

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

ATIK LASTİKLERİN YÖNETİMİ VE
MONOFİLLERDEKİ
FİZİKSEL VE KİMYASAL
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Berna TUNÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2009

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**ATIK LASTİKLERİN YÖNETİMİ VE
MONOFİLLERDEKİ
FİZİKSEL VE KİMYASAL
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Berna TUNC
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ**

**GEBZE
2009**



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/07/2009 tarih ve 2009-18 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/10/2009 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Berna TUNÇ'un tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE

: Prof. Dr. Bülent KESKİNLER

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Hatice CAN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: LASTİK ATIKLARIN YÖNETİMİ VE MONOFİLLERDEKİ FİZİKSEL VE KİMYASAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YAZAR ADI: BERNA TUNÇ

Endüstrinin hızla gelişimi ile atık miktarı ve çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Katı atıklar halen tüm dünyanın temel problemlerinden birisidir. Bu çalışmada atık araç lastiklerinin çevreye verebilecekleri zararları ve yararlı şekillerde yeniden kullanımları araştırılmıştır.

Atık lastikler, geçici ve nihai depolanmaları esnasında toprak ve su ile temas halindedir. Özellikle farklı iklim ve zemin şartlarında lastiklerin, etkileşimde olduğu çevreye çeşitli ağır metaller karışmakta ve bu metaller çevresel riskleri beraberinde getirmektedir. Bu etkilerin ortaya çıkmasıyla atık lastiklerin çeşitli şekillerde yeniden değerlendirilmesi önem kazanmış, bu çalışmada atık lastiklerin yönetimine değinilerek monofillerdeki depolanmaları sırasındaki fiziksel-kimyasal davranışlarının incelenmesi için çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonunda elde edilen veriler ile atık lastiklerin yönetimi, yasal durum ile ilgili temel bilgileri ve lastiklerin atıldığı/depolandığı alanlarda çözünme reaksiyonları sonucu oluşan sızıntı sularının toprak ve yeraltı suyunu inorganik ve organik maddelerle kirletebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Atık lastiklerin yönetimi, monofil, lastik sızıntı suyu, ağır metaller

SUMMARY

Variety and amount of waste has been increasing every day with the industry's rapid growth. Solid wastes are still one of the fundamental problems of the world. In this study, possible harmful effects to the environment and beneficial reuse of waste vehicle tires were investigated.

During temporary and final storage, waste tires are in contact with soil and water. Especially in different climatic and soil conditions various heavy metals from waste tires could interact with the environment and those metals brings environmental risks together. With the emergence of this effect in various ways of waste tire recycling methods has become more important, in this study, management of waste tires was explored and various experiments for the physical-chemical behavior of waste tires during the disposal in the monofills were also carried out.

At the end of this study, waste tire management, basic information of legal status and by the result of dissolution reactions tire disposal areas could contaminate soil and groundwater with organic and inorganic species has been put forward with the obtained data.

Keywords: Waste tire management, monofill, tire leachate, heavy metals

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin başlangıcından bitimine kadar, birikimleri ve deneyimleriyle bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük katkısı bulunan, bilimsel desteğinin yanı sıra hiçbir zaman için manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam **Sn. Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ'a**,

Çalışmalarım süresince bilgilerini, deneyimlerini ve vaktini paylaşan değerli hocam **Sn. Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL'e**

Bilimsel, teknik ve moral desteğini her zaman yanımda bulduğum değerli arkadaşım **Sn. Tamer ERER'e**,

Burada olmamı sağlayan ve eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatım boyunca minnettar kalacağım değerli annem **Esin TUNÇ** ve babam **Recep TUNÇ'a** sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berna TUNÇ

Ekim 2009

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	1
2. LASTİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİMİ	5
2.1 Lastik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	7
2.2 Lastik Üretiminin Aşamaları	12
3. ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİKLERİN YÖNETİMİ	17
3.1 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Yönetim Hiyerarşisi	19
3.1.1 Doğrudan Değerlendirme	22
3.1.2 Malzeme Olarak Değerlendirme	23
3.1.3 Termik Değerlendirme	26
3.1.4 Düzenli Depolama ve Stoklama	28
3.2. Yasal Durum	29
4. MATERYAL VE METOT	40
4.1 Kullanılan Malzeme ve Cihazlar	40
4.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler	41
4.3 Numunelerin Hazırlanışı	41
4.4 Ağırlık Kaybı, pH Değişimi ve Toplam Organik Karbon	42
4.5. Ağır metallerin tespiti	44

