

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

LASTİKLERDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

NURULLAH ZERDALI

İSTANBUL, 2016

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

LASTİKLERDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Nurullah ZERDALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç Dr. Aybike ÖNGEL

İSTANBUL, 2016

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

TezinAdı: Lastiklerde Yaşam Döngüsü Analizi

Öğrencinin Adı Soyadı: Nurullah ZERDALI

Tez Savunma Tarihi:13.04.2016

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

.....
Doç. Dr. Nafiz ARICA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

.....
Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL
Program Koordinatörü

Bu tez tarafımızca okunmuş nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL

Üye

Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

Üye

Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

.....

.....

.....

ÖNSÖZ

Bu çalışmam sırasında bana yol gösteren ve desteklerini sağlayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Aybike ÖNGEL'e ve hayatımın her aşamasında yanımda olduğu gibi bu süreçte de beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Ayşegül ZERDALI' ye çok teşekkür ediyorum.

İstanbul, 2016

Nurullah ZERDALI



ÖZET

LASTİKLERDE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Zerdali, Nurullah

KENTSEL SİSTEMLER ve ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç Dr.Aybike ÖNGEL

Nisan, 2016, Sayfa 90

Bu çalışmada, araç lastiklerinde yaşam döngüsü incelenmiştir. Bu kapsamda iki farklı otobüs lastiğinin yaşam döngüsü analizi tekniğiyle çevre etkileri karşılaştırılmıştır.

Lastiklerin hammadde elde edim, üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinde tüketilen hammadde ve kaynaklar ile bu süreçler sonucunda oluşan ürünler ve çevreye verilen emisyonlar hesaplanmıştır. Lastiklerin üretim süreci sonucunda çevreye verilen emisyon ve atık miktarları lastik üreticisi firmadan, lastiğin hammadde elde edim ve geri dönüşüm süreçlerinde çevreye verilen emisyon ve atık miktarları “ecoinvent database” veri tabanı yardımıyla elde edilmiştir. Lastiklerin yolda kullanım aşamasında çevreye verilen emisyonlar ise araçların bu süreçte tükettikleri yakıt miktarından hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler, yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemlerinden olan IMPACT 2002+ metodu yardımıyla işlenerek çalışma boyunca gerçekleşen tüm faaliyetlerin çevresel etkileri bulunmuştur.

Çevresel etkileri karşılaştırılan iki farklı lastik tipinin, çevreye en fazla etki ettiği yaşam döngüsü aşaması lastiklerin kullanım sürecidir. Lastiklerin kullanım sürecinde yapılabilecek iyileştirmeler ile çevresel etkinin minimize edilebileceği vurgulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen verilere göre mevsimsel lastik kullanımı ve şehirlere göre lastik kullanımında düz tip, M+S tip ve kış lastiği kombinasyonları oluşturulup bu kombinasyonlara göre lastik kullanımının yaygınlaştırılması önerisi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Analizi, Otobüs Lastiği, Yaz Lastiği, Dört Mevsim Lastik

ABSTRACT

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR TIRE

Zerdali, Nurullah

URBAN SYSTEMS AND TRANSPORTATION MANAGEMENT

Supervisor: Ass.Prof .Dr.Aybike ÖNGEL

April, 2016, 90 Pages

In this study the life cycle of two bus tyres have been analyzed. Environmental effects of an M+S and a summer bus tyre have been compared using life cycle assesment technique.

The life cycle assessment stages include raw material obtainment for tyre production, tyre production, usage and recycling processes have been evaluated. The outputs and emmission values of these processes have been assessed. The emmission values and waste amount from the production process of a tyre have been obtained from the tire manufacturer. The emission values and waste amount of the raw-material obtainment and recycling processes have been obtained from “ecoinvent database”. The emission values from the use phase have been calculated based on the vehicle fuel consumption. Environmental effects of all these processes have been evaluated with one of the life-cycle impact assessment methods called IMPACT 2002+.

From the comperison of two different tyre’s life cycle we find that most of environmental effects arise during the usage process. Hence improvements in the use stage of a tyre will minimize total environmental effects.

With the outputs of this study it is suggested to use summer, M+S and winter type tyres in special combinations due to seasons and different cities.

Keywords: Life Cycle Assessment, Bus Tyres, Summer Tire, All Weather Tire

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR.....	viii
ŞEKİLLER.....	x
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ	6
2.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Aşamaları.....	8
2.2 ARAÇ LASTİKLERİ.....	13
2.2.1 Araç Lastiklerinin Yapısı ve Çeşitleri	13
2.2.2 Araç Lastiğinin Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları.....	17
2.2.3 Araç Lastiğinin Kullanımı	21
2.3 KULLANIM SONRASI LASTİK YÖNETİMİ.....	26
2.3.1 Kısmen Yıpranmış Lastikler	26
2.3.2 Ömrünü Tamamlamış Lastikler	28
3. ÇALIŞMANIN METODU.....	35
3.1 HAMMADDE ELDE EDİNİM SÜRECİ	36
3.1.1 İncelenen Lastiklerin Hammadde Miktarları	37
3.2 ÜRETİM SÜRECİ.....	41
3.3 YOLDA KULLANIM SÜRECİ	43
3.3.1 Kullanım Aşamasında Aşınan Lastik	49
3.4 GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ.....	50
3.5 DEĞERLENDİRME SINIRLARI	53
3.6 VERİ KAYNAKLARI.....	53
3.7 COĞRAFİ SINIRLAMALAR	53
4. İKİ LASTİĞİN YAŞAM DÖNGÜLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	54
4.1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ.....	56
4.1.1 Verilerin İncelenmesi	57
4.1.2 Envanter Analizi Veri Hesapları	58
4.1.3 Yaşam Döngüsü Envanter Tablosu	61

4.2 YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ.....	63
4.2.1 Küresel Isınma Etkisi.....	66
4.2.2 Karasal Asidifikasyon Etkisi	67
4.2.3 Sucul Asidifikasyon Etkisi	68
4.2.4 Fosil Kaynak Tüketimi	70
4.2.5 Solunum Yolu Etkileri	71
4.2.6 Su Tüketimi	72
4.2.7 Ötrofikasyon Etkisi	73
4.2.8 Karasal Ekotoksisite Etkisi.....	74
4.3 YAŞAM DÖNGÜSÜ YORUMLAMA.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKÇA.....	87

TABLULAR

Tablo 2.1: Lastik ve çeşitli yakıtların ısı değeri ve emisyon miktarlarının karşılaştırılması	33
Tablo 2.2: Kontrollü Depolama ve Kontrolsüz Depolama	34
Tablo 3.1: Referans çalışmadan alınan lastik kimyasallarının lastikteki miktarı	38
Tablo 3.2: Düz tip ve M+S tip lastiklerin hammadde madde miktar ve oranları	38
Tablo 3.3: Hammadde üreticileri–lastik fabrikası arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi	40
Tablo 3.4: Düz tip ve M+S tip lastiklerin üretim süreci envanter tablosu	42
Tablo 3.5: Fabrika –kullanım yeri arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi	45
Tablo 3.6: Egzost ölçüm sonuçları	46
Tablo 3.7: Aşınmış lastik partiküllerin havaya verdiği emisyonlar	50
Tablo 3.8: Kullanım yeri-geri dönüşüm tesisi arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi	51
Tablo 3.9: Atık lastik pirolizi emisyon miktarları	52
Tablo 3.10: Çalışmada incelenen lastiklerin geri dönüşüm sürecinde havaya verdikleri emisyon miktarları	52
Tablo 4.1: Düz tip ve M+S tip lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde tükettikleri kaynakların miktarları	58
Tablo 4.2: Düz tip ve M+S tip lastiklerin atmosfere saldığı emisyon miktarları	60
Tablo 4.3: Düz tip ve M+S tip lastiklerin suya verdiği emisyon miktarları	61
Tablo 4.4: Yaşam döngüsü envanter tablosu	62
Tablo 4.5: Sera gazı emisyonları küresel ısınma etki faktörleri	66
Tablo 4.6: Gaz emisyonları karasal asitlendirme etki kategori faktörleri	68
Tablo 4.7: Gaz emisyonları sucul ssitlendirme etki kategori faktörleri	69
Tablo 4.8: Çalışmada kullanılan fosil enerji kaynaklarının ısı değeri	70
Tablo 4.9: Gaz Emisyonları Solunum Yolu Etki Kategori Faktörleri	71
Tablo 4.10: Düz tip ve M+S tip lastiklerin çalışma boyunca harcadığı su miktarları	72
Tablo 4.11: Gaz emisyonları ötrofikasyon etki kategori faktörleri	74
Tablo 4.12: Gaz Emisyonları Karasal Ekotoksiste Etki Kategori Faktörleri	75

Tablo 4.13: Düz tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etki miktarları78

Tablo 4.14: M+S tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etki miktarları78



ŞEKİLLER

Şekil 2.1: (Hanel 1999) 'ın lastik yaşam döngüsü kapsamı akış diyagramı	5
Şekil 2.2 : Yaşam döngüsü kullanım alanları ve kullanım sıklığı	7
Şekil 2.3: Ürün yaşam döngüsü metodolojisi	9
Şekil 2.4:Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin İMPACT 2002+ yöntemi ile incelenmesi	12
Şekil 2.5: Lastiğin yapısı	14
Şekil 2.6: Konvansiyonel lastik	15
Şekil 2.7 : Radyal lastik	16
Şekil 2.8: Desenlerine göre lastikler.....	17
Şekil 2.9: Lastiğin yapısında bulunan hammaddeler.....	18
Şekil 2.10: Araç lastiği üretim aşamaları	21
Şekil 2.11: Avrupa'da kış lastiği uygulamaları	23
Şekil 2.12: Lastik yük-basınç tablosu	25
Şekil 2.13: İki akslı bir otobüs lastiğinin hava basınç miktarları	25
Şekil 2.14: Taban dış derinliği 3 mm' den küçük bir lastik	26
Şekil 2.15: Kullanılmış lastiklerin geçirdiği evreleri	29
Şekil 2.16: Ömrünü tamamlamış lastik piroliz ürünleri	31
Şekil 2.17: Tosco-II yöntemi akış şeması	32
Şekil 3.1: Lastik ebat gösterimi	35
Şekil 3.2: Yaşam döngüsü değerlendirmesi genel çerçevesi	36
Şekil 3.3: Yaşam döngüsü değerlendirmesi süreç başlangıç-bitiş zamanları	36
Şekil 3.4: Lastik hammaddeleri envanter miktarları	39
Şekil 3.5: Üretimden çıkmış düz tip ve M+S tip lastikler	41
Şekil 3.6: Lastiklerin araç üzerinde kullanımı	43
Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan kullanım ömrünü tamamlamış lastikler	44
Şekil 3.8: Emisyon ölçüm cihazı araç bağlantısı	45
Şekil 3.9: CO ₂ emisyon ölçüm sonuçları	46
Şekil 3.10: NO _x emisyon ölçüm sonuçları	47
Şekil 3.11: CO emisyon ölçüm sonuçları	47
Şekil 3.12:N ₂ O emisyon ölçüm sonuçları	48

Şekil 3.13:CH4 emisyon ölçüm sonuçları	48
Şekil 3.14: Atık lastik ve piroliz ürünleri	51
Şekil 4.1: Lastik yaşam döngüsü akış diyagramı	54
Şekil 4.2: Emisyon-orta nokta ilişkisi	64
Şekil 4.3: Yaşam döngüsü orta nokta ve zarar kategorileri	65
Şekil 4.4: Yaşam döngüsü süreçleri ve toplam küresel ısınma etkisi	66
Şekil 4.5: Düz tip ve M+S tip lastiklerin küresel ısınma etkileri	67
Şekil 4.6: Düz tip ve M+S tip lastiklerin karasal asidifikasyon etkileri	68
Şekil 4.7: Düz tip ve M+S tip lastiklerin sucul asidifikasyon etkileri	69
Şekil 4.8: Düz tip ve M+S tip lastiklerin tükettikleri toplam fosil kaynak enerjisi miktarı	71
Şekil 4.9: Düz tip ve M+S tip lastiklerin solunum yolu etkileri	72
Şekil 4.10: Düz tip ve M+S tip lastiklerin toplam su tüketimi	73
Şekil 4.11: Düz tip ve M+S tip lastiklerin ötrofikasyon etkileri	74
Şekil 4.12: Düz tip ve M+S tip lastiklerin karasal ekotoksosite etkileri	75
Şekil 4.13: Düz tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevre etki oranları	79
Şekil 4.14: M+S tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevre etki oranları	79
Şekil 4.15: Düz ve M+S yaşam döngüsü karşılaştırma tablosu	81

KISALTMALAR

AEM	:	Avrupa Ekotoksoloji Merkezi
BLIC	:	Avrupa Araç Lastik Üreticileri
HKMB	:	Hollanda Kimyevi Maddeler Bürosu
İETT	:	İstanbul Elektrik ve Tramvay İşletmeleri Genel Müdürlüğü
KDGM	:	Karayolu Düzenleme Genel Müdürlüğü
LASDER	:	Lastik Sanayicileri Derneği
RMA	:	Amerikan Lastik Sanayicileri Derneği



1. GİRİŞ

Günümüzde artan çevre kirliliği, insanların ekolojik dengeyi koruma bilincinin gelişmesini sağlamıştır. Son yıllarda endüstriler ve iş çevreleri, faaliyetlerinin çevreye ve topluma olan etkilerini değerlendirmeye başlamışlardır. Bu bağlamda endüstrinin çeşitli sektörlerinde yeşil ürünlerin üretilmesi ve yeşil proseslerin kullanılması ön plana çıkmıştır. Ürün ve süreçlerin çevreye olan etkilerinin önemli bir boyut kazanması, şirketleri faaliyetlerinin sonucunda oluşan çevre problemlerini minimum düzeye düşürme yollarını incelemeye yöneltmiştir. Birçok şirket çevresel performanslarını iyileştirmek amacıyla çevre kirliliği önleme stratejilerinin ve çevre yönetim sistemlerinin kullanımını avantajlı ve uygulanabilir bulmaktadır. Bu bağlamda yaşam döngüsü analizi, çevre etki analizi adına geliştirilmiş en önemli tekniklerden birisidir.

Yaşam döngüsü analizi, bir proses veya hizmetin tüm çevresel boyutlarını; doğada hammadde elde edim aşamasından atıklarının tekrar doğaya verilmesine kadar geçen süreci inceleyen bir sistemdir. Bu değerlendirmede, ürünün hammadde eldesi, üretim, kullanım ve kullanım sonrası aşamalarında kullanılan enerji miktarı, atmosfere ve suya verilen emisyonlar gibi çevresel etkilerin tamamı incelenmektedir. Yaşam döngüsünün incelenen proses yerine sistemin tamamını ele alması bu tekniğin diğer çevresel tekniklerden daha doğru sonuçlar almasını sağlamaktadır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi günümüzde oldukça sık kullanılan bir tekniktir. Dünyada birçok konu, yaşam döngüsü değerlendirme metodu ile irdelenmiş olmasına rağmen ülkemizde ürün yaşam döngüsü değerlendirmesine ait çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ulaşım sektörü enerji sarfiyatının en fazla olduğu alanlardan biridir. Gerek enerji sarfiyatının minimize edilme isteği gerekse yapılan faaliyetlerin çevre etkisini ölçmek amacıyla ulaşım sektörü ile ilgili yaşam döngüsü yöntemi değerlendirmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte ulaşım hizmetlerine ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde karayolu ulaşımı son yıllarda gelişme göstermiş olup 2009 yılı istatistiklerine göre, insan taşımacılığının yüzde 97'si, yük naklinin ise yüzde 89'u

karayoluyla yapılmaktadır.¹ Karayolu taşımacılığında hizmet veren her araç tipi için kullanılan lastikler, araçların yol ile temasını sağlayan en önemli unsurlardır. Lastiklerin en önemli fonksiyonları; aracın ilk hareketinin başlamasını ve aracın durmasını sağlamak, araç viraj alırken emniyeti sağlamak, aracın tüm yükünü taşımak ve yoldan kaynaklanan sarsıntıların araca olan etkisini minimize ederek sürüş konforunu yükseltmek olarak sıralanmaktadır. Türkiye’de 2015 yılı içerisinde yaklaşık 22 milyon lastik satışı yapılmıştır.² Karayollarında hizmet veren araç tiplerine göre değişik ebat ve fonksiyonlarda lastikler kullanılmaktadır. Kullanım amaçlarına göre otomobil, kamyon ve iş makinası gibi araçlarda farklı özellikteki lastikler üretilmektedir.

Lastikler, özellikle taşımacılık alanında hizmet veren kamyon ve otobüsler için önemli bir maliyet kalemi olmakla beraber doğru lastik kullanımı, hem araç ve şoför güvenliği, hem de enerji sarfiyatı açısından oldukça önemlidir. Lastiklerin uygun araçta kullanılmasının yanı sıra, yol ve çevre koşullarına da uyumlu olması gerekmektedir. Çevre sıcaklığı ve yol mekaniğine uygun lastiklerin yol performansı daha yüksek, enerji sarfiyatı daha düşük olacaktır. Örneğin sıcak iklim koşullarında daha iyi performans gösteren yaz lastikleri kullanılırken, soğuk iklim koşullarında iyi performans gösteren kış lastikleri kullanılmaktadır. Bazı bölgelerde ise kış aylarında hava sıcaklığı çok düşük olmamaktadır. Bu tür bölgelerde dört mevsim kullanılabilen M+S tip lastikler kullanılmaktadır. Lastik performansı terimi lastiğin yola tutunma kapasitesinin fazla olmasını ifade etmektedir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, incelenen ürünün her aşamasında elde edilen verilerin toplu bir şekilde değerlendirilerek olası çevre potansiyellerini hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin en son kısmında ise hesaplanan çevre etkilerinin küresel ısınma etkisi, fosil kaynakların tüketimi, asidifikasyon gibi küresel sorunlar ile ilişkisi yorumlanmaktadır. Lastik seçimi yaparken lastiğin performansının yüksekliğinin yanı sıra çevreye olan negatif etkisinin minimum olması da önemsenmektedir. Bu yüzden lastiklerin yaşam döngüsü analizi yöntemi ile çevreye

¹<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/Karayollariozellikleri.pdf>

² <http://www.kamyoncularmerkezbirligi.com/2016/03/23/iste-2015te-satilan-lastik-sayisi/>

olan etkisinin bilinmesi dünyada yaşayan tüm canlılar adına oldukça önemli bir konudur.

1.1 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmada, 295/80 R 22,5 ebatta düz tip ve M+S tip otobüs lastiklerinin yaşam döngüsü incelenmiş ve bu iki tip lastik için karşılaştırılmıştır. İncelenen yaşam döngüsü aşamaları;

- a. Lastik üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edim süreci,
- b. Otobüs lastiğinin üretim süreci,
- c. Yolda lastik kullanım süreci,
- d. Atık lastiğin geri dönüşüm süreci, şeklindedir.

İncelenen tüm veriler analiz edilip tüm süreçlerin sonucunda oluşan çevresel etki değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamı, belirlenen iki otobüs lastiğinin “yaşam döngüsü” süresince, hammaddelerinin elde edim sürecinden, atıklarının geri dönüşümü süresine kadar geçirdiği aşamalarının ele alınacağı şekilde üretim, kullanım ve kullanım sonrası tüm faaliyetlerinin çevre üzerindeki toplam etkisinin incelenmesidir. İki lastiğin yolda kullanım sırasında ömürleri farklı olmasına rağmen yaşam döngüsü analizinin doğru yapılabilmesi amacıyla lastiklerin araca takılmasından itibaren 57856 km sonundan araçtan sökülmüşleridir. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında yapılacak hesaplar bu referans değer üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çalışma esnasında kullanılacak lastikler 295/80 R 22,5 ebatta olup bir model düz tip lastik diğer model ise ıslak zemine daha dayanıklı olan M+S tip(dört mevsim) lastiktir. Lastiklerin yaşam döngüsü boyunca oluşan faaliyetlerin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu iki lastiğin yaşam döngüsü boyunca toplam fosil kaynak tüketimi, toplam su tüketimi, küresel ısınma etkileri, solunum yolu etkileri, karasal ekotoksosite, karasal ve sucul asidifikasyon ile ötrofikasyon çevresel etki kategorileri karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

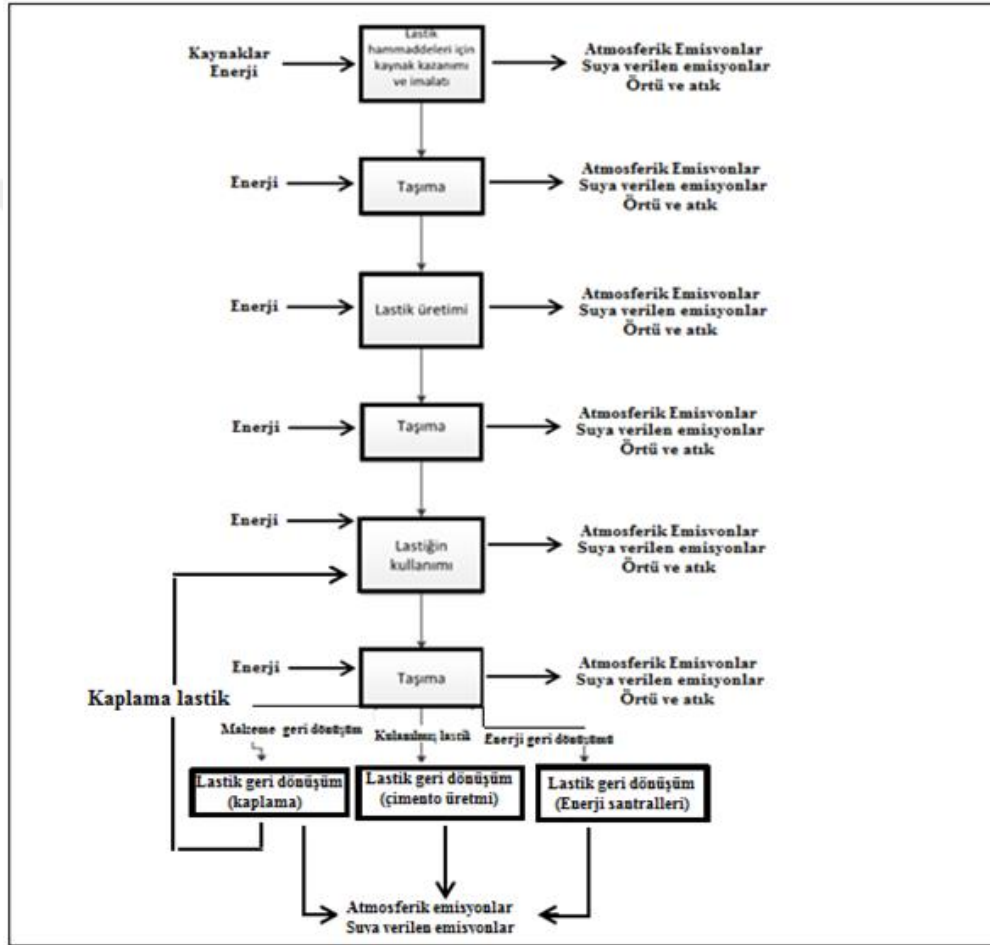
Yaşam döngüsü analizi çevresel etki değerlendirmelerinde sık kullanılan bir yöntemdir. Hemen hemen her sektör ile ilgili süreçlerde yaşam döngüsü değerlendirme tekniği ile çevresel etkiler minimize edilme yoluna gidilmiştir. Yükselen çevre hassasiyeti ile birlikte teknoloji ve insanların yaşam düzeyindeki gelişmeler sonucu birçok operasyonun maliyet, performansı gibi bilinen ölçütlerin yanında doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre problemlerine etkisi gibi bileşenler de önemsenmeye başlanmıştır. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) 90'lı yılların başından günümüze kadar gelinen zamanda operasyonların karmaşık karar verme süreçlerinde git gide daha fazla kullanılan ve sürekli geliştirilen bir tekniktir (Guinee 2011, s. 90).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir operasyonun tüm yaşam döngüsü süreçleri sırasında ortaya çıkması olası çevresel etkileri kapsadığından, analiz edilen bu çevresel etkileri tüm boyutlarıyla ve kapsamlı olarak göstermektedir. Yaşam döngüsü analizi ile gerçekleştirilebilen kapsamlı bir değerlendirme, söz konusu ürün operasyona ait yapılacak olası modifikasyonların neden olacağı çevresel etkilerin farklı senaryolar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini ve ilgili karar alma aşamalarında yansıtılabilmesini de sağlamaktadır (Demirer 2011, s. 8).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi çok sık kullanılan bir teknik olmasına rağmen ulaşım sektörü ve araç lastikleri konularında yapılan yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları sınırlı sayıdadır. Araç lastiklerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile çevresel boyutlarını izlemek için Continental şirketi önemli bir çalışma yapmıştır. Continental şirketinde çalışan bir mühendis olan Hanel' in yapmış olduğu çalışmada, aynı tip araçta kullanılan, aynı ebatta farklı kimyasal içerikteki 4 lastik çeşidinin ham madde elde edim, üretim, kullanım ve kullanım sonrası yönetimi aşmalarındaki tüm kaynak giriş çıkışları ile oluşan emisyonların yaşam döngüsü analizi yöntemi ile değerlendirilmesi ile lastiklerin çevreye verdiği etkiler gözlemlenmiştir. Küresel ısınma etkisi, asidifikasyon etkisi ve nitrifikasyon etkisi bu çalışmada incelenen başlıca çevre boyutlarıdır (Hanel 1999, s. 5).

Hanel bu çalışma ile 4 farklı lastik kombinasyonun çevre boyutlarını hesaplamının yanı sıra kendi şirketinde bulunana üretim hattında kullanılan hammaddelerin sarfiyatını minimize etmeyi amaçlamıştır. Şekil 2.1’ de Hanel’ in farklı lastik türleri için yaptığı yaşam döngüsü değerlendirmelerinin kapsam diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 2.1: Hanel’ in lastik yaşam döngüsü kapsamı akış diyagramı



Kaynak: Hanel, 1999, s. 8

Hanel bu akış diyagramı kapsamında olan tüm süreçlerdeki verileri toplayarak dört farklı lastik kombinasyonun yaşam döngüsü boyunca toplam küresel ısınma, asitleştirme ve nitritlenme değerlerini hesaplamıştır. Hanel’ in bu çalışması lastiklerde yaşam döngüsü analizi üzerine yapılmış en önemli çalışmalardan biridir. Ancak bu çalışmada lastiklerin kullanım aşamasında hepsinin 50000 km yol kat edeceği öngörülerek hesaplamalar yapılmıştır. Ancak iki lastiğin araç ve yol üzerindeki etkisi

şüphesi aynı olmayacak lastiklerin bulunduğu araçların yakıt tüketimleri farklı olacaktır. Bu varsayım yaşam döngüsü çevresel etkilerinde önemli farklılıklar yaratabilecektir.

Hanel' in yapmış olduğu çalışma, lastiklerin yaşam döngüsü analizi yöntemi ile çevresel etkilerinin değerlendirilmesi hususunda şüphesiz en önemli kaynaklardandır. Ancak lastiklerin kullanım aşamasındaki yakıt tüketim farklılığı ihmal edilmiştir. Bu çalışmada ise lastiklerin tüm evreleri boyunca yaşam döngüsü analizi incelenmiş, kullanım aşamasında lastiklerin tükettiği enerji miktarı detaylı olarak hesaplanmıştır. Böylece bu çalışmada lastiğin tüm yaşam döngüsü süreçlerindeki çevresel etkinin daha doğru bir şekilde incelendiği yorumu yapılabilir.

2.1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Yaşam döngüsü analizi, bir proses, ürün veya hizmetin tüm çevresel boyutlarını; doğada hammadde elde edim aşamasından atıklarının tekrar doğaya verilmesine kadar geçen süreci inceleyen bir sistemdir. Bu değerlendirmede, ürünün hammadde elde edim, üretim, kullanım ve kullanım sonrası aşamalarında kullanılan enerji miktarı, atmosfere ve suya verilen emisyonlar gibi çevresel etkilerin tamamı incelenmektedir. Yaşam döngüsünün incelenen proses yerine sistemin tamamını ele alması bu tekniğin diğer çevresel tekniklerden daha doğru sonuçlar almasını sağlamaktadır.

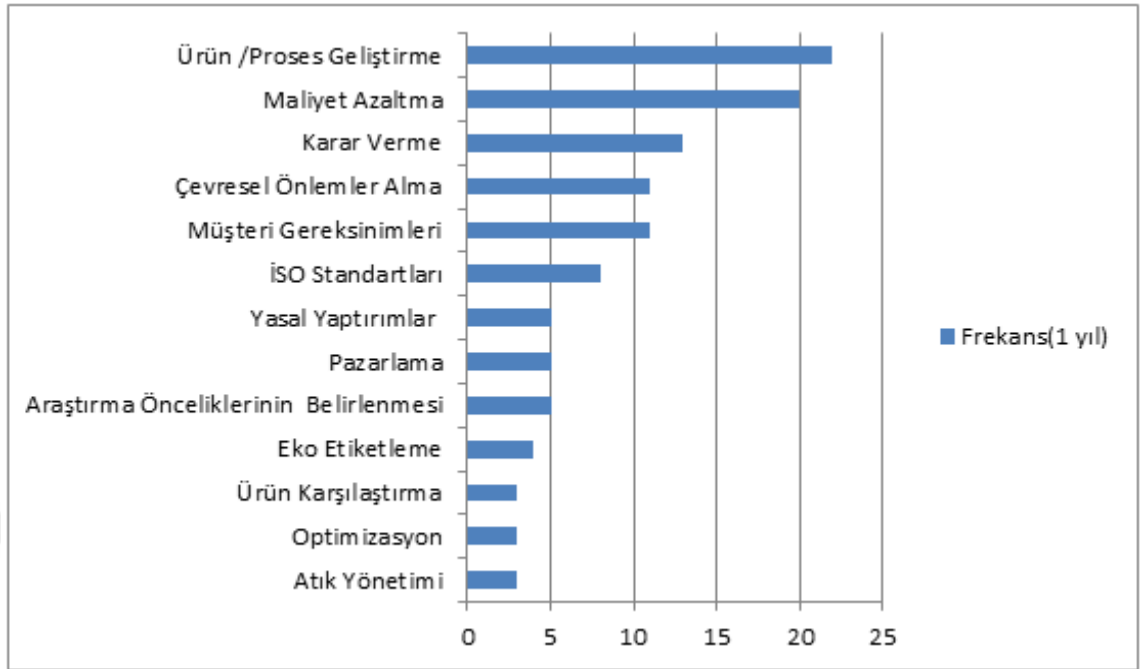
Yaşam döngüsü analizi yöntemi;

- a. Bir ürün veya hizmetin farklı yaşam döngüsü evrelerinde çevreyle ilişkisinin tanımlanarak bu ürün veya hizmetin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde
- b. Kamuda ve özel sektörde, stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi konularında karar verilmesinde
- c. Ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde çevresel performans göstergeleriyle ilgili kamu politikası oluşturulmasında

Çevresel bildirgeler ve çevre etiketi gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Gültekin 2015, s. 3).

