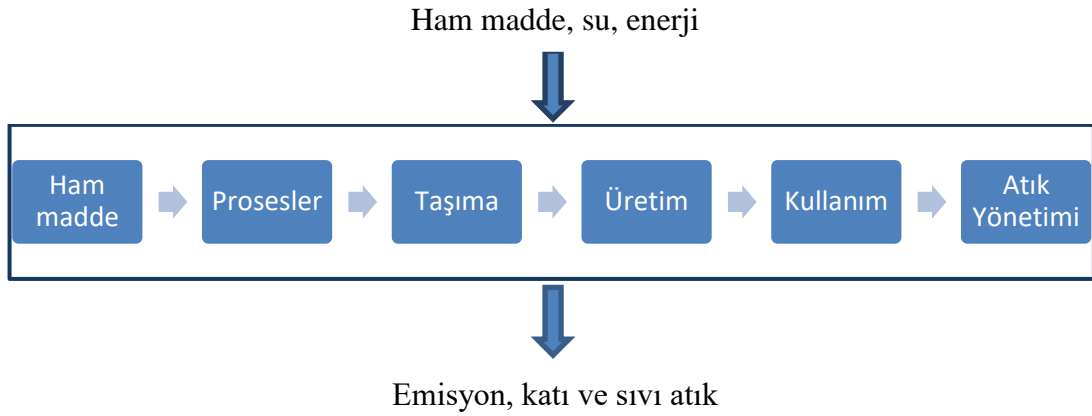
Ömrünü tamamlamış ya da hurdaya ayrılmış araçlar kullanım ömrünü tamamlamış lastikler ve bunun haricinde oluşan katı ve sıvı atıkları kapsamaktadır. Bu basamaktaki araçların ve parçaların uygun yöntemle geri kazanılması ya da bertaraf edilmesi önemlidir (Katip et al., 2014: 41).

2.3. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

Ürünlerin yaşam döngüleri boyunca etkilerini daha iyi anlamak ve ele almak için yöntem geliştirmeye olan ilginin artması, çevreyi korumanın önemi konusunda artan küresel farkındalıkla teşvik edilmiştir. YDA, son yıllarda ilgi çeken ve gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan standartlaştırılmış bir çevresel etki analizi yöntemidir (Azapagic, 2010: 56). Bu

yöntem, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) 14040 ve 14044 (ISO, 2006a: 1, 2006b: 1) standartlarına göre ürün, süreç veya hizmetlerin ham madde eldesi ve işlenmesi, üretimi, kullanımı, atık yönetimi ve tüm basamaklardaki sevkiyat aşamalarını içeren yaşam süreçleri boyunca yol açtığı çevresel etkileri ölçmek ve değerlendirmek için kullanılır (Guinée et al., 2001: 2).

Şekil 2.7’de gösterildiği gibi YDA metodunda ürün, süreç veya hizmet için belirlenen yaşam döngüsü basamakları için tüm su, enerji ve ham madde girdileri ve açığa çıkan su, hava ve toprağa olan atık ve emisyonlara ait envanterler bir araya getirilip bunlara bağlı olarak çevresel etkiler hesaplanır. YDA incelenen süreç yerine sistemi bütünüyle ele alır ve bu açıdan bu yöntem diğer çevresel etki değerlendirme yöntemlerine göre daha detaylı ve doğru sonuç verir (Azapagic, 2010: 56; UNEP/SETAC, 2011: 1).

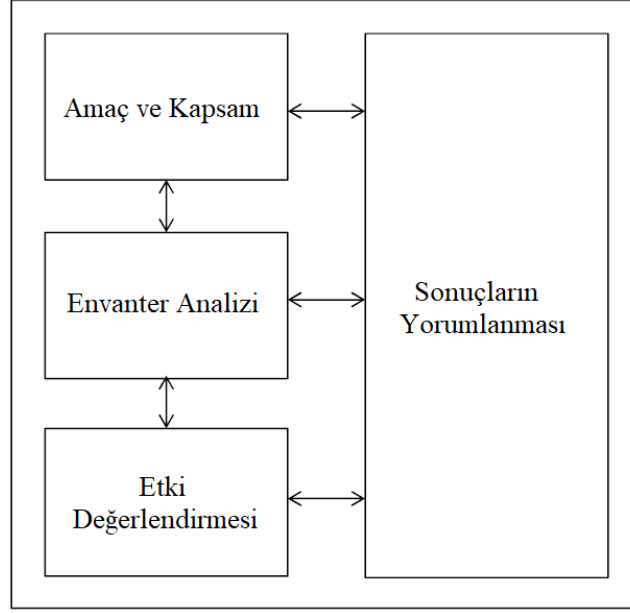


Şekil 2.7. YDA’da dikkate alınan ana aşamalar ile giriş ve çıkış akımları

Kaynak: (Baumann & Tillman, 2004: 19)

YDA, maliyet azaltımı, çevre etiketi gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde, bir ürün, süreç ya da hizmetin farklı yaşam döngüsü basamaklarında oluşan çevresel etkileri değerlendirerek iyileştirilmesi, stratejik planlama, müşteri istekleri, tasarım ya da yenileme gibi konularda karar verilmesi aşaması gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Guinée et al., 2001: 2).

ISO 14040 ve 14044 standartlarına göre YDA, Şekil 2.8’de gösterildiği şekilde dört aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Yaşam döngüsü analizi metodu ve bu metodun uygulamaları

Kaynak: (ISO, 2006a: 1, 2006b: 1)

2.3.1. Amaç ve kapsamın tanımlanması

Değerlendirilecek ürün, süreç ya da hizmet için gerekli detaylar çalışmanın ilk aşamasında belirlenir. Çalışmanın amacı ve kapsamı çalışmanın bütünü dikkate alınarak belirlenmelidir. Ele alınan sistemin kapsamının tanımlanmasında ise incelenen ürün veya süreç için tüm detaylar dikkate alınmalıdır. Sistem kapsamı, çalışmada bulunan süreçlerden hangilerinin dikkate alınacağına belirlenmesidir. Çalışmanın bu basamağında ayrıca bir ürünün işlevinin nicelik olarak belirtilmiş tanımı olan fonksiyonel birim tanımlanmalıdır. Fonksiyonel birim çalışmanın amacına ve kapsamına uygun olarak seçilmelidir. Envanter girdi ve çıktılarına ait akış diyagramları bu sistem kapsamı için fonksiyonel birime göre tasarlanmalıdır (Guinée et al., 2001: 2).

YDA çalışmaları sınıflandırılırken yaşam döngüsü basamaklarının hangilerinin sistem sınırlarına dahil edildiği göz önünde bulundurularak beşikten kapıya, kapıdan kapıya, beşikten beşiğe ve beşikten mezara olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Beşikten mezara şeklinde yaşam döngüsü çalışmaları ürün, süreç ya da hizmetin ham maddenin eldesinden itibaren ortaya çıkan atıkların yok edilmesine kadar tüm yaşam döngüsü basamaklarını kapsamaktadır. Kapıdan kapıya olan çalışmalar ise sadece tek yaşam döngüsü basamağının incelendiği çalışmalardır. Beşikten kapıya olan bir YDA çalışması ise ham madde eldesinden itibaren kullanıcıya kadar olan süreçleri içerir. Atık yönetimi basamağı için yapılan çalışmalar ise beşikten beşiğe olarak isimlendirilir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

2.3.2. Envanter analizi

Envanter analizi aşaması seçilen sistem için yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktılarının derlenmesini içerir. Ürün, süreç ya da sistem tarafından yaşam döngüsü boyunca kullanılan ham madde, enerji, su gibi girdiler ile kullanım sonrası oluşan emisyon, yan ürün, atık gibi çıktıların analiz edildiği aşamadır (Baumann & Tillman, 2004: 19).

2.3.3. Etki analizi

Bu aşamada, envanter analizi ile belirlenen verilerin, çalışmanın amaç ve kapsamına uygun olarak çevresel etki kategorilerine göre incelendiği aşamadır. Etki analizi basamağında çevresel etki kategorileri seçilerek hesaplanır. Etki analizinde yaşam döngüsü envanter değerlendirmesi sonucunda elde edilen enerji, su, ham madde kullanımı verilerine ait oluşabilecek küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik gibi çevresel etki kategorileri değerlendirilir (Guinée et al., 2001: 2)

2.3.4. Sonuçların yorumlanması

YDA metodolojisinin son aşamasında envanter analizinin sonuçları değerlendirilerek sonuçlar yorumlanır. Yaşam döngüsü çevresel etkileri analiz edilen ürün, süreç ya da hizmetin yaşam döngüsü boyunca oluşan en önemli çevresel etkiler değerlendirilerek hangi basamakların bu etkileri oluşturduğu analiz edilmektedir. Ayrıca çevresel sürdürülebilirliği nasıl iyileştirilebileceği bu basamakta tartışılmakta ve bunlar için öneri yapılarak YDA çalışması sonlandırılmaktadır.

2.4. Literatür Taraması

Yaşam döngüsü analizi (YDA) çevresel sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi için çok sık kullanılan bir çevresel etki hesaplama yöntemidir. Ürün veya üretim sistemlerinde bu yöntem kullanılarak yaşam döngüsü boyutunda çevresel etkiler analiz edilerek alternatifler değerlendirilmekte, geliştirme ya da iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

YDA diğer sektörlerde olduğu gibi otomotiv sektöründe de çok sık kullanılan bir çevresel etki değerlendirme yöntemidir. Otomotiv firmaları piyasada bulunan ya da piyasaya yeni sunacakları modelleri için YDA yöntemini kullanarak çevresel etki raporları oluşturup ürünlerinin çevresel sürdürülebilirlikleri konusunda bilgilendirme yapmaktadır. Otomotiv sektöründe yer alan BMW, Fiat, Ford, Honda, Volvo, Volkswagen, Toyota, Peugeot ve Daimler-Chrysler gibi öncü firmaların yeni ve eski otomobil modelleri için beşikten mezara yaşam döngüsü çevresel etkileri sundukları raporlar mevcuttur ve genellikle internet

sitelerinde bu raporları yayınlamaktadırlar. Bu raporlarda ham maddenin elde edilmesi ve işlenmesi, otomobil parçalarının üretilmesi, montajı, otomobilin kullanılması ve hurdaya ayrılmasındaki çevresel etkiler değerlendirilerek her bir otomobil modeli için detaylı çevresel sürdürülebilirlik değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Literatürde ayrıca farklı araç türlerinin karşılaştırıldığı çevresel etki raporları da mevcuttur. Örneğin (Pero, Delogu, and Pierini, 2018: 521) çalışmalarında içten yanmalı motorlu araç ile elektrikli aracın yaşam döngüsü boyutunda çevresel etki değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Her iki otomobil türü için sürülen 150.000 km çalışmanın fonksiyonel birimi olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın sistem sınırları; üretim, kullanım ve kullanım ömrünün sonu olmak üzere beşikten mezara olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar içten yanmalı motorlu araçların asidifikasyon, insan toksisitesi, fotokimyasal ozon oluşturma, abiyotik kaynakların tükenmesi ile partikül madde açısından daha çevreci olduğu bulunurken hesaplanan diğer çevresel etkiler için elektrikli araba daha iyi performans göstermiştir.

Araçların kullanım aşamasından kaynaklanan yoğun çevresel etkilerden dolayı araçların yakıtlarıyla ilgili yapılan yaşam döngüsü boyutundaki çevresel etki çalışmaları da bulunmaktadır. (Boureima et al., 2009: 469) bu konuda yaptıkları örnek çalışmada YDA yaklaşımı ile elektrikli, hibrit, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve benzinli araçların çevresel etkilerini karşılaştırmıştır. Modeller aile arabası kategorisindeki ağırlık, yakıt tüketimi ve emisyon değişimleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Seçilen araç türleri için insan toksisitesi, küresel ısınma potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli yaşam döngüsü boyutunda değerlendirilmiştir. Sonuç olarak LPG'li, hibrit ve elektrikli araçların yaşam döngüsü küresel ısınma potansiyeli benzinli araçlara göre sırasıyla % 20, % 27 ve % 78 daha düşük bulunmuştur. İnsan toksisitesi ve asidifikasyon potansiyeli bakımından elektrikli araçlar en çevreci bulunmuştur.

Literatürde ürün bazındaki yaşam döngüsü analizleri otomobildeki bazı parçalar için detaylı bir şekilde yapılmıştır. Örneğin (Ribeiro, Ferreira, and Partidário, 2007: 336) çalışmalarında mevcut otomotiv fren sisteminin bir parçası olan çok malzemeli bir otomobil bileşeni alternatifleri ile karşılaştırılarak çevresel sürdürülebilirlikleri değerlendirmiştir. (Delogu, Zanchi, Maltese, Bonoli, and Pierini, 2016: 548) kompozit malzeme ile üretilen araç gösterge panellerinin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini yaşam döngüsü boyutunda değerlendirmiştir. Başka bir çalışmada araç kapı panellerinin yaşam döngüsü çevresel etkileri analiz edilmiştir (Puri, Compston, & Pantano, 2009: 420).

Literatür incelendiğinde yaşam döngüsü analizi yönteminin otomotiv sektöründe en fazla kullanıldığı alan araba lastiklerinin çevresel etki değerlendirmesidir. Örneğin (Piotrowska et al., 2019: 4177) çalışmalarında bir otomobil lastiğinin YDA yöntemini kullanarak çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Bir adet otomobil lastiği, fonksiyonel birim olarak kabul edilmiştir. Model için gerekli olan sistem sınırları; üretim, kullanım ve geri dönüşüm aşamalarını kapsamaktadır. Çalışmanın sonucuna göre atmosfer, toprak ve su üzerindeki olumsuz etki ile insan sağlığı, çevre ve doğal kaynaklara olan etkileri de değerlendirilmiştir. Sonuç olarak en fazla etkinin enerji yoğun bir basamak olan üretim basamağından kaynaklandığı bulunmuştur. Otomobil lastiklerinin geri dönüştürülmesi ile çevresel etkilerin azaltılabileceği vurgulanmıştır. Başka bir çalışmada (Shanbag and Manjare, 2020: 22) sadece lastik üretim sürecinin çevresel etkilerini değerlendirmiştir. 50 kg ağırlığındaki tek lastik fonksiyonel birim olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre en fazla çevresel etki, lastik üretimi sırasındaki elektrik kullanımından ve buhar üretiminden kaynaklanmaktadır. Lastik üretim sürecinin bir parçası olarak, mikser bölümü büyük partikül kirleticilerinin oluşuma sebep olmaktadır. Lastik üretiminden yayılan kirleticiler arasında süreçler, başlıca kirleticiler partikül madde, SO₂, NO_x, hidrokarbonlar ve organik kirleticilerdir. Enerji gereksinimini azaltmak için entegrasyonun yükseltilmesine ihtiyaç vardır. Çeşitli lastik tasarım yönlerini içeren mevcut lastik üretim sürecinin azaltılması için alternatif enerji kaynağının belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bazı çalışmalarda ise sadece lastiğin atık yönetimi kısmı için farklı senaryolar hazırlanarak bunlar için çevresel etkiler değerlendirilmiştir (Fiksel et al., 2011: 19; Ortíz-Rodríguez, Ocampo-Duque, & Duque-Salazar, 2017: 2117; Rafique, 2012: 1).