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	45
5.1 Ağırlık Kaybı, pH Değişimi ve Toplam Organik Karbon Ölçümleri	45
5.2 Metal Ölçümleri	55
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- TOK:** Toplam Organik Karbon
KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NBR: Nitril Kauçuk
ACM: Poliakrilik Kauçuk
MQ, VMQ, PVMQ: Silikon Kauçuk
FKM: Florokarbon Kauçuk
EPM, EPDM: Etilen propilen kauçuk
SBR: Stiren butadien kauçuk
PTFE: Politetrafloroetilen
PA: Poliamid
HNBR: Hidrojene nitril kauçuk
TPU: Termoplastik poliüretan
PBN: Phenyl Beta Neaphtylamine
US: United States
EPA: Environmental Protection Agency
AB: Avrupa Birliği
DPT: Devlet Planlama Teşkilatı
EC: European Council
UNEP: United Nations Environment Programme
ÖTL: Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin
LASDER: Lastik Sanayicileri Derneği
TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Pnömatik araba lastiğinin bileşenleri	5
2.2 Karıştırma işleminden sonra lastikler	13
2.3 Haddeleme	14
2.4 İplik çekme makinesi	14
2.5 Lastik bileşenlerinin montajı	16
3.1 Yeni Zelanda’da bir lastik depolama sahası	17
3.2 Lastik yığınlarında çıkan yangın	18
3.3 Lastik atıkların yönetim hiyerarşisi	19
3.4 Kullanılmış lastiklerin değerlendirme şekilleri	21
3.5 Lastik atıkların oyun parklarında kullanılması	22
3.6 Lastik atıkların dekorasyon amaçlı kullanılması - Yeni Zelanda’da bir lastik servisi	22
3.7 Kamyon lastiklerinin bariyer olarak kullanılması	23
3.8 Parçalanmış lastiklerin yol katkı maddesi olarak kullanılması	25
3.9 Çimento fabrikasında yakılmak üzere olan lastik atıklar	26
3.10 Avrupa Birliği’nin lastik değerlendirmeye ilişkin yıl bazlı verileri	30
4.1 Deneyde kullanılan atık lastik	41
4.2 Parçalamada kullanılan gereçler ve ilk parçalamadan sonra örnekler	42
4.3 Deneylede kullanılacak şekilde küçük boyutlara getirilmiş lastikler	42
4.4 Beklemeye alınmış numuneler	43
4.5 Kurutma işleminden sonra numuneler	44
5.1 Telli iri parça başlangıç pH 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	46
5.2 Telsiz iri parça başlangıç pH 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	46
5.3 Telsiz küçük parça başlangıç pH 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	47
5.4 Telli iri parça başlangıç pH 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	47
5.5 Telsiz iri parça başlangıç pH 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	48
5.6 Telsiz küçük parça başlangıç pH 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	48
5.7 Telli iri parça başlangıç pH 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	49
5.8 Telsiz iri parça başlangıç pH 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	49

5.9 Telsiz küçük parça başlangıç pH 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	50
5.10 Telli iri parça başlangıç pH 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	50
5.11 Telsiz iri parça başlangıç pH 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	51
5.12 Telsiz küçük parça başlangıç pH 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı	51
5.13 İlk hafta sonunda (soldan sağa) tel içermeyen (küçük parçalı), tel içermeyen (iri parça) ve tel içeren numuneler	52
5.14 İlk hafta sonunda (soldan sağa) kör, pH 8, pH 7, pH 6, pH 5'e ayarlanan numunelerin içinde buldukları çözeltiler	53
5.15 Farklı başlangıç pH'lı numunelerin haftalara göre pH değişimi	54
5.16 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen çinko konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C	56
5.17 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen bakır konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C	57
5.18 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen kadmiyum konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C	58
5.19 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen krom konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C	59
5.20 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen civa konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C	60

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Otomobil ve ağır vasıtaların lastik bileşimlerinin karşılaştırması	6
2.2 Parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri	6
2.3 Uluslararası Basel Anlaşmasına göre lastiğin bileşimindeki tehlikeli maddeler	6
2.4 Lastiklerin yakıt olarak enerji içeriklerinin karşılaştırılması	7
2.5 Lastik hammaddeleri	8
3.1 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği hükümlerini yerine getirememeye sebebine göre belediye sayısı, 2006	34
3.2 Bertaraf ve geri kazanım tesislerine getirilen atık miktarlarının tipine ve kaynağına göre dağılımı, 2005	36
3.3 Bertaraf ve geri kazanım tesislerine getirilen atık miktarlarının tipine ve kaynağına göre dağılımı, 2006	37
3.4 Çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılan atık türlerine göre dağılımı	39
5.1 Ağırlık kaybı verileri	45
5.2 Haftalık pH verileri	53

1. GİRİŞ

Yüzyıla yakın bir süreden beri kauçuk üretimi, teknik ve endüstri alanındaki gelişmelerle birlikte yürümüş hatta bunların ilerlemesine yeni bir hamle vermiştir. Esnekliği, aşınmaya dayanıklılığı, su geçirmezliği kauçuğu, modern endüstrinin özellikle mekanik ulaştırma tekniğinin en gözde ham maddelerinden biri durumuna getirmiştir. Motorlu-motorsuz taşıt araçlarının tekerlekleri, çeşitli yağmurluklar, ayakkabılar, elektrikçilikte en önemli izolasyonlar, yapıştırma solüsyonları, vernikler gibi teknolojik ürünlerin yanı sıra günlük kullanılan araç gereçlerin çoğunda yaygın olarak kauçuk kullanılmaktadır.