Yaşam döngüsü analizi, birçok amaç için kullanılmaktadır. Şekil 2.2' de yaşam döngüsü analizi kullanım amaçları ve bu amaçlara göre kullanım ağırlıklarını göstermektedir (Balpetek 2012, s. 3).

Şekil 2.2:Yaşam döngüsü kullanım alanları ve kullanım sıklığı



Kaynak: Balpetek F.G, 2012, s.3

Bir yaşam döngüsü analizinin anlamlı olabilmesi için tüm yaşam boyu sürecin “beşikten mezara(cradle-to-grave)” prensibinin uygulanabilmesi ile sağlanabilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi; geçmişe dönük yaşam döngüsü aşaması diye tabir edilen “beşikten kapıya(cradle-to-gate)” ve gelecek zaman yaşam döngüsü aşaması diye adlandırılan ”kapıdan mezara(gate-to-grave)” süreçlerinin tümünün hakkında olan nitel varsayımlar ile nicel verilere dayanmalıdır. Ayrıca hizmet-kullanım(service-life) süreci ile yaşam sonu(end-of-life) süreci de yaşam dönüsü analizi yapılırken belirtilmelidir (Özdemir, 2012, s. 3).

Yaşam döngüsü analizinin sistem sınırı, çalışmada bulunan süreçler içerisinde hangi sürecin ürünün sisteminin bir bölümü olduğunu belirlenmesi işlemidir. Çalışmanın sistemi, sistem sınırındaki envanter girdi ve çıktıların akış diyagramları şeklinde tasarlanmaktadır. Sistem sınırı içerisinde bulunan her süreç için toplanan veriler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Enerji ve hammadde girdileri
- Ürünler ve atık oluşumu
- Emisyon oluşumu

Yaşam döngüsü analizinde bir ürünün süreçleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Üretim süreci (beşikten kapıya - cradle-to-gate)
2. Kullanım süreci(service-life)
3. Yaşam sonu süreci(end-of-life)

Üretim süreci, tüm yaşam döngüsü analizi kapsamında yapılması gereken zorunlu bir aşamadır. Bu süreç; yaşam döngüsü yapılan ürünün hammaddenin çıkartılması, yardımcı malzeme veya ön ürün üretimi, ürün üretimi, paketlenme, üretim aşamasındaki nakliye sürecini kapsamaktadır (García 2013, s. 138).

Kullanım süreci, ürünün kullanım safhasındaki enerji sarfiyatı ile oluşan emisyon ve atık miktarını ifade eder. Yaşam sonu süreci, ürünün kullanım sonrası yönetimiyle ilgili süreçleri (depolama, yeniden kullanım, geri dönüştürme, bertaraf/yok etme ve enerji geri kazanım) kapsamaktadır. Yaşam döngüsü analizinde değerlendirmesi yapılacak çevresel etkilerin belirlenmesi, hangi etki kategorilerinin, kategori göstergelerinin yaşam döngüsü analizine dâhil edileceği çalışmanın amaç ve kapsam bölümünde belirtilmektedir.

Yaşam döngüsü analizi sürecinde uluslararası sistem birimleri(SI - International System of Units) kullanılmaktadır. Temel birimler, metre (m), kilogram (kg), saniye (s), °C (Celsius), amper(A) şeklinde ifade edilmektedir. Tüm hammadde kaynakları, kg cinsinden gösterilmektedir. Enerji girişi, MJ olarak ifade edilmektedir.

2.1.1 Yaşam Döngüsü Analizinin Aşamaları

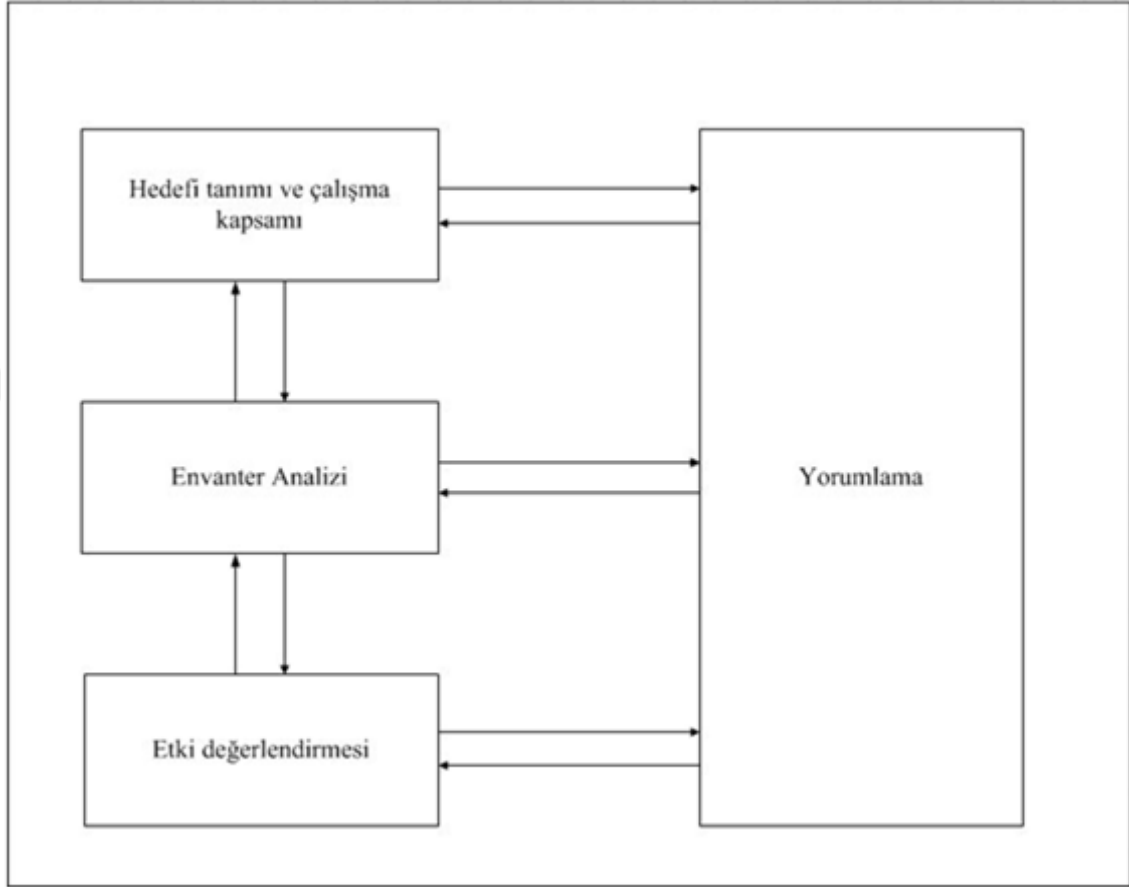
ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü analizi tekniği dört aşamadan oluşmaktadır.

Bunlar:

1. Hedef tanımı ve çalışmanın kapsamı aşaması
2. Envanter analizi aşaması
3. Etki değerlendirmesi aşaması
4. Yorum aşamasıdır.

Bu dört aşama birbirine bağı olup Şekil 2.3' de yaşam döngüsü aşamaları ve birbiri ilişkileri gösterilmiştir.

Şekil 2.3: Ürün yaşam döngüsü metodolojisi



Kaynak: Çokaygil Z. 2005, s.35

Hedef tanımlama ve çalışmanın kapsamı aşamasında, ilgili operasyonun amacı, kapsamı, sınırları ve detay seviyesi tanımlanmaktadır. Tüm yaşam döngüsü boyunca yapılan varsayımlar ve var olan belirsizlikler yaşam döngüsü analizi kapsamında belirtilmektedir. Bu aşamada, çalışmada ne öğrenilmeye çalışıldığının sorusuna cevap aranır.

Envanter analizi aşamasında ise tüm operasyon boyunca kaynak ve hammadde kullanımları ile oluşan çevresel emisyonlar belirlenmektedir. Bu aşamada iki ana adım bulunmaktadır. Birinci adımda, hammadde elde edim, üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçleri akış şeması oluşturulur. İkinci aşamada ise bu süreçlere ait malzeme girişi, süreç sonucu oluşan ürünler ile emisyonların miktarları kayıt altına alınır (O'Neill 2003, s. 88).

Envanter analizinde incelenen veriler üç sınıfta değerlendirilir:

1. Enerji girdileri, ham madde girdileri
2. Oluşan ürünler ve atık
3. Havaya, suya ve toprağa salımlar

Envanter analizi aşamasında üründe neyin gömülü olduğunun sorusuna cevap aranır.

Etki değerlendirmesi aşamasında, envanter analizi aşamasında belirlenen verilerin, çalışmanın amaç ve kapsamında tanımlanan çevresel etki kategorilerine göre (küresel ısınma etkisi, asidifikasyon vb.) etkilerinin incelendiği aşamadır. Etki değerlendirmesinde, sayısal envanter analizi sonuçları önceden belirlenen kategori başlıkları şeklinde gruplandırılmakta ve etkileri hesaplanmaktadır. Bu safhadan sonra isteğe bağlı olarak çevresel etkisi diğer kategorilerden daha büyük olan kategoriyi bulmak için, ilgili kategoriye ait sayısal değer normalleştirilip kategori göstergelerinin büyüklüğü bulunur ve diğer etki kategorileriyle karşılaştırılabilmesi sağlanır (Özdemir 2012, s. 29).

Yaşam döngüsü analizi çalışmaları için hazırlanmış birçok yazılım programı ve çok sayıda etki değerlendirme metodu bulunmaktadır. Sektörde bulunan tüm yazılım programları ve metotlara rağmen ülkeler veya ürün üreticileri kendi yazılım programlarını veya değerlendirme metotlarını geliştirebilmektedir. Etki değerlendirmesi aşamasında kullanılan tüm bu metotlarda bulunması zorunlu olan ve isteğe bağlı bölümler bulunmaktadır (Curran 2006).

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi toplam dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- a. Sınıflandırma
- b. Kategorizasyon
- c. Normalleştirme
- d. Ağırlıklandırma

olarak sıralanmaktadır.

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sınıflandırma bölümünde, envanter analizinde elde edilen verilerin yorumlanması uzun zaman gerektirdiğinden orta nokta adı verilen çevresel etki kategorileri sınıflandırılır. Orta nokta kategorilerine örnek olarak küresel ısınma, asidifikasyon, ozon tabakası incelmeye, solunum etkileri, radyasyon, alan kullanımı, ötrofikasyon, ekotoksiklik, fosil kaynak kullanımı, mineral kullanımı gibi çevresel etkiler verilebilir. Orta nokta etkilerinin sürekli olarak devam etmesi durumunda çevre şartlarının kalitesi düşmekte ve bunun sonucunda insan sağlığı, ekosistem kalitesi gibi birçok fazla zararlı etkinin oluşmasına sebep olmaktadır (Jolliet 2003, s. 324).

Sınıflandırma işlemi ile etkilerin belirlenmesinden sonra toplanan envanter verilerinin orta nokta kategorilerine olan katkıları hesaplanmaktadır. Örneğin CO₂ 'in küresel ısınmaya etkisi bulunmaktadır. Emisyonlar, belirli etkilere denk gelecek şekilde karakterize edilmekte, diğer bir deyişle emisyonların etki kategorilerine olan katkıları hesaplanmaktadır. Sınıflandırma ve kategorizasyon işlemleri her yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasında yapılmalıdır.

Normalizasyon işlemi isteğe bağlı bir bölümdür. Bu işlemin amacı, hangi etkinin toplam çevresel etki üzerinde daha çok etkiye sahip olduğunun belirlenmesidir. Bundan dolayı karakterizasyon değerleri çeşitli yollarda belirlenebilen bir normal sabit değerine bölünmektedir. Bu değer genellikle belirlenmiş bölgede bir yıl süresince yaşayan insan sayısıdır. Bu şekilde tüm etkiler birimsiz ifade edilerek karşılaştırma yapılabilmesi basitleştirilmektedir (İşler 2012, s. 43).

Ağırlıklandırma işlemi de normalizasyon gibi isteğe bağlı bir bölümdür. Bu işlemde normalizasyon değerlerine çevresel etkilerin önem derecesine göre ağırlıklandırma faktörü uygulanarak bu etkilerin önem derecesi ortaya koyulmaktadır.

Yaşam döngüsü analizi çalışmalarında kullanılan birçok sayıda etki değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

TRACI: Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen bir etki metodu olup iklim değişikliği, asidifikasyon, kanserojenler ve fosil yakıt kullanımı gibi potansiyel zarar etkileri karakterize edilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için tasarlanmış olmasının yanında, çevre kirliliğinin önlenmesi gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

EPS 2000d: Ürün geliştirme metodolojisi ve çevresel stratejilerin belirlenmesi odaklı bir metot olup, ekosistem üretim kapasitesi, biyotik olmayan kaynaklar gibi konularda kullanılmaktadır.

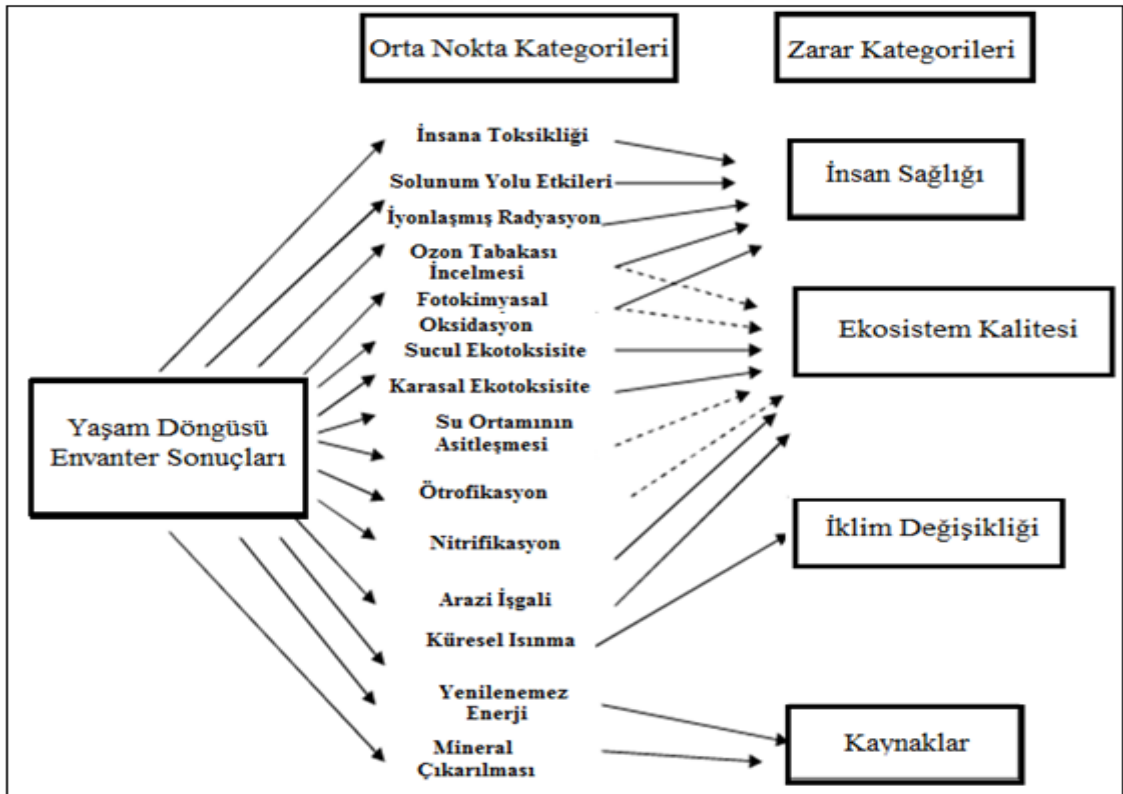
IPCC 2001: İklim değişikliğini inceleyen bir metottur.

Eco-indicator 95: Çevresel zarar kategorilerinin hesaplanması için özel olarak tasarlanmış bir metot olup ağırlıklandırma aşamasını da içermektedir. Özellikle ürün tasarımında kullanılması için hazırlanmış bir metottur.

IMPACT 2002+: Çevresel zarar etkilerine göre hazırlanmış bir metot olup insan ve çevre üzerindeki toksiklik etkisinin incelenmesi ve karşılaştırılabilmesi için kullanılmaktadır (İşler 2012, s. 46).

Bu çalışmada çevre etkileri IMPACT 2002+ yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yaşam döngüsü envanter analizi sonuçlarının IMPACT 2002+ yöntemi ile çevresel etkiler ile ilişkisi Şekil 2.4 'de gösterilmiştir.

Şekil 2.4:Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin IMPACT 2002+ yöntemi ile incelenmesi



Kaynak: Jolliet, O, 2003, s.324

Yorumlama aşamasında, envanter analizi ve etki değerlendirmesi aşamalarının sonuçları irdelenerek tercih edilecek operasyon seçilmektedir. Yaşam döngüsü analizi yapılan ürünün tüm süreç boyunca oluşan en önemli çevresel etkiler değerlendirilerek hangi süreçlerin bu çevresel etkileri oluşturduğu ortaya çıkartılmaktadır. Oluşan çıkarımlar neticesinde ürünün yaşam döngüsü süreçleri göz önüne alınarak hangi aşamada (hammadde elde edinimi, üretim, kullanım, geri dönüşüm vb.) yapılabilecek operasyonlar ile çevresel performansın nasıl iyileştirilebileceği tartışılmakta ve öneri yapılarak çalışma sonlandırılmaktadır.

2.2 ARAÇ LASTİKLERİ

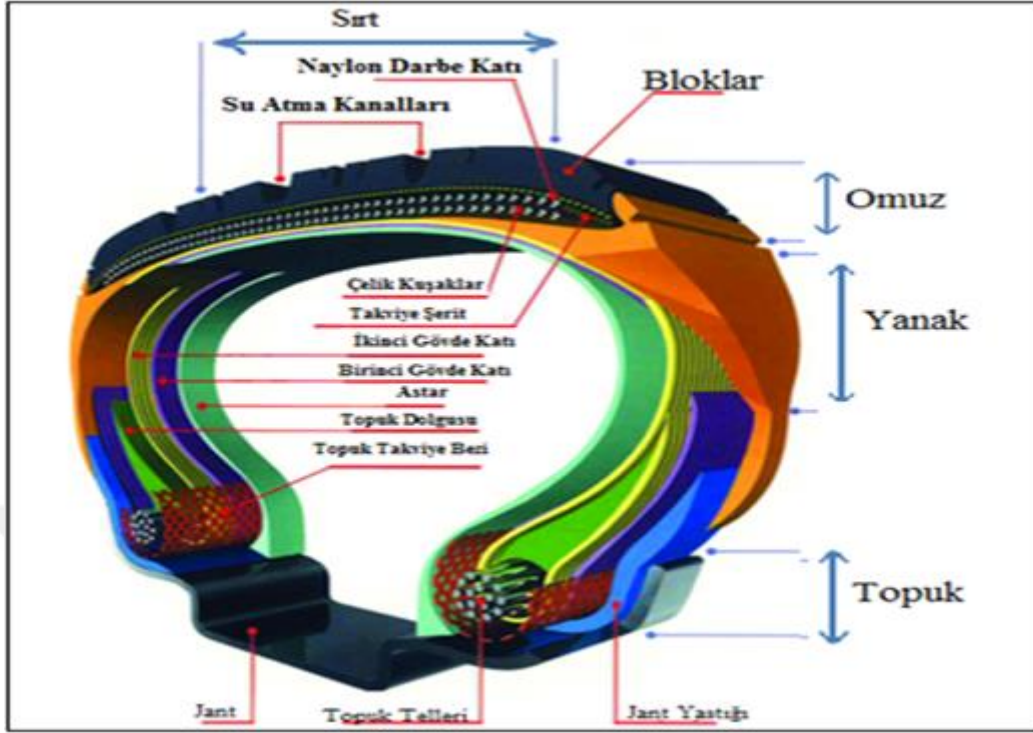
Araçların karayolu ile temasını sağlayan tek unsur olan lastiklerin taşıt ve yol açısından önemi göz ardı edilmeyecek kadar büyüktür. Lastiklerde meydana gelebilecek küçük bir problem araç üzerinde önlenemeyen bir hasar oluşturabilmektedir. Bu yüzden araç lastikleri hammadde üretiminden kullanımına kadar her süreçte dikkatle takip edilmesi gereken bir üründür.

2.2.1 Araç Lastiklerinin Yapısı ve Çeşitleri

Araç lastiği konstrüksiyon açısından iki ana bölümde incelenir.

1. Karkas (gövde)
2. Sırt, Yanak, Topuk ve Omuz 'dur. Şekil 2.5' de binek araç lastiğinin yapısı gösterilmiştir.

Şekil 2.5: Lastiğin yapısı



Kaynak: Yakaboylu O, 2010, s. 4

Karkas(Gövde) kısmı lastiğin ana bileşenidir. Lastiğin içindeki hava basıncını ve aracın yükünü taşıyan bölümdür. Radyal lastiklerde kuşak kısmının, konvansiyonel lastiklerde ise sırt kısmının altında yer alır. Karkas, çelik, naylon, rayon vb. maddelerinden oluşabilen kordlardan oluşmaktadır.

Sırt kısmı, lastiğin zemine temas ettiği kauçuktan yapılmış olan bölümdür. Lastiğin yola tutunmasını, ıslak zeminde giderken yoldan lastiğin yüzeyine geçen suyun tahliyesini, ısınana lastiğin soğumasını sağlayan kanal ve bloklardan oluşmaktadır. Lastiğin sırt kısmının deseni, üretim sürecindeki pişirme esnasında sırtta kaplanacak karışımın kalıp içerisinde şekillenmesi sonucunda oluşmaktadır.

Topuk kısmı, lastiğin janta temas eden bölgesidir. Kauçuktan oluşan topuk tel demeti ve topuk dolgusundan oluşmaktadır. Lastiğin janta tam oturarak sıkıca bağlanmasını sağlamaktadır.

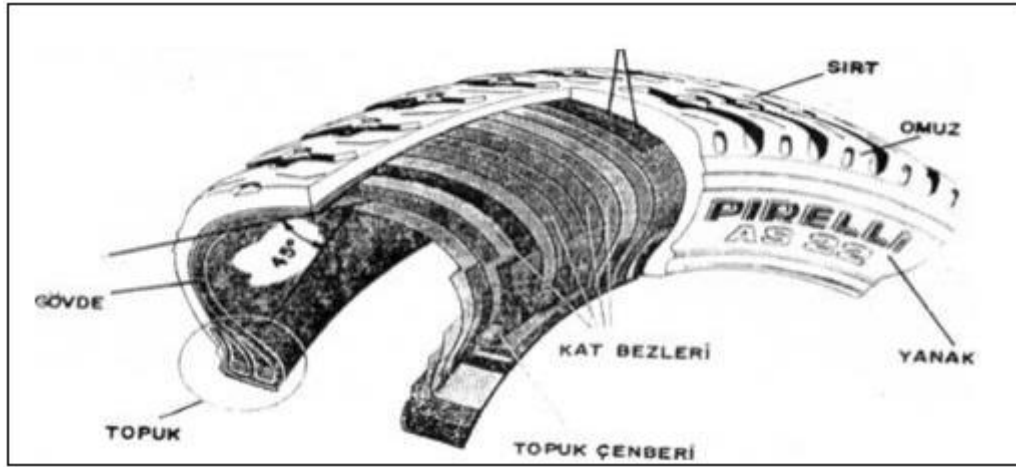
Yanak kısmı, lastiğin çevresi etrafında uzanan topuk ve sırt bölgeleri arasındaki, kauçuktan oluşan bölümdür. Bu bölüm yola temas etmemektedir. Lastiğin yanak

kısımında dışarıdan gelen darbeleri sönmölemek amacı ile dayanıklı kauçuk karışımı kullanılmaktadır. Lastik ile ilgili tüm bilgiler yanak kısmında yer almaktadır.

Omuz kısmı, lastiğın kalın kauçuktan yapılmış, yanağın üstünde, sırt kısım ile yanak kısmının kesiştiği yerde bulunan bölümdür. Yol ile temas halinde olan sırt kısmın ısısını lastik dışına atabilmek için pencereleli bir yapıya sahiptir. Dışarıdan gelebilecek yatay eksenli darbelere karşı gövde kısmını korur.

Araç lastikleri yapılarına göre konvansiyonel lastikler ve radyal lastikler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Konvansiyonel lastikler, bir diğere adı çapraz katlı lastikler olan bu lastikler, lastiğın gövdesini oluşturan katlardaki kord adı verilen ipliklerin birbiri üzerine, taban merkez çizgisi ise yaklaşık 45 derecelik açı yaparak, çapraz şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 2.6' da örnek bir konvansiyonel lastiğın yapısı gösterilmiştir (Ertekin 2011, s. 18).

Şekil 2.6: Konvansiyonel lastik

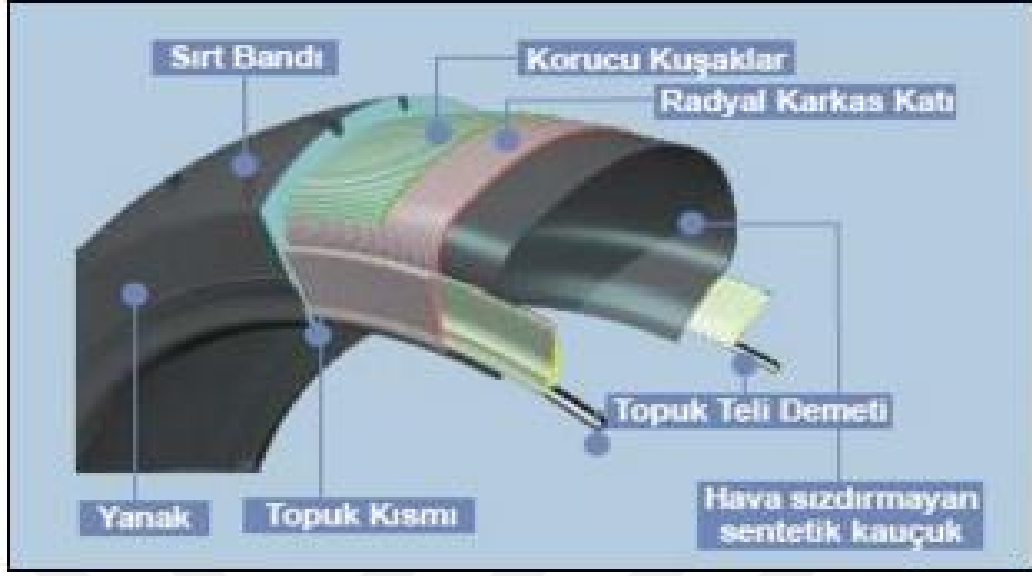


Kaynak: Ertekin,İ, 2011, s. 18

Radyal lastikler ise kord bezi ipliklerinin bir damaktan diğere lastik merkez çizgisinin 90° açı ile keserek gittiği ve bez katlarının üstünde yaklaşık 15° lik kuşaklar bulunan lastik türüdür. Şekil 2.7' de örnek bir radyal lastiğın yapısı gösterilmiştir.³

³ (<http://tireretreading.net/lastik-nedir/lastik/lastik-cesitleri-ve-siniflandirmalari-nelerdir>)

Şekil 2.7: Radyal lastik



Kaynak: (<http://tireretreading.net/lastik-nedir/lastik/lastik-cesitleri-ve-siniflandirmalari-nelerdir>)

Konvansiyonel lastikler günümüz araç teknolojisinde istenilen performansı sağlayamadıkları için çok fazla tercih edilmemektedirler. Radyal lastikler, yol tutuş kabiliyetinin yüksek olması, araç konforunun daha yüksek olması ve maliyetinin daha düşük olması nedeni ile daha fazla tercih edilmektedir.

Araç lastikleri karayolunda hizmet veren araç tiplerine göre farklı ebat ve kullanım şekline göre üretilmektedir. Araç lastikleri ebatlarına göre binek, kamyon-otobüs, kamyonet-minibüs, traktör ve iş makinası lastiği olarak beş ana gruba ayrılmaktadır.

Araç lastikleri karayolu ile araç arasındaki tek bağlantı olduğundan yolun yapısına göre farklı desenlerde üretilmektedir. Yolun yapısına göre;

- a. Düz Tip Lastikler
- b. Asimetrik Tip Lastikler
- c. Dişli Tip Lastikler
- d. Blok Tip Lastikler
- e. Düz - Dişli Tip Lastikler(Çevresel oluklu ve dişli)
- f. Kar - Çamur Tipi Lastikler
- g. Yönlü Tip Lastikler

olarak yedi sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 2.8’ de desenlerine göre bazı lastik tipleri gösterilmiştir.⁴

Şekil 2.8: Desenlerine göre lastikler



Kaynak:(<http://www.bridgestone.com.tr/lastik-rehberi/detayli-bilgiler/>)

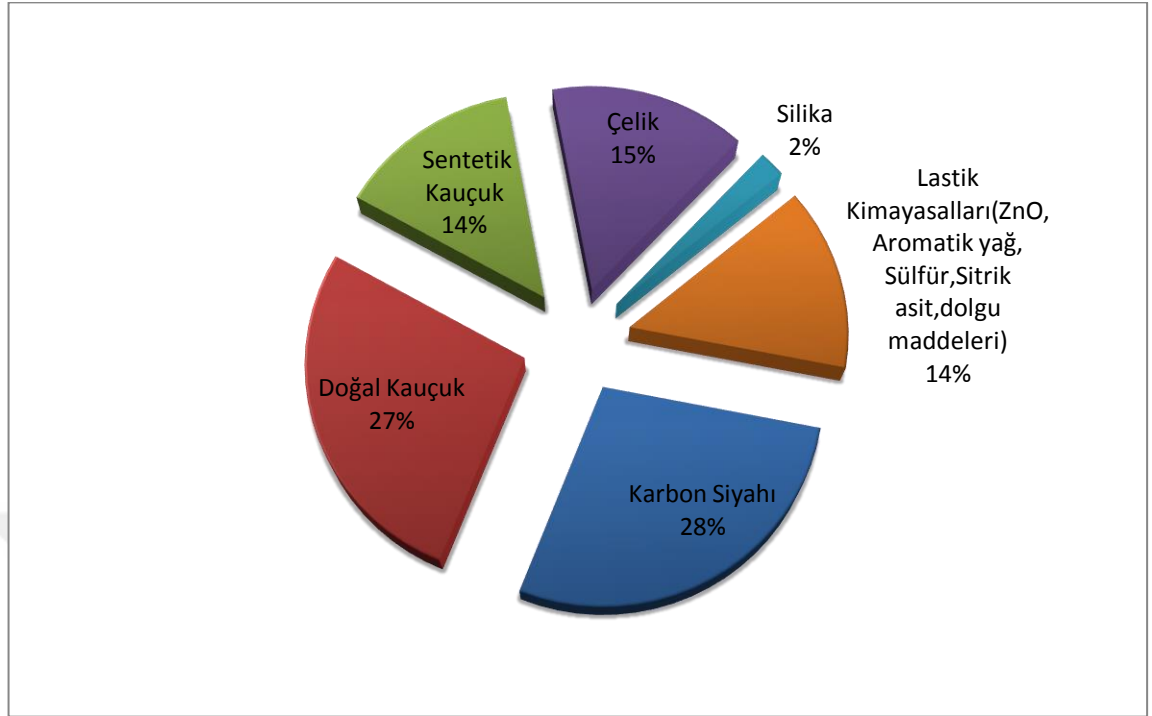
2.2.2 Araç Lastiğinin Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları

Dünyada yüz yılı aşkın süredir araç lastiği üretimi yapılmaktadır. Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ile lastik üretimi de modernize olmuştur. Lastik üreticileri, lastiği sadece üretim aşamasında değil hammadde elde edinimi sürecinden geri dönüşüm sürecine kadar takip etmekte ve her geçen gün bu süreçleri alternatif yöntemler ile geliştirmektedirler.