YDA otomotiv sektöründe sık kullanılan bir teknik olmasına rağmen her araçta bulunan paspas ya da araç yer kaplaması konusunda yapılan yaşam döngüsü analizi çalışması literatürde bulunmamaktadır. Otomobil paspasına ait özel bir çalışma olmamasına rağmen yer kaplama konusunda yapılan çalışmalar vardır. (Potting and Blok, 1995: 201) linolyum, laminant, yün ve poliamid yer kaplama alternatiflerinin kullanılması durumundaki yaşam döngüsü çevresel etkilerini karşılatırmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimi 1 m² olarak seçilmiştir. Çalışmanın sınırları ham maddeden başlayarak üretim, kullanım ve kullanım ömrünün sonu basamaklarını içermektedir. Çalışmanın sonucunda çevresel açıdan en sürdürülebilir yer kaplama seçeneğinin linolyum olduğu bulunmuştur. (Gorrée, Guinée, Huppés, and Oers, 2002: 158) ise sadece linolyum yer kaplama için yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliği değerlendirmiştir. Başka bir çalışmada iki yer kaplama malzeme seçeneği

olarak lamine parke ile vinil yer kaplaması için YDA yöntemi ile küresel ısınma, abiyotik kaynakların tükenmesi, insanlar toksisitesi ve asidifikasyon potansiyelleri için etki karşılaştırılması yapılmıştır (Banar & Cokaygil, 2011: 203).

Literatürde kauçuk malzeme ile üretilmiş farklı ürünler için yapılan yaşam döngüsü çalışmaları bulunmuştur. Bu ürünler kauçuk asfalt (Bartolozzi, Antunes, & Rizzi, 2012: 23), eldiven (Poh, Chew, & Tan, 2019: 1771; Usubharatana, 2018: 1639), sünger (Zhao, Liu, Ren, & Zhang, 2018: 991) gibi ürünlerdir. Ayrıca literatürde Tayland'da üretilmekte olan kauçuk ürünlerin yaşam döngüsü çevresel etkilerinin incelendiği bir çalışma da bulunmaktadır (Pyay, Thanungkano, Mungkalasiri, & Musikavong, 2019: 117632) ve bu çalışma kauçuk ürünlerin çevresel sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi konusunda detaylı sonuçları sunmaktadır.

Literatürde kauçuğun yer kaplaması olarak kullanılması durumunda oluşan çevresel etkilerin incelendiği çalışma sayısı sınırlıdır. (Li, Wang, Jin, and Li, 2014: 1833) atık lastiklerden üretilen kauçuk yer kaplama malzemesinin yaşam döngüsü çevresel etkilerini hesaplamıştır. Araç lastiklerinden kauçuk yer kaplamasının üretimi kauçuk tozu hazırlama, devulkanizasyon ve rafine etme olmak üzere üç basamakta incelenmiştir. Çalışmanın kapsamı atık lastiğe uygulanan işlemlerden başlayarak kauçuk yer kaplamanın kullanım ömrü sonuna kadar yani beşikten mezara seçilerek çevresel etkiler hesaplanmıştır. Devulkanizasyon basamağının en yüksek çevresel yüke sahip olduğu ve sistemde yenilenebilir enerji kullanımı ile çevresel yükün %22 oranında hafifletilebileceği sonucu bulunmuştur.

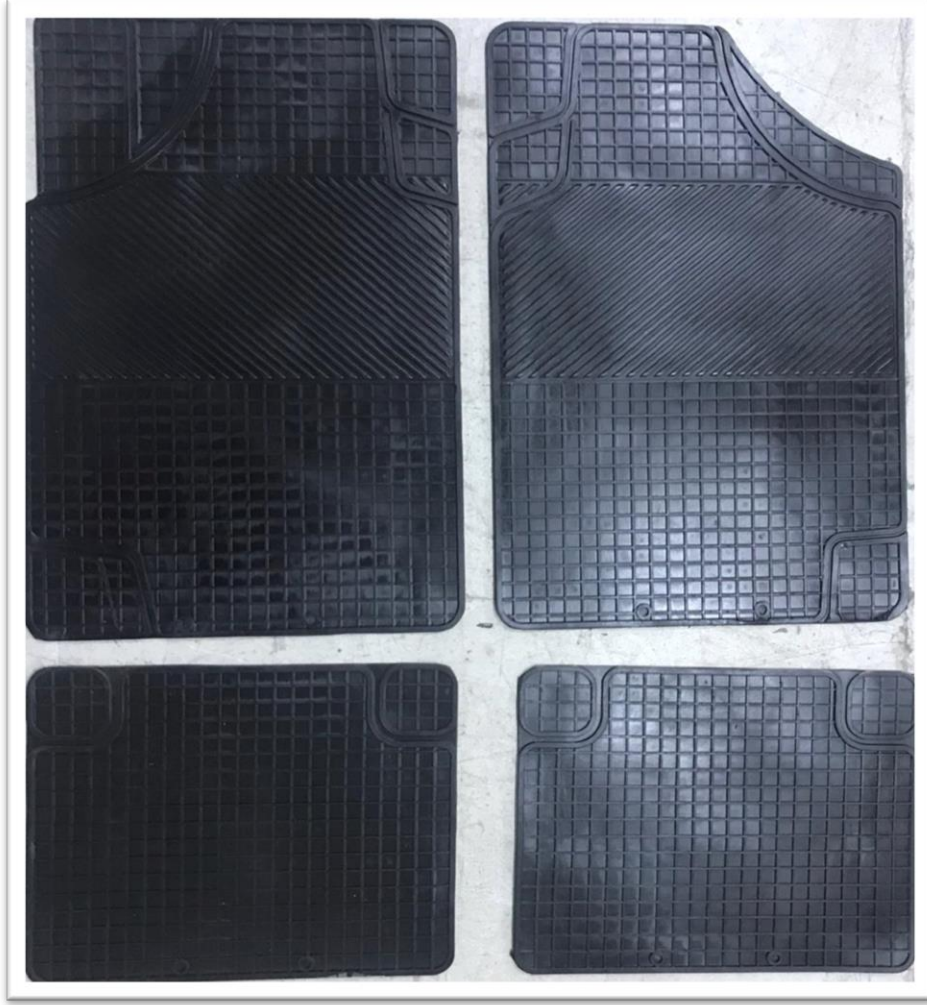
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada otomobil için üretilen paspasın yaşam döngüsü boyutunda çevresel sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Çevresel etki değerlendirmesi için Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) yöntemi kullanılmıştır. Uygulanan bu yöntemde uluslararası kabul gören ISO 14040 ve ISO 14044 standart serisi (ISO, 2006a: 1, 2006b: 1) takip edilmiştir.

3.1. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı otomobil için üretilen kauçuk paspasın çevresel etkilerinin yaşam döngüsü boyutunda incelenmesi ve seçilen ürün için potansiyel iyileştirme fırsatlarının belirlenmesidir. Kauçuk otomobil paspası için üretimde farklı enerji kaynaklarının kullanılması, alternatif ham madde ile paspas üretilmesi ve değişik ham madde ulaşım mesafesi üzerinden hassaslık analizi yapılmıştır. Çalışmada ayrıca kauçuk otomobil paspasının alternatifi olarak kauçuk paspastan sonra en fazla kullanılan halı otomobil paspası için de yaşam döngüsü boyutunda model oluşturularak iki paspas türü için çevresel sürdürülebilirlik karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın fonksiyonel birimi “1 set otomobil paspası” yani 1 adet otomobil için üretilen ön ve arka kısımlarda kullanılan paspas üretimi olarak seçilmiştir. Bu fonksiyonel birim karşılaştırma yapmak ve sonuçları otomobil başına gösterebilmek için tercih edilmiştir. Kauçuk paspasın çalışmamız için seçilen fonksiyonel birimine göre görseli Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu fonksiyonel birime bağlı olarak kauçuk paspas için üretimde ve ambalajlamada kullanılan toplam ham madde miktarı 7,3 kg’dır. Müşteriye gönderilmek üzere ambalajlanarak hazırlanmış olan kauçuk paspasın ağırlığı ise 5,8 kg’dır. Ayrıca çalışmamızda tesisin yıllık toplamsal çevresel etkileri de değerlendirilmiştir. Tesiste üretilen yıllık kauçuk paspas set sayısı yaklaşık olarak 73.250 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Fonksiyonel birim olan 1 set kauçuk paspas

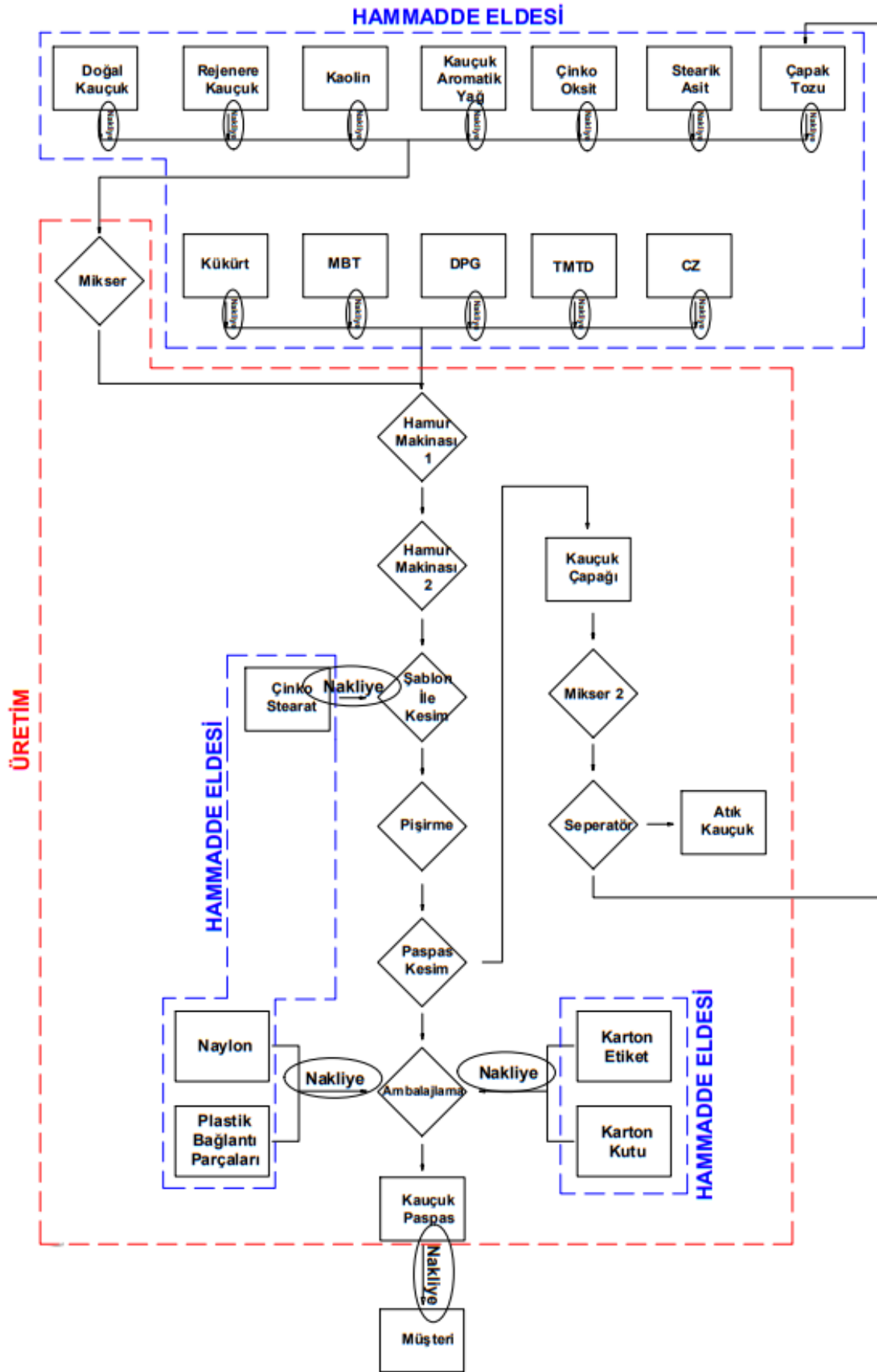
Kauçuk otomobil paspası için yaşam döngüsü basamakları Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Sistem sınırları beşikten kapıya kabul edilerek ham madde elde edilmesi ve işlenmesi, ham madde nakliyesi, ham madde hazırlama, mikser (hamur pişirme), hamur makineleri (hamur karma), şablon ile hamur kesme, pişirme, paspas kesim ile ambalajlama basamaklarından oluşmaktadır. Üretim prosesinde ayrıca çapak tozunun ham madde olarak kullanılması için paspas kesim işleminden sonra ayrılan paspas çapakları sırasıyla; mikser 2 (kırma) ve seperatör (ayırıcı) aşamalarından geçer. Üretim tesisinin inşaatı, kullanım sonrası yıkımı, üretilen ürünün dağıtımı, kullanımı ve kullanım sonrası bertaraf basamakları veri yetersizliğinden dolayı sistem sınırlarına alınamamıştır.

Kauçuk otomobil paspası için belirlenen yaşam döngüsü basamakları temel olarak 3 basamakta toplanmış olup çalışmada bu basamaklara göre etki değerlendirilmesi yapılmıştır. Seçilen ürün için yaşam döngüsü basamakları:

•*Ham madde eldesi aşaması:* Ham maddelerin elde edilmesi ve ham maddelere uygulanan ön işlem süreçlerini içerir.

•*Nakliye aşaması:* Ham maddelerin ve ambalaj malzemelerinin tesise karayolu ve deniz yolu ile nakliyesi ile üretilen paspasın satış noktasına dağıtım süreçlerini kapsamaktadır.

•*Üretim aşaması:* Mikser, hamur makineleri (1 ve 2), şablon ile hamur kesme, pişirme, paspas kesim ve ambalajlama çevresel etkisi bu basamakta verilmiştir.



Şekil 3.2. Kauçuk paspas yaşam döngüsü basamakları

3.2. Veri ve Kabuller

Çalışmada envanter analizi veri toplama, varsayımlar ve hesaplama işlemlerinden oluşmaktadır. Yaşam döngüsü analizi çalışması için kauçuk otomobil paspası seçilmiştir. Bu ürünün alternatifi olan halı otomobil paspası için de yaşam döngüsü boyutunda model oluşturularak bu iki araç paspas türü için çevresel sürdürülebilirlik karşılaştırılması yapılmıştır. Yaşam döngüsü modellemesi için ham madde temin, nakliyesi ve kullanımı, enerji tüketimi, ambalaj temini ve kullanımı ile ilgili tüm veriler Bilecik'te otomotiv sektörü için üretim yapmakta olan bir fabrika tarafından 2019 ve 2020 yılları için sağlanmıştır. Arka plan verisi için Ecoinvent veri tabanı (Ecoinvent, 2010) kullanılmıştır. Tablo 3.1'de kauçuk paspas üretimi için yaşam döngüsü modellemesinde kullanılan ham maddeler ve miktarları verilmiştir.