Günümüzde taşımanın ağırlıklı olarak karayolu ile yapıldığı ülkemizde araçların yer ile temasında tek bileşeni olan lastik, ömrünü tamamladıktan sonra atıl hale gelmektedir. Bu kıymetli atık, geri dönüşüm teknolojilerinin gelişimi çerçevesinde artan bir oranda üretime girdi olarak dahil olmaktadır. Lastiğin kullanımı sırasında, geçici depolama ve nihai bertaraf aşamalarında aşınma ve temasa bağlı olarak (toprak ve su ile temas) ekosistemi etkileyebileceği bilinmektedir.

Bu tezin amacı, atık lastiklerin yeniden değerlendirilmesi ve yönetimi ile depolanması aşamalarında (*monofiller*), ilişki halinde olduğu çevreye olan etkilerini incelemek olarak belirlenmiştir.

Bu tezde öncelikli olarak taşıt lastiklerinin genel özellikleri ve üretim aşamalarına değinilmiştir. Daha sonra atık lastiklerin yönetimi, yeniden değerlendirilmeleri ile Avrupa ve ülkemizdeki yasal mevzuat irdelenmiştir. Son bölümde ise atık lastiklerin monofillerdeki depolanmaları sırasındaki fiziksel-kimyasal davranışlarının incelenmesi için gerçekleştirilen deneylere yer verilmiştir.

1.1 Önceki Çalışmalar

Ömrünü tamamlamış lastiklerin depolanması ve kullanımı safhalarında çevreye bıraktığı atık maddelere ilişkin gerek modelleme gerekse örnekleme metodlarıyla ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Geridönüşüm teknolojilerinin

her geçen gün gelişimine bağlı olarak bu maddelerin yeniden girdi olarak kullanma fırsatı artmaktadır.

Kanematsu ve diğ., 2009 yılında kullanılmış lastiklerden kırılması ile elde edilerek oluşturulan örtü malzemelerinin karakterizasyonu yapıp potansiyel çevre risklerini incelemişlerdir. Çalışmada metal iyonlarına, nütriyentlere, TOK (Toplam Organik Karbon) ve çeşitli hidrokarbonları değişik sıcaklıklarda ve başlangıç pH değerlerinde oluşan sızıntı sularını analizlerini yapmışlardır [Kanematsu et al, 2009].

Wik ve Dave 2009 yılında yıpranmış lastik parçacıklarının çevre üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ekotoksikolojik testler yaparak çevresel risklerini analiz etmişlerdir. Sonuçta yıpranmış araç lastiklerin hava, su, toprak, sediment ve biosfer üzerindeki etkilerini tespit etmişlerdir [Wik et al, 2009].

Tunç ve diğ. 2008 yılında lastik atıkların mikrodalga pirolizi ile yeniden değerlendirilmesi konulu çalışmalarında ülkemizde ömrünü tamamlamış lastiklerin enerji eldesi ile değerlendirilmesinin beraberinde bertaraf problemlerini de ortadan kaldırılması açısından piroliz yönteminin önemini vurgulamışlardır [Tunç ve ark., 2008].

Amerika'da yapılan bir çalışmada Ohio'da bulunan iki lastik monofil (sadece tek tip atığın depolanması) depolama alanındaki bakteri türleri referans bir akım oluşturularak karşılaştırılmıştır. Bir yıl boyunca dört kez sızıntı suyundan örnekler alınarak toplam bakteri sayısı, kültürlenebilir bakteri sayısı ve *Acinetobacter calcoaceticus* sayısı analiz edilmiştir. Bu iki monofilde genel olarak referans akıma göre daha az veya eşit miktarlarda bakteri sayısı tespit edilmiştir. Kültürlenebilir bakteriyel toplulukların, doğal yüzey sularındaki bakteriyel topluluklara benzer şekilde olduğu gözlemlenmiştir [Leff et al, 2007].