Araç lastiği üretiminde kullanılan hammaddeler; doğal kauçuk, sentetik kauçuk, çelik tel, silika ve lastik kimyasallarıdır. Bu hammaddelerin oranı lastiğin cinsi ve kullanım yerine ve değişebilmekte olup örnek olarak Şekil 2.9 ‘da bir kamyon lastiğinin yapısını oluşturan hammaddelerin oranları gösterilmiştir (Yakaboylu 2010, s. 7).

⁴ <http://www.bridgestone.com.tr/lastik-rehberi/detayli-bilgiler/>

Şekil 2.9: Lastiğin yapısında bulunan hammaddeler



Kaynak: Yakaboylu O, 2010, s. 7

Lastiğin yapısını oluşturan hammaddelerden bahsedilecek olursa:

Doğal Kauçuk: Doğal kauçuk, bir hidrokarbon olup, Güney Amerika kıtasındaki kauçuk ağaçlarının çeşitli yöntemlerden geçirilmesiyle elde edilmektedir. Doğal kauçuk lateks adı verilen doğal bir sıvıdan üretilmektedir. Doğal kauçuk üretimi için önce lateks sulandırılır, ondan sonra yüzde 1'lik asetik asit çözeltisi ilave edilerek pıhtılaşması sağlanır. Yıkama ve kurutma aşamasından sonra doğal kauçuk elde edilmektedir. Elde edilen bu kauçuğun lastik üretiminde kullanılabilmesi için vulkanizasyon işlemine sokulması gerekmektedir. Vulkanizasyon işlemi ile dayanıklı hale gelen kauçuk lastik üretimine hazır hale gelmektedir (Pandül 1999, s. 7).

Sentetik Kauçuk: Sentetik kauçuklar genellikle lastik sanayisinde kullanılmakta olup çoğunlukla stiren bütadien kauçuğu ve cis polibütadien kauçuğu olarak kullanılmaktadır. Stiren bütadien kauçuğu, petrolden elde edilen ürünlerden oluşmaktadır. Bu kauçuk yapay kauçukların yüzde 60'ını oluşturur. Stiren bütadien kauçuğu yüksek sıcaklığa, yağ ve çözücülere karşı çok dirençlidir. Cis polibütadien kauçuğu ise 1,3 bütadien monomerinden, çeşitli katalizörler altında çözelti

polimerizasyonu yöntemi ile elde edilmektedir. Bu katalizörler titanyum, brom, nikel, lityum, sodyum ve kobalt olabilmektedir.

Karbon Siyahı: Sıvı veya gaz fazdaki hidrokarbonların yanma veya ısıl parçalanma işlemleri sonucu elde edilen ince karbon partikülleridir. Sanayide çoğunlukla kısmi yanma işlemi ve fırın yöntemi ile üretilmektedir. Yöntemin fırın olarak adlandırılmasının nedeni kısmi yanma işlemi için kullanılan reaktörlerin fırın şeklinde olmasıdır. Karbon siyahı, lastiğin hammaddeleri en önemli yapıtaşı olup kauçuğun hem mekanik özelliklerini arttırmakta hem de lastiğe renk verme işlemini gerçekleştirmektedir. Karbon siyahlarının piyasada yüzey alanına ve tanecik boyutuna göre çeşitleri bulunmaktadır. Başlıca yüzey alanına ve tanecik boyutuna göre değişen karbon siyahı, yapısına göre sert ve yumuşak türler olarak ikiye ayrılır. Sert tür karbon siyahı lastiğin sırt kısmında ve topuk kısmında kullanılırken, yumuşak tür karbon siyahı ise yanak ve gövde bölümlerinde kullanılmaktadır.

Çelik Tel: Lastiğin gövde kısmının yapısında, lastiğin iskeletini oluşturma ve lastiğe dayanıklılık kazandırmak için kullanılmaktadır.

Sülfür: Araç lastiğinin üretiminde, lastiğin vulkanizasyon sürecinde kullanılan sülfür, kauçuğun dayanıklılık ve esneklik sağlamasına yardımcı olmaktadır.

Aromatik Yağlar: İşlem yağı olarak da bilinen aromatik yağlar, viskozitesi yüksek sıvılar olup lastiğin dayanıklılık ve esnekliğini arttırmak için kullanılmaktadır.

Sitrik Asit: Hayvansal yağlardan elde edilen sitrik asit, lastik endüstrisinde lastik yumuşatıcı olarak kullanılmaktadır.

Diğer Dolgu Maddeleri: Lastiğin yapısında bulunan dolgu maddelerinin en önemlileri kalsit, çinko oksit, demir oksit ve silis gibi inorganik yapıda olan dolgu malzemeleridir. Bu dolgu maddelerinin lastik üretimindeki kullanım amacı vulkanizasyon işleminin gerçekleşmesini sağlamak ve verimini arttırmaktır (Pandül 1999, s. 9).

Lastiğin hammaddeleri üretim aşamasında farklı süreçler ile birleşerek araç lastiklerini oluşturmaktadır. Araç lastiklerinin üretimi genel olarak beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Karıştırma (mixing):
2. Haddeleme (calendering)
3. Çekme (extrusion)
4. Lastik elemanlarının montajı
5. Şekil verme ve vulkanizasyon aşamalarıdır.

Karıştırma aşamasında lastik hammaddeleri karışım haline getirilmektedir. Sırt, yanak ve gövde bölümlerini oluşturan kauçuk, karbon siyahı, sülfür ve çeşitli kimyasallar üretimin diğer aşamalarına girmeden önce birbirleri içerisinde homojen bir biçimde dağılması ve diğer üretim işlemlerinde lastiğe istenen yumuşaklığı verebilmek amacı ile karıştırılmaları gerekmektedir.

Haddeleme aşamasında karışım haline gelen hammaddeler, üç merdaneli bir haddeleme tezgâhında levha haline getirilir. Tezgahın üst iki merdanesi şekil verici, alt merdanesi ise, taşıyıcı niteliktedir. Kaplama, üç veya dört merdaneli haddeler üzerinde yapılır. Üç merdaneli haddeler kort bezinin bir yüzünü, dört merdaneli haddeler ise, her iki yüzünü kaplamada kullanılır. Kaplanmış malzemenin ezilmesi, kord bezi ile onu kaplayan malzeme arasındaki haddeleme hız farkı ve merdane açıkları yüzünden ortaya çıkan boşlukların malzemenin kendisi ile doldurulması işlemidir.

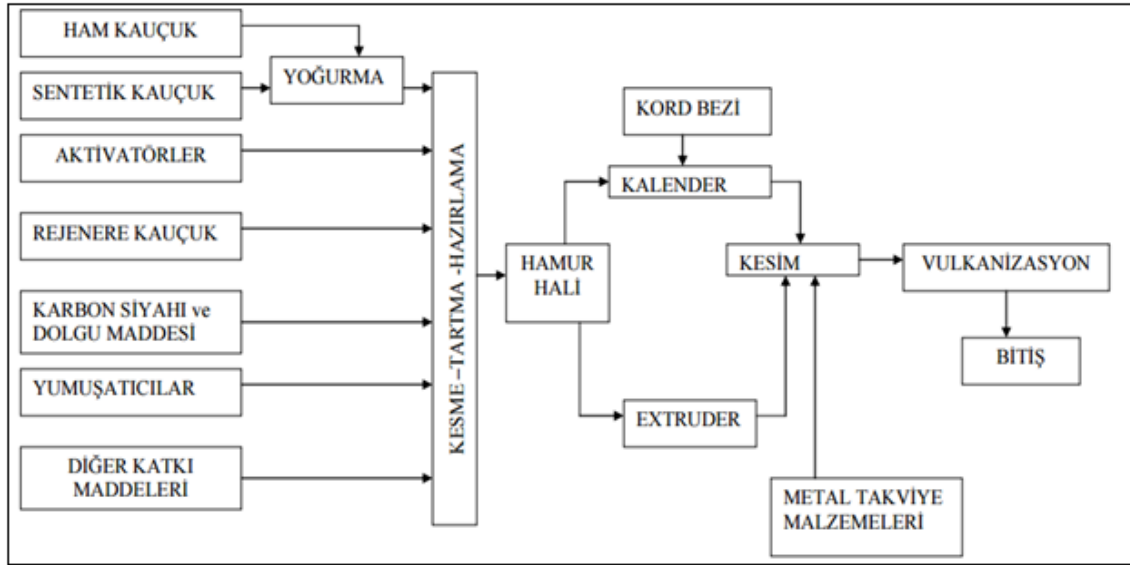
Çekme aşaması, lastiğin sırt ve yanak kısımlarında kullanılan profilli yapılar çekme işlemi sonucunda oluşmaktadır. Çekme işlemini gerçekleştirmek için vidalı ekstruder cihazları kullanılmaktadır. Ekstruder silindirinin uzunluğu termoplastik elemanlara göre daha kısadır. Bu kısalık çapraz bağın istenilen zamandan önce oluşma riskini azaltmaktadır. Ekstruzyon sonucu oluşan ürünlerde ürün kalıptan çıktıktan sonra bir miktar şişme görülmektedir.

Lastik Elemanlarının Montajı, aşaması kısaca iki evrede tanımlanabilir. Birinci evrede astar, gövde tabakası ve yanakların tamburun üzerine sarılıp topukların konumunun ayarlanması, tabaka kenarlarının topuk demeti etrafına sarılması ve yanakların birleştirilmesi aynı anda yapılır. İkinci evrede ise lastik kuşakların, sırt tabakasının eklenmesi ile “ham lastik “ pişirme evresine hazır hale gelmektedir.

Şekil verme ve vulkanizasyon aşaması, ham lastiğin önceden hazırlanmış kalıplar içerisinde yüksek sıcaklık ve basınç altında belirli bir zaman diliminde pişirilmesi sonucu istenilen desen ve boyuta ulaştırılması işlemidir. Lastiğin yanak bölümünde bulunan markalama ve taban deseni bu işlemde gerçekleştirilmektedir. Bu işlemde lastiğin yapısında bulunan termoplastik moleküllerinin birbiri arasında çapraz bağlar oluşmaktadır. Böylece lastiğin rijitliği artmaktadır. Uzun moleküller belirli bölümlerde bağlanır ve malzemenin kalıcı olarak şekil değiştirmesi engellenir.

Her lastiğin imalat sürecinin son aşamasında üretilen lastik, elle ve otomatik cihazlarda kontrol edildikten sonra lastiğin istenilen kalite ve boyutta olduğunun garanti altına alınması sağlanmış olur. Bu işlem lastik performansının onaylandığı ve güvence altına alındığı son imalat sürecidir. Şekil 2.10 'da bir araç lastiğinin üretim aşamalarının akış diyagramı gösterilmiştir (Batır 2002, s. 22).

Şekil: 2.10: Araç lastiği üretim aşamaları



Kaynak: Batır.B, 2002, s. 22

2.2.3 Araç Lastiğinin Kullanımı

Gelişen araç teknolojisinin bir sonucu olarak araçlarda yol tutuşu ve araç hareketini sağlayan lastik özellikleri ve profillerinde de önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bir aracın performansında o aracın aerodinamik özelliği, motor tasarımı gibi parametreler

ne kadar önemli ise gerek güvenlik gerekse taşıt performansı açısından o araca uygun lastiklerin seçimi ve kullanımı da o kadar önemlidir.

Bu yüzden farklı kullanım alanları için farklı lastik çeşitleri kullanılmaktadır. Araç ve yol güvenliği açısından uygun lastik kullanımı kaza riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Günümüzde araçlardan maksimum performans alabilmek için yol ve mevsim durumuna göre farklı lastikler kullanılmaktadır. Bunlar üç ana kategoride özetlenirse;

1. Düz tip lastikler

2. Kış lastikleri

3. Dört mevsim(M+S) tip lastikler olarak sınıflandırılmaktadır.

Düz tip lastikler, hız yapmaya müsait yol ve araçlar için üretilmiştir. Bu lastikler arttırılmış tepki, viraj alma ve fren kapasitesine sahiptir. Lastiğin sırt kısmı üzerindeki desenleri ve kauçuk bileşimi sıcak(+7 °C üstü sıcaklık) ve kuru zeminde yola daha iyi tutunma amaçlı tasarlanmıştır. Sırt desenleri diğer tip lastiklere göre daha az oyuğa sahiptir böylece kauçuğun yola daha fazla temas etmesi sağlanmıştır. Bu lastiklerle maksimum yol tutuşunu hedeflenmektedir.

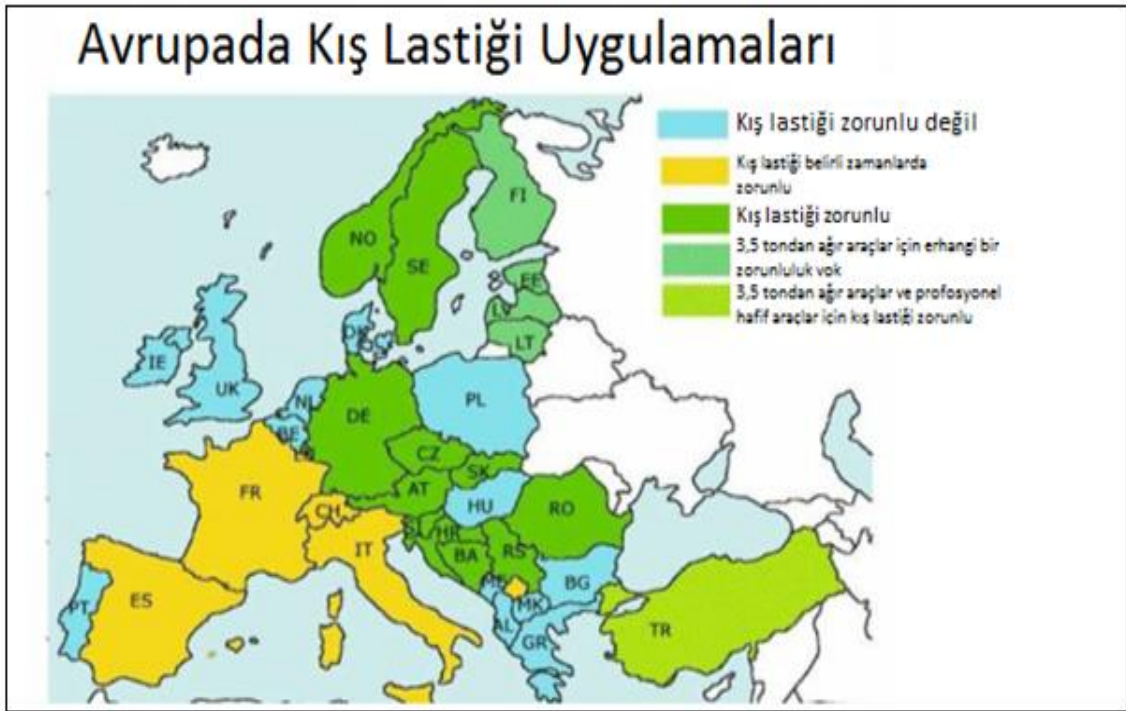
Kış lastikleri araçların, soğuk(+7 °C altı sıcaklık)hava ve kar kaplı yollarda aracın zemine daha iyi tutunabilmesi amacı ile özel olarak üretilmiş lastiklerdir. Düşük sıcaklıklarda (+7 °C altı) daha iyi yol tutuşu sağlamak amacıyla lastik dışlarının kauçuğu özel bir kimyasal karışım ile üretilmiştir. Dış yapıları ve dış kalınlıkları düz tip lastiklere göre daha farklıdır. Bazı bölgelerde çivili kış lastikleri kullanılmakta olup bu tip lastikler yol yüzeyine aşırı zarar verdiği için birçok ülkede kullanımı yasaklanmıştır. Bu lastiklerin ülkemizde de kullanımı kanunen yasaklanmamış olmasına rağmen otoritelerce çok fazla tavsiye edilmemektedir.

Dört mevsim(M+S) tip lastikler, kimyasal yapısı düz tip lastikler gibi fakat dış yapısı ve kalınlığı kış lastiklerine benzer olan dört mevsim lastikleri sıcak havalar ve kış aylarını çok soğuk geçirmeyen yerlerde kullanılmaktadır. Dört mevsim lastikler, hafif kar yüzeyinde kabul edilebilir bir performans sağlamasına rağmen, kış mevsiminin çok soğuk geçtiği ve yolların yoğun kar örtüsü ile kaplı olan yerlerde iyi performans sergileyememektedir. Bu tip lastikler yazın yaz lastiklerinden daha kötü, kışın kış

lastiklerinden daha kötü performans sergiler. Ancak dört mevsim boyunca kullanıldığı için ek maliyet gerektirmediğinden ve lastik üreticilerinin yeterli sayıda kış lastiği üretememesinden ötürü bu tip lastikler kış mevsimi çok soğuk olmayan bölgelerde oldukça fazla kullanılmaktadır.⁵

Dünyada trafik kazalarında her yıl bir milyonun üstünde can kaybı yaşanmaktadır. Kış aylarında kazaların önemli bir kısmı lastiklerin yola iyi tutunamamasından kaynaklanmaktadır. Son yıllarda araç ve lastik üreticileri bu kazaların azalması için birçok çalışmalar yapmıştır. Kamu idarecileri de kazaların önüne geçmek adına bazı yasal düzenlemeleri uygulamaya koymaktadır. Avrupa’ da kış lastiği kullanım mevzuatları ülkelere göre farklılık göstermektedir. Ülkeler kendi coğrafi ve iklim yapılarına göre kış lastiği mevzuatını şekillendirmiştir. Şekil 2.11’ da Avrupa’da ülkelere göre kış lastiği kullanım uygulamaları gösterilmiştir.

Şekil 2.11: Avrupa’da kış lastiği uygulamaları



(Kaynak: <https://twitter.com/ExportizeLtd/status/706815767220764672>)

⁵ <http://www.kislastigi.com/ss.asp>

Ülkemizde de kış aylarında kaza sayılarının minimum düzeyde olabilmesi için Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'nın "2014/KDGM- 09 /DENETİM" sayılı genelgesi ile ülkemizde kış lastiği kullanımı yasal bir zemine kavuşmuştur. Bu genelge ile 1 Aralık -1 Nisan tarihleri arasında genelgede belirtilen 54 ilde trafiğe çıkacak araçlarda kış lastiği veya dört mevsim (M+S) tip lastik kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. İlgili genelge metnine göre otomobil, minibüs, panelvan ve midibüs gibi araçların tüm lastikleri M+S tip veya kış lastiği olmak zorundadır. Otobüs, kamyon, tanker gibi ağır yüklü araçların ise çekici akslarında M+S veya kış lastiği kullanılması zorunludur. Genelgeye göre belirtilen tarih ve illerde yapılan denetimlerde araçların genelge metninde belirtilen lastikleri kullanmaması halinde araç sahibine idari para cezası uygulanması ve aracın lastiği genelgeye uygun hale gelmeden trafiğe çıkarılmaması kararlaştırılmıştır.⁶

Bazı uzmanlar, dört mevsim (M+S) tip lastiğin soğuk havalarda kış lastiği kadar yüksek performans sergilemediğini bu yüzden kış aylarında sadece kış lastiklerinin kullanılması gerektiğini savunmuşlardır. Ancak ülkemiz ikliminin çok soğuk olmaması, ayrıca lastik üreticilerinin yeterli sayıda kış lastiği üretememesi nedeni ile dört mevsim lastikler kış aylarında ülkemizde önemli miktarda kullanılmaktadır.

Lastikler kullanım aşamasında dışardan birçok etkiye maruz kalmaktadır. Kullanım aşamasında lastiğin ömrünü etkileyen hususlar üç kısımda incelenmiştir. Bunlar; Uygun lastik seçimi, doğru hava basıncı kullanımı, yük miktarı olarak sıralanmaktadır.

Uygun lastik seçimi: Lastiğin üzerindeki bulunan ağırlığı emniyetli bir biçimde taşıyabilmesi amacı ile araca uygun ebatta, yük endeksi ve hız sembolüne uygun lastikler kullanılmalıdır. Ayrıca araca takılan lastiğin kullanılan yolun tipine (eğim, zemin mekaniği, yağış durumu) göre uygun özellikte lastik seçilmelidir.

Doğru hava kullanımı: Kullanılan lastiklerin aracın yük endeksine uygun hava ile şişirilmesi lastik ömrünü etkileyen en önemli faktörlerdendir. Lastiğin taşıdığı yüke göre ne kadar basınç ile şişirilmesi gerektiği araç üreticisinin kataloglarında

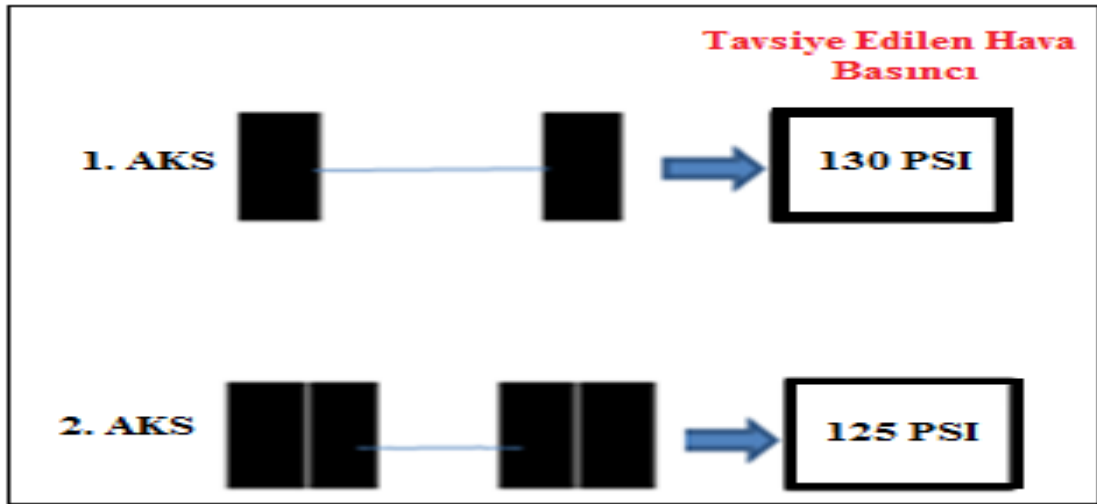
⁶ http://www.burdur.pol.tr/Duyurular/Sayfalar/k%C4%B1s_lastik.aspx

bulunmaktadır. Katalog değerine göre hava basıncı ayarlanan lastiklerin aşınma miktarı daha az olmaktadır. Hava basınç miktarı yüksek olan lastiklerin sırt merkezi, hava basıncı miktarı düşük olan lastiklerin ise omuz kısımları daha çok aşınır. Bu durumlarda lastiğin ömrü azalmakta bunun ile beraber aracın diğer aksamalarında da arızalar meydana gelebilmektedir. Şekil 2.12’de bir otobüsteki lastiklerin basınç-yük tablosu Şekil 2.13’ de 2 akslı bir otobüs lastiğinde bulunan lastiklere uygulanması gereken hava basınç miktarları gösterilmiştir.

Şekil 2.12 : Lastik yük-basınç tablosu

Lastik Ebat	Yük Endeksi	Aks Kullanımı	Bar	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
275/70 R 22.5			PSI	87	94	102	109	116	123	131
	152	Tekli	Yük KG	5130	5470	5805	6135	6460	6780	7100
	151	Tekli		4985	5315	5640	5960	6275	6590	6900
	148	Tekli		4550	4855	5150	5440	5730	6015	6300
	148	Eşli		9105	9710	10305	10885	11465	12035	12600
	145	Eşli		8385	8940	9485	10025	10555	11080	11600

Şekil 2.13: İki akslı bir otobüs lastiğinin hava basınç miktarları



Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 ‘de gösterilen 275/70 R 22,5 ebatta bir lastiğin kullanıldığı aks durumuna göre kullanılması gereken lastik hava basıncı değeri ve lastiğin bulunduğu aksin taşıyabileceği maksimum yük gösterilmiştir (Tatkap 2013, s. 46).

Yük Miktarı: Araca yüklenen yükün miktarı ve araca yükleniş tarzı, lastiğin ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. Bilinçsiz yükleme, araç üzerindeki bazı lastiklerin diğer lastiklere göre daha fazla yük taşıyıp, daha hızlı aşınmalarına neden olmaktadır. Aracı yükleme biçimindeki amaç, her lastiğin eşit ağırlık taşımalarını sağlamaktır.

2.3 KULLANIM SONRASI LASTİK YÖNETİMİ

Kullanım sonrası lastiklerin yönetimi çevre boyutları açısından en az lastik üretimi ve kullanımı kadar önem arz etmektedir. Kullanım sonrası lastikleri, ömrünü tamamlamış lastikler ve kısmen yıpranmış lastikler olarak iki ana sınıfa ayırmak mümkündür.

2.3.1 Kısmen Yıpranmış Lastikler

Kısmen yıpranmış lastiklerin yönetimi çevre kirliliğini minimize etmek adına çok önemli bir faaliyettir. Lastiğin aşınma derecesini belirlemek için taban diş derinliği, kullanılmaktadır. Taban diş derinliği terimi, lastiğin sırt kısmında bulunan bir dişli yapının en dış noktasının diş tabanı ile arasındaki mesafe adlandırılmaktadır. Kullanılmış bir otomobil lastiğinin taban diş derinliği değeri 1,6 mm' den, kamyon lastiğinin taban diş derinliği 3 mm'den büyük ise lastik tekrar kullanılabilir (Tatkap 2013, s. 8).

Şekil 2.14' de lastik taban diş derinliği 3 mm' den az olduğu için araçtan sökülen bir kamyon lastiği gösterilmiştir.

Şekil 2.14: Taban diş derinliği 3 mm' den küçük bir lastik



Kısmen yıpranmış lastikler, sırt desenlerinin yeniden kaplama yapılması ile yeniden kullanıma hazır hale gelmektedir. Kaplama işleminin yapılabilmesi için lastiğin tüm bölümlerinin kimyasal özelliklerini kaybetmemiş olması ve lastiğin yanak, topuk ve omuz kısımlarının yapısında herhangi fiziksel bir aşınma olmaması gerekmektedir. Yanak veya sırt yüzeyinde yarık, kılcal çatlak gibi kusurları bulunan lastikler kaplanamamaktadır. Kaplama işlemi yapılacak olan lastiğin bu işlemde önce mutlaka temizlenmesi gerekmektedir. Sırt bölgesi, kord bezine birkaç mm uzaklık kalıncaya kadar tornalanarak sırtta kalan kauçuk tabakası alınmaktadır. Bu işlemde sırtın pürüzsüz olmasına dikkat etmek gerekmektedir.

Sırtta kaplanacak olan kauçuk malzeme lastik ile iki şekilde kaplanabilir. Birinci yöntem olan sıcak kaplama, kaplama sisteminin en eski yöntemidir. Kaplanacak lastiğin gövdesi ve hazırlanan kauçuktan yapılmış yeni sırt aralarına sürülen bir bağlayıcı madde yardımıyla birbirlerine yapıştırıldıktan sonra birlikte yüksek sıcaklıkta vulkanize edilmektedir. Sıcak kaplama işleminin çok yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesinden dolayı lastiğin gövde yapısının bozulmasına yol açabilmektedir. Bu sebepten dolayı bu yöntem geçmişte çok kullanılmasına rağmen, günümüzde çok fazla kullanılmamaktadır (Batır 2002, s. 27).

Günümüzde en fazla tercih edilen kaplama yöntemi soğuk kaplama yöntemidir. Soğuk kaplama işlemi, gövdeye kaplanacak olan kauçuk sırt bölüme çekme (ekstrüzyon) işlemi yapılarak istenilen şekil verilip hazırlanmakta ve daha sonra bir ön vulkanizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlemde sonra kaplanacak olan gövdeye, sıcak yöntemle göre daha düşük sıcaklık uygulanarak yapıştırılmaktadır.

Kaplama lastikler, benzer bir yeni lastiğin üretimine kıyasla yaklaşık üçte iki daha az enerji harcamaktadır. Ayrıca kaplama lastik üretiminde normal lastik üretiminde kullanılan kimyasal maddelerin yüzde 50 si kullanılmaktadır. Bu yüzden kullanılan lastiklerin kaplanıp yeniden kullanılabilir hale gelmesi enerji verimliliği ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

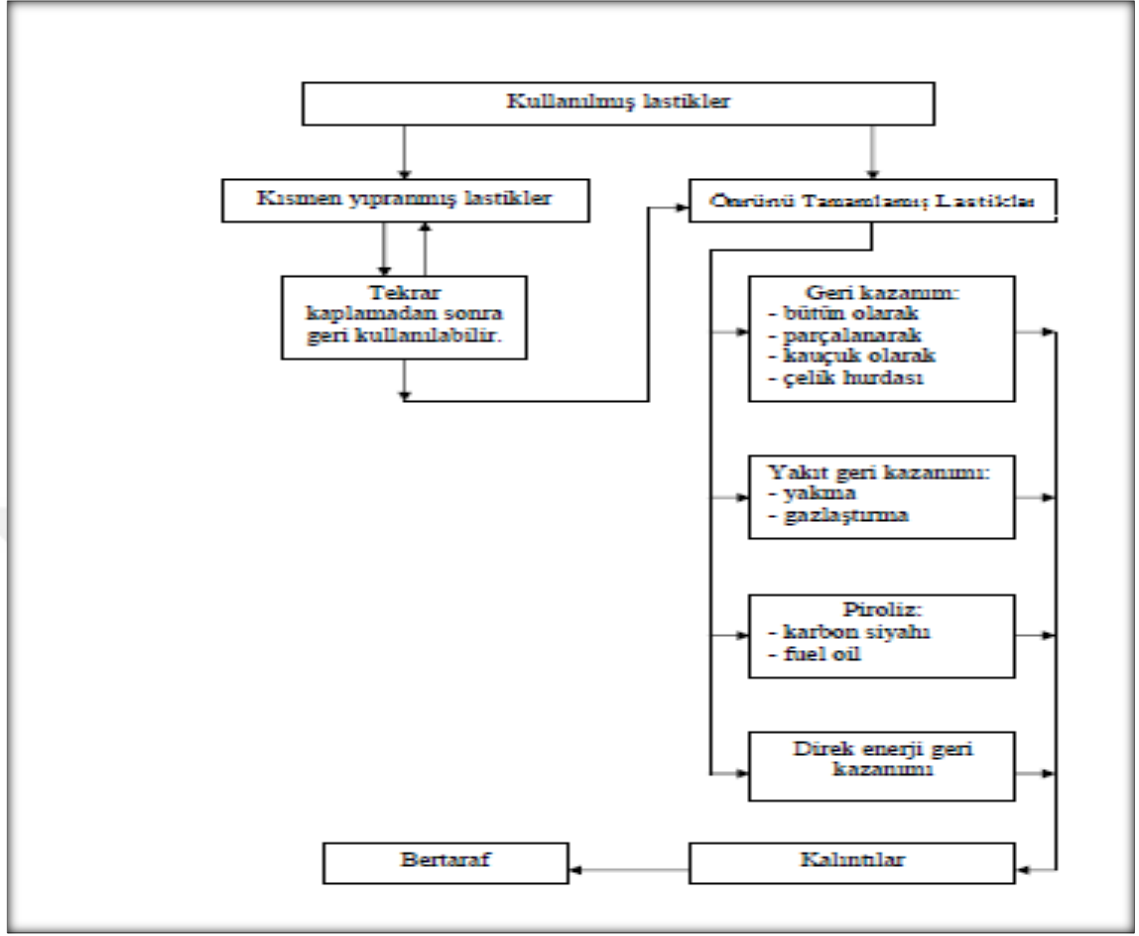
Son yıllarda kısmen yıpranmış lastiklerin yeniden diş açma tekniği ile tekrar kullanılması sağlanabilmektedir. Bir diş açma aparatı ile lastiğin sırt kısmında yapılan işlemler ile lastikler yeniden kullanılabilir hale gelmektedir. Bu işlemin uygulanabilmesi için

lastiğin üretim teknolojisinin diş açma tekniğine uygun üretilmesi gerekmektedir. Bu yöntem iş işleme yapacak kişinin çalışma koşullarının iş güvenliğı yönünden riskli olması ve bu konuda uzman kişilerin az olması nedeni ile çok fazla tercih edilmemektedir.