Tablo 3.1. Kauçuk paspas üretimi için ham madde ve ambalaj malzemesi miktarları

Ürün İsmi	Miktar (gram/1 takım kauçuk paspas)	Oran (%)
Ham Madde		
Doğal Kauçuk	1032	14,64%
Çapak Tozu	1204	17,08%
Kaolin	4350	61,71%
Kauçuk Aromatik Yağ	344	4,88%
Çinko Oksit	43	0,61%
Stearik Asit	14	0,20%
Kükürt	24	0,34%
MBT	3	0,04%
DPG	9	0,13%
TMTD	3	0,04%
CZ	14	0,20%
Çinko Stearat	9	0,13%
Toplam	7049	100,00%
Ambalaj Malzemesi		
Plastik Bağlantı Parçaları	35	15,91%
Naylon	25	11,36%
Karton Etiket	40	18,18%
Karton Kutu	120	54,55%
Toplam	220	100,00%

Kauçuk paspas ürününün tercih edilmesini sağlayan özellikleri dayanıklı, kolay temizlenebilir ve ekonomik olmasıdır. Tüm bu özellikleri sağlamak ve iyileştirmek adına

kauçuk paspas üretilirken kauçuk ham maddenin yanında, bazı katkı malzemeleri de kullanılmaktadır. Kauçuk paspas üretimi için kullanılan ürünlerden kaolin paspas hamuru teknik bir hamur olmadığı için ana bileşen konumundadır. Doğal kauçuk, ürün oluşumunda ana ham maddedir. Çapak tozu proste oluşturan atıklardan gelen geri dönüşüm malzemesidir. Maliyeti düşürmek ve geri dönüşüm malzemelerini değerlendirmek için kullanılır. Kaolin, karbon siyahına nazaran daha büyük tane boyutuna yani daha küçük yüzey alanına sahiptir, bu nedenle takviye edici özellikleri düşük olan bir dolgu malzemesidir. Kaolin düşük maliyetli olduğu için genellikle üretim maliyetini düşürme amaçlı olarak kullanılır. Kauçuk aromatik yağ, polar olmayan mineral yağ çeşididir ve kauçuk mastikasyonunu ve dolgularla kauçukların işlenebilirliğini sağlamak için kullanılır. Çinko oksit, fiziko-mekanik özellikleri artırmak için aktivatör rolünü üstlenir. Stearik asitin birçok işlevi vardır. Kauçuk endüstrisinde kükürt vulkanizasyonu ile aktivatör olarak kullanımının yanı sıra plastifiyan olarak dispersiyon ajanı olarak ve kalıp ve merdanelere yapışma önleyici olarak da kullanılmaktadır. Kauçuğu sertleştirmek için kükürt ile işlem den geçirilir ve bu işlem vulkanizasyon olarak bilinir. Vulkanize kauçuk hem düşük hem de yüksek sıcaklıkta daha iyi esnekliğe sahiptir. Merkaptobenzotiazol (MBT), çok amaçlı bir hızlandırıcıdır. Di propilen glikol (DPG) sıklıkla kullanılan ikincil bir vulkanizasyon hızlandırıcısıdır. Tetrametiltiuramdisülfid (TMTD), ikincil hızlandırıcı olarak kullanılabilir. N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide (CZ) ise yapışma dayanımını artırmak amacı ile kullanılır. Steraik asit, MBT, DPG, TMTD, CZ ve çinko stearat gibi bazı özel katkı maddeleri veri eksikliğinden dolayı ihmal edilerek modele dahil edilememiştir. Tablo 3.1.'de belirtildiği üzere bu maddelerin reçete içerisindeki toplam oranı %1'den küçük olduğu için sonuçlar üzerinde etkisi de bulunmamaktadır.

Kauçuk paspas üretiminde kullanılan ham maddeler üretim tesisine deniz ya da kara yoluyla taşınmaktadır. Doğal kauçuk deniz (konteynır) ve karayolu taşımacılığı ile yurtdışından üretim tesisine getirilmektedir. Kaolin, kauçuk aromatik yağ, çinko oksit ve kükürt ise yurtiçindeki tedarikçilerden 22 tonluk karayolu tır taşımacılığıyla tedarik edilmektedir. Kauçuk paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelere ait üretim tesisine ulaştırma ile ilgili detaylı veriler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kauçuk paspas üretimine ait ulaşım verileri

Ürün İsmi	Nakliye Türü	Mesafe (km)
Ham Madde		
Doğal Kauçuk	Karayolu	222
	Denizyolu	10.000
Kaolin	Karayolu	309
Kauçuk Aromatik Yağ	Karayolu	390
Çinko Oksit	Karayolu	128
Kükürt	Karayolu	128
Ambalaj Malzemesi		
Plastik Bağlantı Parçaları	Karayolu	250
Naylon	Karayolu	250
Karton Etiket	Karayolu	30
Karton Kutu	Karayolu	30

Tesise getirilen ham maddeler ve ambalajlama malzemeleri depoya alınır ve sonrasında ihtiyaç durumuna göre mikserin orada bulunan kauçuk ham maddeleri kısmına aktarılır. Burada formüle uygun olarak tartımları gerçekleşir. Mikser adı verilen makineye ilk olarak doğal kauçuk ve çapak tozu konulur ve yaklaşık 1,5 dakika karıştırılır daha sonra kaolin, kauçuk aromatik ve çinko oksit eklenir ve yaklaşık 60-70 °C’de 12-15 dakika arası karıştırılır ve elde edilen karışım Mil-1 adı verilen makinede (Hamur makinesi-1) kalın bir şekilde çekilir. Bu işlem gerçekleşirken önce 1 dakika boyunca sadece mikserden gelen karışım karıştırılır. Sonrasında pişirici olan kükürt ve son kademe kimyasalları eklenir ve yaklaşık 15 dakika boyunca homojen bir karışım olana kadar karıştırılır. Mil-2’de (Hamur makinesi-2) 0,5 mm kalınlıkta bir hamur elde edilir. Kartondan hazırlanmış olan ve pişirme kalıplarına uygun olan şablonlar ve maket bıçağı yardımı ile hamur kesilir ve bu parçalar uygun ve teflon kaplı olan kalıplara yerleştirilerek kauçuk preslerinde yaklaşık 3 dakika boyunca 160 °C’de pişirilir. Pişmiş paspas parçaları kalıptan dışarı çıkan kısımları maket bıçağı ile kesilir ve paspas parçaları set oluşturulmak üzere paspas takımlama bölümüne götürülür. Burada ambalaj ürünleri olan plastik bağlantı parçaları, karton paspas etiketi, naylon paspas poşeti ve karton kutu kullanılarak son ürün ambalajlanır ve son ürün halini alır. Üretilen paspasların üretici firmadan alınan bilgi doğrultusunda İstanbul’a dağıtımının yapıldığı varsayımı yapılmıştır.

Tesiste sadece elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Türkiye şebeke elektriğine veriler Ecoinvent veri tabanından sağlanmıştır. Tablo 3.3’te enerji kullanımına ait bilgiler verilmiştir.

Bu bilgiler makinenin toplam gücü, verimi ve makine kullanım süresi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. Kauçuk paspas üretimine ait enerji verileri

Üretim Basamağı	Enerji Tüketimi (kWh/1 takım kauçuk paspas)
Mikser-1	1,89
Hamur Makinesi-1	0,77
Hamur Makinesi-2	0,42
Pres	1,20
Mikser-2	0,37
Toplam	4,65

3.1.1. Hassaslık Analizi

Hassaslık analizi verideki değişkenliğin ya da belirsizliklerin çalışma sonunda elde edilen çevresel etkileri nasıl etkilediğini belirlemeye yarayan ve çalışmanın sonuçlarının güvenilirliğini ortaya çıkaran analizdir. Çalışmada kauçuk otomobil paspasına ait elde edilen sonuçlardaki belirsizliği daha iyi anlamak için hassasiyet analizi ile belirlenen koşullar için yaşam döngüsü çevresel etkiler tekrar hesaplanmıştır.

Firmadan alınan bilgiler doğrultusunda ham madde taşınmasında mesafe değişimi, doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk girdisi, enerji kaynağı olarak rüzgar veya güneş enerjisinin kullanımı için modeller oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçların belirlenen durumlar için veri değişiminden etkilenip etkilenmediğini değerlendirmek amacıyla sonuçlar mevcut durumu gösteren ana model ile karşılaştırılmıştır. Hassasiyet analizi ile değerlendirilen senaryolar aşağıda açıklanmıştır:

a. Ulaşım değişikliği

Oluşturulan ana modelde Tablo 3.2.'de belirtildiği gibi doğal kauçuğun deniz ve karayolu taşımacılığı ile yurtdışından üretim tesisine getirildiği durum için çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Üretici firmadan elde edilen bilgiler doğrultusunda doğal kauçuk teminindeki alternatif rotalar değerlendirilmiştir. Ulaşım mesafesinin değiştiği bu senaryoda doğal kauçuğun ülke içerisinde temin edildiği durum için model oluşturulmuştur. Doğal kauçuğun ulusal tedarikçisinden kara yolu ile 400 km taşınarak üretim tesisine geldiği durum için yaşam döngüsü çevresel etkiler değerlendirilmiştir.

b. Sentetik kauçuk kullanımı

Tesiste kauçuk otomobil paspas üretiminde genellikle doğal kauçuk kullanılırken bazı durumlarda da tesiste sentetik kauçuk kullanılması ile otomobil paspası üretimi gerçekleştirilmektedir. Kauçuk üretimindeki bu ham madde değişimin çevresel etkileri nasıl değiştirdiğini değerlendirmek için oluşturulan senaryoda yaşam döngüsü modelinde üretimin doğal kauçuk sentetik kauçuk kullanılarak gerçekleştirildiği durum değerlendirilmiştir.

c. Rüzgar enerjisi

Oluşturulan ana modelde enerji kaynağı olarak Türkiye'deki şebeke elektriği kullanılmıştır. Çevresel etkiler incelendiğinde üretimdeki elektrik tüketiminin etki faktörlerinin en önemli bileşeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu faktörün yaşam döngüsü çevresel etkileri nasıl etkilediğini göstermek amacıyla Türkiye şebeke elektriği yerine ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişime sahip olan ve en fazla yatırım yapılan rüzgar enerjisi kullanıldığı durum için model oluşturulmuştur.

Modelde tesise elektriğin karada kurulu olan 2MW kapasiteli rüzgar türbinleri ile sağlandığı durum değerlendirilmiştir. Rüzgar türbinlerinin üretimi, nakliyesi, kurulumu, işletimi ve yıkılması basamakları modele dahil edilmiştir. Türkiye'deki rüzgar türbinleri ile elektrik üretimine için oluşturulan modele ait sonuçlar (Atilgan and Azapagic, 2016: 649) çalışması temel alınarak sağlanmıştır.

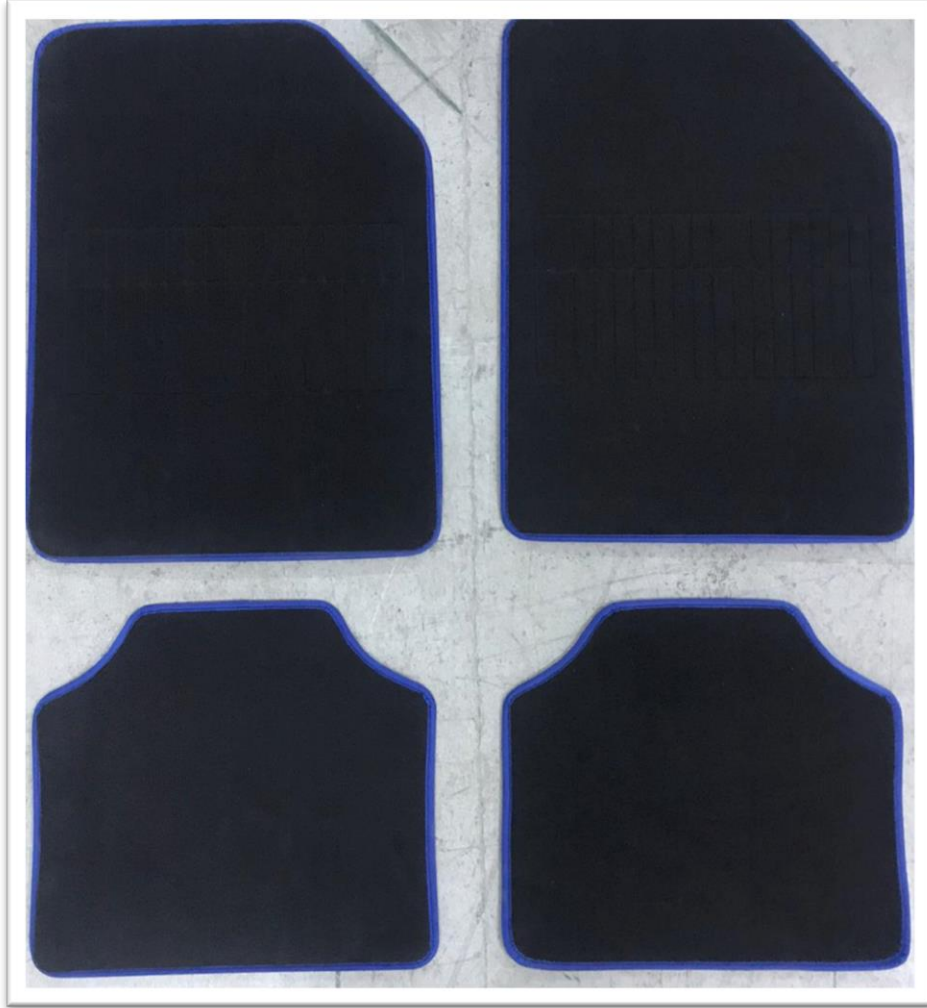
d. Güneş enerjisi

Bu senaryoda fabrikanın çatısına yerleştirilen güneş panelleri ile tesise elektrik sağlandığı varsayılarak güneş enerjisi modeli oluşturulmuştur. Çatı tipi güneş enerji sistemine ait veriler Ecoinvent veri tabanından sağlanmıştır. Bu modelde güneş enerjisi ile üretilen elektriğin kauçuk otomobil paspas üretimine kullanılmasının çevresel etki değerlerine olan etkisi değerlendirilmiştir.