İspanya'da yapılan bir çalışmada kullanılmış lastiklerin organik madde içeriği araştırılmıştır. Lastik tozlarında 508 mg O₂ /L KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ve 214 mg C /L TOK (Toplam Organik Karbon) tespit edilmiştir. Lastiğin kauçuk kısmında temel olarak bulunan organik maddeler; benzothiazole türevleri, fitalatlar, fenolik türevleri, hidrokarbonlar ve yağ asitleridir. Bu organik maddelerin giderimi

için foto-Fenton uygulamasıyla %64 oranında KOİ ve % 48 oranında TOK giderimi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem koagülasyon ile birleştirildiğinde giderim %77 KOİ ve % 64 TOK olarak artmakta olduğu ortaya konulmuştur [Sarasa et al, 2006].

İsveç'te 2005 yılında yapılan bir çalışmada yol kenarlarında yığınlar halinde bekletilen lastiklerdeki kauçuğun sucul canlılara toksik etkileri araştırılmıştır. Bunun için farklı markaların çeşitli modellerdeki yirmi beş lastiğinden toz haline getirilen örnekler 44°C'de 72 saat bekletilerek eluatlar hazırlanmış ve bu eluatlar süzülerek içlerine test organizmaları (*Daphnia Manga*) eklenerek beklemeye alınmıştır. Polar olmayan organik bileşiklerin toksisiteye sebep olduğu belirlenmiştir. Ultraviyole ışınlar maruz bırakılan lastik eluatların toksisitesinde belirgin yükselmeler gözlenmemiştir. Eluatlar süzülmeden test organizmaları eklenerek aynı deneyler tekrarlanmıştır. Özellikle bazı lastik örneklerinde ışına bağlı toksisite kayda değer miktarlarda tespit edilmiştir. Bu çalışmada; test organizmasının akut toksisitesi beklenen çevresel konsantrasyonların 40 katından daha fazla tespit edildiğinden, bu konuda daha derinlemesine risk değerlendirme çalışmaları yapılması gerektiğini ortaya koymuştur [Wik et al, 2005].

Yine 2005 yılında İtalya'da *Raphidocelis subcapitata*, *Daphnia manga* ve *Xenopus laevis* embriyoları üzerinde yapılan benzer bir çalışmada lastiğin kauçuk kısmından açığa çıkan çinkonun farklı pH ve konsantrasyonlardaki toksik etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma pH, kauçuğun partikül boyutu ve agrega parçacıklarının büyüklüğünün etkileri araştırılmıştır. Tespit edilen çinko miktarları, lastik miktarından çok, aşınma miktarıyla arttığı gözlenmiştir. Sonuçlar gerçek çevresel toksisiteyi göstermese de, başlangıç koşulları değiştirilerek lastik parçalarının potansiyel etkilerini ortaya koymak açısından başarılı şekilde uygulanabilirliğini ortaya koymuştur [Gualtieri et al, 2005].

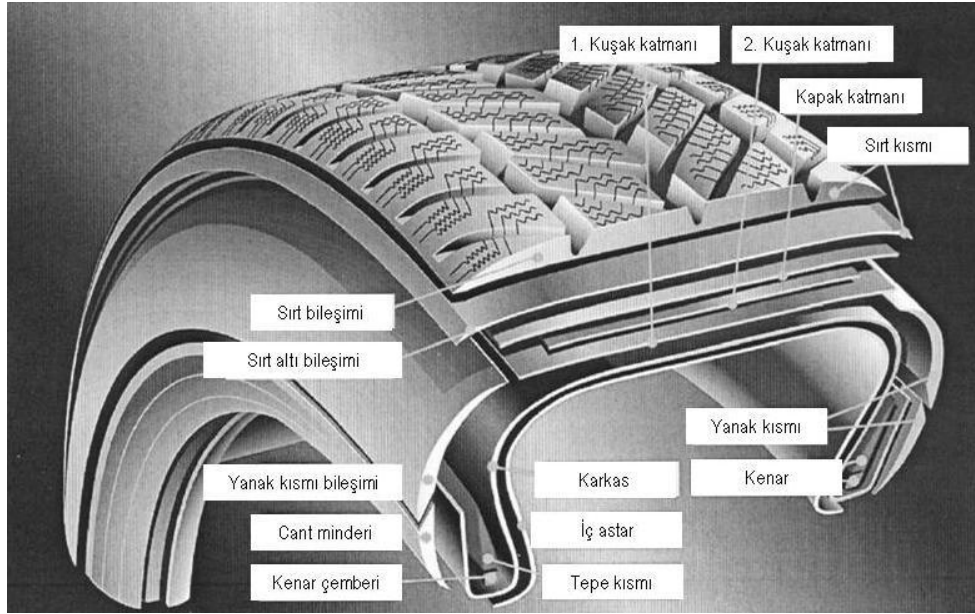
Çeşitli kauçuk ve plastik ürünler, elektrik eldesi için yakılmakta, çimento fırınlarında yakıt olarak veya asfalt betonunda kullanılmaktadır. 2004 yılında Amerika'da yapılan bir çalışma kauçuklu beton karışımların, parçalanmış lastiklerden elde edilebildiğini göstermiştir [Siddique et al, 2004].