2.3.2 Ömrünü Tamamlamış Lastikler

Ömrünü tamamlamış lastikler, çevre kirliliğı açısından çok önem arz etmektedir. Günden güne artan araç kullanımı, lastik atıklarının miktarının da hızla artmasını yol açmaktadır. Bu atıklar birçok kimyasal madde barındırdığından doğada kendiliğinden yok olmaları çok uzun zaman almaktadır. Atıkların uzun zaman çevrede kalması istenilen bir durum değildir. Bunun için üreticiler, kullanıcılar ve hükümetler bu atıkların bertarafını sağlamak için uygun çözümler bulmak zorundadır. Lastik atıkların içerisinde, ömrünü tamamlanmış lastikler ve lastik üretimi sırasında oluşan vulkanize olmuş ya da olmamış yarı mamul hurda gibi kauçuk kökenli atıklar da önemli miktardadır. Lastik geri kazanım ünitelerinde, her şekil vulkanize olmuş atık ve lastik karışımı hurdaları çeşitli yöntemler ile değerlendirilmektedir. Lastik karışımları bünyesinde, yanma sonucunda açığa çıkan ve çevreye önemli zararlar verebilecek emisyonlar oluşturan kimyasal maddeler yer almaktadır. Bahsi geçen zararlı emisyonlara örnek olarak kükürtten kaynaklanan kükürt dioksitler, tepkimeler sırasında ortaya çıkan azot oksitler ve geri kazanım ürünlerinden olan hidrokarbonlar verilebilir (Bozkurt 2011, s. 82).Şekil 2.15' de kullanım sonrası lastiklerin geçirdiğı evreler gösterilmiştir.

Şekil 2.15: Kullanılmış lastiklerin geçirdiği evreler



Kaynak: Batır.B, 2002, s. 29

Ömrünü tamamlamış lastiklerin değerlendirilmesinde dört yöntem kullanılmaktadır. Bunlar:

1. Tekrar Kullanım
2. Malzeme Geri Kazanımı
3. Enerji Kazanımı
4. Depolama

Tekrar Kullanım: Birçok lastiğin sırt kısmındaki desenlerin tırtıkları aşınmadan araçtan sökülüp atılmaktadır. Kullanımı sona ermiş lastikler bir bütün olarak, kesilmiş ya da kalıba sokulmuş formda malzeme karakteristiklerinden, absorpsiyon özelliklerinden şekillerinden vs. yararlanarak çeşitli alanlarda kullanılabilirler. Örneğin, bütün lastikler sıkça sahil koruma projelerinde kullanılırlar. Bütün lastikler ile yapay

kayalıkların, erozyon bariyerlerin, deniz duvarlarının ve dalga kıranların yaratılmasında büyük başarılar elde edilmiştir. Deniz limanlarında lastikler bot siperleri gibi kullanılmaktadır. Kullanılmış lastiklerin yeniden kullanımı ek maliyet gerektirmediğinden oldukça ekonomik bir yoldur.

Malzeme Geri Kazanımı: Uygulanan bütün fiziksel malzeme geri kazanım yöntemlerinin ortak noktası, atığa dışarıdan herhangi bir fiziksel etki yapılmasıyla boyutunun küçültülmesi ve içerdiği çapraz bağlara zarar verilmesidir. Bu yüzden, geri kazanım ürününün özelliklerinin, başlangıçtaki malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine kıyasla daha kötü olmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilir olup olmadığına, üründen beklenen özellikler ve geri kazanım işleminin maliyeti unsurları incelenerek karar verilmektedir. Malzeme geri kazanım yöntemi temel olarak parçalama, granül etme, krojyenik öğütme ve piroliz olmak üzere dört ana grupta incelenmektedir.

Parçalama tekniği ile hurda lastikler bazı uygulamalarda kullanım için parçalanabilirler. Lastikler bir özel bir parçalama makinasından geçirilir ve çoğu durumlarda çelik ve tekstil çıkarılmaz, ancak bazı durumlarda çelik ve tekstil ayrımını sağlayan ek bir proses içerebilir. Parçalanmış lastikler yakma için ikincil bir yakıt, granüle etme prosesinde bir ilk adım ya da depolama sahaları için günlük örtü olarak kullanılabilir.

Granüle etme işleminde lastikler ilk önce parçalanır ve daha sonra öğütme değirmeninin içine beslenirler. Öğütmeden sonra malzeme kauçuk granülü, çelik ve tekstil olmak üzere ayrılır; granüle farklı dane büyüklüklerinde elekten geçirilir. Tekrar kaplanmış lastik imalat proseslerinden elde edilen kabuklar ve perdahlar öğütülür ve elde edilen kauçuk direk olarak yeni, tekrar kaplanmış lastikler üretmek için kullanılan bileşikler olarak geri kazanılabilir. Bu yöntem, ömrünü tamamlamış lastiklerin malzeme geri kazanım teknikleri içerisinde en fazla kullanılanıdır. Bu yöntemin en fazla kullanıldığı alanlar: kauçuğun işlendiği tüm tesislerde karışım malzemesi olarak, oyun parkları ile kapalı ve açık spor sahalarının yer döşemesinde dolgu malzemesi olarak, çatı malzemelerinde katkı maddesi olarak, halı saha çimi ve yol bariyerlerinde alt malzeme olarak kullanılmaktadır.

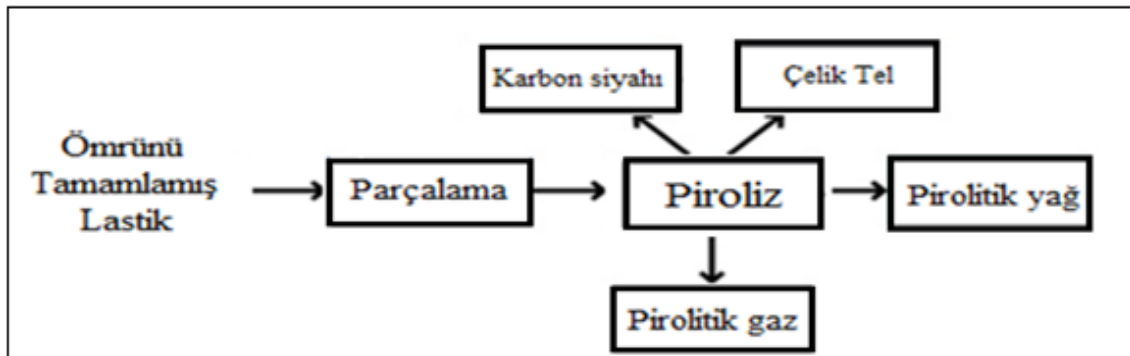
Kriyojenik öğütme yöntemi işleminde, atık lastikler mümkün olan en küçük parçalara ayrılıp ilk önce sıvı azot içerisinde yaklaşık -60°C ile-90°C arasında bir sıcaklığa kadar

soğutulur. Bu esnada malzeme kırılğan hale gelmektedir. Daha sonra aynı sıvı azot ile soğutulan bir silindir mekanizmasında, öğütme işleminin sonunda toz halde geri kazanım ürünü ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem sonucunda, tanecik boyutu mikroskobik ölçülerde olan ürünler elde etmek mümkündür. Kriyojenik öğütme yöntemini diğer malzeme geri kazanım yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, lastik atığın öğütme esnasında toz hale gelmesi ile beraber mıknatıs yardımı ile atık lastiğin içerisindeki çelik tel tozu rahatlıkla ayrıştırılabilmektedir.

Piroliz işlemi genel olarak organik bileşiklerin oksijensiz ortamda ısıtılması sonucu ısıl bozunmaya uğraması işlemidir. Atık lastiklerin pirolize işleminde ise ısı ile lastiklerin yapısında bulunan organik bileşiklerin kimyasal bağları kırılır, bunun sonucunda inert atmosferde atık lastikler daha düşük moleküllü bileşiklere dönüşür. Kullanılmış lastiklerin pirolizi sonucu elde edilen ürünler karbon siyahı, gaz, çelik ve pirolitik yağdır. Piroliz sonucu elde edilen ürünlerden yağ yakıt olarak, karbon siyahı ise dolgu malzemesi olarak kullanılabilir gibi aktif karbon olarak da kullanılabilir. Piroliz sonucu oluşan pirolitik gazlar ise, çeşitli hidrokarbon, karbon di oksit, karbon monoksit ve hidrojen karışımından ibarettir. Oluşan gazların ısıl değeri oldukça yüksektir ve endüstriyel ölçekte piroliz reaktörünün ısıtılmasında kullanılabilir (Rofiquel ve Diğerleri 2007, s. 87).

Şekil 2.16 ' da ömrünü tamamlamış bir lastiğin piroliz işlemi sonucu ortaya çıkan ürünler gösterilmiştir.

Şekil 2.16: Ömrünü tamamlamış lastik piroliz ürünleri

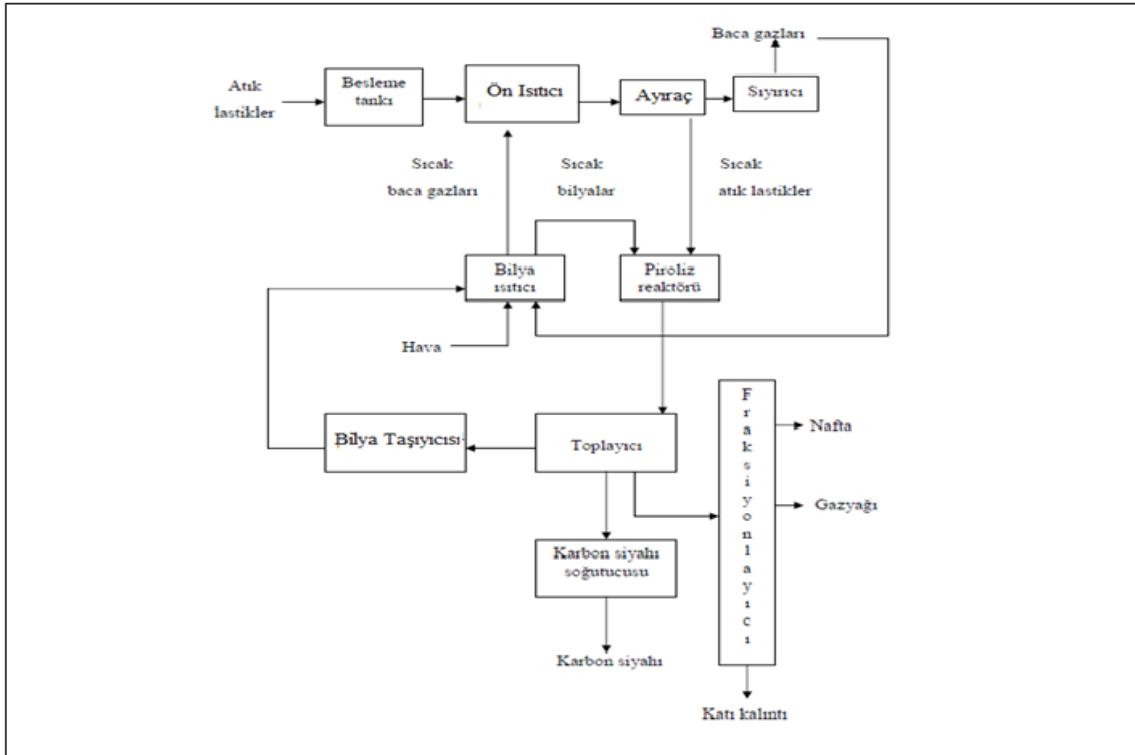


Piroliz işlemi, piroliz reaktöründe arka arkaya oluşan tepkimeler yoluyla gerçekleşmektedir. Piroliz ünitesinde bulunan reaktör, içerisinde birçok seramik bilya

bulunan ve dönen bir silindirden oluşmaktadır. İlk aşamada organik bileşik, ısıyla parçalanma reaksiyonuna uğratılmak üzere piroliz reaktörüne gönderilir. Organik bileşik reaksiyon sonucu, uçucu faz ve katı faz olmak üzere iki faza ayrılır. Uçucu faz, istenildiği takdirde yoğunlaştırma işlemine tabi tutularak sıvı ve gaz olarak iki fraksiyona ayrılabilir.

Piroliz verimi ile tepkimler sonucu oluşan üç fraksiyonun miktar ve bileşimleri sıcaklık, ısıtma hızı, basınç ve reaktöre gönderilen bileşiğin tanecik boyutu gibi parametrelere bağlıdır. Örneğin, çalışma sıcaklığı yükseldikçe ürün gaz fraksiyonunun miktarı artarken katı faz miktarı azalmaktadır. Piroliz uygulamalarının genelinde amaç yüksek miktarda karbon siyahı elde etmektir. Piroliz uygulamalarında en bilinen yöntem Tosco-II yöntemidir. Şekil 2.17' de Tosco-II yöntemiyle yapılan bir piroliz uygulamasının çalışma prensibi gösterilmiştir (Bozkurt 2011, s. 95).

Şekil 2.17: Tosco-II yöntemi akış şeması



Kaynak: BOZKURT P, 2011, s. 95

Tosco-II yöntemi ile ömrünü tamamlamış lastikler 480°C -550 °C arası sıcaklıkta piroliz edilmektedir. İşlem sırasında açığa çıkan buhar yoğunlaştırılarak sıvı yakıt olarak kullanılmaktadır. Elde edilen gaz ise, bilyaları ısıtmak için yakılmaktadır. En önemli

ürünlerden olan karbon siyahı ise çelik ve diğer kimyasallardan ayrıldıktan sonra soğutulup kullanıma hazır hale getirilmektedir. İşlem sonunda elde edilen pirolitik yağ, benzen gibi kimyasal açıdan önemli olan bileşikler de içermektedir. Bu bileşikler ilaç sektöründe kullanılmaktadır. Tosco-II yöntemi ile 1 ton atık lastikten yaklaşık 0,03-0,04 m³ pirolitik yağ, 94-114 kg karbon siyahı ve 14-16 kg çelik elde edilmektedir (Bozkurt 2011, s. 97).

Enerji Geri Kazanımı: Enerji geri kazanımı atık lastikler için uygulanan işlemlerden birisidir. Geri kazanım işlemi, lastik atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılarak içerisinde bulunan organik ve inorganik bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere ya da enerjiye çevrilmesi olarak tanımlanmaktadır. Lastikler yüksek ısı değeri ve maliyetinin diğer yakıtlara göre oldukça düşük olması nedeniyle endüstride yakıt olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Tablo 2.1’ de lastiklerin ısı değeri ve emisyon miktarları diğer yakıtlar ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1: Lastik ve çeşitli yakıtların ısı değeri ve emisyon miktarları karşılaştırması

Yakıt	Isıl Değer(MJ/kg)	Emisyon Değeri(kg CO ₂ /ton)
Odun	10,2	1122
Kömür	27	2430
Doğalgaz	39	1989
Motorin	46	3220
Lastik	32	2270

Kaynak: A.YAKABOYLU, 2010,s. 24

Lastikler yakıt olarak, başta çimento endüstrisi olmak üzere, kireç fırınlarında, buhar kazanlarında, kağıt endüstrisinde ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Lastikler bir bütün halinde yakıldığı gibi, boyut küçültülerek de yakılmaktadır.

Depolama: Ömrünü tamamlamış lastiklerin depolanarak saklanması en eski bertaraf yöntemidir. Ancak depolanacak alan maliyeti, depolanan lastiklerin çevreye verdiği olumsuz etki ve diğer bertaraf yöntemlerinin ekonomik değer getirmesi depolama yönteminin günümüzde pek tercih edilmemesine yol açmıştır.

Lastiklerin depolanması sırasında ortaya çıkabilecek yangınlar çevrede su, hava ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Lastiklerin yanması sonucu çevreye yayılan CO₂ ve CO ve SO₂ gibi gazlar, atmosferi önemli oranda kirletmektedir. Ayrıca lastiğin yapısında bulunan kauçuğun, yanma esnasında yangın suyu ile söndürülmesi sonucu kimyasal bozunma meydana gelir. Bu olay sonucu açığa çinko tuzları çıkmaktadır. Oluşan bu madde yağmur ile beraber toprak ve sulara karışarak bulunduğu bölgeyi olumsuz etkilemektedir. Lastiklerin yanması riski düşük bir ihtimal olup göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Depolama alanlarında bulunan ömrünü tamamlamış lastiklerin yapısında bulunan kimyasal moleküller zamanla ortama difizyon yolu ile yayılmaktadır. Bir depolama sahasında bulunan atık lastikler çevreye toksik madde ve metan gazı yaymaktadır. Bu durum hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Son yıllarda yapılan çevresel faaliyetler sonucu lastiklerin depolanmasında önemli iyileştirmeler meydana gelmiştir. Lastiklerden yayılan toksik madde ve metan gazının kontrollü bir şekilde çekilerek çevreye verilmesine engel olunmaktadır. Kontrollü depolama adı verilen bu teknik ile lastiklerin çevreye verdiği toksik madde ve metan gazı etkisi önlenmektedir (Cobert 2009, s. 86). Tablo 2.2' de atık lastiklerin kontrollü ve kontrolsüz depolanması sırasında bir lastiğin çevreye verdiği etkiler gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Kontrollü depolama ve kontrolsüz depolama

	Kontrolsüz Depolama	Kontrollü Depolama
Alan Kullanımı	0.03 m ²	0.03 m ³
Enerji Tüketimi	2.5 kWh	0 kWh
Lastikten Çevreye Süzülen Plastik	0 gram	25 gram
Lastikten Çevreye Süzülen Metal	0 gram	5 gram
Metan	0 gram	15 gram

Kaynak: Cobert A, 2009, s. 86

3. ÇALIŞMANIN METODU

Bu çalışmada aynı marka ve ölçüde (295/80 R 22,5 ebat) ,iki farklı tip (düz tip ve dört mevsim) otobüs lastiğinin yaşam döngüsü değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır. M+S tip lastiğin ağırlığı yaklaşık 46 kg, düz tip lastiğin ağırlığı ise yaklaşık 40 kg' dır.

295/80 R 22,5 ifadesi lastiklerin ebadını belirtmek için kullanılmaktadır. Şeki3.1' de çalışmada incelenen lastiklerin ebadı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Şekil 3.1: Lastik ebat gösterimi



Lastiklerin hammadde elde edim sürecinden, geri dönüşüm sürecine kadar olan tüm aşamalarda yaşam döngüsü analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada lastiklerin yaşam döngüsü değerlendirmesi boyunca geçirdiği aşamalar dört ana süreçten ibarettir. Bunlar:

- a. Hammadde elde edim süreci
- b. Üretim süreci
- c. Yolda kullanım süreci
- d. Geri dönüşüm süreci

olarak sıralanmıştır.

ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü analizi; envanter girdi ve çıktı verilerinin değerlendirilmesi ve ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca (hammadde elde edim,

üretim, kullanım ve geri dönüşüm) potansiyel çevresel etkilerinin değerlendirilmesidir (ISO 14040 2006).

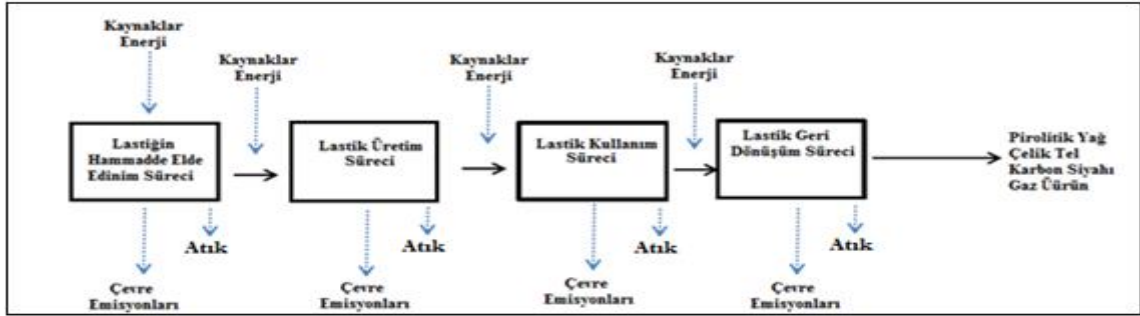
Çevresel performansın genel anlamda potansiyel etkileri; ham madde elde edinim, üretim, dağıtım, kullanım ve geri dönüşüm süreci içerisinde;

- Fosil yakıt tüketimi
- Hava ve suya yapılan salımlar
- Küresel ısınma potansiyeli

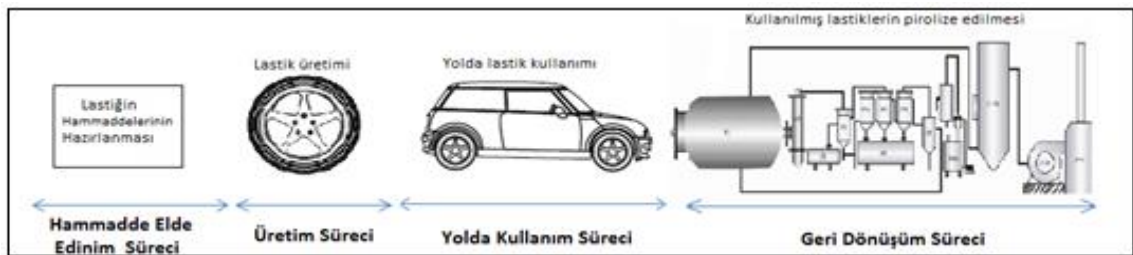
şeklinde çevresel yük göstergeleri ölçülmektedir (ISO 21930 2007).

Çalışmanın genel çerçeve akış diyagramı Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Şekil 3.3.’ de ise incelenen lastiklerin yaşam döngüsü süreç zamanlaması gösterilmiştir.

Şekil 3.2: Yaşam döngüsü değerlendirmesi genel çerçevesi



Şekil 3.3: Yaşam döngüsü değerlendirmesi süreç başlangıç-bitiş zamanları



3.1 HAMMADDE ELDE EDİNİM SÜRECİ

Hammadde elde edinim süreci lastiği oluşturan malzemelerin doğadan çıkarılıp lastik üretimine girinceye kadar geçen zamanda kullanılan kaynaklar ve enerji ile açığa çıkan emisyonların incelenmesi sürecidir.

Otobüs lastiklerini oluşturan hammaddelerin bir kısmı lastiğin üretildiği fabrikaya başka yerden hazır olarak gelmekte bazı hammaddeler ise lastik fabrikasında hazırlanmaktadır. Örneğin kauçuk, metal, karbon siyahı gibi hammaddeler başka üretim merkezlerinden lastik fabrikasına gelmektedir. Ancak lastiğin içinde bulunan bazı kimyasal dolgu hammaddeleri(yapıştırıcılar, katalizörler gibi) lastik fabrikasında hazırlanmaktadır.

Yaşam döngüsü analizi yapılırken hammaddelerin fabrikada lastik üretimine hazır hale gelene kadar olan süreçte kaynak tüketimleri ve oluşturdukları emisyonlar hesaba katılmıştır.

3.1.1 İncelenen Lastiklerin Hammadde Miktarları

Çalışmada incelenen lastiklerin hammaddelerinden doğal ve sentetik kauçuklar, karbon siyahı, çelik tel ve sülfür miktarları lastik üreticisi firmadan alınmıştır. Ancak lastik üreticisi firmanın gizlilik politikası nedeni ile miktarlarını paylaşmak istemediği lastiğin hammaddeleri bulunmaktadır. Bu hammaddeler ZnO, Poliaromatik yağ, Sitrik asit ve Silika' dır. Üretici firma tarafından lastik içerisindeki oranları gizli tutulan bu hammaddeler, lastiğin toplam ağırlığının yaklaşık yüzde 19' unu oluşturmaktadır.

Üretici tarafından paylaşılmayan bu malzemelerin miktarı hiçbir zaman tam olarak hesaplanamamaktadır. Ancak yaşam döngüsü analizinin tam anlamıyla yapılabilmesi için tüm kütle akışının en az yüzde 95 i bilinmelidir (Cut-off kriteri)(Jolliet ve Diğerleri 2015, s. 46).

Bu yüzden literatürde yapılan bir çalışmada kullanılan lastiğin kimyasal madde miktarını çalışmada kullanılan lastiklere lineer enterpolasyon yöntemi ile uygulayıp lastik üreticisi firma tarafından paylaşılmayan bu bilgilere yaklaşık olarak ulaşılmış olur (Cobert 2009, s. 35). Tablo 3.1' de lastiğin yapısında bulunan kimyasal hammaddelerin lastikte bulunan miktarını bulmak için referans çalışmadan alınan değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Referans çalışmadan alınan lastik kimyasallarının lastikteki miktarı

Lastik Kimyasal Cinsi	Literatür Çalışmasında Oranı %(kg/kg lastik)
ZnO	1,58
Poliaromatik yağ	6,12
Strik Asit	0,96
Silika	9,65

Kaynak: Cobert A, 2009, s. 35

Bu kimyasalların referans çalışmadaki 1 kg lastiğe gelen miktarları çalışmada incelediğimiz M+S tip ve düz tip lastiklerin ağırlıkları ile çapılıp çalışmada incelenen lastiklerin her bir adedinin içerisinde bulunan kimyasal maddelerin miktarı yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.2’ de çalışmada incelenen lastiklerin hammaddelerinin bir adet lastikteki miktar ve oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Düz tip ve M+S tip lastiklerin hammadde madde miktar ve oranları

Hammadde	Miktar(kg)		Oran(%)	
	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Sentetik Kauçuk	4,99	8,2	12,48%	17,83%
Doğal Kauçuk	11,08	11,7	27,70%	25,43%
Karbon Siyahı	9,12	9,54	22,80%	20,74%
Çelik Tel	7,08	7,6	17,70%	16,52%
Sülfür	0,4	0,45	1,00%	0,98%
ZnO	0,63	0,73	1,58%	1,59%
Poliaromatik yağ	2,44	2,81	6,10%	6,11%
Strik Asit	0,38	0,44	0,95%	0,96%
Silika	3,86	4,43	9,65%	9,63%
Toplam	40	46	100,00%	100,00%

Lastiğin yapısında bulunan hammadde miktarları hesaplandıktan sonra bu hammaddelerin üretilmesi için gereken enerji ve kaynak miktarı ile çevreye verdikleri emisyon değerleri “ecoinvent database” veri tabanı yardımı ile bulunmuştur. Veri tabanındaki bu değerler 1 kg hammadde için bulunmuş olup çalışmamızda hesaplanan hammaddelerin miktarı ile çarpılarak hammaddenin çevreye verdikleri etki hesaplanmıştır. Bu hesaplama yaşam döngüsü envanter analizinde değinilecektir. Şekil 3.4 ‘ de ecoinvent database veri tabanından alınan 1 kg lastik hammaddelerinin envanter miktarları verilmiştir.

Şekil 3.4: Lastik hammaddeleri envanter miktarları

	İhtiyaç Duyulan Kaynak	Havaya Verilen Emisyonlar (g)	Suya Verilen Emisyonlar (g)	Atık (g)
Sentetik Kauçuk	Enerji 9,71 j	Amonyak 0,00156 g	Klorür 3,74 g	137 g
		Metan 0,0132 g		
		CO 52,4 g		
		CO ₂ 2800 g		
	Su 28,3 g	HCl 0,047 g	Sülfat 2,12 g	
		NM VOC 9,11g		
		NO _x 12,7 g		
		SO _x 47,2 g		
		Partikül 1,58 g		
Doğal Kauçuk	Enerji 1,22 MJ	CO ₂ 6139 g	BOD 11.7 g	
	Diesel 2,7 MJ	N ₂ O:0,25 g	COD 17.9 g	
Karbon Siyahı	Enerji 14.8 MJ	CO 1,8 g	Klorür 58,9 g	57,2 g
		CO ₂ 2100 g		
		Metan 10,4 g		
		NM VOC 17,1 g		
	Kömür 332 g	NO _x 16,1 g	Sülfat 4,3 g	
		Partikül 1,1 g	Nitrat 0,06 g	
		Partikül<10 um 0,4 g		
		SO _x 36,7 g		
NH ₃ 2,5 g				
Sülfür	Su 461.9 g	CO ₂ 202 g	Klorür 1,8 g	
	Kömür 1,23 g	Metan 269,7 g	Sodyum 1,1 g	
	Petrol 4,4 L	N ₂ O 0,00067 g		
	Enerji 4,4 kJ	NM VOC 0,492 g	Sülfat 78,3x10 ⁻³ g	
		NO _x 0,418 g		
		SO ₂ 54,6 g		
	Partikül<10 um 0,09 g			
Silika	Enerji 1.76 MJ			
Çelik Tel	Elektirik 0,47 MJ	CO ₂ 650 g		3,1 g
	Kömür 540 g	CO 33 g		
		NO ₂ 1,1 g		
Poliaromatik Yağ	Enerji 2,18 MJ			
Sitrik asit	Enerji 534,9 kJ	CO ₂ 281,2 g	Klorür 1,9 g	
		N ₂ O 0,0047g		
		NM VOC 0,47 g		
	Kömür 0,29 mg	NO _x 0,62 g		
		SO _x 2,1 g		
	Partikül 0,16 g			
ZnO	Zn 0,29 kg	CO ₂ 680 g		190 g
		CO 0,36 g		
		NO _x 0,66 g		
	Doğalgaz 0,19 m ³	Partikül 0,26 g		
		CH ₄ 0,17 g		

KAYNAK: www.ecoinvent.org/database/database.html

Lastiği oluşturan hammaddelerin lastik üretim fabrikasına giderken ulaşımdan dolayı oluşan motorin miktarları Tablo 3.3’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Hammadde üreticileri–lastik fabrikası arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi

Hammadde	Hammadde Üretim Yerinin Lastik Fabrikasına Olan Uzaklığı(km)	Fabrikaya Araçla Bir Seferde Gelen Hammadde Miktar(kg)	Fabrikaya Araçla Bir Sefer İçin Harcanan Yakıt Miktarı (kg)	1 kg Hammadde İçin Harcanan Motorin(kg/kg motorin)
Sentetik Kauçuk	350	10000	50	0,005
Doğal Kauçuk	13000	20000	185	0,00925
Karbon Siyahı	200	3000	20	0,0066
Çelik Tel	500	20000	50	0,0025
Sitrik Asit	550	20000	55	0,0275
Poliaromatik Yağ	450	20000	45	0,0225
Silika	400	20000	40	0,02

Sentetik kauçuk, karbon siyahı, çelik tel, sitrik asit, poliaromatik yağ ve silika Türkiye’ de üretilip karayolu ile lastik fabrikasına getirilmektedir. Doğal kauçuk ise Türkiye’de üretilmemekte olup Malezya’dan denizyolu ile Türkiye’ ye getirilip, fabrikaya karayolu ile ulaştırılmaktadır. Doğal kauçuğun fabrikaya ulaştırılması sürecinde, tüketilen yakıt miktarının hesaplanması iki aşamada gerçekteşmektedir. Birinci aşamada denizyolu ulaşımında harcanan yakıt miktarı, ikinci aşamada ise karayolu ulaşımında harcanan yakıt miktarı hesaplanmaktadır. Gemiler aracılığı ile taşınan doğal kauçuklar gemiye konteynerler içerisinde yüklenmektedir. Doğal kauçuğun içinde bulunduğu konteynerin taşıdığı yük miktarının, geminin toplam yüküne oranlanması ile elde edilen değerin, geminin tükettiği yakıt miktarı ile çarpılması ile doğal kauçuğun bir seferde deniz yolu ulaşımı için harcanan yakıt miktarı elde edilmektedir. Deniz yolu ile limana gelen doğal kauçuklar, limandan tırlara yüklenerek karayolu ile aracılığı ile fabrikaya taşınmaktadır. Karayolu ile fabrikaya taşınan doğal kauçuğun bulunduğu aracın yakıt tüketimi bir seferde doğal kauçuğun karayolu ulaşımı için harcanan yakıt miktarı olarak kabul edilmektedir. İki aşamada hesaplanan yakıt miktarı doğal kauçuğun ulaşım

sırasında bir sefer için harcanan toplam yakıt tüketim miktarını oluşturmaktadır. Sentetik kauçuk, karbon siyahı, çelik tel, sitrik asit, poliaromatik yağ ve silika gibi hammaddelerin taşınması da karayolu ile gerçekleştiğinden bu ürünlerin ulaşımda tükettiği yakıt miktarı taşıma sırasında buldukları aracın yakıt miktarı olarak kabul edilmektedir. Tablo 3.3’ de verilen değerler bir sonraki konuda yaşam döngüsü envanter analizi tablosunda hammadde elde edininim sürecine emisyon ve yakıt tüketimi olarak ilave edilecektir.