3.1.2. Halı Paspas

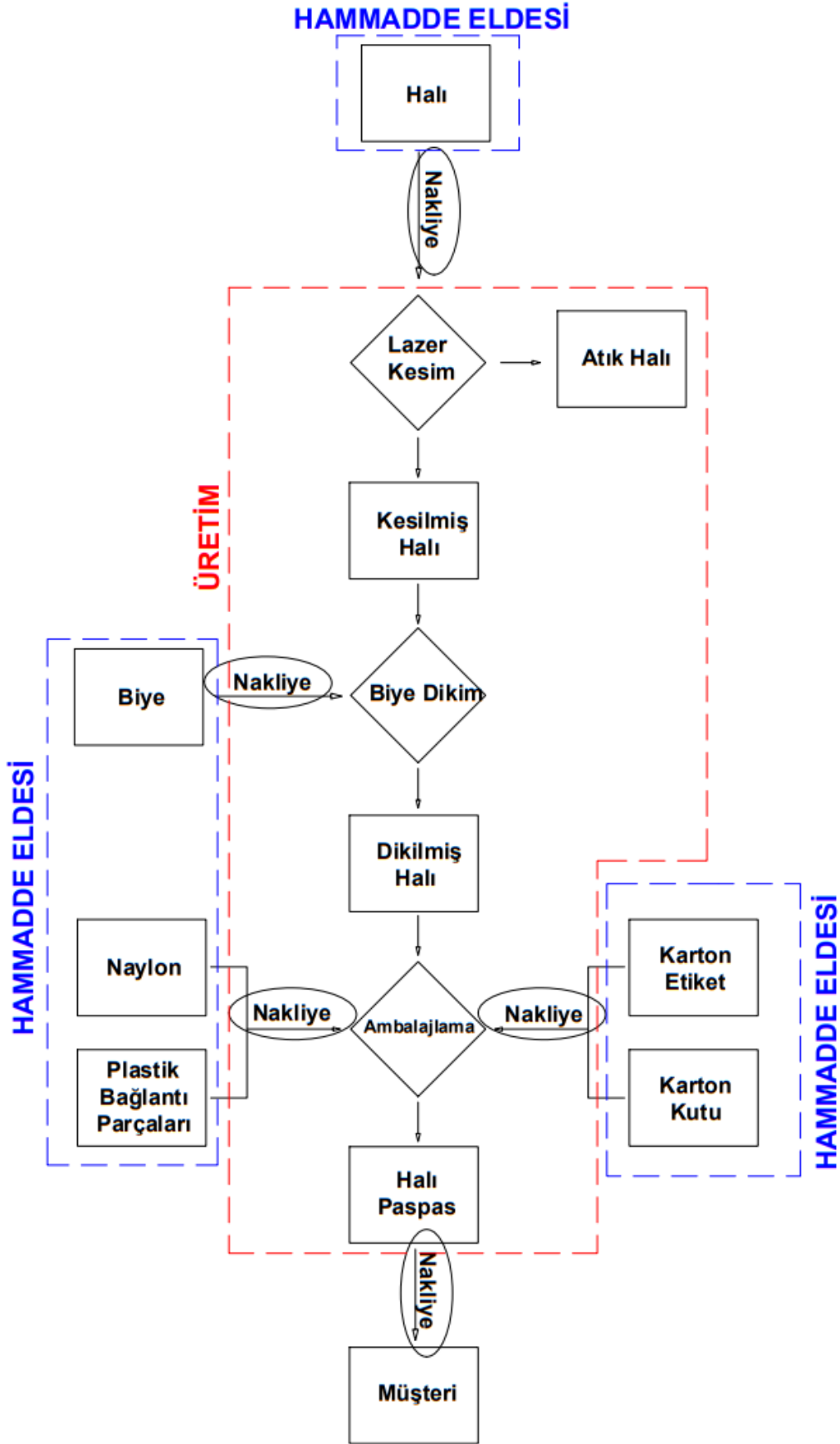
Yapılan çalışmada kauçuk otomobil paspasının alternatifi olan halı otomobil paspası için model oluşturularak bu iki paspas türü için çevresel sürdürülebilirlik karşılaştırılması yapılmıştır. Halı otomobil paspası yaşam döngüsü modellemesi için ham madde, nakliye ve üretimi ile ilgili tüm veriler Bilecik'te otomotiv sektörü için üretim yapmakta olan bir fabrika tarafından 2019 ve 2020 yılları sağlanmıştır. Halı paspas için üretimde ve ambalajlamada

kullanılan toplam ham madde miktarı 2,9 kg'dır. Müşteriye gönderilmek üzere hazırlanmış olan halı paspasın ağırlığı ise 2,2 kg'dır. Halı paspasa ait detaylar Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Fonksiyonel birim olan 1 set halı paspas

Halı otomobil paspası için yaşam döngüsü basamakları Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Sistem sınırları beşikten kapıya kabul edilerek ham madde elde edilmesi ve işlenmesi, nakliye, ham madde hazırlama, lazer kesim, biye dikimi ile ambalajlama basamaklarından oluşmaktadır. Üretim tesisinin inşaatı, kullanım sonrası yıkımı, üretilen ürünün dağıtımını, kullanımı ve kullanım sonrası bertaraf basamakları veri yetersizliğinden dolayı sistem sınırlarına alınamamıştır. Kauçuk paspas ve halı paspas için toplam etkiler değerlendirilmiş olup halı paspas yaşam döngüsü basamakları için bir sınıflandırma yapılmamıştır.



Şekil 3.4. Halı paspas yaşam döngüsü basamakları

Tesise getirilen %100 polipropilen iplikten imal edilmiş rulo halde alınan halı paspas ham maddeleri, paspasın etrafında biye olarak kullanılmak üzere alınan kumaşlar ve ambalaj malzemeleri halı paspas imalatı bölümüne taşınır. Halı paspas lazer kesim tezgahında kesilmeye uygun olacak şekilde 100x120 cm ölçülerinde kumaş kesim motoru ile kesilir. Kesilen parçalar lazer kesim makinesinin tezgahına konular daha önceden hazırlanan paspas takımı çizimine uygun olarak kesim tezgahında istenilen güç, hız ve lazer başlık yüksekliği ayarlanarak lazer kesim işlemi gerçekleştirilir. Lazer kesim tezgahında kesilmiş olan halı paspas parçaları etrafına biye diye adlandırılan kumaş parçaları dikilmesi için halı paspas dikim kısmına aktarılır. Halı paspaslar dikiş makineleri ile etrafına biye ile dikilerek birleştirilir ve artık son proses olan paspas ambalajlama kısmına aktarılır. Ambalajlama kısmında ise plastik bağlantı parçaları, karton etiket ve naylon ambalaj halı paspasa ilave edilir son olarak karton kutuya konular ve son ürün halini alır ve depoya gönderilir. Üretilen paspasların firmadan alınan bilgi doğrultusunda İstanbul'a dağıtımının yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Tablo 3.4'te halı paspas üretimi için gerekli olan ham maddeler ve miktarları hakkında bilgiler sunulmuştur.

Tablo 3.4. Halı paspas üretimi için ham madde miktarları

Ürün İsmi	Miktar (gram/1 takım halı paspas)	Oran (%)
Ham Madde		
Halı	2.612	99,20%
Kumaş ve İplik	21	0,80%
Toplam	2.633	100,00%
Ambalaj Malzemesi		
Plastik Bağlantı Parçaları	35	15,91%
Naylon	25	11,36%
Karton Etiket	40	18,18%
Karton Kutu	120	54,55%
Toplam	220	100,00%

Halı paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddeler ve ambalaj malzemelerinin üretim tesisine ulaştırılması ile ilgili detaylı veriler Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Halı paspas üretimine ait ulaşım verileri

Ürün İsmi	Nakliye Türü	Mesafe (km)
Ham Madde		
Halı	Karayolu	222
Kumaş	Karayolu	1.000
Ambalaj Malzemesi		
Plastik Bağlantı Parçaları	35	250
Naylon	25	250
Karton Etiket	40	30
Karton Kutu	120	30

Tesiste sadece elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Oluşturulan yaşam döngüsü modelinde Türkiye şebeke elektriği kullanılmıştır. Tablo 3.6’da halı paspas imalatındaki enerji kullanımına ait bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler makinenin toplam gücü, verim ve makine kullanım süresi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.6. Halı paspas üretimine ait enerji verileri

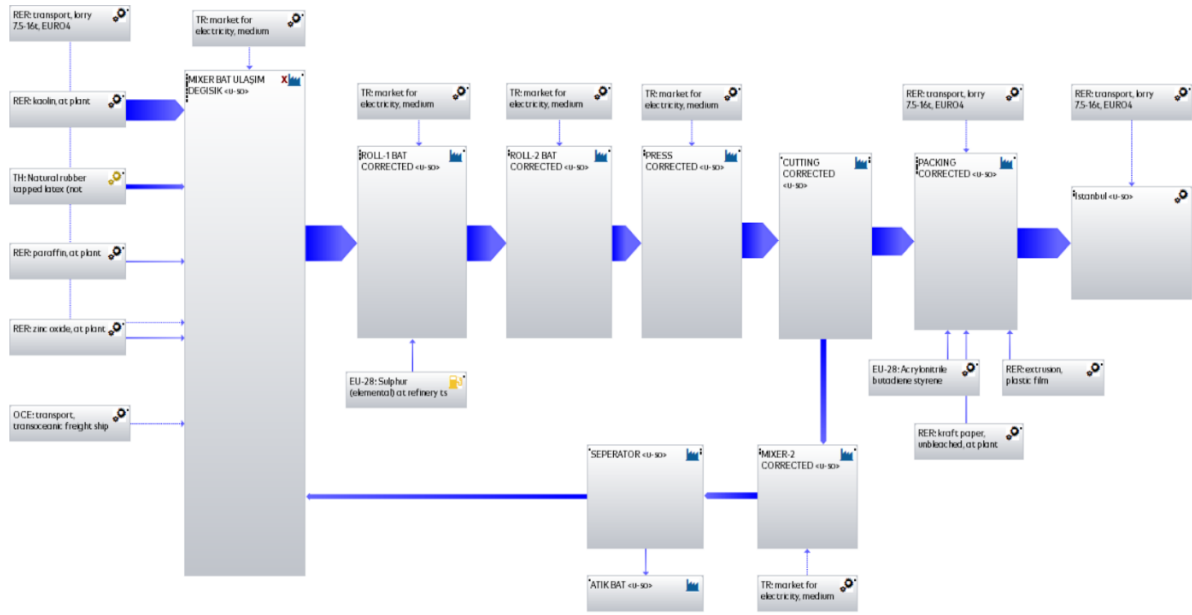
Üretim Basamağı	Enerji Tüketimi (kWh/1 takım halı paspas)
Lazer Kesim Makinesi	0,040
Lazer Kesim Tüpü	0,003
Dikiş Makinesi	0,022
Toplam	0,065

3.3. Etki Analizi

Otomobil paspası yaşam döngüsü analizi, Bilecik’te otomotiv sektörü için üretim yapmakta olan bir fabrikanın 2019-2020 yılları için ham madde temini, üretim ve nakliye verileri alınarak GaBi v.9.5 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan GaBi programı Almanya’da bulunan Thinkstep firması tarafından geliştirilmiş olup 25 yıldır kullanılmakta olan evrensel bir yaşam döngüsü analizi aracıdır. GaBi programı ürünlerin yaşam döngüsü boyutunda sürdürülebilirlik analizi için bilgi yönetimi model oluşturulması ve etkilerin hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu program sera gazlarının hesaplanması, yaşam döngüsü analizi, çevre tasarımı, enerji tasarrufu, çevresel raporlar, maliyet hesabı ve yeşil üretim gibi alanlarda çözüm sunmaktadır. GaBi yaşam döngüsü analizinde kullanılan ürünlerin yaşam döngüsü süreçlerinde kullanılan girdi ve çıktılarının çevresel etki potansiyellerini değerlendirmeye yardımcı olan çok geniş veri tabanını sağlamaktadır.

Şekil 3.5'te GaBi yazılımı ile oluşturulan modellerden birinin örnek görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3.5. GaBi yazılım ile oluşturulan örnek model görüntüsü

3.3.1. Çevresel Etki Kategorilerinin Hesaplanması

Etki analizi basamağında paspas üretim YDA çalışmasının çevresel etki sonuçları CML-IA metodu (CML, 2017) ile hesaplanmıştır. Çalışmada toplam 11 adet çevresel etki kategorisi için değerlendirilmiştir.

Yaşam döngüsü basamakları proseslerden oluşmaktadır. Her proseste girdi ve çıktı akışları bulunmaktadır. Proseslerin girdi akışlarının belirlenen karakterizasyon faktörü ile çarpılmasıyla prosese ait etki bulunmaktadır. Proseslerin etkilerinin toplanması ile de sisteme ait toplam etki değeri elde edilmektedir. Bu çevresel etki kategorilerine ait örnek hesaplama Ek-1'de gösterilmiştir.

Hesaplanan abiyotik tükenme potansiyelleri (element ve fosil için) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Abiyotik Kaynakların Tükenme Potansiyeli} = \sum_j^J a_j \times A_j \quad (3.1)$$

a_j – j elementi ya da j fosil enerji kaynağı için abiyotik tükenme potansiyeli

B_j – j elementi ya da j fosil enerji kaynağının kullanım miktarı

J – toplam element ya da fosil enerji kaynağı sayısı

Hesaplanan abiyotik kaynakların tükenmesi (element ve fosil) dışındaki diğer 9 çevresel etki kategorisi için hesaplama aşağıda belirtilen denkleme göre yapılmıştır.

$$\text{Toplam Çevresel Etki} = \sum_j^J b_j \cdot B_j \quad (3.2)$$

b_j – j gazının emisyon faktörü

B_j – j gazının emisyon değeri

J – toplam gaz sayısı

3.3.2. Çevresel Etki Kategorileri

Etki analizi basamağında paspas üretim YDA çalışmasının çevresel etki sonuçları CML-IA metodu (CML, 2017) ile hesaplanmıştır. Çalışmada toplam 11 adet çevresel etki kategorisi için değerlendirilmiştir. Bu çevresel etki kategorileri aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

a. Abiyotik Kaynakların Tükenmesi Potansiyeli (ADP)

Bu çevresel etki kategorisi metal ve mineral cevherleri gibi cansız yani abiyotik kaynakların tükenmesi anlamına gelir. Abiyotik kaynakların tükenmesi element şeklinde de isimlendirilen bu etki kategorisi küresel boyutta incelenir. Abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli, antimon (Sb) eşdeğeri cinsinden ölçülür (Azapagic, 2010: 56; Baumann & Tillman, 2004: 73).

b. Abiyotik Kaynakların Tükenmesi Potansiyeli Fosil (ADP fosil)

Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların doğal rezervleri sınırlıdır ve aşırı tüketimleri kıtlıklarına yol açmaktadır. Bu etki kategorisi fosil yakıtların tükenmesi potansiyelini ölçer ve MJ eşdeğeri olarak ifade edilir (Baumann & Tillman, 2004: 73).

c. Asidifikasyon Potansiyeli (AP)

Bu etki kükürt dioksit SO₂, azot oksit (NO), hidroklorik asit (HCl) ve hidrojen florür (HF) gibi asitli bileşiklerin toprak, su, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler üzerindeki zararı inceler ve SO₂ eşdeğeri olarak hesaplanır. Asit yağmuru en yaygın asitleşme türüdür (Baumann & Tillman, 2004: 73).

d. Ötrofikasyon Potansiyeli (EP)

Ötrofikasyon besin maddesi artması olarak tanımlanır. Toprağa çok fazla gübre atılması, tatlı su ya da denize çok fazla kontrolsüz olarak atık bırakılması sonucunda hızlı biyokütle artışı ile birlikte canlı formlarına zarar verir. Bu çevresel etki kategorisi azot ve fosfor gibi besin maddelerinin, bitki gelişiminde çok fazla uyarılması ile toprağa veya suya etkisini ölçer ve PO_3 fosfat eşdeğerleri şeklinde ifade edilir (Azapagic, 2010: 56).

e. Tatlı Su Ekotoksitesitesi Potansiyeli (FAETP)

Bu kategori, tatlı su kaynaklarını inceler ve birimi 1,4-diklorobenzen (DCB) eşdeğeridir. Toksik olarak kabul edilen maddelerin havaya, suya veya toprağa karışımı sonucu tatlı su kaynaklarında meydana gelen etki bu kategoride incelenmektedir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

f. Küresel Isınma Potansiyel (GWP):

Küresel ısınma, atmosfere salınan sera gazının artması sebebiyle atmosferin ısınmasıdır. Karbondioksit (CO_2) temel sera gazıdır, bunu metan (CH_4), su buharı ve azot oksit (N_2O) takip eder. Küresel ısınmaya en fazla neden olan etken fosil yakıt kullanımındır. Bu etki kategorisinin hesaplama sonucu CO_2 eşdeğeridir (Azapagic, 2010: 56; Baumann & Tillman, 2004: 73).

g. İnsan Toksisitesi Potansiyeli (HTP):

Kimyasalların çevreye salımı sonucu insan sağlığı üzerinde yarattığı toksik etkiyi inceleyen çevresel etki kategorisidir. Birimi DCB eşdeğeridir (Azapagic, 2010: 56; Baumann & Tillman, 2004: 73).

h. Deniz Suyu Ekotoksitesitesi Potansiyeli (MAETP):

Zehirli maddelerin deniz ekosistemine olan etkisini inceler. Bu potansiyel DBC eşdeğeri olarak ifade edilmektedir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

i. Ozon Tabakasının Tükenmesi Potansiyeli (ODP):

Ozon tabakasının tükenmesi potansiyeli kloroflorokarbonlar (CFC) gibi bazı kimyasalların atmosfere salımı sonucu stratosferdeki ozon miktarının azalmasını değerlendirir. Ozon tabakasının incelenmesi, güneşten gelen ışınların yüzeye daha yoğun gelmesine neden olmaktadır. Bu çevresel etki kategorisi trikloroflorometan (R11) eşdeğeri olarak ifade edilmektedir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

j. Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP):

İnsan sağlığına ve ekosisteme zarar veren ozon gibi reaktif maddelerin oluşumu potansiyelidir. Oluşan bu maddeler genel olarak bitkilere ve insanlara zarar vermektedir. Bu etki kategorisi etilen (C₂H₄) eşdeğeri olarak ifade edilmektedir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

k. Kara Ekotoksitesite Potansiyeli (TETP):

Karasal ekotoksitesite, karasal ekosistemler üzerindeki toksik maddelerin etkileri anlamına gelir. Bu çevresel etki kategorisi DCB eşdeğeri olarak verilmektedir (Baumann & Tillman, 2004: 19).