2003 yılında Eskişehir’de yapılan bir çalışmada otomobil lastiklerinin çevreye verdikleri ciddi boyuttaki zararlardan dolayı yararlı şekillerde kullanımları araştırılmıştır. Bu nedenle atık otomobil lastiklerinin beton teknolojisinde kullanımı düşünülmüştür. Bu amaçla lastik katılmış harçlar üzerinde mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada dört farklı hacim içeriğinde kıyılmış lastik kullanılmıştır. Lastikli harçlara kum hacminin % 10, 20, 30 ve 40’ı oranlarında lastik agrega katılmıştır. Bulunan sonuçlarda lastik agregalı harçların normal harçlara kıyasla basınç, eğilme ve çekme dayanımları ile bu harçlar üzerindeki deniz suyu etkisi incelenmiştir. Lastikli harçların basınç, eğilme ve çekme dayanımlarının normal harç kadar iyi olmadığı ve deniz suyu etkisinde ortalama %60 azaldığı görülmüştür [Topçu ve Demir, 2003].

İtalya’da 1999 yılında yapılan bir çalışmada pilot ölçekte bir piroliz tesisi analitmiştir. Tesis, bir besleme ünitesi, bir piroliz reaktörü, buhar yoğunlaştırma ünitesi, çıkış gazı analizörü ve veri toplama sisteminden oluşmaktadır. Piroliz ünitesi 110 dm³ hacminde ve 0.4 m çapında döner bir reaktördür. Reaktör odası dışarıdan elektrikle ısıtılmaktadır. Piroliz ünitesi pozitif basınçlı azot gazı altında çalışır. Atık lastikler hava geçirmeyecek şekilde maksimum 48 kg/saat besleme hızıyla döner fırından geçer. Pirolizin katı kalıntısı suyla soğutulan bir tanka sürekli olarak deşarj edilmektedir. Piroliz sırasında oluşan gaz ürünlerden is gaz temizleyici ünitelerden geçirilerek uzaklaştırılır ve gaz yaklaşık olarak 250°C’ye soğutulur. Motorini uzaklaştırmak ve gaz akımını 30°C’ye soğutmak için gaz ürünler bir boru kondensörden geçirilir. Yoğuşturulamayacak gazlar yani asidik bileşikler NaOH enjeksiyonuyla gidermek için dizayn edilmiş ıslak gaz temizleyiciden geçirilir. Temizlenen yakıt gazı propanla birleştirilerek termal enerji eldesi için yakılır. Bu gazlar, ıslak yıkayıcının girişine ve çıkışına yerleştirilen gaz kromatografinin örnekleyicileri ile izlenir. Sıcaklık, basınç, hacimsel akış sensörlerle ölçülür ve bilgiler veri toplama ünitesiyle bilgisayara gönderilmektedir [Sharma et al, 1999].

2. LASTİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİMİ

Doğal kauçuk modern hayatın vazgeçilmez bir mühendislik malzemesi olmuştur. Özellikle otomobil parçalarında, lastiklerinde ve günlük yaşamdaki birçok araç-gereçte kullanılan doğal kauçuk, sıvı halde bitki ve ağaçlardan elde edilerek pıhtılaştırılmakta sonrasında çeşitli prosesler geçirilerek son ürün olarak kullanıma hazır hale getirilmektedir [Vahapoğlu, 2006; White and De, 2001]. Şekil 2.1’de bir araç lastiğinin katmanlarına göre yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Pnömatik araba lastiğinin bileşenleri [Edeskar, 2004].

Araç lastikleri karmaşık yapıda kauçuk esaslı malzemelerdir. Kullanım sırasında yol ile lastik arasındaki sürtünme sebebiyle lastikler aşınır, aşınma sonucu lastik ağırlığının % 10-20'sini kaybeder [Edeskar, 2004]. Otomobil ve kamyon lastiklerinin bileşimi Tablo 2.1 ve teknik özellikleri de Tablo 2.2 'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Otomobil ve ağır vasıtaların lastik bileşimlerinin karşılaştırması
[Technical Guidelines, 1999]

Malzeme	Otomobil Lastiği, %	Kamyon/ Otobüs Lastiği, %
Kauçuk / Elastomer	47	45
Karbon Siyahı / Silika	21.5	22
Metal	16.5	25
Tekstil	5.5	-
Çinko Oksit	1	2
Kükürt	1	1
Katkı Maddeleri	7.5	5

Tablo 2.2 Parçalanmış lastiklerin teknik özellikleri [Edeskar, 2004].