3.2 ÜRETİM SÜRECİ

Üretim süreci, lastiğin hammaddelerinin imalat aşamasına hazır hale gelmesi anından, fabrikada imalatının tamamlanıp kullanıcının kullanımına hazır hale gelmesi anına kadar geçen süreçtir. Bu süreçte üretim aşamasında kullanılan kaynaklar ve enerji miktarları, üretim sonucu oluşan atıklar ile atmosfere ve suya verilen emisyonlar incelenmiştir. Bu süreçte kullanılan veriler lastik üreticisi firmadan alınmıştır.

Yaşam döngüleri karşılaştırılan iki lastiğin aynı marka olması ve aynı tip araçta kullanılmasından dolayı kullanılan hammadde çeşitliliği ve üretim aşamaları aynı olmaktadır. Ancak iki lastiğin sırt desenleri ve ağırlıkları farklı olduğundan lastiklerin üretmek için gereken hammadde miktarları ile üretim aşamalarında kullanılan kaynaklar ve oluşan emisyon miktarları farklıdır. Şekil 3.5’ de çalışmada kullanılan düz tip ve M+S tip lastiklerin sırt desenleri gösterilmiştir.

Şekil 3.5: Üretimden çıkmış düz tip ve M+S tip lastikler



Lastiklerin üretim aşamasında kullanılan kaynak ve enerji miktarı ile oluşan atık ve emisyon değerleri lastik üretici firmadan birim lastik başına alınmıştır. Tablo 3.4’ da çalışmada incelenen lastiklerin üretim aşamasında kullanılan kaynak ve enerji miktarı ile oluşan atık ve emisyon değerleri 1 kg lastik başına hesaplanmış ve tabloya işlenmiştir. Verilen değerler bir kg lastik içindir.

Tablo 3.4: Düz tip ve M+S tip lastiklerin üretim süreci envanter tablosu

	Düz Tip Lastik(kg/kg lastik)	M+S Tip Lastik(kg/kg lastik)
Kaynaklar(kg)		
Su	1,29	1,8
Petrol	3,34	3,32
Doğalgaz	0,34	0,27
Havaya Verilen Emisyonlar(kg)		
CO ₂	0,0123	0,0137
CO	0,003	0,0022
SO ₂	0,0003	0,0004
NO _x	0,0008	0,0007
CH ₄	0,0001	0,0009
Suya Verilen Emisyonlar(kg)		
Klorür	0,003	0,026
Sülfat	0,000125	0,001
Sodyum	0,0007	0,00069
Atık(kg)	0,0043	0,0043

Üretilen lastiklerin fabrikadan kullanım yerine giderken ulaşımdan kaynaklı tüketilen motorin miktarı Tablo 3.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Fabrika –kullanım yeri arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi

Lastik Fabrikasının Kullanıcı Birime Olan Uzaklığı(km)	Bir Seferde Taşınan Lastik Miktarı(kg)	Fabrikadan Kullanım Yerine Giderken Harcanan Motorin Miktarı	Bir Kg Lastik İçin Harcanan Motorin Miktarı(kg)
650	20000	65	0,00325

Lastikler fabrikadan kullanım yerine karayolu ile getirilmektedir. Tablo 3.7’ deki değerler bir sonraki konuda yaşam döngüsü envanter analizi tablosunda lastik üretim sürecine emisyon ve yakıt tüketimi olarak ilave edilecektir.

3.3 YOLDA KULLANIM SÜRECİ

Yolda kullanım süreci, lastiğin araca takılma anından araçtan sökülme anına kadar geçen süreçtir. Yaşam döngüsü analizinin bu aşamasında, gerek enerji tüketim miktarının fazla olması gerekse bu süreç sonunda çevreye verilen emisyon miktarının fazla olması bu süreci diğer süreçlerden daha önemli kılmaktadır.

Çalışmada kullanılan lastikler İETT Genel Müdürlüğü bünyesinde çalışan araçlarda kullanılmıştır. İETT bünyesinde bulunan 3256 araç üzerinde 21736 lastik kullanılmaktadır. 2015 yılında yaklaşık 2320 adet yeni lastik kullanılan kurumda yaklaşık 756 adet kaplama lastik kullanılmıştır.

Kullanım aşamasında lastikler, yaşam döngüsü değerlendirmelerinin daha iyi karşılaştırılabilmesi amacı ile aynı model araçlarda birbirine benzer yol şartlarında çalıştırılmıştır. İncelenen lastikler, İETT Ayazağa garajında hizmet veren Mercedes otobüslerinin ön aksında kullanılmıştır. Lastikler araca takıldığı andan itibaren her hafta basınç ve diş dibi derinliği kontrolünden geçirilmiştir. Hava basıncı düşen lastiklerin hava basıncı normal değere getirilip araç çalışmaya devam etmiştir. Şekil 3.6' da çalışmada kullanılan lastiğin araç üzerindeki kullanımına ait bir resim gösterilmiştir.

Şekil 3.6: Lastiklerin araç üzerinde kullanımı



İETT Genel Müdürlüğü bünyesinde hizmet veren her aracın bakım program modülü ile km-yakıt takibi yapılmaktadır. Çalışmada incelenen lastiklerin bulunduğu araçların km ve yakıt takibi bu program sayesinde yapılmıştır.

Lastikler araca takıldıktan itibaren 57856 km çalıştıktan sonra M+S tip lastiklerin dış dibi derinliği 5 mm' nin altına inmesinden dolayı güvenlik gerekçesi ile sökülüştür. Düz tip lastiklerin dış dibi derinliği yaklaşık 6mm olmasına rağmen M+S tip lastik ile doğru bir karşılaştırma yapabilmek amacı ile araçtan sökülüştür. Şekil 3.7' de araçtan sökülen kullanım ömrünü tamamlamış lastikler gösterilmiştir.

Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan kullanım ömrünü tamamlamış lastikler



M+S tip lastiğin çalıştığı araç 57856 km ' de yaklaşık 23778 kg yakıt tüketmiştir. Düz tip lastiğin çalıştığı araç 57856 km' de yaklaşık 23424 kg yakıt tüketmiştir. İki araç aynı hatlarda çalıştırıldığından yol şartlarının yakıt farklılıklarına etkisi ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Aynı zamanda iki aracın şoför karakterizasyonları benzer olduğundan şoför kullanımının yakıt tüketim farklılığına etkisi ihmal edilmiştir. Bu çalışmada iki aracın yakıt tüketim farklılığının ana nedeni araçların ön aksında kullanılan lastik tipinin farklılığı olarak kabul edilmiştir.

Literatürde bir lastiğin aracın yakıt tüketimine etkisinin yaklaşık yüzde 4 olduğu kabul edilmektedir (Baumgarten 1993). Bu bilgidен yararlanılarak çalışmada incelenen aracın her bir lastikten kaynaklanan yakıt tüketimi, M+S lastik tipi için 951,12 kg, düz tip lastik için ise yaklaşık 936,96 kg olarak hesaplanmıştır.

Lastiklerin kullanım aşamasında yakıt tüketiminin sonucu atmosfere yayılan emisyon miktarı yaşam döngüsü analizi açısından oldukça önem arz etmektedir. Lastiklerin

kullanım aşamasında çevreye verilen emisyonu hesaplamının iki yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler:

- a. Tier metodu ile teorik olarak
- b. Egzost emisyon ölçüm cihazı ile uygulamalı ölçüm yaparak emisyonlar hesaplanabilmektedir.

Tier yöntemi ile yapılan hesapların egzost emisyon standardı ayrımı yapmadan genel sonuçlar vermesi nedeni ile mobil egzost emisyon cihazı ile ölçüm yapmak daha uygun bulunmuştur.

İETT bünyesinde birçok araç çeşidi bulunmaktadır. Bu araçlar, farklı egzost standartlarına sahiptir. Çalışmada incelenen lastikler, İETT filosunda hizmet veren Euro II egzost standartlarına sahip Mercedes marka otobüslerde kullanılmıştır. Çalışmada incelenen lastiklerin yolda kullanımı sonucu çevreye verilen emisyon miktarlarının hesaplanması amacı ile taşınabilir bir emisyon ölçüm cihazı yardımıyla lastiklerin çalıştığı aracın emisyon ölçümü yapılmıştır. Şekil 3.8’ de emisyon ölçüm cihazı ve araç ile bağlantısı gösterilmiştir.

Şekil 3.8: Emisyon ölçüm cihazı araç bağlantısı



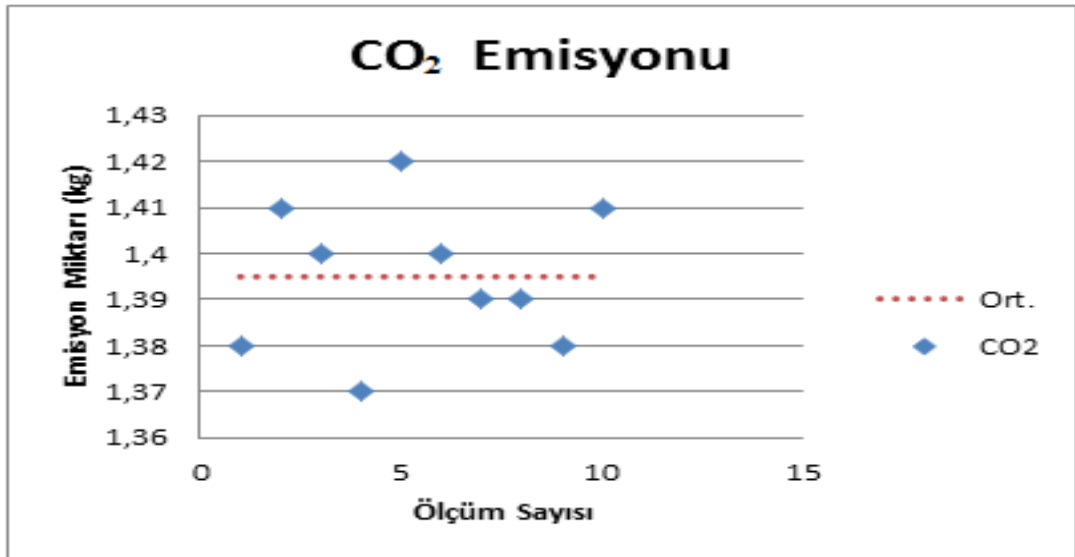
Bu mobil cihaz sayesinde aracın tükettiği motorinin çevreye verdiği emisyonlar detaylı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ölçüm cihazı ile yapılan ölçümün gerçeğe yakın bir sonuç verebilmesi için aynı cihazla 10 defa ölçüm yapılmış hesaplarda bu değerlerin

ortalaması kullanılmıştır. Tablo 3.6’ da 500 gramlık motorinin yanmasından kaynaklanan çevreye verilen emisyonların ölçümlere göre miktarı verilmiştir. Şekil 3.9’ da CO₂, Şekil 3.10’ da NO_x, Şekil 3.11’ de CO, Şekil 3.12’ de N₂O ve Şekil 3.13’ de CH₄ gazlarının ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

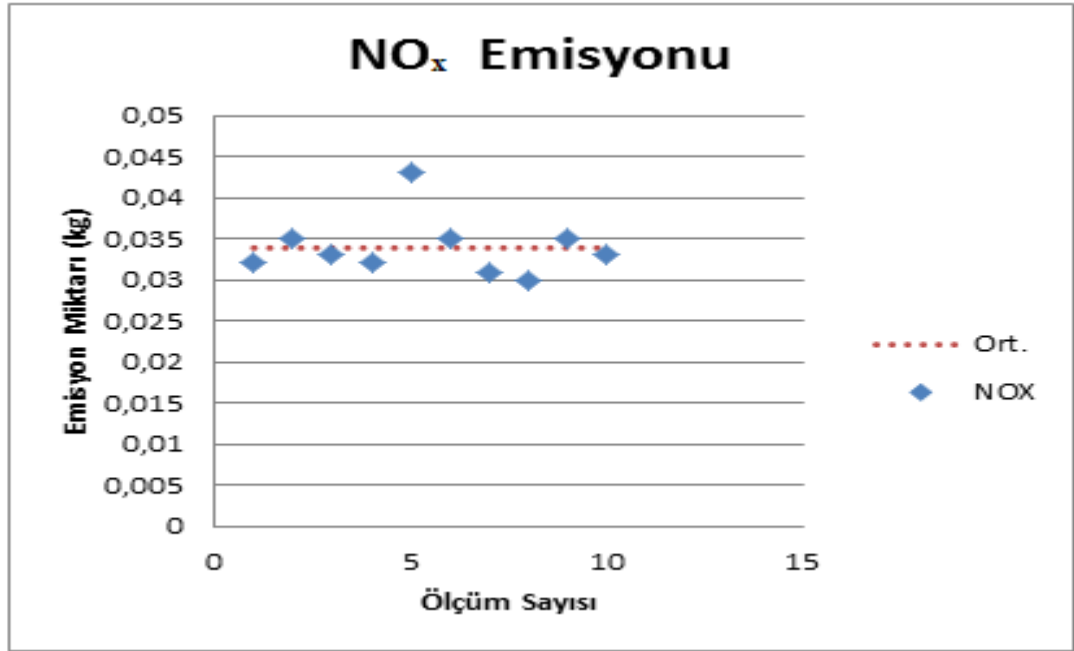
Tablo 3.6 Egzost ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM NO	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	N ₂ O (kg)	CH ₄ (kg)
1	1,38	0,032	0,022	0,0011	0,0024
2	1,41	0,035	0,025	0,0011	0,0025
3	1,4	0,033	0,026	0,0013	0,0021
4	1,37	0,032	0,025	0,0012	0,0022
5	1,42	0,043	0,023	0,001	0,002
6	1,4	0,035	0,022	0,0014	0,0025
7	1,39	0,031	0,026	0,0012	0,0024
8	1,39	0,03	0,025	0,0013	0,0026
9	1,38	0,035	0,02	0,0011	0,0024
10	1,41	0,033	0,026	0,0015	0,0019
ORTALAMA	1,395	0,0339	0,024	0,00122	0,0023
STAND. SAPMA	0,015811	0,003635	0,002108	0,000155	0,000236

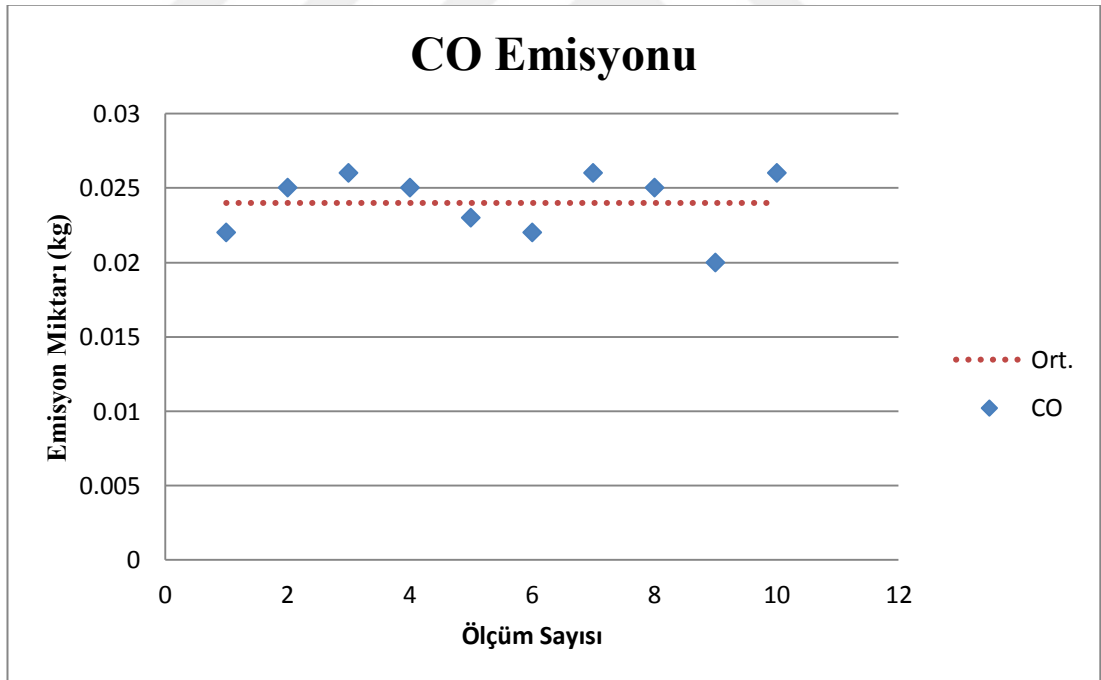
Şekil 3.9: CO₂ emisyon ölçüm sonuçları



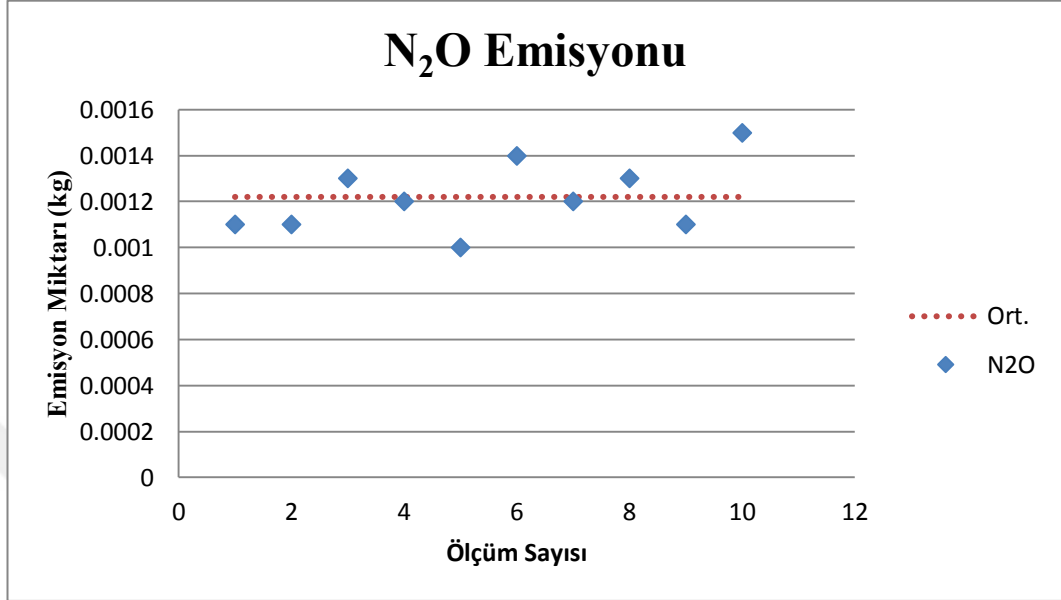
Şekil 3.10: NO_x emisyon ölçüm sonuçları



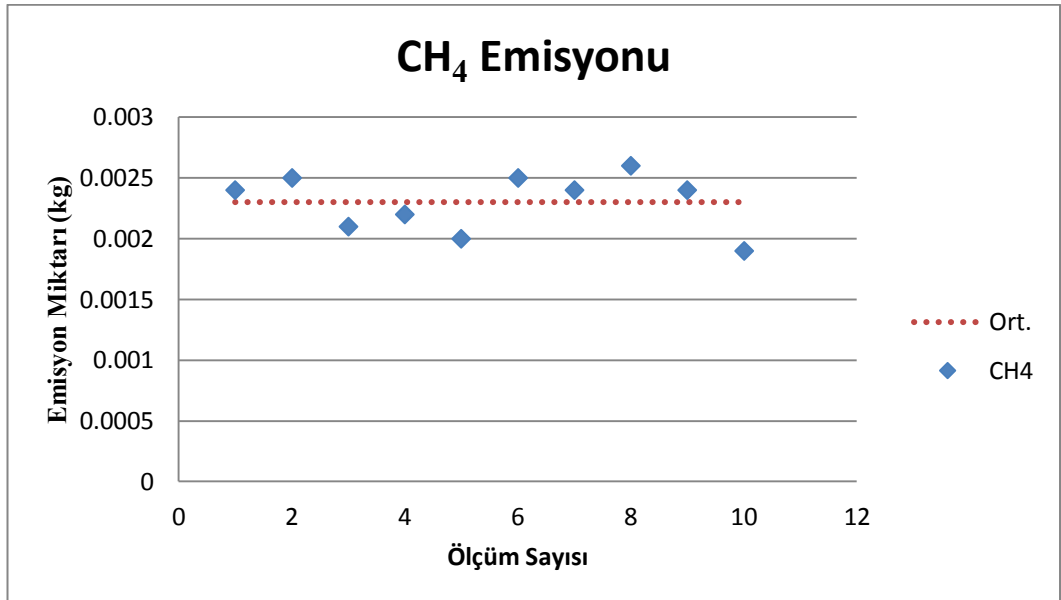
Şekil 3.11: CO emisyon ölçüm sonuçları



Şekil 3.12: N₂O emisyon ölçüm sonuçları



Şekil 3.13: CH₄ emisyon ölçüm sonuçları



Ölçümler, İETT Genel Müdürlüğü garajlarında yapılmakta olup ölçümlerden sağlıklı sonuç alınabilmesi amacıyla her bir ölçümden sonra araç 15-20 dakika çalıştırılmamıştır. Böylece motorun soğuyup bir sonraki ölçümün gerçeğe yakın

sonuçlar vermesi sağlanmaktadır. Bu lmler neticesinde aracın her bir lastikten kaynaklanan toplam yakıt tktiminin çevreye verdiği emisyonların miktarı hesaplanmıştır.

Ancak mobil ölçüm cihazının, aracın çalışması sonucu çevreye yayılan SO₂ ve NMVOC emisyonlarının miktarını lememesinden dolayı bu gazların yaklaşık miktarı Tier metodu ile hesaplanmıştır. Tier metodu, araçların tipi ve kullandıkları yakıtın cinsine göre havaya verdikleri emisyonların teorik olarak hesaplanabileceği bir yöntemdir. Tier metodu ile motorin yakıtlı otobüsler için ayrılan tablodan yararlanılarak SO₂ ve NMVOC emisyonlarının yaklaşık değerleri bulunmuştur (Pekin 2006, s. 39).

Buna göre 500 gramlık bir motorin yanmasında yaklaşık 0,009 kg NMVOC gazı ve 0,0023 kg SO₂ gazı atmosfere yayılmaktadır. Bu değerler bir sonraki konuda bir kg lastik başına hesaplanıp yaşam döngüsü envanter analizi tablosuna ilave edilecektir.

3.3.1 Kullanım Aşamasında Aşınan Lastik

Araçtan sökülen lastiğin sırt kısmının bir bölümü kullanım aşamasında çevreye partiküller halinde yayılmıştır. Kullanım boyunca düz tip lastiğin ağırlığı yaklaşık 6,35 kg, M+S tip lastiğin ağırlığı ise yaklaşık 8,3 kg azalmıştır. Aşınan lastikler havaya partikül şeklinde emisyonlar salmaktadır. Bu emisyonlar, solunum yolu etkilerine ve karasal ekotoksisiteye neden olmaktadır.

Bu çalışmada aşınan lastik partiküllerin havaya ve toprağa verdiği emisyonlar incelenmiştir. Ancak kullanım sırasında aşınan bu lastik partiküllerin suya verdiği etki hakkında herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden kullanım aşamasında aşınan lastiğin suya verdiği evre etkisi ihmal edilmiştir. Bu çalışmada kullanım aşamasında aşınan lastik partiküllerinin çevreye olan etkisini bulabilmek için literatürde bulunan çalışmalardan yararlanılmıştır. Kullanım aşamasında aşınan lastik partiküllerinin çevreye verdiği emisyonların hesaplanması için “ecoinvent database” kaynaklarından faydalanılmıştır. (BLIC 2001, s. 46). Tablo 3.7’ de 1 kg aşınmış lastiğin çevreye verdiği emisyonlar gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Aşınmış lastik partiküllerin havaya ve toprağa verdiği emisyonlar

Oluşan Emisyon	Havaya Verilen Miktar(kg/kg aşınmış lastik)
Partikül(> 10 mikrometre)	0,8 kg
Partikül(< 10 mikrometre)	0,17 kg
Partikül(< 2.5 mikrometre)	0,03 kg
NMVOC	0,00105 kg
SO ₂	0,00022 kg
Zn(Hava)	0,0007 kg
Zn(Toprak)	0,0063 kg

(KAYNAK: www.ecoinvent.org/database/database.html)

Tablo 3.7’ de verilen değerler, çalışmada incelenen lastiklerin kullanım sırasında aşınma miktarı ile oranlanarak yaşam döngüsü envanter analizi tablosuna işlenecektir.

3.4 GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ

Geri dönüşüm süreci, araç lastiklerinin kullanım sonrası zamanını kapsayan bir süreçtir. Kullanım sonrası lastik yönetimi yaşam döngüsünün önemli aşamalarından biridir. Geri dönüşüm, birçok metotla yapılabilmektedir. İETT Genel Müdürlüğü bünyesinde kullanılan lastiklerin bir kısmının sırt kısmı kaplanıp yeniden kullanılabilirdiği kaplanamayacak durumda olan lastikler ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ nın yetkilendirdiği kuruluş olan LASDER(Lastik Sanayicileri Derneği)’e teslim edilmektedir.

Ancak bu çalışma kapsamında incelenen lastiklerin yaşam döngüsünün temel değerlendirme yöntemlerinden biri olan “beşikten mezara(cradle-to-grave)” prensibini tam olarak uygulayabilmek için araçtan sökülen lastiklerin piroliz işlemine sokularak lastiklerin hammaddelerinden olan karbon siyahı ve çeliğe aynı zamanda enerji sağlayıcısı olarak kullanılabilen pirolitik yağa dönüştürülmüştür. Şekil 3.14’ de kullanılmış lastiğin piroliz ürünleri gösterilmiştir.

Şekil 3.14: Atık lastik ve piroliz ürünleri



Kullanım sonrası lastikler piroliz tesisine gönderilmiştir. Bu tesiste lastikler hammaddelerine ayrılırken harcanan enerji ve kaynak tüketimi ile oluşan ürün miktarı piroliz tesisinden alınmıştır. Kullanılan lastiklerin kullanım yerinden geri dönüşüm tesisine giderken ulaşımdan kaynaklı tüketilen motorin miktarı Tablo 3.8’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.8: Kullanım yeri-geri dönüşüm tesisi arası ulaşımdan kaynaklı motorin tüketimi

Geri Dönüşüm Tesisinin Kullanıcı Birime Uzaklığı(km)	Bir Seferde Taşınan Lastik Miktarı(kg)	Kullanım Yerinden Geri Dönüşüm Tesisine Giderken Harcanan Motorin Miktarı(kg)	Bir Kg Lastik İçin Harcanan Motorin Miktarı(kg)
140	20000	14	0,0007

Lastikler kullanım yerinden geri dönüşüm tesisine karayolu ile getirilmektedir. Tablo 3.8’ deki değerler bir sonraki konuda yaşam döngüsü envanter analizi tablosunda lastik geri dönüşüm sürecine emisyon ve yakıt tüketimi olarak ilave edilecektir.

Geri dönüşüm sonucu oluşan ürün miktarı tarafından bilinmesine rağmen çevreye verilen emisyonlar lastik miktarının az olmasından dolayı işletme tarafından net bir şekilde hesap edilememiştir. Bu eksikliği ortadan kaldırmak için önceden yapılan bir çalışmada elde edilen lastik piroliz verileri kullanılmıştır. Tablo 3.9’ da 1 tonluk bir atık lastiğin çevreye verdiği emisyon ve atık değerleri gösterilmiştir (Rafique 2012, s. 22).

Tablo 3.9: Atık lastik pirolizi emisyon miktarları

Çevreye Verilen Emisyonlar ve Atık	Miktar(kg/1000 kg atık lastik)
CO ₂	54,5
SO ₂	3,55
NO _x	1,4
Katı Atık	0,58 kg

Kaynak: RAFIQUE R, 2012, s. 22

Tablo 3.9’ da verilen değerler çalışmamızda incelenen lastikler için uygulandığında çalışmamızda kullanılan lastiklerin çevreye verdiği yaklaşık emisyon miktarları elde edilmiştir. Tablo 3.10’ da elde edilen bu veriler gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Çalışmada incelenen lastiklerin geri dönüşüm sürecinde havaya verdikleri emisyon miktarları

Havaya Verilen Emisyonlar ve Atık	Miktar(kg/kg atık lastik)
CO ₂	0,545
SO ₂	0,0035
NO _x	0,014
Katı Atık	0,58E-03

Tablo 3.10’ da görüldüğü gibi düz tip ve M+S tip lastiklerin ağırlık farklarından dolayı, birim lastik başına çevreye verdikleri emisyon miktarı farklı olmasına rağmen kg başına çevreye verdikleri emisyon miktarları aynıdır. Bunun nedeni hesaplamalar yapılırken lastiklerin cinsine bakılmadan lastiklerin sadece ağırlıklarının baz alınmasıdır.