3.4. Sonuçların Yorumlanması

Çalışmanın bu basamağında etki analizi sonucunda elde edilen sonuçlar bu basamakta değerlendirilmiş olup etkilerin en fazla geldiği kaynaklar bulunmuştur. Kauçuk otomobil paspası için farklı ham madde kullanımı ve ham madde nakliye mesafesi üzerinden hassaslık analizi de yapılmıştır. Ayrıca kauçuk paspas ile halı paspasın yaşam döngüsü çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmamıza ait bulgular Bölüm 4'te sunulmuştur.

4. BULGULAR

Otomobil paspasları için yaşam döngüsü modellemesi, otomobil parçaları üretimi yapmakta olan bir fabrikanın 2019-2020 yılı verileri ile hazırlanmıştır. Ana model oluşturulurken otomobil paspası için GaBi v.9.5 yazılımı ile oluşturulan çevresel etki modelinin yaşam döngüsü basamakları fabrikanın kauçuk paspas ürününe ait yaşam döngüsü basamakları ve üretim hattı akış şeması kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada hesaplanan çevresel etki kategorileri yaşam döngüsü analizi sonuçlarının daha kolay anlaşılabilmesi için ham madde temini, ham madde nakliyesi ve otomobil paspası üretim basamakları için toplam çevresel etkiler sunulmuştur.

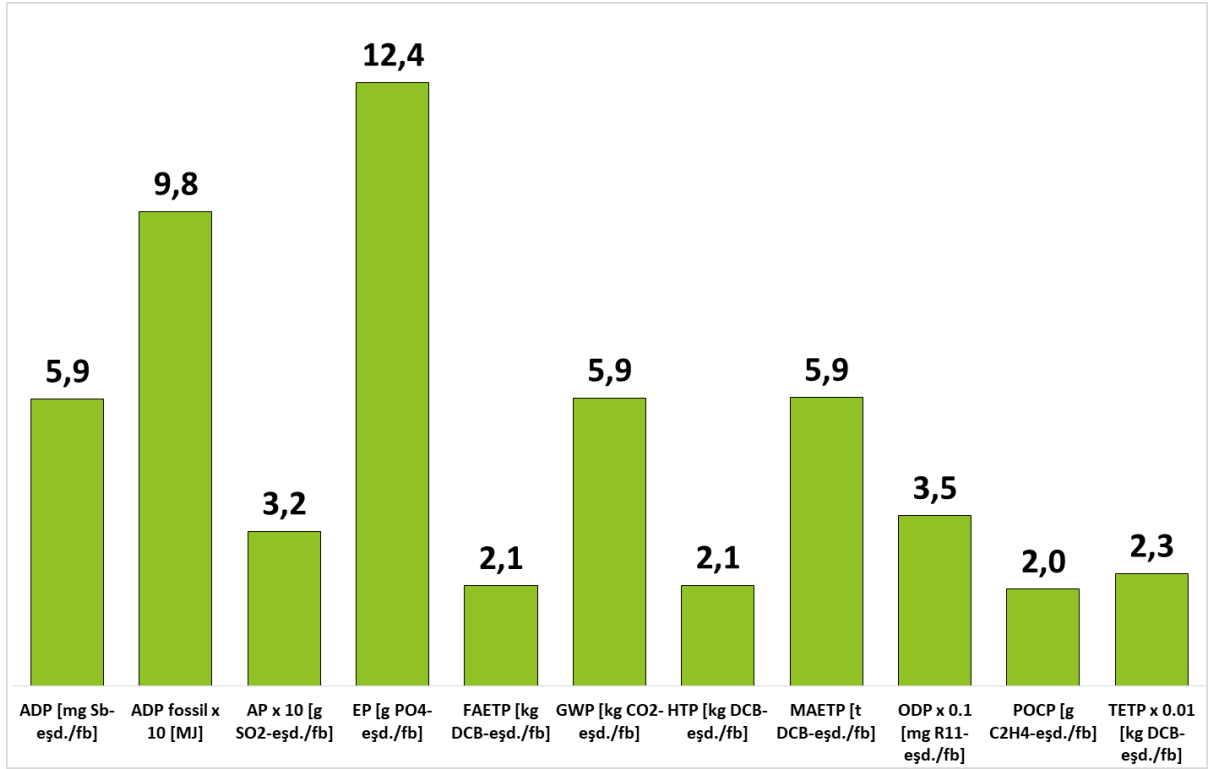
Çalışmada kauçuk otomobil paspasına ait elde edilen sonuçlardaki belirsizliği daha iyi anlamak için hassasiyet analizi ile ham madde taşınmasında mesafe değişimi, doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk girdisi, enerji kaynağı olarak rüzgar veya güneş enerjisinin kullanımı için modeller oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar mevcut durumu gösteren ana model ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kauçuk paspasın alternatifi olan halı otomobil paspası için de yaşam döngüsü modeli oluşturularak iki paspas türüne ait çevresel etkiler karşılaştırılmıştır.

Etki analizi basamağında otomobil paspası YDA çalışmasının çevresel etki sonuçları CML-IA metodu (CML, 2017) ile hesaplanmıştır. Çalışmada hesaplanan 11 çevresel etki kategorisi değerlendirilmiştir. Bütün sonuçlar çalışmanın fonksiyonel birimi olan 1 set otomobil paspası temel alınarak açıklanmıştır.

4.1 . Kauçuk Otomobil Paspası Yaşam Döngüsü Çevresel Etkileri

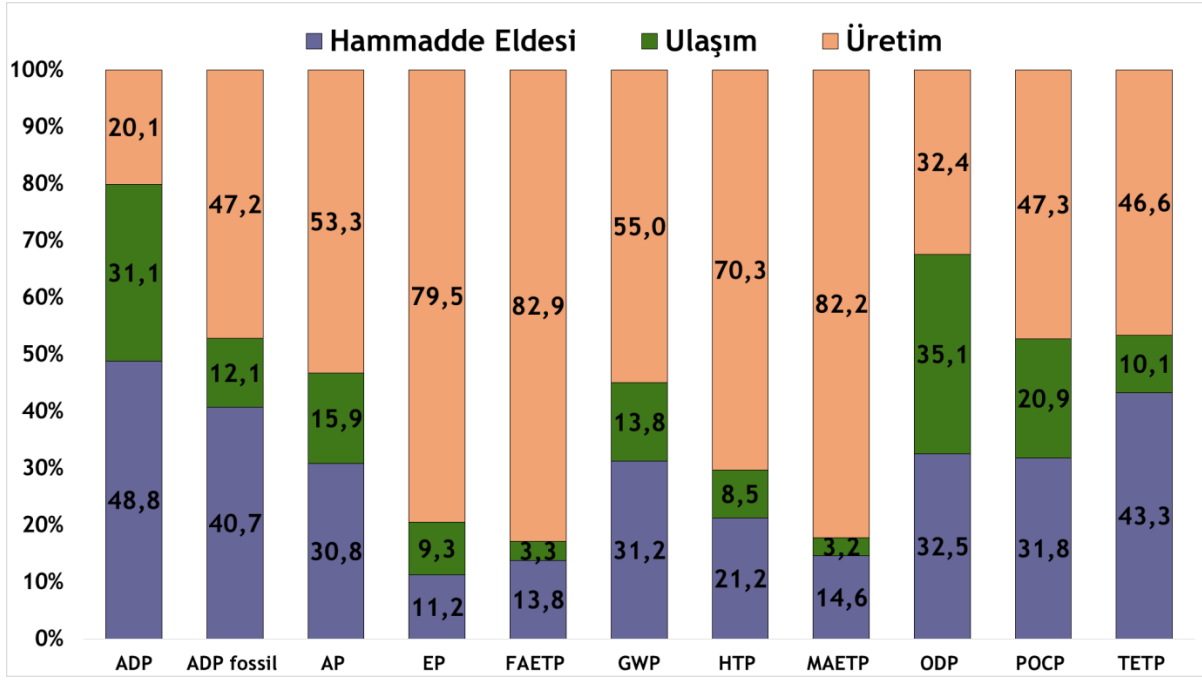
Otomobillerde en fazla kullanılan paspas türü olan kauçuk paspasın yaşam döngüsü çevresel etkileri bu kısımda değerlendirilmiştir. Etki analizi ile elde edilen çevresel etki sonuçlarının detaylı olarak her bir yaşam döngüsü basamağı ve üretim basamağı için değerlendirilmesi aşağıdaki kısımlarda fonksiyonel birime bağlı olarak verilmiştir.

Fonksiyonel birimimiz olan 1 set kauçuk otomobil paspası için toplam çevresel etki değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Yaşam döngüsü basamakları olarak belirlenen ham maddelerin elde edilmesi ve işlenmesi, ham maddelerin ve ürünün nakliyesi ile paspas üretimi aşamalarında açığa çıkan çevresel etki sonuçları Şekil 4.2 ve paspas üretim sürecinden gelen çevresel etkinin üretim basamaklarına göre dağılımı Şekil 4.3'te verilmiştir.

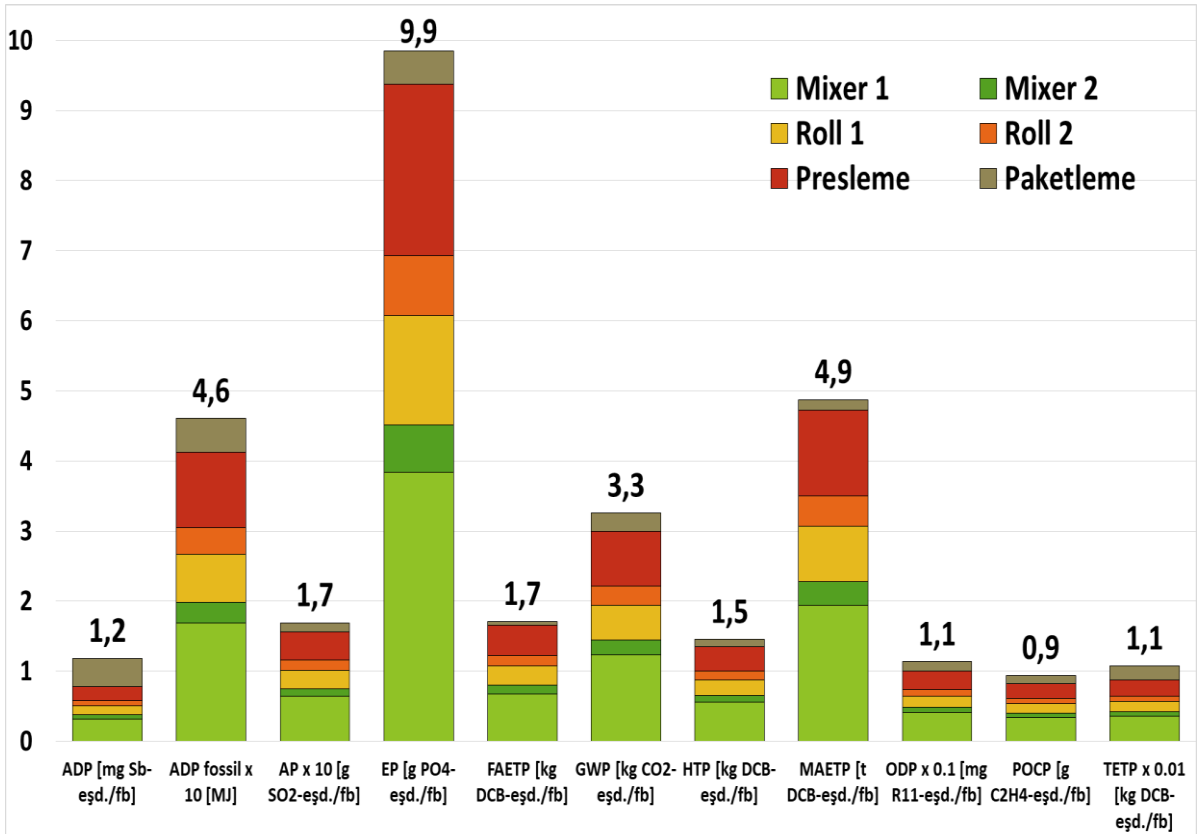


Şekil 4.1. Kauçuk otomobil paspasının yaşam döngüsü çevresel etkileri

(Çevresel etki sonuçları ölçeklendirilmiştir. fb: Fonksiyonel birim, ADP: Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil olmayan, ADP fosil: Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil, AP: Asidifikasyon potansiyeli, EP: Ötrofikasyon potansiyeli, FAETP: Tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli, GWP: Küresel ısınma potansiyeli, HTP: İnsan toksitesitesi potansiyeli, MAETP: Deniz suyu ekotoksitesitesi potansiyeli, ODP: Ozon tabakası tükenmesi potansiyeli, POCP: Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, TETP: Kara ekotoksitesitesi potansiyeli)



Şekil 4.2. Kauçuk otomobil paspası çevresel etkilerinin yaşam döngüsü basamaklarına göre dağılımı.



Şekil 4.3. Kauçuk paspas üretim aşamalarının çevresel etki kategorilerine göre dağılımı

(Çevresel etki sonuçları ölçeklendirilmiştir. fb: Fonksiyonel birim)

4.1.1. Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil olmayan (ADP)

1 set kauçuk paspas için abiyotik kaynakların tükenmesi fosil olmayan potansiyeli toplam 5,9 mg Sb eşdeğeri (Şekil 4.1) olarak hesaplanmıştır. Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil olmayan oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü %48,8 ile ham madde eldesidir. Ham madde eldesi basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin ulaşımına (%31,1) aittir. En düşük etki ise paspas üretim basamağı olup toplam etkinin %20,1'i bu basamaktan gelmektedir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %34,1'i paketlemeden gelirken %31,7'si karıştırıcılardan ve %17,1'i presleme basamaklarından kaynaklanmaktadır.