Teknik özellikler	Değer
Sıkıştırılmış yoğunluk	1.16 t/m ³
Yığın yoğunluğu	450- 990 t/m ³
Porozite	% 50
Permeabilite	5 cm/s
Elastik modül	1 Mpa
Poisson oranı	0.3
Termal iletkenlik	0.15-0.30 W/m.K

Karmaşık bir kimyasal bileşime sahip olan araç lastikleri çevreye verdiği zararlar uzun yıllardır tüm dünya ülkelerinin gündeminde olmuştur. Uluslararası Basel Anlaşmasına göre lastiklerin bileşiminde bulunan tehlikeli olabilecek kimyasallar Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3 Uluslararası Basel Anlaşmasına göre lastiğin bileşimindeki tehlikeli maddeler [Technical Guidelines, 1999].

Malzeme	Notlar	Miktar (Ağırlıkça %)
Bakır Bileşikleri	Çelik takviye malzemeleri	~0,02
Çinko Bileşikleri	Çinko oksit	~1
Kadmiyum	Çinko oksitte safsızlık olarak	0,001 maks.
Kurşun ve Bileşikleri	Çinko oksitte safsızlık olarak	0,005
Katı asit ve asidik çözelti	Stearik asit (katı formda)	~0,3
Organik halojen bileşikleri	Halobütül kauçuklar	0,1 maks.

Araç lastiklerinin ısıl değeri organokimyasal bileşenlerinden ötürü yüksektir. Yüksek ısıl değeri nedeniyle açık havada, kireç ocaklarında, hatta ısınma amaçlı kontrolsüz olarak yakılmalarına neden olmaktadır. Bu işlem hava kirliliği açısından tehdit oluşturmaktadır. Tablo 2.4’te araç lastiklerinin ısıl değeri ile diğer yaygın yakıt

türlerinin ısı değeri karşılaştırılmıştır. 1 ton lastik doğal gazdan daha düşük kömürden daha fazla ısı değere sahiptir [Technical Guidelines, 1999].

Tablo 2.4 Lastiklerin yakıt olarak enerji içeriklerinin karşılaştırılması [Technical Guidelines, 1999]

Yakıt	Isı İçeriği, (MJ/kg)
Doğal Gaz	46
Araç Lastiği	32
Kok kömürü	24
Taş kömürü	29
Islak odun	10

2.1 Lastik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Lastik hammaddeleri elastomerler, peptizerler, vulkanize ediciler, askeleratörler, aktiviteörler, dolgular, yumuşatıcılar, koruyucular ve özel bileşenler olmak üzere çeşitli guruplara ayrılmaktadır. Lastik hammaddeleri Tablo 2.4'teki gibi sınıflandırılabilir [White and De, 2001; İnternet 1].

Elastomerler

Elastomerler, birbirlerine zayıf kimyasal bağlarla bağlanmış moleküller olup zincir benzeri yapıda olmuşlardır. Isı etkisiyle, çapraz bağlanma (vulkanizasyon) yaparak kalıcı ve yüksek elastiside ürün veren orijin olarak plastik maddelerdir. Tekrar ısıtma ile yeniden şekillendirme yapılamaz. En önemli özellikleri çok uzayabilmeleri ve uzun mühlet termik mekanik yük altında kalmalarına rağmen deforme olmamalarıdır [Kraiburg, 1992].

Tablo 2.5 Lastik hammaddeleri

Kullanılan Hammaddeler	
1. Elastomerler	a. Doğal kauçuklar b. Sentetik kauçuklar c. Rejenere kauçuklar
2. Peptizerler	
3. Vulkanize ediciler	a. Kükürt b. Kükürtlü maddeler c. Diğerleri
4. Akseleratörler	
5. Aktivitörler	a. İnorganik b. Organik
6. Dolgular	a. Güçlendirici • Karbon siyahları • Diğerleri b. Ekstender
7. Yumuşatıcılar	
8. Koruyucular	a. Antioksidant b. Antiozonat c. Fiziksel koruyucular
9. Özel bileşenler	a. Renk vericiler b. Geciktiriciler c. Sertleştiriciler