Lastiklerin piroliz işlemi boyunca harcanan kaynaklar ve enerji değerleri, piroliz sonucu elde edilen ürün miktarları ile oluşan emisyon miktarları bir sonraki konuda yaşam döngüsü envanter analizi kısmında gösterilecektir.

3.5 DEĞERLENDİRME SINIRLARI

Çalışmada incelenen lastikler hammadde elde edim sürecinden geri dönüşüm sürecinin sonuna kadar yani “beşikten mezara(cradle-to-grave)” kadar değerlendirilmiştir. Lastiklerin yolda kullanım sırasında gürültü emisyonları ile lastiğin sırt kısmının yola dağılan partiküllerinin suya verdiği etki değerlendirme dışı bırakılmıştır.

3.6. VERİ KAYNAKLARI

Çalışmada kullanılan veriler çeşitli kuruluşlardan ve internet kaynaklarından alınmıştır. Çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı “İETT Genel Müdürlüğü”, “PETLAS A.Ş”, “TATKAP A.Ş”, “Ecoinvent Database” veri tabanı kaynaklarından ve “Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı”(EPA) modüllerinden alınmıştır. Ayrıca çalışma yapılırken birçok internet kaynağından yararlanılarak çalışma tamamlanmıştır.

3.7 COĞRAFİ SINIRLAMALAR

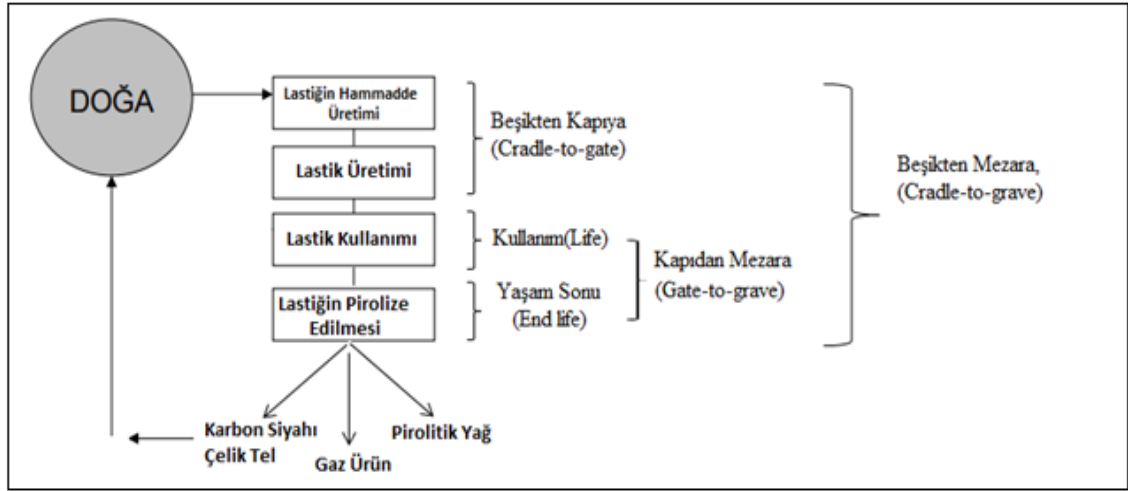
Bu çalışmada incelenen lastikler Türkiye’ de üretilmiştir. Ancak lastiğin ana hammaddelerinden olan doğal kauçuğun Amerika ve Asya kıtasında üretilmesi, bu ürünün temin süresi ve temini sırasında çevreye verdiği etkiyi arttırmaktadır. Ayrıca lastik fabrikası-kullanım yeri, kullanım yeri- geri dönüşüm tesisi arası mesafelerin uzaklığı da aynı şekilde ulaşımdan kaynaklı emisyon ve enerji tüketimini arttırmaktadır.

Ayrıca araçların çalıştığı İstanbul şehri karakteristik Akdeniz iklimi özelliği gösterdiğinden bu çalışmada lastikler M+S ve düz tip lastik karşılaştırılması yapılmıştır. Örneğin Erzurum gibi kış ayları sürekli kar yağışı ile geçen bir şehirde buna benzer bir çalışma yapılacak olursa mutlaka kış lastiği ile karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Lastiklerin kullanımı sırasında İstanbul’ da toplam 10 gün kar yağışı yaşanmıştır. Kar yağışı olan günlerde düz tip lastik çalıştırılmamıştır.

4. İKİ LASTİĞİN YAŞAM DÖNGÜLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmada incelenen otobüs lastiklerin tüm aşamalarında (hammadde elde edinim, üretim, kullanım, geri dönüşüm) ve bu aşamalar arasında yapılan ulaştırma faaliyetleri sırasında kullanılan tüm kaynaklar ve enerji tüketim miktarları ile oluşan ürünler ve çevreye verilen emisyon ve atıkların çevreye verdikleri etkilerin karşılaştırılması yaşam döngü analizinin kapsamını oluşturmaktadır. Lastiklerin hangi aşamada çevreye daha fazla etki yarattığı da bu çalışmanın kapsamı dâhilindedir. Şekil 4.1’ de çalışmada incelenen lastiklerin yaşam döngüsü akış diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 4.1: Lastik yaşam döngüsü akış diyagramı



Çalışmada incelenen lastiklerin kullanım aşamasındaki ömürleri farklı olmasına rağmen, lastikler araca takılmasından itibaren 57856 km sonundan araçtan sökülmüşleridir. M+S tip lastik 57856 km çalıştıktan sonra tamamen aşınmasına rağmen, düz tip lastik tam olarak aşınmadan araçtan sökülmüştür. Bunun nedeni iki lastiğin tüm yaşam döngülerinin referans kilometrik ömür değeri ile karşılaştırılmasıdır. Bu değer çalışmanın envanter analizi girdi ve çıktıları arasında bir ilişki kurmaya yardımcı olmaktadır. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında yapılacak hesaplar bu referans değer üzerinden gerçekleştirilmiş olup bu 57856 km değeri çalışmanın fonksiyonel birimi olarak ifade edilmektedir.

Çalışmanın metodu bölümünde üreticilerden alınan veriler ile literatür kaynaklardan alınan veriler, bu çalışmadaki yaşam döngüsü envanter analizi bölümünde incelenen

lastiklere uygulanmıştır. Bu verilerin hepsi yaşam döngüsü envanter tablosuna işlenerek çalışmanın etki değerlendirmesi bölümü ile ilişkilendirilmiştir.

Çalışmanın etki değerlendirilmesi bölümünde envanter analizi bölümünde elde edilen verilerin çalışmanın orta nokta etkileri olan küresel ısınma etkisi, asidifikasyon gibi çevresel problemlere etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Bu etkilerin hesap edilebilmesinde yaşam döngüsü değerlendirme yöntemlerinden olan IMPACT 2002+ metodundan yararlanılmıştır. Bu çalışmada IMPACT 2002+ yöntemi ile incelenen çevresel etkiler:

- a. Küresel Isınma Etkisi
- b. Solunum Yolu Etkileri
- c. Karasal Asidifikasyon
- d. Sucul Asidifikasyon
- e. Fosil Enerji Kaynaklarının Tüketimi
- f. Su Tüketimi
- g. Ötrofikasyon
- h. Karasal Ekotoksosite

olarak sıralanmaktadır.

Küresel Isınma Etkisi: Atmosfere yayılan gazların sera etkisi yaratması sonucu dünya yüzeyindeki yıllık sıcaklık ortalamalarının yükselmesi olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye yaydığı CO₂, CH₄, CO ve N₂O küresel ısınmaya etki eden gazlardır.

Solunum Yolu Etkileri: Dünyada özellikle endüstri ve ulaşım faaliyetleri sonucu havaya yayılan bazı maddeler insanların solunum sistemini etkilemektedir. Bu çalışmada lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye yaydığı partiküller ile NH₃, NO_x ve SO₂ gazları solunum yolu etkilerine neden olan emisyonlardır.

Karasal Asidifikasyon: Endüstri ve çevresel faaliyetlerin bir diğer sonucu da kara bitkilerinin asitleşmesidir. Bu çalışmada lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye yaydığı NH₃, NO_x ve SO₂ karasal asidifikasyona neden olan emisyonlardır.

Sucul Asidifikasyon: Özellikle fosil kaynakların çevreye verdiği bir etkidir. Bu çalışmada lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca havaya yaydığı NH₃, HCl, NO_x ve SO₂ ile suya yaydığı Nitrat sucul asidifikasyona neden olan emisyonlardır.

Ötrofikasyon: Su kaynaklarının bünyesinde azot, fosfor gibi elementlerin konsantrasyonunun artması sonucu su kalitesinin bozulması olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca havaya yaydığı NH₃ ve NO_x ile su yüzeyine verilen BOD (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) ötrofikasyona neden olmaktadır.

Karasal Ekotoksosite: Serbest halde bulunması durumunda, biyoakümülyasyon yoluyla çevre üzerinde ani ve gecikmeli olumsuz etkiler yaratması muhtemel maddelerin karada yaşayan canlılar üzerine etkisi olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada lastiklerin yolda kullanım sürecinde havaya ve toprağa yaydığı Zn(Çinko) karasal ekotoksositeye etki eden maddedir.

Fosil Kaynaklar ve Su Tüketim etkileri çalışma boyunca tüketilen enerji kaynakları ve su ile ilgili olup bu etkiler doğal kaynaklar tükenmesi ile ilişkilendirilebilir.

Çalışmada incelenen iki lastiğin tüm yaşam döngüsü boyunca orta nokta kategorilerine en fazla etki eden süreç incelenip bu etkinin nasıl azaltılabileceğine çözüm aranmıştır.

Çalışma sonucu oluşan orta nokta etkilerin devam etmesi halinde ortaya çıkabilecek zarar kategorileri (iklim değişikliği, insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların tükenmesi) de yaşam döngüsü yorumlama kısmında tartışılmıştır.

4.1. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTER ANALİZİ

Çalışma için toplanan verilerin analiz edildiği bölümdür. Envanter analizi, lastiklerin yaşam döngüsü boyunca kullanılan girdiler (hammadde, su, enerji vb.) ile oluşan çıktılar (ürün, emisyon, atık vb.) ortaya koyulduğu bölümdür. Envantere analizine eklenen veriler, sistem sınırı kapsamında her birim süreç için toplanmıştır. Ölçülen ya da hesaplanan bu veriler, toplanarak süreçlerin girdilerinin ve çıktılarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Bu çalışmada veriler üç ana grupta toplanmıştır. Bunlar;

- a. Enerji girdileri, ham madde girdileri, diğer kaynak girdileri

- b. Ürünler ve atık
- c. Hava ve suya salımlar' dır.

4.1.1 Verilerin İncelenmesi

Çalışmada elde edilen verilerin bir kısmı(lastik hammadde miktarı ve lastik üretim sonucu oluşan atık ve emisyon miktarı) lastik üreticisi firmadan, bir kısmı lastik geri dönüşüm tesisinden(piroliz ürün miktarları), bir kısmı ecoinvent database kaynağından (lastiğin hammadde elde edinim sürecinde oluşan emisyon ve atık miktarları) , bir kısmı da yapılan hesaplamalar(lastiklerin hammadde elde edinim-üretim-kullanım-geri dönüşüm süreçleri sırasında ulaşımdan kaynaklı emisyon hesapları) ile elde edilmiştir.

Enerji: Çalışmaları gerçekleştirebilmek için gerekli olan potansiyeldir. Bu çalışmada enerji hesaplamaları J(joule) cinsinden yapılmıştır. Enerji akışı ifadesi, her bir süreç boyunca enerji cinsinden hesaplanan yaşam döngüsü sistemindeki girdi veya çıktılarıdır.

Hammadde: Bir ürünün üretiminde kullanılan ham ya da ikincil malzemelerdir. Birimi kg(kilogram) veya t(ton)' dur. Bu çalışmada incelenen hammaddeler doğal ve sentetik kauçuk, karbon siyahı, çelik tel, sülfür ve lastik kimyasallarıdır. Lastik kimyasalları lastik üreticisi firmanın gizlilik politikası gereği miktar olarak verilmemiş olup literatürde yapılan bir çalışmadaki lastik hammadde miktarlarının ağırlıkça çalışmada incelenen lastiklere oranlaması metodu ile yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca lastiğin hammaddesi olmamasına rağmen hammadde elde edinimi ve üretimde kullanılan kaynaklardan olan su da bu çalışmada incelenen envanter girdilerindedir.

Ürünler: Bu çalışmada incelenen ürünler lastiklerin geri dönüşüm sürecinde piroliz sonucu elde edilen karbon siyahı, pirolitik yağ, çelik tel ve pirolitik gaz' dır. Ayrıca lastiklerin kullanım aşamasında etrafa yayılan aşınmış lastik malzemesi de çalışmanın ürünlerinden olup miktarsal olarak envanter analizi tablosuna işlenmiştir.

Atık: Atıklar genel olarak, bertaraf edilmesi gereken maddeler veya nesnelere. Birimi kg(kilogramdır).Bu çalışmada atıklar genel olarak hammadde elde edinim, üretim ve geri dönüşüm sırasında açığa çıkmaktadır.

Salımlar: Havaya ve suya verilen emisyonlardır. Lastiğin her aşamasında havaya bir miktar emisyon salınmaktadır. Suya yapılan salımların büyük bir kısmı lastiğin hammadde elde edim aşamasında ortaya çıkmıştır. Üretim aşamasında da bir miktar su salımı olmaktadır. Geri dönüşüm aşamasında suya yapılan salımlar ihmal edilecek kadar düşük olduğundan ve bu salım ile ilgili herhangi bir veri hesabına ulaşılamadığından bu aşamada suya yapılan salımlar ihmal edilmiştir.

4.1.2 Envanter Analizi Veri Hesapları

Yaşam döngüsü envanter analizi verileri, çalışmada oluşturulan süreçler boyunca hesap edilerek yaşam döngüsü envanter tablosuna işlenecektir.

4.1.2.1 Çalışmada Harcanan Kaynakların Hesaplanması

Çalışmanın metodunda her süreç için gösterilmiş olan verilerin birbirine ilave edilerek çalışmada incelenen lastiklerin ağırlıklarına göre oranlanması ile 1 kg lastiğin tüm yaşam döngüsü boyunca harcadığı kaynaklar Tablo 4.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Düz tip ve M+S tip lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde tükettikleri kaynakların miktarları

Kaynaklar (kg/kg lastik)	Hammadde Elde Edinim		Üretim		Kullanım		Geri Dönüşüm	
Su	Düz Tip	5,8	Düz Tip	1,29	Düz Tip	0,865	Düz Tip	0,157
	M+S Tip	5,24	M+S Tip	1,8	M+S Tip	0,96	M+S Tip	0,157
Kömür	Düz Tip	0,1752	Düz Tip	0,039	Düz Tip		Düz Tip	
	M+S Tip	0,157	M+S Tip	0,032	M+S Tip		M+S Tip	
Petrol	Düz Tip	0,036	Düz Tip	3,33	Düz Tip		Düz Tip	0,28
	M+S Tip	0,0358	M+S Tip	3,32	M+S Tip		M+S Tip	0,29
Motorin	Düz Tip	0,0985	Düz Tip	0,003	Düz Tip	23,419	Düz Tip	0,0007
	M+S Tip	0,0966	M+S Tip	0,003	M+S Tip	20,669	M+S Tip	0,0007
Doğalgaz	Düz Tip	0,0028	Düz Tip	0,34	Düz Tip		Düz Tip	0,05
	M+S Tip	0,0023	M+S Tip	0,27	M+S Tip		M+S Tip	0,05

4.1.2.2 Çalışmada Havaya Verilen Emisyonların Hesaplanması

Yaşam döngüsü envanter çıktılarından olan atmosferik emisyonlar çevreye önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışmanın metodunda her süreç için gösterilmiş olan verilerin

birbirine ilave edilerek çalışmada incelenen lastiklerin ağırlıklarına göre oranlanması ile 1 kg lastiğin havaya verdiği emisyon miktarları hesaplanmıştır. Tablo 4.2' de çalışmada incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca oluşan atmosferik emisyonların listesi gösterilmiştir.



Tablo4.2: Düz tip ve M+S tip lastiklerin atmosfere saldığı emisyon miktarları

Atmosferik emisyonlar(kg)	DÜZ TİP LASTİK(kg/kg lastik)					M+S TİP LASTİK(kg/kg lastik)				
	Hammadde Elde Edinimi	Üretim	Kullanım	Kullanım Sonrası	Toplam	Hammadde Elde Edinimi	Üretim	Kullanım	Kullanım Sonrası	Toplam
CO ₂	1,7329	0,0123	65,35	0,547	67,6422	1,765	0,0137	57,6844	0,547	59,996
CO	0,00632	0,003	1,1232		1,13252	0,0058	0,0022	0,9924		1,0004
SO ₂	0,0146	0,0003	0,10775	0,0035	0,12615	0,016	0,0004	0,09511	0,0035	0,11501
NO _x	0,0054	0,0008	1,5864	0,014	1,6066	0,0057	0,0007	1,40184	0,014	1,42224
CH ₄	0,0049	0,0001	0,10752		0,11252	0,0048	0,0009	0,09504		0,10074
NH ₃	5,80E-04				0,00058	5,28E-04				0,00053
N ₂ O	0,0007		0,05712		0,05782	0,00064		0,0504		0,05104
NMVOOC	0,005		0,42163		0,42663	0,0051		0,37218		0,37728
HCl	5,60E-06				5,60E-06	8,38E-06				8,38E-06
Partikül	4,44E-04		0,127		0,12744	6,77E-04		0,144		0,14468
Partikül<10 mikrometre	9,29E-05		0,026		0,02609	8,38E-05		0,0324		0,03248
Partikül<2,5 mikrometre			0,0047		0,0047			0,0054		0,0054
Zn			0,0007		0,0007			0,0007		0,0007

Çalışma boyunca atmosfere salınan emisyonların çok büyük bir kısmı lastiğin kullanım safhasında oluşmaktadır. Diğer aşamalarda çevreye salınan emisyon miktarı kullanım aşamasına göre oldukça düşüktür. Kullanım safhasında oluşan emisyonlar, lastiğin araçta tükettiği yakıttan kaynaklanmaktadır.

4.1.2.3 Çalışmada Suya Verilen Emisyonların Hesaplanması

Yaşam döngüsü envanter çıktılarından olan suya verilen emisyonlar miktar olarak atmosferik emisyonlar kadar fazla olmasa da ekolojik dengenin korunması açısından önemlidir. Bu süreçte atıklar ile beraber klor iyonları, sülfat iyonları ve sodyum suya karışmaktadır. Lastiklerin kullanım ve geri dönüşüm safhalarında suya verilen emisyon miktarı çok az olduğundan ve tespit edilemediğinden kullanım safhasında suya verilen emisyon miktarları göz ardı edilmiştir. Tablo 4.3 ' de tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca suya verilen emisyonların miktarları gösterilmiştir.

Tablo4.3: Düz tip ve M+S tip lastiklerin suya verdiği emisyon miktarları

Suya Verilen Emisyonlar(kg)	DÜZ TİP LASTİK(kg/kg lastik)			M+S TİP LASTİK(kg/kglastik)		
	Hammadde Elde Edinimi	Üretim	Toplam	Hammadde Elde Edinimi	Üretim	Toplam
Klorür	0,014	0,003	0,017	0,013	0,0026	0,0156
Sülfat	0,002	0,0001	0,002125	0,002	0,001	0,003
Sodyum	1,1E-5	0,0007	7,11E-04	1,09E-05	0,00069	0,000701
Nitrat	0,000014		0,000014	0,000125		0,000125
BOD	0,00327		0,00327	0,00297		0,00297
COD	0,00501		0,00501	0,00456		0,00456

Çalışma boyunca suya verilen emisyonların büyük bir kısmı lastiğin hammadde elde edinimi safhasında oluşmaktadır. Diğer aşamalarda suya salınan emisyon miktarı hammadde elde edinim aşamasına göre oldukça düşüktür.

4.1.3 Yaşam Döngüsü Envanter Tablosu

Çalışmada incelenen düz ve M+S tip lastiklerin yaşam döngüsünün tüm aşamalarındaki girdi ve çıktı miktarları hesaplanmıştır. Bu değerler yaşam döngüsü envanter tablosunda ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Tablo 4.4'de bu çalışmada incelenen M+S ve düz tip

lastiklerin tüm aşamalarındaki tüketilen kaynaklar ile çevreye verilen emisyonlar ve elde edilen malzemelerin listesi gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Yaşam döngüsü envanter tablosu

Girdiler		
Hammadde(Kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Sentetek Kauçuk	0,1247	0,1782
Doğal Kauçuk	0,277	0,254
Karbon Siyahı	0,228	0,207
Çelik Tel	0,177	0,165
Sülfür	0,01	0,0097
Kaynaklar(Kg)		
Su	8,112	8,157
Doğal gaz	0,3928	0,343
Motorin	23,52	20,764
Petrol	3,97	3,96
Kömür	0,2142	0,189
Çıktılar		
Ürünler: (kg lastik başına)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Kilometrik Ömür(km)	1446,4	1257,73
Aşınmış lastik(kg)	0,15875	0,181
Pirolitik yağ(kg)	0,414	0,426
Karbon siyahı(kg)	0,217	0,201
Pirolitik gaz(kg)	0,195	0,203
Çelik tel(kg)	0,174	0,168
Atmosferik emisyonlar(kg):	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
CO ₂	67,642	59,996
CO	1,13252	1,0004
SO ₂	0,12615	0,1151012
NO _x	1,6066	1,42224
CH ₄	0,11252	0,10074
NH ₃	0,00058	0,000528
N ₂ O	0,05782	0,05104
NMVOC	0,426632	0,377277
HCl	5,60E-06	8,38E-06
Partikül	0,1274	0,1446
Partikül<10 mikrometre	0,0261	0,0324
Partikül<2,5mikrometre	0,0047	0,0054
Zn	0,0007	0,0007
Su kirliliği(Kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Klorür	0,017	0,0156
Sülfat	0,002125	0,003
Sodyum	7,11E-04	0,000701
Nitrat	0,000014	0,000125
BOD	0,00327	0,00297
COD	0,00501	0,00456
Toprak kirliliği(Kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Zn	0,0063	0,0063
Atık (kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Katı Atık	0,0373	0,0398

Çalışmada incelenen Düz tip ve M+S tip lastiklerin hammadde elde edim, üretim, kullanım ve kullanım sonrası aşamalarındaki girdi ve çıktı verilerinin tek tek toplanması sonucu Tablo 4.4' deki değerler elde edilmiştir. Bu tablodaki değerler incelenen otobüs lastiğinin tüm yaşamını kapsamaktadır.

Bu değerlerin yardımı ile çalışmada incelenen lastiklerin yaşam döngüsü boyunca çevreye yaptıkları etkiler incelenmiştir.

4.2 YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Yaşam döngüsü envanter analizinde elde edilen değerlerin, çalışmanın amaç ve kapsamında belirtilen çevresel etki kategorilerine göre etkilerinin irdelenmesi etki değerlendirmesinin temelini oluşturmaktadır. Yaşam döngüsü analizi çalışmaları için geliştirilen birçok etki değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Etki değerlendirmesi aşamasında kullanılan tüm bu yöntemlerde bulunması zorunlu olan ve isteğe bağlı adımlar bulunmaktadır. (Curran 2006). Bu adımlar şu şekilde sıralanmaktadır:

1- Sınıflandırma: Veri toplama sürecinde enerji akışı, emisyon oluşumu ve çok sayıda veri incelenmektedir. İncelenen bu verilerin yorumlanması çok da kolay değildir . Bu sebepten dolayı elde edilen bu verilerin sınıflandırılması etki değerlendirme bölümünün ilk aşaması olarak uygulanmaktadır. Örneğin oluşan CH₄ ve CO₂ küresel ısınma etki kategorisinde, NO_x ve NH₃ asidifikasyon kategorisinde sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma ile belirlenen etkiler orta nokta olarak tanımlanmış yaşam döngüsü verileri ile çevresel etkinin görüldüğü son nokta arasındaki herhangi bir yerde ya da son noktada yer alabilmektedir. Bu mantık kapsamında iki ayrı yöntem grubu geliştirilmiştir.

Birinci yöntemde klasik etki değerlendirmesi işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemde, yaşam döngüsü verilerini orta nokta konularına göre(küresel ısınma etkisi, asidifikasyon) gruplandırılmaktadır. Bu yöntem en son çevre etkisine kadar inceleme yapamamaktadır. Ancak bu yöntemin sonuçlarının hassasiyeti yüksektir.

İkinci yöntemde ise zarara yönelik çevresel etki belirleme işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemde yaşam döngüsü envanter verilerinin sonuçları çevresel etkinin son noktasına

kadar incelenmektedir. Ancak bu yöntemin sonuçlarının içerisinde belirsizlikler olması söz konusu olabilmektedir.

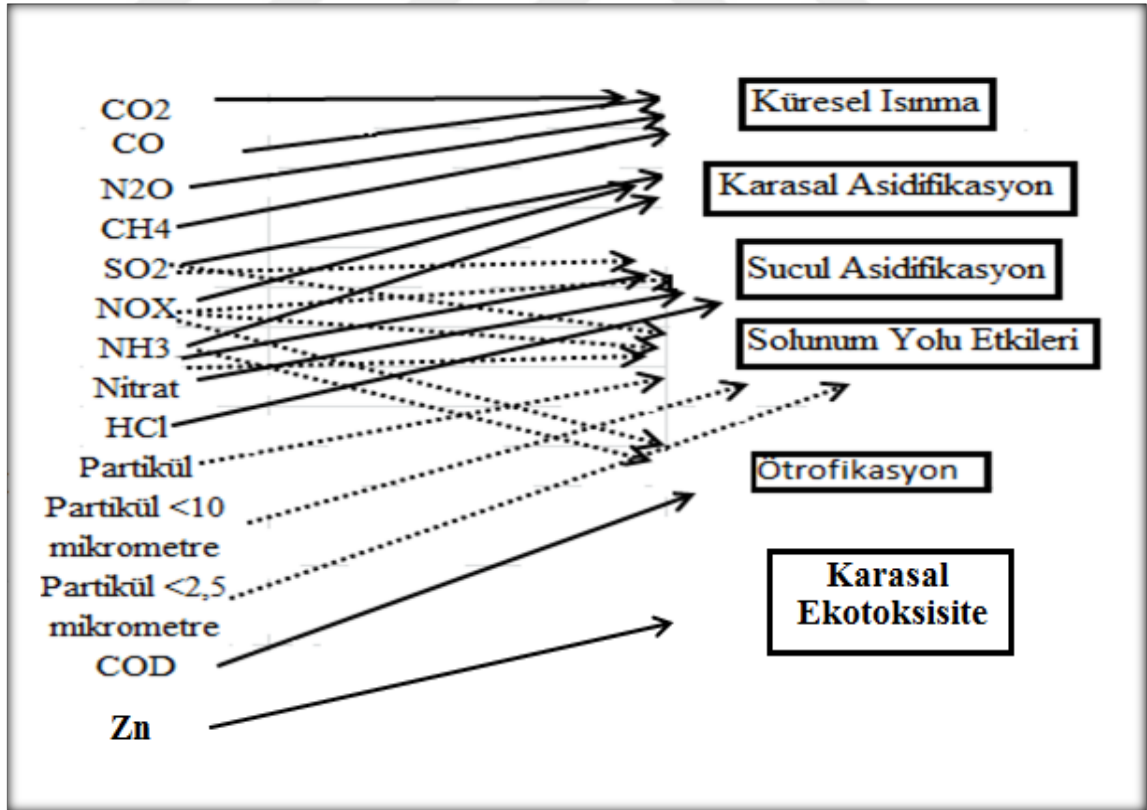
Bu çalışmada yaşam döngüsü incelenen lastiklerin orta nokta etkileri:

- a. Küresel Isınma Etkisi
- b. Karasal ve Sucul Asidifikasyon
- c. Fosil Kaynakların Tüketilmesi
- d. Ötrofikasyon
- e. Solunum Yolu Etkileri
- f. Karasal Ekotoksisite

olarak sıralanmıştır.

Şekil 4.2' de lastiklerin yaşam döngüsü boyunca oluşan emisyonların hangi orta nokta kategorilerine etki ettiği gösterilmiştir.

Şekil 4.2: Emisyon-orta nokta ilişkisi



Bu orta noktaların çevreye olan etkilerinin devam etmesi durumunda çevre şartlarının kalitesini düşürebilecek zararlı çevresel etkiler oluşmaktadır. Bu çalışmada incelenecek zararlı çevresel etkiler:

- a. İklim Değişikliği
- b. Ekosistem Kalitesi
- c. Kaynakların Tüketilmesi
- d. İnsan Sağlığı olarak sıralanmıştır.

2-Karakterizasyon: Sınıflandırma bölümünde etkiler belirlendikten sonra toplanan veriler, belirli etkilere denk gelecek şekilde karakterize edilmektedir. Başka bir ifade ile oluşan emisyonların etki kategorilerine katkıları hesaplanmaktadır. Karakterizasyon bölümü her yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yönteminde uygulanması gereken bir bölümdür. Karakterizasyon sonuçlarında, her etki kendi birimi cinsinden ifade edilmektedir. Çalışmada incelenen lastiklerin orta nokta etkilerini bulmak için emisyonlara uygulanacak karakterizasyon faktörleri IMPACT 2002+ metodu yardımıyla elde edilmiştir.

Sınıflandırma bölümünde sıralanan emisyonların, kategori faktörleri yardımıyla orta nokta etkileri bulunmuş olur. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin isteğe bağlı bölümlerinden olan normleştirme ve ağırlıklandırma bu çalışmada kapsam dışı tutulmuştur. Bu çalışmada incelenen orta nokta ve zarar kategorileri Şekil 4.3' de gösterilmiştir.

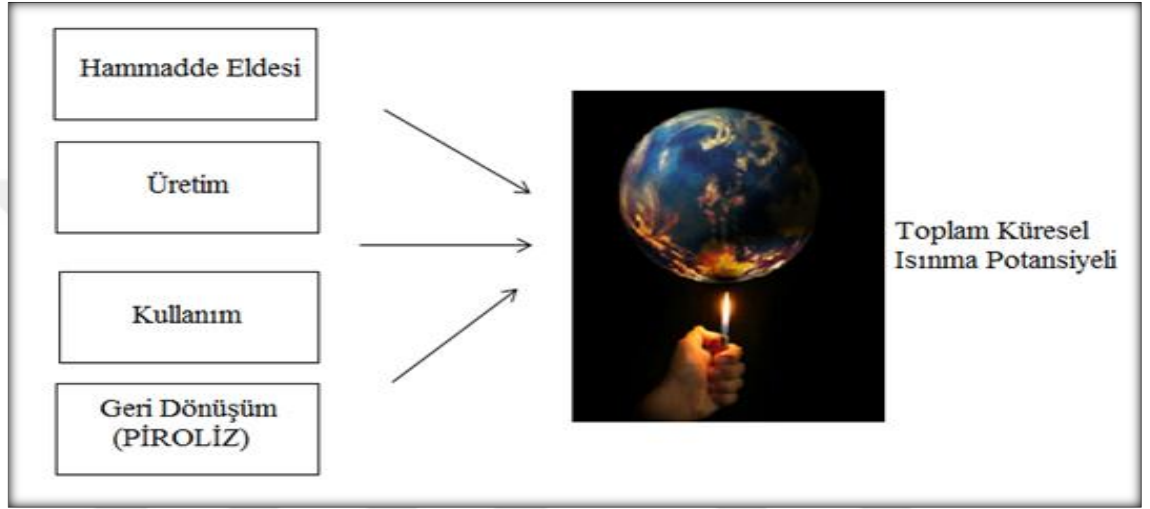
Şekil 4.3: Yaşam döngüsü orta nokta ve zarar kategorileri



4.2.1 Küresel Isınma Etkisi

Küresel ısınma, dünyada yapılan her üretim işlemi için atmosfere salınan gazların sera etkisi yaratması sonucu dünyanın sıcaklığını artması olarak tanımlanmaktadır. Küresel ısınma etkisi yaşam döngüsü boyunca çalışma boyunca çevreye yayılan sera gazı miktarlarının CO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanması ile elde edilmiştir.