4.1.2. Abiyotik kaynakların tükenmesi fosil (ADP fosil)

Çalışmamızın fonksiyonel birimi için toplam abiyotik kaynakların tükenmesi fosil potansiyeli 9,8 MJ (Şekil 4.1) olarak hesaplanmıştır. Bu çevresel etki kategorisine en fazla etkisi olan yaşam döngüsü basamağı paspas üretim basamağı olup toplam etkinin %47,2'si bu basamaktan gelmektedir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %43,1'i karıştırıcılardan gelirken %23,2'si preslerde ve %23,1'i hamur makineleri basamaklarından kaynaklanmaktadır. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin elde edilmesi (%40,7) basamağıdır. En düşük etki ise %12,1 ile ulaşım basamağıdır.

4.1.3. Asidifikasyon potansiyeli (AP)

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, 1 set kauçuk paspas için hesaplanan asidifikasyon potansiyeli toplam 3,2 g SO₂ eşdeğeridir. Asidifikasyon oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü basamağı paspas üretim (%53,3) basamağıdır. Üretim basamağından gelen toplam etkinin %44,5'i karıştırıcılarda kaynaklanmaktadır, Şekil 4.2. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin elde edilmesi (%30,8) basamağıdır.

4.1.4. Ötrofikasyon potansiyeli (EP)

Toplam ötrofikasyon potansiyeli 12,4 g PO₄ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Ötrofikasyon oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü basamağı paspas üretim basamağı olup toplam etkinin %79,5'i bu basamaktan gelmektedir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %45,8'i karıştırıcılardan gelirken %24,8'i

preslerden ve %24,6'sı hamur makineleri basamaklarından kaynaklanmaktadır. En fazla etkinin geldiği bir diğer basamak ise ham maddelerin elde edilmesi (%11,2) basamağıdır.

4.1.5. Tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli (FAETP)

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi toplam tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli 2,1 kg DCB eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Tatlı su ekotoksitesitesi oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü basamağı üretim (%82,9) kısmıdır. Üretim basamağından gelen toplam etkinin %46,7'si karıştırıcılardan, %25,3'ü preslerden ve %25,1'i hamur makinelerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi ham maddelerin elde edilmesi ve ulaşım basamakları sırasıyla %13,8 ve %3,3 oranında etkilemektedir.

4.1.6. Küresel ısınma potansiyeli (GWP)

1 set kauçuk paspas için küresel ısınma potansiyeli toplam 5,9 kg CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır, Şekil 4.1. Karbon ayak izi oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü basamağı paspas üretim basamağı olup toplam etkinin %55,0'ı bu basamaktan gelmektedir. En fazla etkinin geldiği ikinci basamak ise ham maddelerin elde edilmesi (%31,2) basamağıdır. Şekil 4.3'ten görüldüğü üzere üretim basamağından gelen toplam etkiye sebep olan üretim basamakları karıştırıcı (%44,3), pres (%23,9) ve hamur makinaları (%23,8) olmuştur.

4.1.7. İnsan toksisitesi potansiyeli (HTP)

Toplam insan toksisitesi potansiyeli 2,1 kg DCB eşdeğeri (Şekil 4.1) olarak hesaplanmıştır. Toplam etkinin %70,3'ü paspas üretim basamağından gelmektedir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %44,8'i karıştırıcılardan dolayı oluşmaktadır. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği diğer basamak ise ham maddelerin elde edilmesi (%21,2) basamağıdır. En düşük etki ise %8,5 ile ulaşım kısmına aittir.

4.1.8. Deniz suyu ekotoksitesitesi potansiyeli (MAETP)

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi kauçuk paspas yaşam döngüsünün toplam deniz suyu ekotoksitesitesi potansiyeli 5,1 t DCB eşdeğeridir. Bu etkinin oluşumuna en fazla üretim basamağı (%82,2) neden olmaktadır. En düşük etki ise %3,2 ile ulaşım kısmına aittir. Üretim basamağından gelen toplam etkinin %46,7'si tesiste bulunan iki adet karıştırıcıdan gelmektedir. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği ikinci basamak ise paspas ham maddelerinin elde edilmesi (%14,6) basamağıdır.

4.1.9. Ozon tabakası tükenmesi potansiyeli (ODP)

Çalışmamızın fonksiyonel birimi olan 1 set kauçuk paspas için bu etki kategorisi 3,5 mg R11 eşdeğeri (Şekil 4.1) olarak hesaplanmıştır. En fazla etki %35,1 oranıyla ulaşım basamağından kaynaklanmaktadır. Ulaşım basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin elde edilmesi (%32,5) basamağıdır. En düşük etki ise paspas üretim basamağı olup toplam etkinin %32,4'ü bu basamaktan gelmektedir. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %42,5'i karıştırıcılardan kaynaklanmaktadır

4.1.10. Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (POCP)

Toplam fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli 2 g C₂H₄ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.1). Üretim basamağı fotokimyasal ozon oluşumuna en fazla neden olan yaşam döngüsü basamağı olup toplam etkinin %47,3'üne sebep olmaktadır. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi ham maddelerin elde edilmesi ve ulaşım basamakları sırasıyla %31,8 ve %20,9 oranında bu çevresel etki kategorisini etkilemektedir. Üretim kısmından gelen toplam etkinin %42,3'ü tesiste bulunan iki adet karıştırıcıdan gelirken %22,9'u preslemeden kaynaklanmaktadır.

4.1.11. Kara ekotoksitesitesi potansiyeli (TETP)

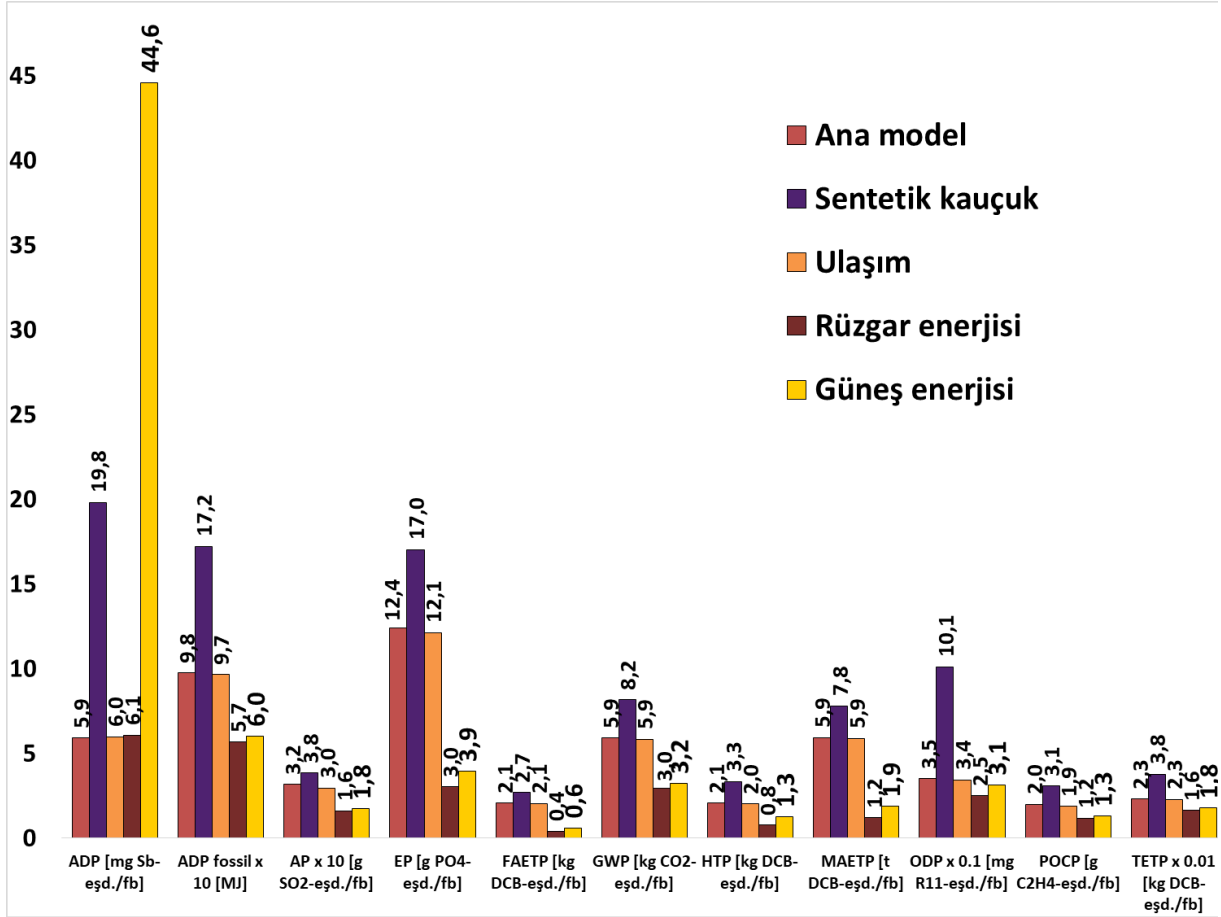
Fonksiyonel birimimiz için toplam kara ekotoksitesitesi potansiyeli 2,3 kg DCB eşdeğeri olarak bulunmuştur (Şekil 4.1). Kara ekotoksitesitesi potansiyeline %46,6 oranında üretim basamağı sebep olmaktadır. En düşük etki ise %10,1 ile ulaşım kısmına aittir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi üretim basamağından gelen toplam etkinin %39,1'i karıştırıcılardan gelirken %21,1'i preslerden ve %21,0'ı hamur makineleri basamaklarından kaynaklanmaktadır. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin elde edilmesi (%43,3) basamağıdır.

4.2 . Kauçuk Paspas için Hassaslık Analizi

Yapılan çalışmada kullanılan verilerin hassasiyeti belirlenen alternatifler ile kontrol edilerek bu verilerde değişiklik yapıldığında çevresel etkilerin ne kadar değişeceği analiz edilmiştir.

Kauçuk otomobil paspası yaşam döngüsü çevresel etkileri değerlendirildiğinde kauçuk ham maddesinin önemli bir etken olduğu bulunmuştur. Bu amaçla üretim tesisinden alınan veriler doğrultusunda üretimde doğal kauçuk kullanılması ve yurtdışından temin edilen doğal

kauçuğun yerli üreticiden temin edildiği kriterleri için iki adet model oluşturularak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca üretim prosesinden kaynaklanan çevresel etkilerin enerji kaynağı değişimi ile hassasiyeti de değerlendirilmiştir. Türkiye şebeke elektriği yerine bu modelde Türkiye'deki elektriğin sadece rüzgar enerjisinden ya da fabrikanın çatısında kullanılan güneş panellerinden sağlandığı varsayılmıştır. Çevresel etkilerdeki değişim Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Hassasiyet analizi sonuçları

4.2.1. Sentetik kauçuk kullanılması

Oluşturulan ana modelde fabrikada daha fazla tercih edilen doğal kauçuğun kullanılması durumu için kauçuk paspas yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Üretimde sentetik kauçuğun kullanılması durumu fabrikada karşılaşılan bir durum olduğu için bu ham madde alternatifi için de yaşam döngüsü modeli oluşturulmuştur.

Şekil 4.4'ten görüldüğü gibi bütün çevresel etki kategorilerinde doğal kauçuk kullanılarak üretilen paspas sentetik kauçuk kullanılabildiği göre daha çevrecidir. Elde edilen

veriler ışığında ham madde olarak doğal kauçuk yerine sentetik kauçuğun kullanıldığı kauçuk paspas kaynaklanan çevresel etkilerde en belirgin artış 3,4 katlık artış ile ADP çevresel etki kategorisinde olurken bunu ODP kategorisindeki 2,9 katlık bir artış takip etmiştir. Diğer çevresel etki kategorilerinde ise görülen artış ise bu etki kategorilerine göre daha düşük seviyede olup en fazla artış ADP fosil (%76) kategorisinde olurken minimum artış ise AP etki kategorisinde (%21) görülmüştür.

4.2.2. Ulaşım mesafesinin değiştirilmesi

Paspas üretiminde kullanılan ham maddelere ait ulaşım verileri (Tablo 3.2) incelendiğinde kauçuğun deniz yoluyla nakliyesinin sağlandığı görülmüştür. Çin'den sağlanan kauçuğun ülke ulusal kaynaklardan sağlanması durumu için çevresel etkiler kauçuk paspas için oluşturulan ana model ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modelde kauçuğun temin edildiği ulaşım mesafesi değiştirilmiş olup kauçuğun sadece 400 km karayolu ile ulaşım sağlanmıştır.

Kauçuk ulaşım mesafesinin değiştirilmesi sonucunda sadece ADP çevresel etki kategorisinde yaklaşık %2'lik bir artış gerçekleşmiştir. Şekil 4.4'te belirtildiği gibi geri kalan 10 çevresel etki kategorisinde ise azalma söz konusudur. Çevresel etkilerde en fazla azalma AP (%7) kategorisinde olurken en az azalma ise FAETP (%0,5) etki kategorisinde görülmüştür. Diğer etki kategorilerinde ise %0,7 ile %6 arasında azalma olmuştur.

4.2.3. Rüzgar enerjisinin kullanılması

Çalışmanın bu basamağında kauçuk paspas üretiminde kullanılan enerjinin ülke şebeke elektriği yerine rüzgar enerjisinden sağlandığı varsayılmıştır.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi bu değişim sonucunda sadece ADP kategorisinde %3 kadar bir artış olmuştur. Diğer çevresel etki kategorilerinde ise %29 (ODP) ile %81 (FAETP) oranlarında azalma olduğu bulunmuştur.

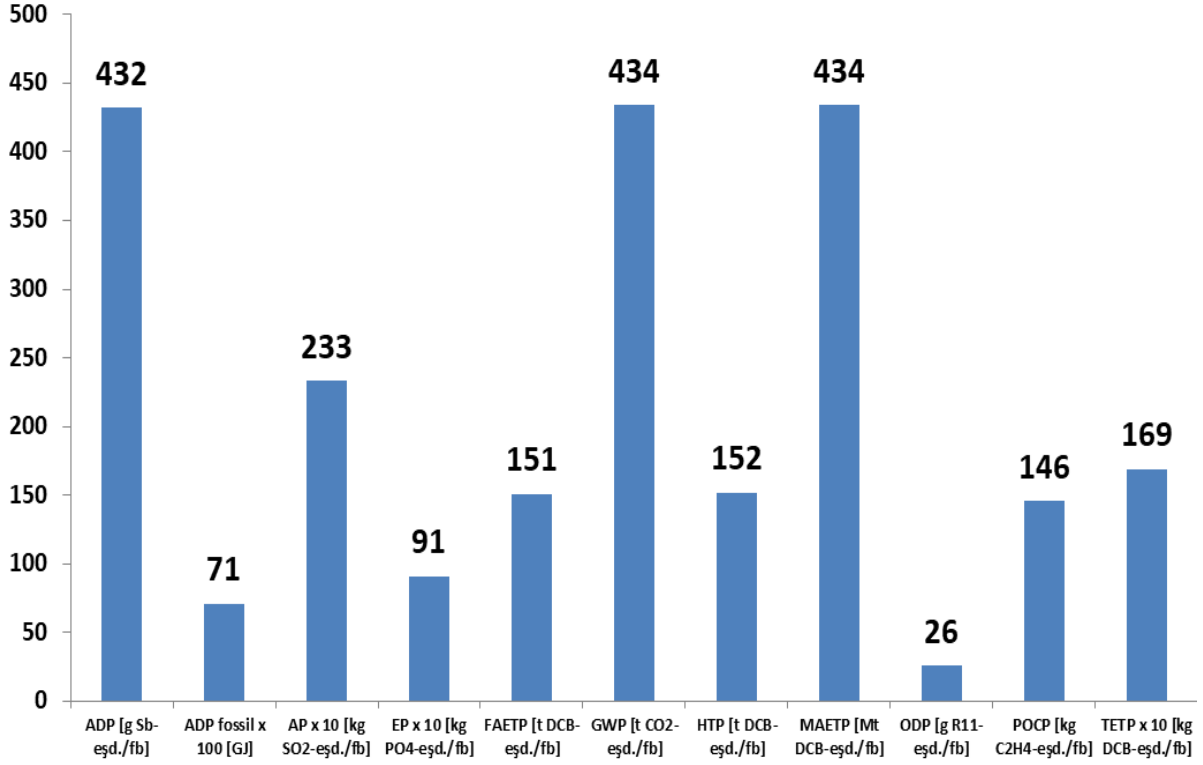
4.2.4. Güneş Enerjisinin kullanılması

Oluşturulan modelde kauçuk paspas üretiminde kullanılan enerjinin düz çatılarda kullanılan PV güneş paneli kullanılarak sağlandığı alternatif modeli oluşturulmuştur.