Ham kauçuk

Ham kauçuk (C₅H₈)_n genel formülü ile gösterilen bir hidrokarbon olup, kauçuk bitkisinin özel sıvısıdır. Ham kauçuk; *Hevea Brasiliensis*, *Manilot*, *Fieus Elastiea*, Ökse otu, Kök sakız, *Guayola* ve Deve dikenini gibi bitkilerden elde edilebilir. Doğada pek çok bitki kauçuk salgısı üretirse de bunların için de en önemlisi en saf ürünü veren Güney Amerika'da yetişen (*Hevea Brasiliensis*) kauçuk ağacıdır. Orta boyda bir ağaç günde 20 g, bir mevsimde 2000 g kadar ürün verir. Bu ağaçlardan kauçuk ihtiva eden sıvıyı almak için ağaç gövdesine kabuklar kesilerek, izler açılır. Buradan alınan özel kaplarda toplanan kauçuk sütü, aynı durumda saklanabilmek için amonyak, formaldehit ve sodyum fosfat katılarak işlem görür [Kraiburg,1992]. Ham kauçuk ürünleri olarak iplikler, oyuncaklar, hijyenik malzeme, ayakkabılar, bina içi döşemeler, boyalar, conta ve rondelalar, yol kaplamaları, kağıt ve mensucat sanayi, ciltçilik, yapıştırıcılar vs. sayılabilir.

Yapay Kauçuk

Dünyada yıllık 15 milyon tonun üstünde üretilen kauçuğun yaklaşık üçte biri doğal kauçuktur. Kalanı, petrolden elde edilen kimyasal maddelerle yapılan yapay (sentetik) kauçuktur. Yapay kauçuk çoğu ülkede petrol arıtma sistemlerinin yakınlarında kurulan fabrikalarda üretilir. Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere en çok Japonya, Almanya ve Fransa'da üretilmektedir. Yüzün üzerinde değişik yapay kauçuk türü vardır. Nitril kauçuk (NBR), poliakrilik kauçuk (ACM), silikon kauçuk (MQ, VMQ, PVMQ), florokarbon kauçuk (FKM), etilen propilen kauçuk (EPM, EPDM), stiren butadien kauçuk (SBR), politetrafloroetilen (PTFE), poliamid (PA), hidrojene nitril kauçuk (HNBR), termoplastik poliüretan (TPU) başlıca yapay kauçuk türleridir [White and De, 2001; İnternet 1].

Rejenere Lastik

Ucuz maliyeti, daha az enerji gereksinimi, kolay karışma ve çabuk pişirme, aşırı vulkanizasyona dayanım ve daha az oksitlenme gibi özelliklerinden ötürü lastik endüstrisinin ham kauçuktan sonra en çok tercih ettiği türdür [Adhikari et al, 2000; Bell, 2002].

Rejenere kauçuk üretimi;

- Hurda lastik temizleme ve kırma,
- Kırılan lastiklerin öğütülmesi ve elenmesi,
- Toz haline gelen hurda lastiğin cam katranı ve diaryldisülfür ile iyice karıştırılması,
- Karışımın tavalara konulup fırında pişirilip pasta haline getirilmesi,
- Pasta halindeki karışımın hamur makinelerinde 5–6 defa geçirilip ezilmiş hale getirilmesi,
- Ezme halindeki karışımın rifaynerlerde sıfır ayarda çekilerek ince bir zar halinde tamburlara sarılması ve piyasaya arz edilmesi,

şeklinde gerçekleşir. Söz konusu rejenere kauçuğun tüm aşamalarında uygulanacak fire oranı % 15 civarındadır [PETLAS,2002].

Peptizerler

Peptizerler, kükürt içeren kompleks organik maddelerdir ve ticari isimleriyle anılırlar. [PETLAS, 2002].

Vulkanize ediciler

Kauçuğa gerekli katkı maddelerinin ilavesiyle elde edilen bileşiğe ısı uygulandığında, kauçuk plastik fazdan elastik faza geçmektedir (kauçuk lastiğe dönüşmektedir). Isı etkisiyle meydana gelen kimyasal reaksiyonlar neticesinde kauçuk zincirlerinin çapraz bağlanması olayına vulkanizasyon denmektedir. Elde edilen lastik madde de vulkanizattır. Kükürt, kükürtlü maddeler (kükürt monoklorür, tetra metil türedisülfid) “Selenyum” ve “Tellür” elementleri de, vulkanize edici olarak kullanılmaktadır [PETLAS, 2002].

Akseleratörler

Akseleratörler, kauçuğun kükürtle reaksiyonunu hızlandıran maddelerdir. Akseleratör kullanımıyla daha iyi fiziksel özellikler, özellikle yaşlanmaya karşı daha iyi bir direnç elde edilmektedir. Kür süresinin kısalması, üretim miktarını artırdığı gibi, büyük kauçuk ürünlerinde homojen kür imkanını sağlamaktadır [Karaağaç, 2003; Mark et al, 2005].