Şekil 4.4: Yaşam döngüsü süreçleri ve toplam küresel ısınma etkisi



Bu bölümde iki lastiğin yaşam döngüsünün tüm evreleri boyunca çevreye verilen gazların emisyon miktarlarından küresel ısınma değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemlerinden IMPACT 2002+ metodundan faydalanılmıştır. Küresel ısınma etkisi, atmosfere salınan sera gazı emisyon miktarının o emisyonun küresel ısınma etki kategori faktörü ile çarpılması ile elde edilmektedir. Tablo 4.5 de bu çalışmada küresel ısınmaya etki eden sera gazı emisyonlarının etki faktörleri gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Sera gazı emisyonları küresel ısınma etki faktörleri

Atmosferik Emisyon	Küresel Isınma Etki Faktörü(kg C02 Eşdeğeri)
CO ₂	1
CO	1,57
CH ₄	10,35
N ₂ O	156

Kaynak: IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Çalışmada incelenen lastiklerin atmosfere yaydığı emisyon miktarlarının Tablo 4.5’deki faktörler ile çarpılması sonucu toplam küresel ısınma etkisi bulunmuştur. Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına çevreye yaydığı küresel ısınma etkileri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Şekil 4.5: Düz tip ve M+S tip lastiklerin küresel ısınma etkileri



4.2.2 Karasal Asidifikasyon Etkisi

Karasal asidifikasyon etkisi, çalışma kapsamında incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde atmosfere yaydığı SO₂, NO_x ve NH₃ emisyonlarının çevre üzerinde yaptıkları asitleştirme değeridir. Asidifikasyon etkisi değeri, yaşam döngüsü süreçleri atmosfere yayılan SO₂, NO_x ve NH₃ emisyon miktarlarının çevreye yaydıkları asitleştirme etkilerinin toplam kg SO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanması sonucu elde edilmektedir.

Karasal asidifikasyon etkisi, atmosfere salınan gaz emisyon miktarının o emisyonun asidileştirme etki kategori faktörü ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu hesaplama yapılırken yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemlerinden IMPACT 2002+ metodundan faydalanılmıştır. Tablo 4.6 da bu çalışmada asidifikasyona etki eden gaz emisyonlarının etki faktörleri gösterilmiştir.

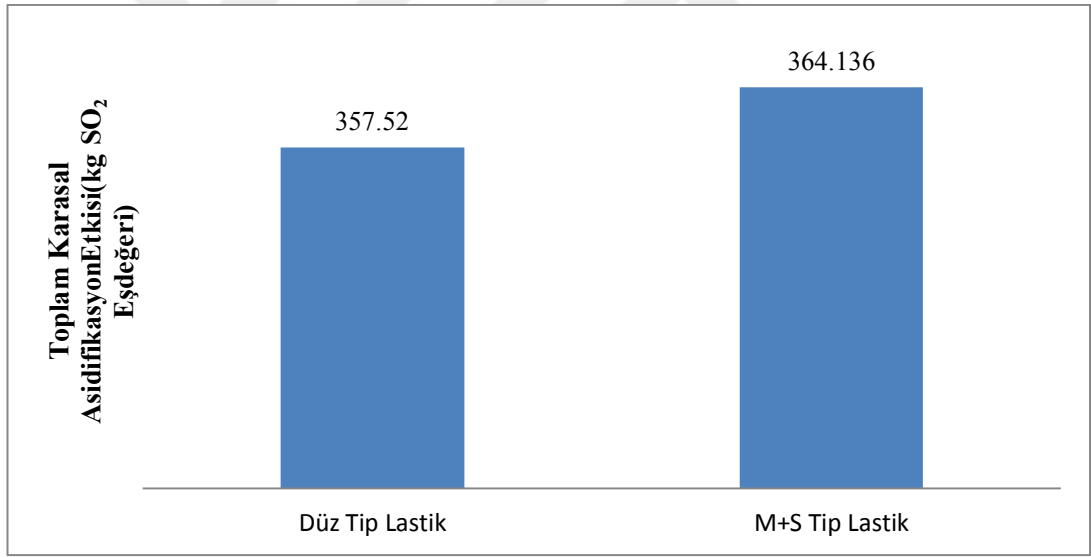
Tablo 4.6 : Gaz emisyonları karasal asitlendirme etki kategori faktörleri

Atmosferik Emisyon	Karasal Asidifikasyon Potansiyeli(kg SO ₂ Eşdeğeri)
NH ₃	14,956
NO _x	5,48
SO ₂	1

Kaynak: IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına çevreye yaydığı karasal asidifikasyon etkileri Şekil 4.6' da gösterilmiştir.

Şekil 4.6: Düz tip ve M+S tip lastiklerin karasal asidifikasyon etkileri



4.2.3 Sucul Asidifikasyon Etkisi

Sucul asidifikasyon etkisi, çalışma kapsamında incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde atmosfere yaydığı SO₂, NO_x, HCl ve NH₃ emisyonları ile su yüzeyine verilen Nitrat 'ın sucul ortamlar üzerinde yaptıkları asitleştirme değeridir. Sucul asidifikasyon etkisi değeri, yaşam döngüsü süreçleri boyunca oluşan SO₂, NO_x, NH₃ ve Nitrat emisyon miktarlarının çevreye yaydıkları sucul asitleştirme etkilerinin toplam kg SO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanması sonucu elde edilmektedir.

Sucul asidifikasyon etkisi, atmosfere salınan gaz emisyon miktarının o emisyonun sucul asidifikasyon etki kategori faktörü ile çarpılması ile elde edilmektedir. Bu hesaplama yapılırken yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemlerinden IMPACT 2002+ metodundan faydalanılmıştır. Tablo 4.7’ de bu çalışmada asidifikasyona etki eden gaz emisyonlarının etki faktörleri gösterilmiştir.

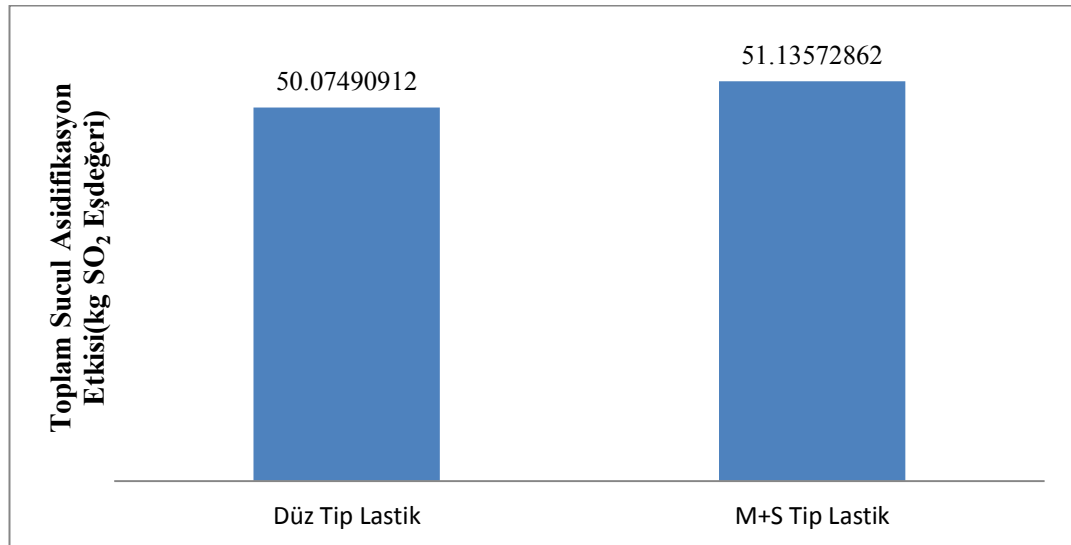
Tablo 4.7 : Gaz emisyonları sucul asidifikasyon etki kategori faktörleri

Emisyon	Sucul Asidifikasyon Etki Faktörü(kg SO ₂ Eşdeğeri)
Amonyak(Hava)	1,88
HCl(Hava)	0,88
NO _x (Hava)	0,7
SO ₂ (Hava)	1
Nitrat(Su)	0,5

Kaynak:IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına çevreye yaydığı sucul asidifikasyon etkileri Şekil 4.7’ de gösterilmiştir

Şekil 4.7: Düz tip ve M+S tip lastiklerin sucul asidifikasyon etkileri



4.2.4 Fosil kaynak tüketimi

Fosil kaynak tüketimi, lastiklerin yaşam döngüsü boyunca sisteme dışarıdan giren tüm fosil kaynaklı enerji girişlerinin toplamını ifade etmektedir. Çalışma boyunca lastiklerin her evresinde fosil kaynak tüketimi meydana gelmiştir.

Lastiklerin, hammadde elde edim ve üretim aşamalarında petrol, kömür, doğalgaz, motorin gibi tüm fosil kaynaklardan kullanılmıştır. Kullanım aşamasındaki motorin kullanımı yaşam döngüsü aşamalarında en fazla enerji tüketilen bölümdür. Lastiklerin geri dönüşüm sürecinde de bir miktar fosil kaynak kullanımı olmuştur.

Çalışma boyunca kullanılan toplam fosil kaynak miktarını bulmak için, çalışmada kullanılan fosil kaynak miktarının o kaynağın ısı değeri ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Tablo 4.8’ de çalışmada kullanılan fosil enerji kaynaklarının ısı değerleri gösterilmiştir.

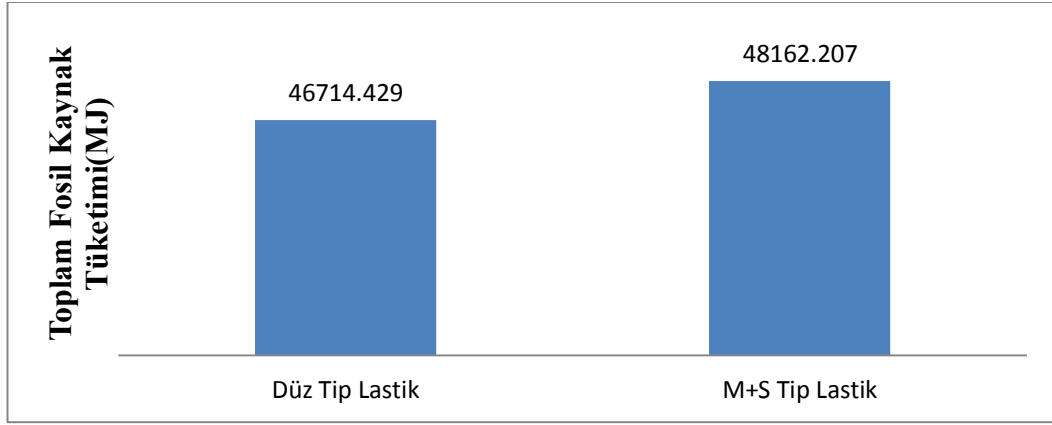
Tablo 4.8: Çalışmada kullanılan fosil enerji kaynaklarının ısı değerleri

Enerji Kaynağı	Isıl Değer(kcal/kg)	Isıl Değer(kjoule/kg)
Kömür	6100	25498
Petrol	10500	43890
Doğal gaz	8250	34485
Motorin	10200	42636

Kaynak: http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/SENVER_15_Usul_ve_Esaslar_Ek2.pdf

Düz tip ve M+S tip lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca lastik başına tükettikleri fosil kaynak tüketimi Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.

Şekil 4.8: Düz tip ve M+S tip lastiklerin tükettikleri toplam fosil kaynak enerjisi miktarı



4.2.5 Solunum Yolu Etkileri

Solunum yolu etkileri, lastiklerin yaşam döngüsü boyunca çevreye verilen partikül maddeler ile NH₃, NO_x ve SO₂ gazlarının çevrede bulunan insanların solunum sistemine verdiği etkiyi ifade etmektedir. Solunum yolu etkisi değeri, yaşam döngüsü süreçleri atmosfere yayılan SO₂, NO_x, NH₃ ve partikül madde emisyon miktarlarının çevreye yaydıkları solunum yolu etkilerinin toplam kg Partikül<2,5 mikrometre eşdeğeri cinsinden hesaplanması sonucu elde edilmektedir. Solunum yolu etkisi, atmosfere salınan gaz emisyon miktarının o emisyonun solunum yolu etki kategori faktörü ile çarpılması ile elde edilmektedir. Tablo 4.9' da bu çalışmada solunum yolu etkilerine neden olan emisyonlarının etki faktörleri gösterilmiştir.

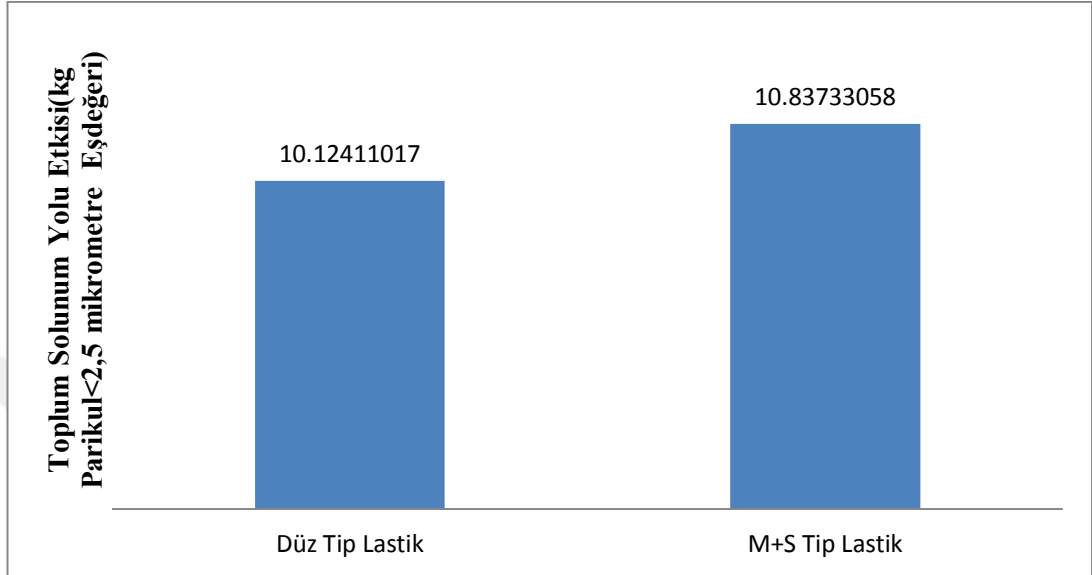
Tablo 4.9 :Gaz emisyonları solunum yolu etki kategori faktörleri

Atmosferik Emisyon	Solunum Yolu Etki Faktörü(kg Partikül<2,5 mikrometre Eşdeğeri)
NH ₃	0,12148
NO _x	0,12728
Partikül	0,15714
Partikül<10 mikrometre	0,5357
Partikül<2,5 mikrometre	1
SO ₂	0,078

Kaynak: IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına çevreye yaydığı sucul asidifikasyon etkileri Grafik 4.9’ da gösterilmiştir.

Şekil 4.9: Düz tip ve M+S tip lastiklerin solunum yolu etkileri



4.2.6 Su Tüketimi

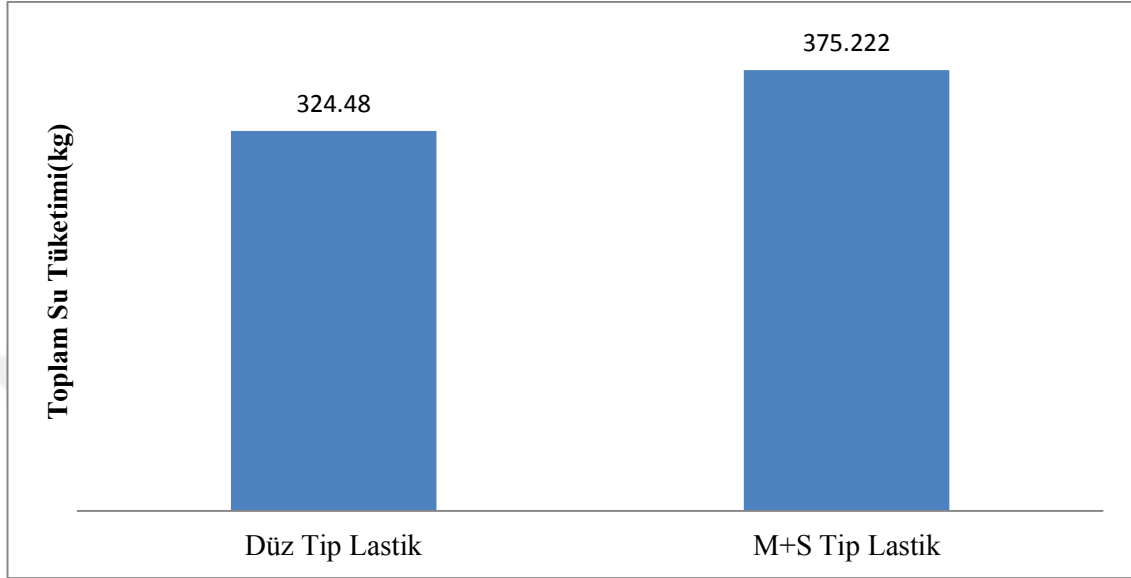
Su tüketimi, lastiklerin yaşam döngüsü boyunca sisteme dışarıdan giren tüm su girişlerinin toplamını ifade etmektedir. Çalışma boyunca lastiklerin her evresinde su tüketimi meydana gelmiştir. Tablo 4.10’ da çalışma boyunca her süreçte kullanılan su miktarları gösterilmiştir.

Tablo 4.10: Düz tip ve M+S tip lastiklerin çalışma boyunca harcadığı su miktarı

Su Tüketimi(kg/kg lastik)	Hammadde Elde Edinim	Üretim	Kullanım	Geri Dönüşüm	Toplam
Düz Tip	5,8	1,29	0,865	0,157	8,112
M+S Tip	5,24	1,8	0,96	0,157	8,157

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına Toplam su tüketimi Şekil 4.10' da gösterilmiştir.

Şekil 4.10: Düz tip ve M+S tip lastiklerin toplam su tüketimi



4.2.7 Ötrofikasyon Etkisi

Ötrofikasyon etkisi, çalışma kapsamında incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde atmosfere yaydığı NO_x ve NH₃ emisyonları ile su yüzeyine verilen COD 'nin sucul ortamlar üzerinde yaptığı çevresel etkidir. Ötrofikasyon etkisi değeri, yaşam döngüsü süreçleri boyunca oluşan NO_x, NH₃ ve emisyon COD miktarlarının çevreye yaydıkları ötrofikasyon etkilerinin toplam kg PO₄ eşdeğeri cinsinden hesaplanması sonucu elde edilmektedir.

Ötrofikasyon etkisi, çevreye salınan gaz emisyon miktarının o emisyonun ötrofikasyon etki kategori faktörü ile çarpılması ile elde edilmektedir. Tablo 4.10' da bu çalışmada ötrofikasyona neden olan emisyonlarının etki faktörleri gösterilmiştir.

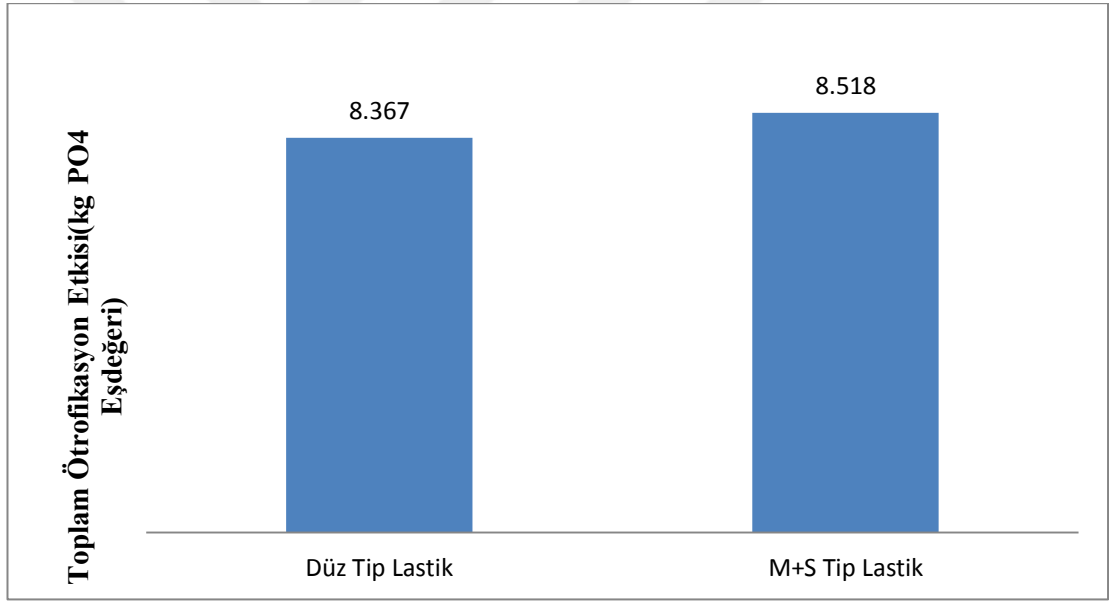
Tablo 4.11: Gaz emisyonları ötrofikasyon etki kategori faktörleri

Atmosferik Emisyon	Ötrofikasyon Etki Faktörü(kg PO ₄ Eşdeğeri)
NH ₃	0,35
NO _x	0,13
COD	0,022

Kaynak: IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına ötrofikasyon etkisi Şekil 4.11’ de gösterilmiştir.

Şekil 4.11: Düz tip ve M+S tip lastiklerin ötrofikasyon etkileri



4.2.8 Karasal Ekotoksisite Etkisi

Karasal ekotoksisite etkisi, çalışma kapsamında incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde atmosfere ve toprak yüzeyine yaydığı Zn emisyonlarının yaptığı çevresel etkidir. Karasal Ekotoksisite etkisi değeri, yaşam döngüsü süreçleri boyunca oluşan Zn emisyon miktarlarının çevreye yaydıkları karasal ekotoksisite etkilerinin toplam kg trietilen glikol eşdeğeri cinsinden hesaplanması sonucu elde edilmektedir.

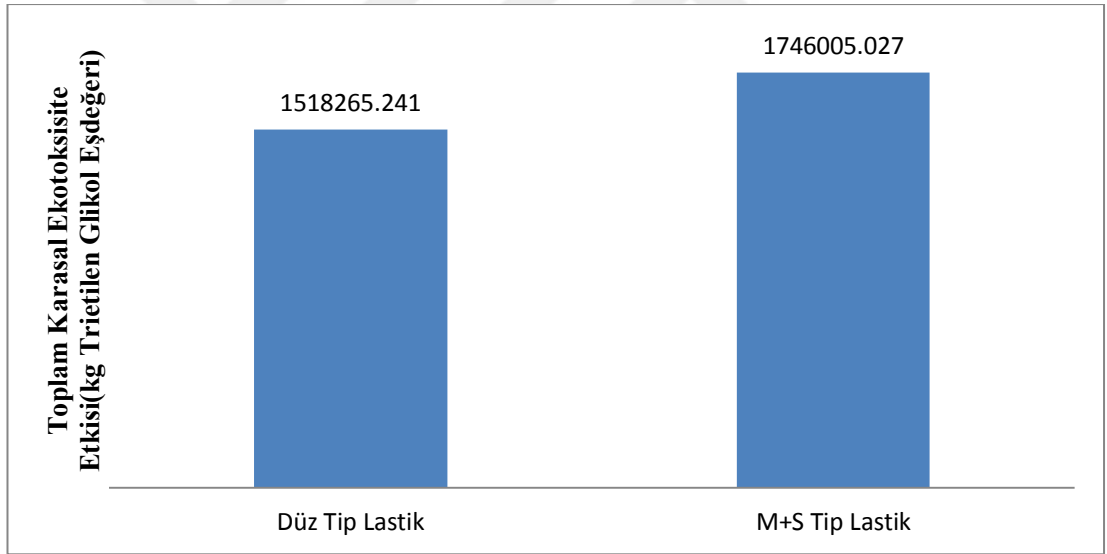
Tablo 4.12: Gaz emisyonları karasal ekotoksosite etki kategori faktörleri

Emisyon	Karasal Toksikite Etki Faktörü(kg Trietilen Glikol Eşdeğeri)
Zn(Hava)	1011659,12
Zn(Toprak)	5912455,497

Kaynak: IMPACT 2002+ V2.12 DATABASE

Düz tip ve M+S tip lastiklerin lastik başına karasal ekotoksosite etkisi Şekil 4.12' de gösterilmiştir.

Şekil 4.12: Düz tip ve M+S tip lastiklerin karasal ekotoksosite etkileri



4.3 YAŞAM DÖNGÜSÜ YORUMLAMA

Yaşam döngüsü analizinin en son aşaması olan yorumlama kısmında çalışma tüm yönleri ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada yaşam döngüsü analizi yapılan lastiklerin çevre etkileri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın asıl amacı karşılaştırılan düz ve M+S tip lastiklerin yaşam döngüsü analizi yardımıyla çevre potansiyellerini hesaplamaktır. Ancak bu çalışmayı sadece çevre potansiyellerinin sayısal değeri olarak indirgememiz mümkün değildir.

Çalışmadaki her aşamaya, bu aşamada yapılan kabuller ve ihmallere değinmek gelecekte bu çalışmanın sonuçlarını değerlendiren kişilere yol gösterecektir. Lastiklerin hammadde elde edinim-üretim-kullanım-yeniden kullanım safhaları arasında taşıma işlemleri yaşam döngüsü analizinde bir süreç olarak tanımlanmamış olmasına rağmen hesaplara dâhil edilmiştir. Örneğin çelik tel, kauçuk gibi malzemeler lastiğin hammadde elde edinim aşamasından fabrikada üretim aşamasına gelinceye kadar olan süreçteki taşıma boyunca gerçekleşen çevre etkisi ve enerji tüketimi hammadde elde edinim sürecine ilave edilmiştir. Aynı şekilde üretilen lastiğin kullanıcının araca takılıncaya kadar geçen taşıma işlemlerinin etkisi üretim sürecine dâhil edilmiştir.

Lastiğin üretiminde kullanılan kimyasal yarı mamullerin yaşam döngüsü envanter girişindeki miktarı lastik üreticisinin firma gizlilik politikası gereği vermemesinden dolayı bu ürünlerin envanter girişinde bulunan miktarları ecoinvent database kaynaklarından faydalanılarak hesaplanmıştır.

Kullanım aşamasında lastiklerin birim ağırlıklarında azalma meydana gelmiştir. Bu azalma lastiklerin sırt kısımlarının yol ile teması sonucu aşınıp çevreye dağılmasından kaynaklanmaktadır. Çevreye yayılan bu partiküllerin atmosfere etkisi incelenmiş olup suya verdiği etkiyi incelemek günümüz teknolojisinde çok da mümkün değildir. Bu yüzden çalışmamızda kullanım aşamasında aşınan lastiğin suya verdiği etki ihmal edilmiştir.

İki lastiğin hammadde elde edinim, üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçleri boyunca tüketilen kaynak miktarı ile çevreye verdiği emisyon, ürün ve atık miktarları karşılaştırılmıştır.

Hammadde elde edinim ve üretim süreçleri kaynak tüketimi ve çevreye verilen emisyon miktarı açısından önemli bir süreçtir. Bu aşamalarda M+S tip lastik için kullanılan kaynaklar ve çevreye verilen emisyon değeri düz tip lastikten miktar fazladır. Bunun nedeni M+S Tip lastiğin düz tip lastiğe göre daha ağır olmasıdır.

Çalışma boyunca incelenen lastiklerin çevreye en fazla verdiği emisyon kullanım sürecinde oluşmuştur. Bu süreçte en fazla çevre etkisi, lastiklerin takıldığı aracın lastiklerin yuvarlanma direncinden oluşan yakıt tüketimi(aracın toplam yakıt tüketiminin yüzde 4' ü)'nden meydana gelmektedir.

Geri dönüşüm süreci yaşam döngüsü analizi tekniğinin “ beşikten mezara”(cradle-to-grave) prensibinin uygulanabilmesi için oldukça önemli bir süreçtir. Çalışma boyunca incelenen lastiklerin piroliz yöntemi ile hammaddelerine ayrılması atık lastiklerin depolanmasına göre oldukça üstün bir yöntemdir.

Yaşam döngüsü etki değerlendirme kısmında incelenen çalışmanın çevresel orta nokta etkileri çalışmanın önemli adımlarından biridir. Bu çalışmada incelenen orta nokta kategorilerinin şüphesiz en önemlisi küresel ısınma etkisidir. Küresel ısınma etkisi, günümüzde birçok sektörün faaliyetleri sonucu oluşan önemli bir çevre etkisidir. Bu etkinin devam etmesi halinde ileride bazı bölgelerde muhtemel iklim değişiklikleri görülecektir. İklim değişikliği, küresel ısınmanın zarar kategorisi olarak sınıflandırılmakta ve son yıllarda tüm çevre otoriteleri tarafından önemsenmektedir.

Bu çalışmada incelenen bir başka orta nokta kategorisi, karasal ve sulcu asidifikasyon etkileridir. Asidifikasyon etkileri, doğada uzun yıllar kalabilecek hasarlar oluşturabilmektedir. Asidifikasyon etkisinin her geçen gün artması ekosistem kalitesini düşürecektir. Ekosistem kalitesini düşüren bir başka orta nokta etkisi ise karasal ekotoksitedir. Bu etki çevrede ani ve gecikmeli zararlı etkiler oluşturarak kara yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Fosil kaynakların tüketim, konusuna değinilecek olursa lastiklerin en fazla fosil kaynak kullanıldığı, kısım lastiklerin kullanım aşamasıdır. Bu aşamada, motorin tüketiminden kaynaklı enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Çalışmada incelenen lastiklerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye verdikleri orta nokta etkilerinin yaşam döngüsü aşamalarına göre miktarları Tablo 4.13 ve Tablo 4.14 ' de, orta nokta etkilerinin yaşam döngüsü aşamalarına göre oranları ise Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de verilmiştir.