Ana model ile oluşturulan bu güneş enerji modelinin sonuçları Şekil 4.4'te karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, oluşturulan güneş enerjisi modelinde ADP etki kategorisi için 8 kat bir artış gerçekleşmiştir. Diğer 10 çevresel etki kategorisinde ise %10 (ODP) ile %70 (FAETP) oranında azalma olmuştur.

4.3. Yıllık Toplam Çevresel Etki

Firmadan alınan bilgilere göre yıllık kauçuk paspas üretim miktarı yaklaşık olarak 73.250 adet olmaktadır. Bu üretim tesisinin yıllık toplam çevresel etkileri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kauçuk paspas üretiminden gelen yıllık toplam çevresel etkiler

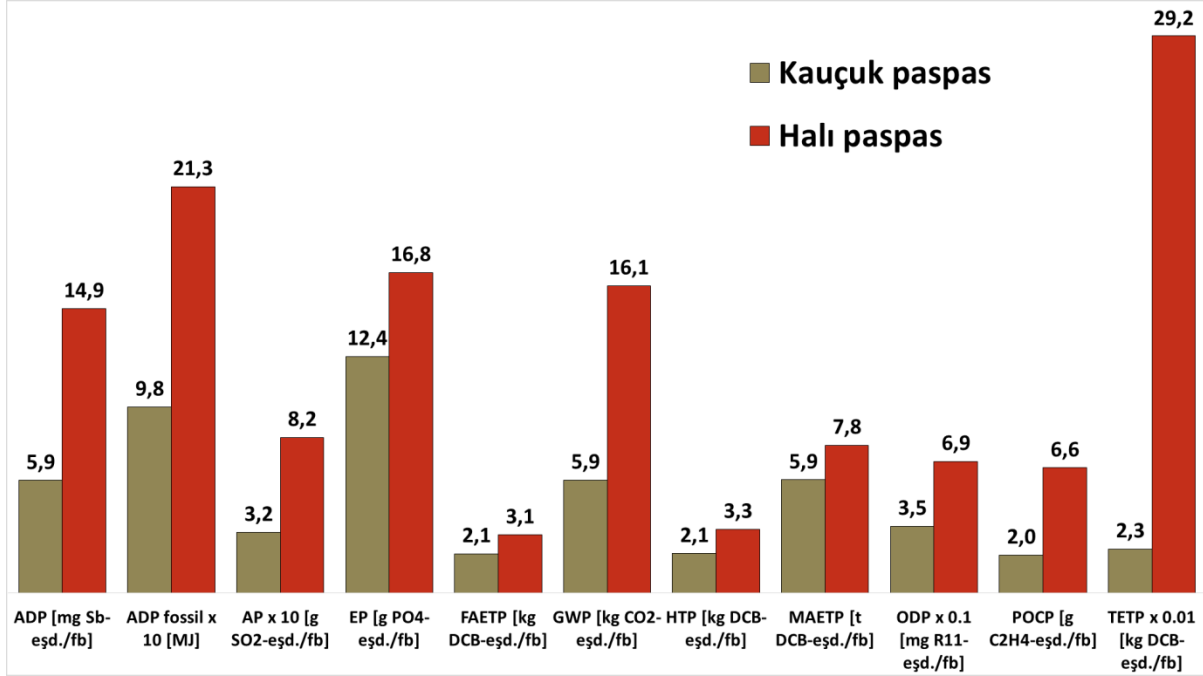
Bu üretim tesisinde üretilen 73.250 adet paspas üretimi için 0,7 TJ toplam enerji tüketilmektedir. Yıllık üretilen kauçuk paspasın toplam GWP değeri 434 ton CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur, Şekil 4.5.

4.4. Kauçuk ve Halı Otomobil Paspası Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması

Bu çalışma için seçilen ana model ürünü kauçuk otomobil paspasıdır. Otomotiv sektörüne ait bu ürünün alternatifi ise halı paspastır. Çalışmanın bu bölümünde halı otomobil paspasına ait yaşam döngüsü modelinden elde edilen sonuçlar kauçuk otomobil paspasının yaşam döngüsü çevresel etkileri ile karşılaştırılmıştır.

Halı otomobil paspas üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin kauçuk otomobil paspasına göre daha fazla olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda en büyük farkın TETP etki kategorisinde olduğu görülmektedir ve halı paspasta kaynaklanan TETP'nin kauçuk paspasa göre yaklaşık 12,5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. TETP'nin

ardından halı paspas yaşam döngüsü boyunca kaynaklanan POCP etkisinin 3,3 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Halı ve kauçuk paspasın çevresel etkileri arasında en az fark ise MAETP etki kategorisi için olup bu değer kauçuk paspas için 5,9 t DCB-eşd./1 set paspas iken bu değer aynı fonksiyonel birimdeki halı paspas için 7,8 t DCB-eşdeğeridir.



Şekil 4.6. Kauçuk ve halı paspas çevresel etkilerinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA

5.1. Kauçuk Otomobil Paspası Yaşam Döngüsü Çevresel Etkileri

Yapılan bu çalışmada kauçuk otomobil paspasının çevresel etkileri YDA metodu kullanılarak analiz edilmiştir. YDA incelenen ürün için her bir yaşam döngüsü basamağının detaylı bir şekilde incelenmesini ve bu basamaklar arasında ilişki kurarak çevresel etkilerin detaylandırılmasını sağlamıştır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi kauçuk otomobil paspasının yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri incelendiğinde abiyotik kaynakların tükenmesi ve ozon tabakası tükenmesi dışındaki çevresel etkilerin en fazla üretim prosesinden kaynaklandığı sonucu elde edilmiştir. Bunun ana sebebi ise mikser ve presleme gibi üretim basamaklarındaki yüksek enerji kullanımınıdır. Bu basamaklarda yüksek enerji kullanımının başlıca sebepleri mikserlerdeki karıştırma süresinin uzun olması, elde edilen paspas hamurunun çok yoğun olması ve sıcak preslemedir. Çevresel etkilere sebep olan diğer yaşam döngüsü basamağı ise ham maddelerin çıkarılıp üretime hazır duruma getirildiği ham madde eldesi basamağıdır. Bu basamaktan gelen etkilerin büyük bir kısmı reçetede miktar fazlalığından dolayı kaolin ve kauçuk malzemedeki kaynaklanmaktadır. Ozon tabakası tükenmesi potansiyeline en yüksek oranda etki ulaşım basamağından kaynaklanmaktadır. Bunun başlıca sebebi yurtdışından temin edilen kauçuğun ulaşımı sırasında oluşan halon emisyonlarıdır.

Otomobil paspası konusunda yaptığımız bu çalışma ile elde ettiğimiz sonuçlar daha önce bu alanda başka bir YDA çalışması olmadığı için akademik literatürdeki çalışmalarla ve daha önce yayınlanmış olan çevresel etki raporları ile karşılaştırılamamıştır. Kauçuk malzemenin yaşam döngüsü çevresel etkilerinin değerlendirildiği diğer YDA çalışmalarında ise fonksiyonel birim, sistem sınırları ve etki değerlendirme metodunun farklı seçilmesinden dolayı karşılaştırma yapılamamıştır. Sadece bulunan küresel ısınma potansiyeli yani karbon ayak izi değeri literatürde bulunan otomobil lastiği için verilen değer ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi 1 set yani 5,7 kg kauçuk paspas için küresel ısınma potansiyeli toplam 5,9 kg CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. Literatürde otomobil lastiği için aynı fonksiyonel birim için hesaplanan küresel ısınma potansiyeli 10,3 kg CO₂ eşdeğeri olarak verilmiştir (Shanbag & Manjare, 2020: 22). Literatürdeki bu çalışmadaki küresel ısınma potansiyelinden farklı sonuç bulmamızın en büyük sebebi kauçuk kullanılarak üretilen farklı ürünler için karşılaştırma yapmamızdır.

Çevresel etki kategorilerine sebep olan kaynaklar ya da emisyonlar detaylandırıldığında abiyotik kaynakların tükenmesi (ADP) potansiyeline ham madde eldesi

ve işlenmesi basamağında altın (%29), kurşun (%18), bakır (%16) ve kaya tuzu (%15) kullanılmasının sebep olduğu görülmüştür.

Fosil kaynakların abiyotik tükenmesi potansiyeline (ADP fosil) ise %38 petrol, %31 doğalgaz, %17 linyit ve %14 taşkömürü sebep olmaktadır. Türkiye elektrik üretiminin büyük oranda fosil kaynaklardan sağlanması (TEIAS, 2019) bu etkiye sebep olmaktadır. Bu etkinin oluşumuna en fazla etki en fazla enerjinin kullanıldığı üretim prosesinden gelmektedir, Şekil 4.2.

Asidifikasyon potansiyeli (AP) değerlendirildiğinden bu etkinin büyük oranda kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları sebebiyle oluştuğu bulunmuştur. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi bu emisyonların başlıca kaynağı yüksek enerji tüketimi olan paspas üretim basamağıdır. Mikserlerde hamur yoğunluğundan ve uzun karıştırma süresinden dolayı yüksek enerji tüketimi gerçekleşirken, preslerde sıcak presleme tekniği kullanılmaktadır. Ham madde eldesinden kaynaklanan asidifikasyon potansiyelinde ise en büyük pay kaolin üretimine aittir.

Ötrofikasyon potansiyeli (EP) etki kategorisine başlıca %71 oranında fosfat ile %15 oranında azot oksitler sebep olmaktadır.

Tatlı su ekotoksitesitesi potansiyeli (FAETP) etki kategorisine özellikle üretim basamağından kaynaklanan nikel (%34), berilyum (%20), vanadyum (%14), kobalt (%10) ve bakır (%8) emisyonları sebep olmaktadır.

Küresel ısınma potansiyeli (GWP) etkisine %92 oranında karbon dioksit ve %5 oranında metan emisyonları sebep olmaktadır. Bu etki büyük oranda mikserlerdeki ve preslemedeki yoğun enerji kullanımından dolayı üretim basamağından gelmektedir, Şekil 4.2. Bu basamaklarda yüksek enerji kullanımının başlıca sebepleri karıştırma süresi, hamur yoğunluğu ve sıcak preslemedir. Üretim basamağından sonra en fazla etkinin geldiği basamak ise paspas üretiminde kullanılmakta olan ham maddelerin elde edilmesi basamağıdır. En fazla etkinin geldiği ham maddenin reçetede miktar fazlalığından dolayı kaolin olmuştur.

Havaya olan hidrojen florür ve ağır metal emisyonları ile suya olan selenyum, talyum ve vanadyum emisyonları insan toksitesitesi potansiyeli (HTP) etkisini oluşturmaktadır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi bu emisyonların başlıca kaynağı enerji yoğun bir süreç olan üretim basamağıdır.

Deniz suyu ekotoksitesitesi potansiyeli (MAETP) etki kategorisine %40 berilyum, %31 HF, %8 nikel, %5 kobalt ve %4 selenyum emisyonları sebep olmaktadır.

Ozon tabakası tükenmesi potansiyeli (ODP) etkisine ise %70 halon 1301, %24 halon 1211 ve %4 R114 emisyonları sebep olmaktadır. Bu emisyonların başlıca kaynağı ithal edilen doğal kauçuğun ulaşımı basamağıdır.

Kükürt dioksit, azot oksit, karbon monoksit ve metan emisyonları fotokimyasal ozon oluşumuna sebep olmaktadır. Yaklaşık %50 etki mikserlerden gelmekte olup ham maddeden kaynaklanan etkinin büyük bir kısmı ise kauçuk eldesi prosesinden kaynaklanmaktadır.

Kara ekotoksitesitesi potansiyeli (TETP) etki kategorisi krom (%35), cıva (%22), krom ve vanadyum (%12) emisyonlarından kaynaklanmaktadır.

5.2. Hassaslık Analizi

Çalışmanın bu kısmında verideki değişkenliğin çevresel etkileri nasıl etkilediği analiz edilmiş olup ham madde nakliye mesafesi değişimi, doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk girdisi, enerji kaynağı olarak rüzgar veya güneş enerjisinin kullanımı durumları değerlendirilmiştir.

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi doğal kauçuk kullanılarak üretilen paspasın sentetik kauçuk kullanılarak üretilen paspasa göre daha çevreci olduğu sonucu elde edilmiştir. Sentetik kauçuk fosil bir kaynak olan petrolden elde edilmektedir. Bu maddenin üretimi uzun bir işlemdir ve birçok kimyasal girdisi vardır. Doğal kauçuk ise ağaçta bulunan bir özsu olan lateksten yani doğal bir ham maddeden yapılmaktadır. Bundan dolayı doğal kauçuk sentetik kauçuğa göre daha çevrecidir. Doğal kauçuk yerine sentetik kauçuğun kullanılarak üretilen kauçuk paspasta kaynaklanan çevresel etkilerde en belirgin artış ADP çevresel etki kategorisinde olmuştur. Doğal kauçuktan üretilen paspas için 5,9 mg Sb eşdeğeri olan etki sentetik kauçuk üretildiğinde 19,8 mg Sb eşdeğeri olmuştur. Doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk kullanıldığında ADP dışındaki diğer tüm çevresel etki kategorilerinde artış olduğu sonucu elde edilmiştir. Doğal kauçuk ithal edilirken sentetik kauçuk ülke içerisinde temin edilmektedir. Sentetik kauçuk kullanımı ulaşım mesafesi açısından avantaj sağlanmasına rağmen çevresel sürdürülebilirliğin iyileştirilmesi için ham madde olarak doğal kauçuk tercih edilmelidir.

Yurtdışından ithal edilen doğal kauçuğun ülkemizden temin edilmesi durumu değerlendirilmiş olup doğal kauçuğun sadece 400 km karayolu ile nakliyesi sağlandığı durum için model oluşturulmuştur. Bu durumda sadece ADP kategorisinde artış söz konusuysen diğer 10 çevresel etki kategorisinde azalma olmuştur. Bunu başlıca sebebi mesafenin

azalmasıdır. Çalışmanın bu basamağında elde edilen sonuçlar ulaşım için kara yolu yerine deniz yoluyla ulaşım tercih edilirse çevresel etkilerde azalma olacaktır.

Kauçuk paspas üretiminde kullanılan enerjinin ülke şebeke elektriği yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar ya da güneş enerjisinden sağlandığı varsayıldığında her iki durum için de ADP etkisi hariç tüm etki değerlerinde azalma görülmüştür, Şekil 4.4. ADP etki kategorisi mineraller ve elementler gibi cansız kaynakların tüketimini ifade eder. ADP etkisindeki artışın sebebi rüzgar türbinlerinin veya güneş panellerinin yapımı ve kurulması esnasında krom, kurşun, çinko ve bakır gibi metallerin ve tükenen kıymetli elementlerin yoğun olarak kullanılmasıdır. Türkiye’de kullanılan şebeke elektriği yüksek oranda fosil yakıt kaynaklıdır (TEIAS, 2019) ve bu da üretim sektörünün çevresel sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Kullanılan enerji kaynağının yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar ya da güneş enerjisiyle değiştirilmesi ile oluşturulan model ile ADP etki kategorisi dışındaki 10 çevresel etki kategorisinde azalma sağlanmıştır.

Doğal kauçuk yerine sentetik kauçuk kullanılması, doğal kauçuğun yerli üreticiden sağlanması veya şebeke elektriği yerine rüzgar ya da güneş enerjisi kullanılması durumları karşılaştırıldığında ana modele göre ADP etki kategorisi tüm durumlar için artarken en büyük çevresel etki azalması rüzgar enerjisi kullanımı durumunda gerçekleşmiştir.

5.3. Yıllık Toplam Çevresel Etki

Firmadan alınan bilgilere göre bu tesiste üretilen 73.250 adet paspas için 0,7 TJ toplam enerji tüketilmektedir. İstanbul'dan Berlin'e ekonomi sınıfı gidiş-dönüş uçuşu, yolcu başına ortalama 0,29 ton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu yaymaktadır (ICAO, 2020). Yıllık üretilen kauçuk paspasın toplam GWP değeri 434 ton CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur, Şekil 4.5. İstanbul'dan Berlin'e yaklaşık 1.500 gidiş-dönüş uçuşuna eşdeğerdir.

5.4. Kauçuk Paspas ile Halı Paspasın Karşılaştırılması

Araçta kauçuk paspas yerine halı paspas kullanıldığı durum değerlendirildiğinde çevresel etkilerde artış söz konusu olmuştur. Halı paspas kauçuk paspasa göre daha hafif olmasına rağmen üretim basamağında kullanılan enerji ve ham madde yoğunluğundan dolayı halı paspasta kaynaklanan çevresel etkiler daha yüksektir, Şekil 4.6. Halı paspasın üretim süreci halı paspasa göre daha yalın olmasına rağmen halı paspas için ham madde eldesi ve işlenmesi prosesi daha karmaşıktır. Bu da kauçuk paspas kullanımı yerine halı paspas

kullanılmasının hesaplanan 11 adet çevresel etki kategorisinde artışa sebep olduğunu göstermektedir.

Yün halı yer kaplamasının yaşam döngüsü sürdürülebilirliğinin linolyum, laminant ve poliamid yer kaplama alternatifleri ile karşılaştırıldığı bir çalışmada da bizim çalışmamızda olduğu gibi halı yer kaplamasının diğer alternatiflere göre daha az çevreci olduğu sonucu bulunmuştur (Potting & Blok, 1995: 201).

6. SONUÇLAR

Otomotiv sektörü için paspas üretimi yapan üretici firmadan sağlanan direk ve doğrulanabilir üretim verileri ile bu çalışmada kauçuk otomobil paspasının çevresel sürdürülebilirliği hesaplanan 11 adet çevresel etki kategorisi ile değerlendirilmiştir. Modelleme için GaBi v9.5 kullanılmış olup çevresel etkiler CML yöntemiyle analiz edilmiştir. Sistem sınırları ham maddelerin çıkarılması, nakliyesi ve paspasın üretimi şeklinde belirlenerek “1 set otomobil paspası” için sonuçlar sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar kauçuk otomobil paspası için abiyotik kaynakların tükenmesi ve ozon tabakası tükenmesi etki kategorileri dışındaki çevresel etkilerin en çok enerji yoğun bir süreç olan üretim basamağından kaynaklandığını göstermiştir. En fazla çevresel etkiye sebep olan ikinci yaşam döngüsü basamağı ise ham madde eldesidir. Ozon tabakası tükenmesi potansiyeline ise en yüksek oranda etki ulaşım basamağından gelmektedir. Bunun başlıca sebebi kara ve deniz yoluyla nakliye sırasında ortaya çıkan halon emisyonlarıdır.

Kauçuk paspas yaşam döngüsü analizinde üretimde alternatif ham madde ya da enerji kaynaklarının kullanılması ile farklı nakliye verileri üzerinden hassaslık analizi yapılmıştır. Bu analiz ile sektöre çevresel sürdürülebilirlik için daha fazla sonuç sunulmuştur. Enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması paspas üretiminin çevresel sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi önem arz etmektedir.

Çalışmada ayrıca kauçuk otomobil paspası ile halı otomobil paspasının çevresel sürdürülebilirliği karşılaştırılmıştır. Araçlarda kauçuk paspas kullanımı yerine halı paspas kullanımının tüm kategorilerde çevresel etkilerde artışa sebep olmuştur.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde üretim tesisinin çevresel etkilerini azaltmak için enerji kaynağının değiştirilmesinin yanında enerjinin daha verimli kullanılması bunun için de üretimde kullanılan cihazların enerji kayıplarının gözden geçirilmesi ve mümkünse eski makinaların daha yenileri ile değiştirilmesi alternatif olarak düşünülmelidir.

Otomotiv sanayi üretim hacmi ve ilişkili olduğu diğer sanayi kolları ile küresel boyutta yönlendirici bir sektördür. Bu sebepten dolayı bu sektörün sürdürülebilirliğinin artırılması için yaşam döngüsü boyutundaki çevresel etki analizinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Küçük ve büyük ölçekte otomotiv sektörü için üretim yapmakta olan firmaların bu konu hakkında bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca araçların parça ve aksesuarları

için özellikle yerinden elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizi çalışmalarının yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Altay, T. A.** (2019). Otomotiv Sektöründe Neler Oluyor? *MÜHENDİS ve MAKİNA*, 2019(2), 33.
- Atilgan, B., & Azapagic, A.** (2016). Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts. *Renewable Energy*, 89, 649. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.082>
- Azapagic, A.** (2010). Assessing environmental sustainability: Life cycle thinking and life cycle assessment (U. Chichester, Trans.). A. Azapagic & S. Perdan (Eds.), *Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists* (Second ed., pp. 56). Chichester, UK. : John Wiley & Sons, Ltd.
- Azapagic, A.** (2010). Life cycle assessment as a tool for sustainable management of ecosystem services. In *Ecosystem Services* (Vol. 30, pp. 140): The Royal Society of Chemistry.
- Banar, M., & Cokaygil, Z.** (2011). Life cycle comparison of floor covering materials: vinyl covering and laminated parquet covering. *Politeknik Dergisi*, 14(3), 203.
- Bartolozzi, I., Antunes, I., & Rizzi, F.** (2012). *The environmental impact assessment of asphalt rubber: life cycle assessment*. Paper presented at the Proceedings of the 5th Asphalt Rubber” Roads of the Future” International Conference, Munich, Germany.
- Baumann, H., & Tillman, A.-M.** (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA : An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*. Lund, Sweden: Studentlitteratur AB.
- Baumann, H., & Tillman, A. M.** (2004). LCA methodology. In *The Hitch Hiker's Guide to LCA : An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application* (pp. 73). Lund: Studentlitteratur.
- Boureima, F., Messagie, M., Matheys, J., Wynen, V., Sergeant, N., Van Mierlo, J., Caevel, B.** (2009). Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context. *World Electric Vehicle Journal*, 3(3), 469. doi:10.3390/wevj3030469
- Civelekoğlu, G., & Bıyık, Y.** (2018). Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge International Journal of Science Technology Research*, 2(2), 157.
- CML.** (2017). CML-IA Characterisation Factors, January 2016 Update. Retrieved from <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>
- ÇTSO.** (2020). *Otomotiv Sektörü Raporu*. Retrieved from Çorlu: https://www.corlutso.org.tr/uploads/docs/otomotiv_sektor_raporu2020.pdf
- Delogu, M., Zanchi, L., Maltese, S., Bonoli, A., & Pierini, M.** (2016). Environmental and economic life cycle assessment of a lightweight solution for an automotive component: A comparison between talc-filled and hollow glass microspheres-reinforced polymer

composites. *Journal of Cleaner Production*, 139, 548.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.079>

Ecoinvent. (2010). Ecoinvent Database v2.2. from Swiss Centre for Life Cycle Inventories: St Gallen, Switzerland

Fiksel, J., Bakshi, B. R., Baral, A., Guerra, E., DeQuervain, B. (2011). Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. *Clean technologies and environmental policy*. 13(1), 19.

Görener, A., & Görener, Ö. (2008). Türk otomotiv sektörünün ülke ekonomisine katkıları ve geleceğe yönelik sektörel beklentiler. *Journal of Yaşar University*, 3(10), 1213.

Gorrée, M., Guinée, J., Huppés, G., & Oers, L. (2002). Environmental Life Cycle Assessment of linoleum. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7, 158.
doi:10.1007/BF02994050

Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppés, G., Kleijn, R., & Koning, A. (2001). Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards. Retrieved from <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>. from Kluwer Academic Publishers <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>

Hauschild, M., Jeswiet, J., & Alting, L. J. C. a. (2005). From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. 54(2), 1.

ICAO. (2020). ICAO Carbon Emissions Calculator. Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>

ISO. (2002). *Otomotiv Sanayi Sektörü*. Avrupa Birliği'ne Tam Üyelik Sürecinde İstanbul Sanayi Odası Meslek Komiteleri Sektör Stratejileri Geliştirilmesi Projesi. İstanbul Sanayi Odası İstanbul.

ISO. (2006a). *Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. Geneva, Switzerland:

ISO. (2006b). *Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*. Geneva, Switzerland:

Kalkınma Bakanlığı. (2018). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Otomotiv Sanayi Çalışma Grubu Raporu*. Retrieved from Ankara:

Katip, A., Karaer, F., & Özengin, N. (2014). Otomotiv sektörünün çevresel açıdan değerlendirilmesi. (2), 41.

Li, W., Wang, Q., Jin, J., & Li, S. (2014). A life cycle assessment case study of ground rubber production from scrap tires. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1833. doi:10.1007/s11367-014-0793-3

Orsato, R. J., & Wells, P. (2007). The automobile industry & sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 989.

- Ortíz-Rodríguez, O. O., Ocampo-Duque, W., & Duque-Salazar, L. I.** (2017). Environmental Impact of End-of-Life Tires: Life Cycle Assessment Comparison of Three Scenarios from a Case Study in Valle Del Cauca, Colombia. *10*(12), 2117. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/2117>
- OSD.** (2020). *Otomotiv Sanayi 2019 Yılı Küresel Değerlendirme Raporu*. Retrieved from Ankara:
- PAGEV.** (2017). *Türkiye Kauçuk Sektör İzleme Raporu*. PAGEV Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı. İstanbul.
- Pero, F. D., Delogu, M., & Pierini, M.** (2018). Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity*, *12*, 521. doi:<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.066>
- Piotrowska, K., Kruszelnicka, W., Baldowska-Witos, P., Kasner, R., Rudnicki, J., Tomporowski, A., Opielak, M. J. M.** (2019). Assessment of the environmental impact of a car tire throughout its lifecycle using the lca method. *12*(24), 4177.
- Pişkin, S.** (2017). *Otomotiv Sektör Raporu, Türkiye Otomotiv Sanayii Rekabet Gücü ve Talep Dinamikleri Perspektifinde 2020: İç Pazar Beklentileri*. Retrieved from Ankara:
- Poh, G. K., Chew, I. M., & Tan, J. J. C. E.** (2019). Life cycle optimization for synthetic rubber glove manufacturing. *Chemical Engineering Technology*, *42*(9), 1771.
- Potting, J., & Blok, K.** (1995). Life-cycle assessment of four types of floor covering. *Journal of Cleaner Production*, *3*(4), 201. doi:[https://doi.org/10.1016/0959-6526\(95\)00082-8](https://doi.org/10.1016/0959-6526(95)00082-8)
- Puri, P., Compston, P., & Pantano, V.** (2009). Life cycle assessment of Australian automotive door skins. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *14*(5), 420. doi:10.1007/s11367-009-0103-7
- Pyay, S., Thanungkano, W., Mungkalasiri, J., & Musikavong, C.** (2019). A life cycle assessment of intermediate rubber products in Thailand from the product environmental footprint perspective. *Journal of Cleaner Production*, *237*, 117632. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117632>
- Rafique, R. M. U.** (2012). *Life Cycle Assessment of Waste Car Tyres at Scandinavian Enviro Systems*. (Master of Science Thesis in Chemical and Biological Engineering). CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden.
- Ribeiro, C., Ferreira, J., & Partidário, P.** (2007). Life cycle assessment of a multi-material car component. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *12*, 336. doi:10.1065/lca2006.12.304
- RSDC.** (2013). *Rubber Skill Development Council Skill Gap Analysis across Sub-Segments (Tyre and Non-tyre) for Rubber Industry – Manufacturing process of Rubber products*. Retrieved from ICRA Management Consulting Services Limited:

- Shanbag, A., & Manjare, S.** (2020). Life cycle assessment of tyre manufacturing process. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 8(1), 22.
- Sørensen, B.** (2011). From life cycle analysis to life cycle assessment. In *Life-Cycle Analysis of Energy Systems: From Methodology to Applications* (pp. 67): The Royal Society of Chemistry.
- TEIAS.** (2019). Electricity Generation and Transmission Statistics of Turkey. Retrieved from <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>
- UNEP/SETAC.** (2011). *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making a Informed Choices on Products*. Retrieved from Paris: http://www.unep.org/pdf/UNEP_LifecycleInit_Dec_FINAL.pdf
- Usubharatana, P.** (2018). Carbon Footprints of Rubber Products Supply Chains (Fresh Latex to Rubber Glove). *Applied Ecology Environmental Research*, 16, 1639.
- Zhao, C., Liu, Y., Ren, S., & Zhang, Y.** (2018). Life Cycle Assessment of Typical Rubber-Plastic Sponge Production in China. *Materials Science Forum*, 913, 991

EKLER

Ek-1 Örnek Çevresel Etki Hesaplaması

$$\text{Toplam Çevresel Etki} = \sum_j^J b_j \cdot B_j$$

b_j – j gazının emisyon faktörü

B_j – j gazının emisyon değeri

J – toplam gaz sayısı

Küresel Isınma Potansiyeli Hesaplama

$$\text{GWP} = \sum_j^J \text{GWP}_j \times B_j$$

GWP- küresel ısınma potansiyeli (kg CO₂-eşd.)

GWP_j- gazın emisyon faktörü (kg CO₂-eşd./kg)

B_j- gaz emisyonu, j (kg)

J- toplam sera gazı sayısı

Ek 1(a): Küresel ısınma potansiyeli için bazı gazların emisyon faktörleri

Sembol	İsim	CO ₂ eşdeğeri
CO ₂	Karbondioksit	1
CH ₄	Metan	25
N ₂ O	Nitroksit	298
HFCl _r	Hidroflorokarbonlar	140~11.700
PFCl _r	Perflorokarbonlar	6.500~9.200
SF ₆	Sülfürheksaflorit	23.900

$B_{\text{CO}_2} = 1,22$ kg/birim,

$B_{\text{CH}_4} = 0,015$ kg/birim,

$B_{\text{N}_2\text{O}} = 0,00005$ kg/birim

$\text{GWP} = (1,22 \times 1) + (0,015 \times 25) + (0,00005 \times 298) = 1,6099$ kg CO₂ eşd./birim