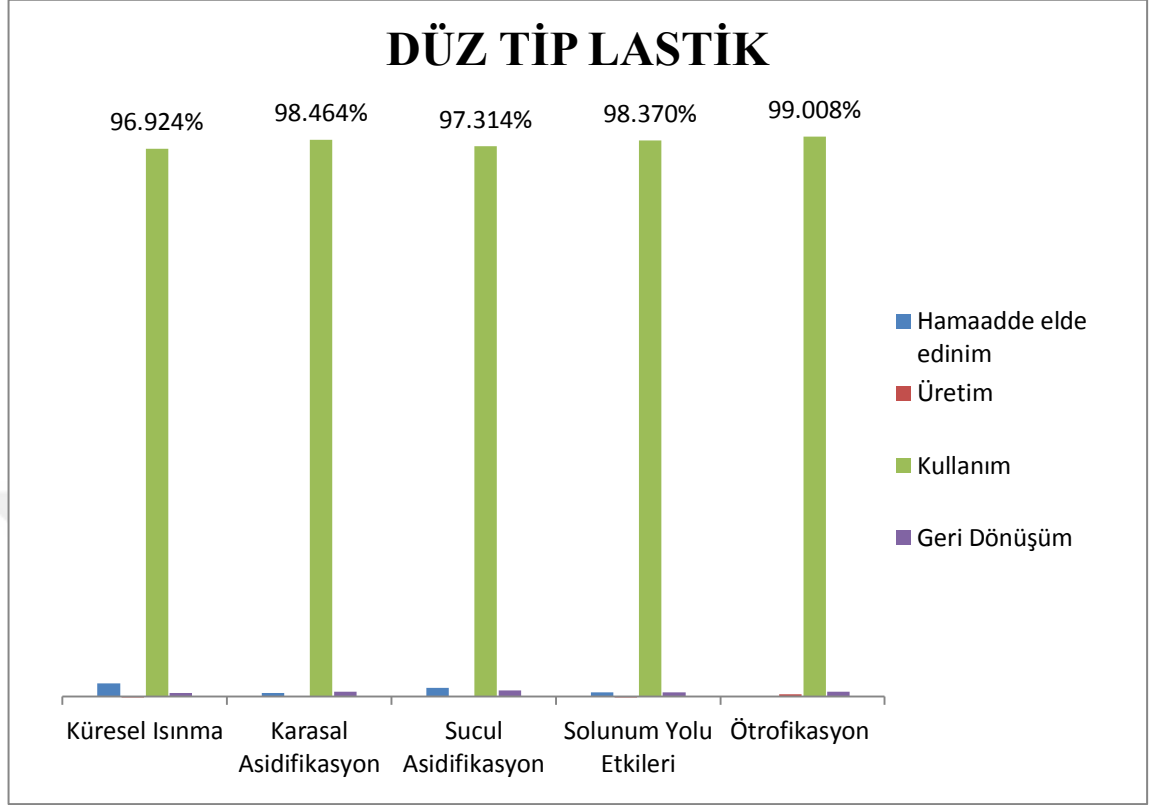
Tablo 4.13: Düz tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etki miktarları

Düz Tip Lastik	Hamaadde elde edinim	Üretim	Kullanım	Geri Dönüşüm	Toplam
Küresel Isınma(kg CO2 eşdeğeri)	76,109	0,2406	3092,759	21,8	3190,908
Karasal Asidifikasyon(kg SO2 eşdeğeri)	2,114	0,17536	352,028	3,2088	357,52
Sucul Asidifikasyon(kg SO2 eşdeğeri)	0,779	0,0344	48,729	0,532	50,074
Solunum Yolu Etkileri(kg part.<2,5mm eşdeğeri)	0,0806443	0,000936	9,959	0,0821	10,124
Ötrofikasyon(kg PO4 eşdeğeri)	0,00416	0,00416	8,283	0,0728	8,366

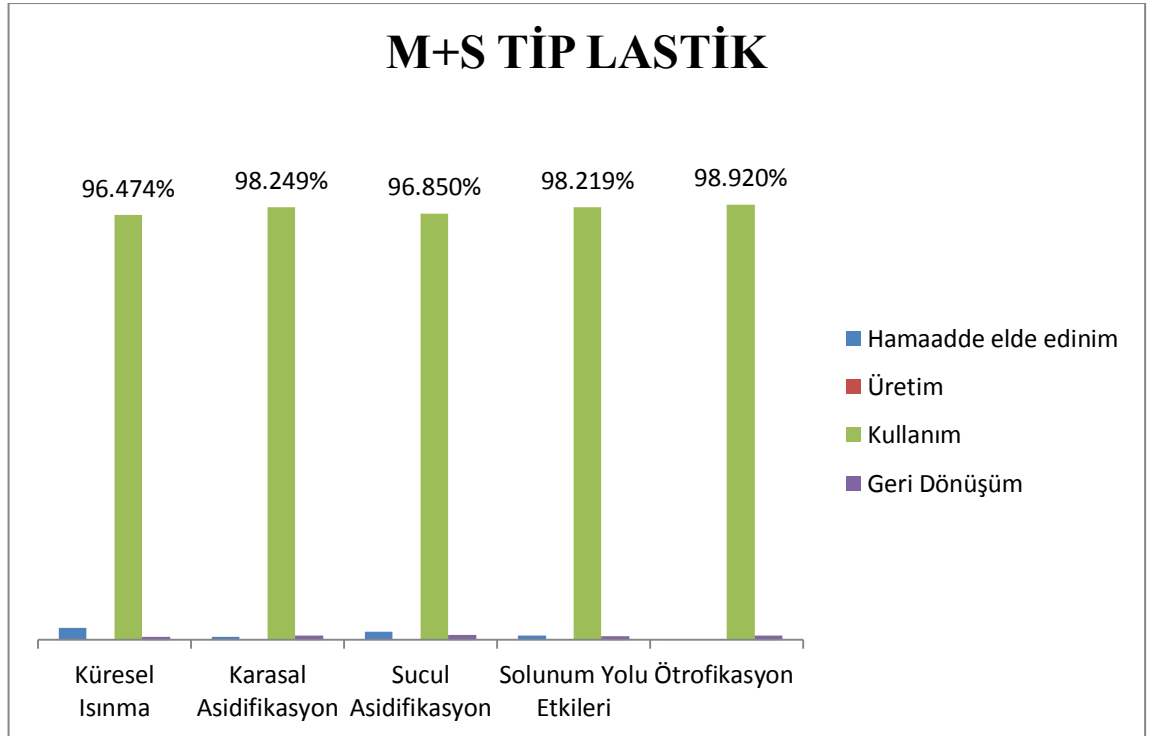
Tablo 4.14: M+ tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etki miktarları

M+S Tip Lastik	Hamaadde elde edinim	Üretim	Kullanım	Geri Dönüşüm	Toplam
Küresel Isınma(kg CO2 eşdeğeri)	88,487	1,21	3140,334	25,07	3255,101
Karasal Asidifikasyon(kg SO2 eşdeğeri)	2,53	0,176456	357,76	3,69012	364,136
Sucul Asidifikasyon(kg SO2 eşdeğeri)	0,922	0,04094	49,524	0,6118	51,135
Solunum Yolu Etkileri(kg part.<2,5mm eşdeğeri)	0,100689992	0,0001872	10,645	0,094	10,838
Ötrofikasyon(kg PO4 eşdeğeri)	0,004186	0,004186	8,426003	0,08372	8,518

Şekil 4.13: Düz tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevre etki oranları



Şekil 4.14: M+S tip lastiğin yaşam döngüsü süreçlerinde çevre etki oranları



Tablo 4.13, Tablo 4.14, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de çalışmada incelenen iki lastik tipinin tüm süreçlerde çevreye verdiği etkiler miktar ve oransal olarak gösterilmiştir. Bu tablo ve grafiklerden her iki lastik tipinde kullanım aşamasının çevreye verdiği etkinin diğer aşamalardan çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu fazlalığın en büyük nedeni lastiklerin kullanım aşamasında tüketilen motorinin araçta yanması sonucu çevreye verdiği emisyonların yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. İki lastiğin yaşam döngüsü boyunca çevre üzerinde en fazla etkiye sahip olan süreç lastiklerin yolda kullanım sürecidir. Bu sürecin çevreye verdiği etki hammadde elde edim, üretim ve geri dönüşüm süreçlerin toplamından bile çok fazladır. Bu süreçte yapılabilecek iyileştirmeler çevre etkilerini minimize etmek adına oldukça önem arz etmektedir. Lastiklerin kullanım aşamasında hava basıncının doğru kullanımı, araç- lastik uyumu, lastik- yol uyumu kullanım aşamasında yakıt tüketimini etkileyen en önemli faktörlerdendir.

Çalışmada incelenen orta nokta etkileri ileride çevresel zarar kategorilerine potansiyel oluşturmaktadır. Bu zarar kategorilerinden olan iklim değişikliği, küresel ısınma etkisinin bir sonucu olup dünyadaki bitki türlerinin yok olmasına, besin zincirinin bozulmasına neden olmaktadır.

Ekosistem kalitesi, dünya üzerinde yaşayan canlılar ve cansız tüm nesnelere doğada oluşturduğu dengeyi ifade etmektedir. Çevreye verilen emisyonlar sonucu oluşan karasal ve sulcu asidifikasyon, karasal ekotoksikite ve ötrofikasyon etkileri bu dengeyi ciddi manada tehdit etmektedir. Bu dengenin bozulması ile canlı çeşitliliği azalacak ve yeryüzü şekillerinde büyük tahribat oluşacaktır.

İnsan sağlığı kategorisi, insanların yaşadığı bölgelerde yapılan endüstri ve ulaşım faaliyetlerinin çevreye verdiği emisyonların insanın metabolizmasında yaptığı zararlı etkilerin toplamını ifade etmektedir. Bu çalışmada lastiklerin yolda kullanımı sırasında çevreye yayılan partiküller çevrede yaşayan insanların solunum sistemine zarar verme potansiyeline sahiptir. İki lastiğin tüm yaşam döngüsü boyunca envanter girdi ve çıktıları ile çevre etkileri birim lastik başına Şekil 4.15' te gösterilmiştir.

Şekil 4.15: Düz ve M+S yaşam döngüsü karşılaştırma tablosu

Girdiler		
Hammadde(Kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Sentetek Kauçuk	4,988	8,1972
Doğal Kauçuk	11,08	11,684
Karbon Siyahı	9,12	9,522
Çelik Tel	7,08	7,59
Sülfür	0,4	0,4462
Kaynaklar(Kg)		
Su	324,48	375,222
Doğal gaz	15,712	15,778
Motorin	940,8	955,144
Petrol	158,8	182,16
Kömür	8,568	8,694
Çıktılar		
Ürünler: (kg lastik başına)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Kilometrik Ömür(km)	57856	57856
Aşınmış lastik(kg)	6,35	8,3
Pirolitik yağ(kg)	13,9311	16,0602
Karbon siyahı(kg)	7,30205	7,5777
Pirolitik gaz(kg)	6,56175	7,6531
Çelik tel(kg)	5,8551	6,3336
Atmosferik emisyonlar(kg):	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
CO ₂	2705,68	2759,816
CO	45,3008	46,0184
SO ₂	5,046	5,294652
NO _x	64,264	65,42304
CH ₄	4,5008	4,63404
NH ₃	0,0232	0,024288
N ₂ O	2,3128	2,34784
NMVOC	17,06528	17,354742
HCl	0,000224	0,00038548
Partikül	5,096	6,6516
Partikül<10 mikrometre	1,044	1,4904
Partikül<2,5 mikrometre	0,188	0,2484
Su kirliliği(Kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Klorür	0,68	0,717
Sülfat	0,085	0,138
Sodyum	0,02844	0,032246
Nitrat	0,00056	0,000575
BOD	0,1308	0,13662
COD	0,2004	0,20976
Atık (kg)	Düz Tip Lastik	M+S Tip Lastik
Katı Atık	1,492	1,8308
Çevresel Etkiler:		
Küresel Isınma Etkisi(kg CO ₂ eşdeğeri)	3152,32	3214,158
Karasal Asidifikasyon(kg SO ₂ eşdeğeri)	357,52	364,136
Sucul Asidifikasyon(kg SO ₂ eşdeğeri)	50,074909	51,135729
Solunum Yolu Etkileri(kg Partikül< 2,5 mikrometre eşdeğeri)	10,12411017	10,83733058
Ötrofikasyon(kg PO ₄ eşdeğeri)	8,366849	8,518143
Toplam Fosil Yakıt Tüketimi(MJ)	46714,329	48162,116
Karasal Ekotoksosite(kg trietilen glikol eşdeğeri)	1518265	1746005

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşam döngüsü analizi tekniği, incelenen ürün sistemi içerisinde bulunan her sürecin ayrı ayrı incelenmesi ve bu süreçler arasında ilişki kurulmasına olanak vermektedir. Çalışma boyunca yapılan değerlendirmelerde lastiklerin yaşam döngüsüne etki eden parametrelerin fazla olması sebebi ile hiçbir aşamanın diğerine herhangi bir üstünlüğü kabul edilememektedir. Bazı çevresel parametrelerde bir süreç daha etkili iken bazı çevresel parametrelerde başka bir sürecin etkisi daha fazladır. Örneğin bu çalışmada suya verilen emisyon en fazla hammadde elde edinim sürecinde oluşmuş olmasına rağmen küresel ısınmaya etki en fazla kullanım aşamasında olmuştur. Ancak çevresel etkilerin değerleri karşılaştırıldığında lastiklerin kullanım aşamasının genel olarak çevreye en fazla etkide bulunduğu açıkça söylenebilir.

Lastiklerin kullanım aşamasının çevresel etki üzerinde en fazla öneme sahip olduğu bilgisi dâhilinde yapılacak operasyonlar ile toplam çevresel etkide en etkili düşüşün bu aşamada sağlanacağı yorumu yapılabilir. Lastiklerin kullanım aşamasında çevre etkisini minimize etmenin birçok yolu vardır. Lastiklerin uygun basınçta kullanımı, iklim ve yol şartlarına uygun lastik seçilmesi, aracın mekanik ayarlarının takip edilerek lastiklerin düzensiz aşınmasını önlemek bu yollardan en önemlileridir.

Öte yandan lastiğin diğer aşamalarında yapılabilecek operasyonlar ile bazı çevresel etkiler minimize edilebilmektedir. Örneğin hammadde elde edinim sürecinde kullanılan karbon siyahı miktarının azaltılması ile suya verilen emisyonlar azaltılabilir.

Yaşam döngüsü analizlerinin karşılaştırılması yapılan iki lastik tüm aşamalardan (hammadde elde edinim, üretim, kullanım ve geri dönüşüm) beraber geçirilmiştir. Bu yöntem bize doğru karşılaştırma yapabilmeye olanağı sağlamaktadır. İki lastik aynı fabrikada üretildiğinden aynı çeşitlilikte hammaddelere sahip olduğundan, aynı tip araçlarda kullanıldığından ve aynı tesiste geri dönüşüm işlemi yapıldığından tüm bu aşamalarda elde edilen veri ve çevresel etki farklılıkları bu lastiklerin karakteristik özelliklerinden (hammadde miktar farklılığı ve yol performans farklılığı) gelmekte olup bu çalışmanın asıl amacı bu farklılıkları ortaya koyarak kullanıcının istediğı ihtiyaçları uygun lastik seçmesine bir öneri sunabilmektir.

Lastiklerin hammadde elde edim sürecinde M+S tip lastiğin gerek enerji tüketimi gerekse çevreye olan etkileri düz tip lastiğe göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni M+S tip lastik için daha fazla hammadde ve kaynak tüketilmesinde kaynaklanmaktadır. Ayrıca her iki lastik tipi için suya verilen emisyon miktarı bu süreçte en yüksek değerdedir. Hammadde elde edim sürecinde lastik performansını azaltmadan yapılabilecek bir değişiklik suya verilen emisyon miktarını azaltabilir.

Lastiklerin üretim sürecinde, hammadde elde edim sürecinde M+S tip lastiğin çevre etkileri ve süreç boyunca tükettiği enerji miktarı düz tip lastiğe göre daha yüksek düzeydedir. M+S tip lastiğin çevresel etkisinin düz tip lastiğe göre daha yüksek çıkmasını hammadde miktarının fazla olmasına bağlanabilir. Ancak süreç boyunca tüketilen enerjinin fazla olması tamamıyla fabrikanın üretim hattı ile ilgilidir. Fabrikada üretilen aynı çeşitteki tüm lastiklerin üretimi için tüketilen toplam enerjinin üretilen lastik adedine oranı ile bir lastik için harcanan enerji miktarı bulunmuş olur. Bu yüzden süreç boyunca tüketilen enerji miktarının fabrikanın üretim adedi ile de ilgisi bulunmaktadır.

Çevresel etki ve süreç boyu tüketilen toplam enerjinin en fazla olduğu safha lastiklerin kullanım aşamasıdır. Diğer süreçlerde olduğu gibi bu süreçte de çevresel etki değeri ve enerji tüketimi M+S tip lastikte düz tip lastiğe göre daha yüksektir. Bu farkın en önemli nedeni kullanım aşamasında tüketilen motorin miktarıdır.

Geri dönüşüm süreci, yaşam döngüsünün temel prensiplerinden olan “beşikten mezara” (cradle-to-grave) prensibinin uygulanabilmesi için oldukça önemlidir. Bu süreç sonucunda lastikler büyük oranda üretimden önceki hammaddelerine dönüştürülmüştür. Bu süreçte M+S tip lastiğin hammadde miktarı fazla olmasından dolayı çevreye verdiği emisyon etkisi ve dönüşüm için harcanan etki düz tip lastiğe göre daha yüksek çıkmıştır.

Lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde çevreye olan orta nokta etkileri IMPACT 2002+ yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmada incelenen çevresel orta nokta noktalarından olan biri küresel ısınma etkisidir. Bu etki çalışma boyunca oluşan gazların sera etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Tüm çalışma boyunca M+S tip lastiğin düz tip lastiğe göre küresel ısınma etkisi yaklaşık yüzde 2 fazla hesaplanmıştır. Lastiklerin

yaşam döngüsü boyunca küresel ısınmaya en fazla etki eden madde kullanım aşamasında havaya salınan CO₂'dir.

Karasal ve sucul asidifikasyon etkisi çalışma boyunca havaya ve suya salınan emisyonların asitleştirme etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. M+S tip lastiğin çalışma boyunca düz tip lastiğe göre karasal ve sucul asidifikasyon değeri yaklaşık yüzde 2 daha fazla hesaplanmıştır. Lastiklerin yaşam döngüsü boyunca karasal ve sucul asidifikasyona en fazla etki eden madde kullanım aşamasında havaya salınan NO_x'dir.

Lastiklerin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde fosil kaynak tüketimi gerçekleşmiştir. M+S tip lastiğin tüm yaşam döngüsü süreçlerinde düz tip lastiğe göre yaklaşık yüzde 3 daha fazladır. Tüm yaşam döngüsü süreçleri içerisinde en fazla fosil kaynak tüketimi kullanım aşamasında tüketilen motordur. Su tüketimi lastiklerin yaşam döngüsü süreçlerinin tamamında gerçekleşmiştir. Çalışma boyunca en fazla su tüketimi lastiklerin hammadde elde edim sürecinde gerçekleşmiştir.

Solunum yolu etkileri, çalışma boyunca havaya salınan emisyonların çevrede bulunan insanların solunum sistemine yaptığı etki olarak adlandırılmaktadır. Tüm çalışma boyunca M+S tip lastiğin düz tip lastiğe göre solunum yolu etkileri etkisi yaklaşık yüzde 6,5 daha fazla hesaplanmıştır. Tüm süreçlerde solunum yolu etkilerine en fazla neden olan madde havaya salınan NO_x'dir.

Karasal toksisite, karada yaşayan canlıların hayatını olumsuz yönde etkileyebilecek bir orta nokta etkisi olup bu çalışmada lastiğin yolda kullanım sürecinde, lastik sırtının aşınması sonucu çevreye yayılan çinko emisyonları sonucu oluşmaktadır. M+S tip lastiğin çevreye verdiği karasal ekotoksisite değeri düz tip lastiğe göre yaklaşık yüzde 15 daha fazladır. Bu farklılığın nedeni M+S tip lastiğin düz tip lastiğe göre çevreye yaklaşık 1,95 kg daha fazla aşınmış lastik partikülü bırakmasından kaynaklanmaktadır.

Hesaplanan çevresel orta nokta kategorileri çevreye direk olarak zarar vermemekte olup ileride olabilecek zararlara öncülük etmektedir. Örneğin küresel ısınmanın devam etmesi halinde dünyanın bazı bölgelerinde iklim değişiklikleri meydana gelecektir. Karasal ve sucul asidifikasyon etkisi ekosistem dengesinin bozulmasına, fosil kaynak ve su tüketimi doğal kaynakların tükenmesine neden olacaktır.

Bu çalışma, lastiklerde yaşam döngüsü analizi konusunda yapılmış ilk çalışma değildir. Ancak lastikler ile yapılan çalışmaların birçoğunda lastiklerin hammadde elde edininim, üretim geri dönüşüm gibi süreçler ile ilgili iyileştirme önerileri yapılmakta, lastiklerin kullanım aşamasına çok fazla irdelenmemektedir. Bu çalışmada lastiklerin kullanım aşaması uygulamalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonuçları lastiklerin çevreye en fazla etki eden yaşam döngüsü sürecinin kullanım aşaması olduğunu göstermektedir. Kullanım aşaması, çalışmanın çevresel orta nokta kategorileri olan küresel ısınma, asidifikasyon, solunum yolu etkileri ve fosil kaynak tüketimine en fazla etki eden yaşam döngüsü sürecidir. Bu aşamada yapılabilecek küçük bir iyileştirme çevre etkilerini önemli miktarda minimize edecektir. Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçlardan birisi kullanım aşamasındaki yakıt tüketiminin düşürülerek çevre etkilerinin önemli ölçüde azaltılabileceğinin ispatlanmış olmasıdır.

M+S tip ve düz tip lastiklerin kullanım aşamasında yüzde 1,5 yakıt tüketim farklılığı olmuştur. Gerek lastiklerin çalıştığı araçların aynı olması gerekse benzer yollarda çalışmasından dolayı yakıt tüketim farklılığının lastik karakterizasyonlarından kaynaklandığı varsayılmıştır. Çalışma boyunca iki lastik, yaşam döngüsü analizinin sağlıklı yapılabilmesi amacı ile eşit miktarda yol katlettirilmiştir. Ancak düz tip lastik tam aşınmadan araçtan sökülmüştür. Başka bir ifade ile lastiklerin kullanım aşamasında, M+S tip lastik düz tip lastiğe göre daha fazla aşınmıştır.

Lastikler kullanım safhasında, İstanbul şehrinde hizmet veren araçlarda kullanılmıştır. İstanbul, iklim tipi olarak karakteristik Akdeniz iklim özelliklerini taşımakta olduğundan, bu şehirde kış ayları çok soğuk geçmemektedir. Çalışmada incelenen lastiklerin araç üzerinde çalıştığı sırada İstanbul’ da toplam 10 gün kar yağışı yaşanmış olup bu süre zarfında düz tip lastiğin takılı olduğu araç trafiğe çıkmamıştır. Çalışma boyunca görülen en önemli sonuçlardan birisi de soğuk havalarda M+S tip lastiğin düz tip lastiğe göre yol yüzeyine daha iyi tutunduğu ve yağışlı havalarda fren mesafesinin daha kısa olduğunun gözlemlenmesidir. Bu çalışmanın esas amacı iki farklı tip lastiğin tüm yaşam döngüsü süreçlerini incelenmesi ve bunun sonucunda çevre etkilerinin karşılaştırıp minimize etmeye çalışmaktır. Çalışma boyunca en fazla çevresel etkilere neden olan bölüm lastiklerin kullanım aşaması olduğundan, bu bölüm için yapılabilecek bir iyileştirme şüphesiz çevre etkilerini azaltacaktır.

Lastik uzmanları ısrarla kış mevsiminde kış lastiği yaz mevsiminde düz tip lastik kullanılmasını tavsiye etmektedir. Ancak gerek lastik üreticilerinin yeterli sayıda kış lastiği üretimi yapmaması gerekse İstanbul şehrinde kış ayının çok fazla sert geçmemesi nedeni ile kullanıcılar dört mevsim boyunca M+S tip lastik kullanmaktadır. Bunun diğer bir nedeni lastik kullanıcılarının, farklı mevsimlerde farklı tip lastik kullanmamalarının gerek ek maliyet yükü gerekse mevsim değişikliklerinde kullanılmayan lastiklerin depolama zorluğu gibi etkilerden kaçmak istemelerinden kaynaklanmaktadır.

Ancak doğru zamanda doğru lastik kullanımının yol güvenliği, çevresel etki, enerji sarfiyatı gibi birçok parametrede avantaj sağladığı bu çalışmada ispatlanmıştır. Bu yüzden bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında yapılabilecek en önemli tavsiye lastiklerin iklimsel kullanımının artırılmasıdır. İklimsel kullanımdan kasıt, lastiklerin kullanıldıkları şehrin iklim yapısına uygun bir şekilde kullanılmasıdır. Örneğin İstanbul gibi kışları ılıman yazları sıcak geçen bir şehirde yaz aylarında düz tip lastik, kış aylarında M+S tip lastik kullanılmalıdır. Erzurum gibi yaz ayları serin, kış ayları soğuk ve yağışlı geçen bir şehirde yaz aylarında M+S tip, kış aylarında kış lastiği kullanılmalıdır. Bunun gibi örnekler artırılabilirdiği gibi Türkiye' nin şehirlere göre yol-iklim haritası çıkarılıp bu haritaya göre, her şehir için mevsimlere göre düz tip, M+S tip ve kış lastiği kombinasyonları çıkarılmalıdır. Bu kombinasyonlar lastik kullanıcıları için ek maliyet ve lastik stoğu gerektireceğinden bu öneriye kullanıcıların olumsuz bakılabileceği düşünülebilir. Ancak bu fikir, gerek güvenlik gerekse yakıt tüketimi konusunda optimum bir çözüm olacaktır.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Idemat, H. 1996. *IDEMAT Database*. Delfty: Delfty Üniversty Tecnology Press.

O' Neill , T. J. 2003. *Life Cycle Assessment and Environmental Impact of Polymeric Products*. Shropshire: Rapra Technology Limited Company Press.ss 88-89

World Bank. 1998. *Iron and Steel Manufacturing, in Pollution Prevention and Abatement Handbook*. Washington: World Bank Presss.ss 37-38



Diğer Yayınlar

- AEM. 2006. Synthetic Amorphous Silica ECETOC JACC Reports.*Rapor*.
- Althaus, H. 2007. The Life Cycle Inventory Data.ss19.
- Andrew, C. 2001. The Franklin Associates Life Cycle Inventory Database.SimaPro5 Life-Cycle Assessment Software Package.ss36.
- Balpetek, F. 2012. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Tekstil Sanayi.*Derleme*. İzmir: Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Batır, B. 2002. Türkiye İçin Kullanılmış Lastik Yönetimi Araştırması.*Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baumgarten,R. 1993. Der ökologische Reifen - Ein Versuch einer ganzheitlichen Bewertung.*Rapor*. Düsseldorf.
- BILIC. 2001. Life cycle assessment of an average European car tyre Commissioned by The European Car Tyre Manufacturers.*Rapor*. Bruksel.
- Bozkurt, P. 2011. Atık Lastik-Kömür Karışımlarının Piroliz ve Kritik Üstü Ekstraksiyonla Değerli Ürünlere Dönüştürülmesi.*Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cobert, A. 2009. Environmental Comparison of Michelin Tweel™ and Pneumatic Tire Using Life Cycle Analysis.*Yüksek Lisans Tezi*. Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Consultants, B. 2001. Life cycle assessment of an average European car tyre. Third party report. *Rapor*.ss23. Bruksel.
- Curran, M. 2006. Life cycle assessment: Principles and practice, EPA/600/R-06/060.*Rapor*. Ohio: ABD Çevre Koruma Ajansı.
- DPT. 2001. Kauçuk Ürünleri Özel İhtisas Komisyonu Raporu Karbon Siyahı ve Sentetik Kauçuk Alt Komisyonu Raporu. *Rapor*. Ankara: DPT Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu.
- Ertekin, İ. 2011. Farklı Lastik Profillerinin Lastik Taşıt Performansına Etkileri.*Yüksek Lisans Tezi*. Konya, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Garcia, S. 2013. Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of forest operations in Europe: environmental and energy profiles. *Yüksek Lisans Tezi*.ss138. Aveiro: University of Aveiro.

- Guinee, J. 2011. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Yüksek Lisans Tezi*. Los Angeles: Environ. Science and Technology.
- Gültekin, A. 2015. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. *Derleme.ss3*. Düzce: Düzce Üniversitesi.
- HKMB. 1993. Risk Assessment of Zinc Oxide, Part 2 Human Health.*Rapor*. Amsterdam.
- ISO 14040. 2006. Environmental Management - LifeCycle Assessment - Principles and Framework.*Rapor*. Genava: International Organization for Standardization.
- ISO 21930. 2007. Sustainability in Building Construction - Environmental Declaration of Building Products.*Rapor*.Genava: International Organization for Standardization.
- İşler, A. 2012. Aspir Yağı Etil Esteri ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. *Doktora Tezi*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jawjit, W. 2010. Quantification of Greenhouse Gas Emissionsfrom Primary Rubber Industries in Thailand. *Derleme.ss 7*. Thung Song: Rajamangala University of Technology Srivijaya.
- Juma, M. 2006. Pyrolysis and Combustion of Scrap Tire. *Rapor*. ss.48. Bratislava: Slovak University of Technology.
- Klimisch, H. 2002. Robust Summary of Information on Aromatic Extracts.*Rapor.ss 73*. Amerikan Petrol Enstitüsü.
- Kyari, M. 2005. Characterization of Oils, Gases and Char in Relation to the Pyrolysis of Different Brands of Scrap Automotive Tires.*Yüksek Lisans Tezi*. Leeds : The University of Leeds.
- Özdemir, E. 2012. Mevzuat ve Yeşil Bina Sertifikaları Bağlamında Yapı Malzemeler Seçimi ve Türkiye İçin Gereklilikler.*Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul:İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı.
- Pandül, E. 1999. Atık Lastiklerin Piroliz Kinetiğinin İncelenmesi.*Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul : İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pekin, M. 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rafique, R. 2012. Life Cycle Assessment of Waste Car Tyres. *Yüksek Lisans Tezi*. Göteborg: Chalmers University of Techonology.

- RMA. 2006. Scrap Tire Markets in the United States 2005 Edition, *Rapor*. Washington.
- Rofiqul, I. 2007. Liquid Fuels and Chemicals From Pyrolysis of Motorcycle Tire Waste: Product Yields, compositions and related properties, Fuel. *Yüksek Lisans Tezi*. Rajshahi: Rajshahi University of Engineering and Technology.
- TATKAP A.Ş. 2013. Lastiklerde Doğru Hava Basıncı Kullanımı İETT Raporu. *Rapor*. İstanbul.
- Wootthinokkhan, J. 2003. Investigation of the Effect of Mixing Schemes on Cross-link Distribution and Tensile Properties of Natural-acrylic Rubber Plends Polymer Testing. *Yüksek Lisans Tezi*. ss 305. Bangkok: University of Thanbori .
- Yakaboylu, O. 2010. Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Pirolyzi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.