Aktivitörler

Kauçuk + kükürt + akseleratör grubu bir de aktivitörü gerektirmektedir. Öngörülen süre içinde vulkanizasyonun tamamlanmasını sağlayan akseleratörlerin aktivasyonunu gerçekleştiren maddelere aktivitör denmektedir. Etkinlikleri, kullanılan akseleratörün cinsine göre değişmektedir. En çok kullanılan inorganik aktivitör ZnO olup lastiğe %3–5 gibi düşük oranlarda giren önemli bir maddedir. Ham kauçuğun kür hızındaki değişiklik, kauçuk içerisindeki yağ asitlerinin eksikliğinden ileri geldiği bilinmektedir. Bu nedenle stearik asit ilavesi en çok kullanılan organik aktivatördür [White ve De, 2001].

Dolgular

Yalnızca elastomer ve yeterli miktarda kür edicilerden oluşan karışıma, saf karışım adı verilmektedir. Bu karışıma dolgu materyallerinin eklenmesine “karışımın yüklenmesi” denmektedir. Eğer karışımın bazı özellikleri güçlendirilmek istenirse “güçlendirici” dolgu materyalleri yalnızca karışımın hacmi artırılarak maliyeti düşürülmek istenirse, ilave edilen dolgulara “ekstender” veya ucuzlatıcı dolgu materyalleri adı verilmektedir. Güçlendirici dolgular da siyahlar ve siyah olmayanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır [Karaağaç, 2003].

Yumuşatıcılar

Yumuşatıcılar, fonksiyonlarını karışıma ilave edilen miktarlarına göre yerine getirmektedir. Yumuşatıcılar, karışmayı kolaylaştırarak prosese yardımcı olmaktadır. Bazı yumuşatıcılar, vulkanize olmamış karışımlara yapışma özelliği kazandırmakta ve ayrıca kükürt kusmasını da önlemektedir. Yaygın kullanımı olan yumuşatıcılar “stearik oleik asit”, “pinetar” ve “parafin wax”dır [Karaağaç, 2003]

Koruyucular

Lastik ürünleri serviste ve depoda yapılarında bozulmaya sebep olacak birçok dış etkiye maruz kalmaktadır. Bozulma, oksidasyondan kaynaklanmaktadır. Oksidasyon kauçuk moleküllerinin atmosferdeki oksijen ya da aktif ozon molekülleriyle oksitlenmesidir. Oksidasyon olayı ısı, ışık ve yağ çözümlü ortamda hızlandırılır. Bundan dolayı lastik karışım hazırlayıcıları, sentetik kauçuklarda;

- Neoprenin, oksijen ve ozona karşı
- Nitril kauçuğun, yağ ve çözümlere karşı
- Silikon kauçuğunun, yüksek sıcaklıklara karşı

dayanıklı olduğunu dikkate alarak, bozulma problemine karşı önlem almıştır. Her ne kadar uygun koruyucu veya boyalarla bu etkilerden kısmen korunmak mümkünse de, esas olan koruyucuları karışım esnasında hamur bünyesine ilave etmektir. Bu maddelere antioksidant ve antiozonat olarak adlandırılıp olup tipik örnekleri; Phenyl

Beta Neaphtylamine'dir, PBN veya PBNA olarak kısaltılmıştır [White ve De, 2001; Mark et al, 2005].

Özel bileşenler

Renk vericiler

Renkli kauçuk mamülleri üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan TiO₂ (sp. gr. = 4.0) çok iyi bir pigment olarak bilinmektedir. Fakat pahalıdır. ZnO diğer bir renk vericidir. Litofon (sp. gr. = 4,2) %30 ZnS + %70 BaSO₄ karışımı olup iyi bir renklendiricidir. Plastik renklendiricileri, ürünü saydam ya da opak olarak boyamak üzere iki türde hazırlanırlar. Saydam olarak kullanılan renklendiriciler organik kaynaklı azo ve anilin sınıfı kimyasal maddelerdir. Opak renklendiriciler ise organik ve inorganik kaynaklı olabilmektedir [Karaağaç, 2003; Mark et al, 2005].

Geciktiriciler

Lastik karışımlarında kür edicileri dengelemek ve vulkanizasyonu kontrol altına almak amacıyla maddeler ilave etmek gerekmektedir. İşte bu amaçla Retander (geciktirici) lar, kompleks organik yapılarıyla bu fonksiyonu yerine getirir ve en popüler olan şekliyle “asetil salisilik asit” dir [White ve De, 2001].

Sertleştiriciler

Organik sertleştiririler plastiklerin dayanımının düşük olduğu hallerde kullanılmaktadır ve karışıma çok az ilave edilmektedir. En iyi bilinen sertleştirici Dihyrazin sülfattır [White ve De, 2001; Mark et al, 2005].

2.2 Lastik Üretiminin Aşamaları

Lastik üretimi zamana bağlı olarak hem mekanik hem de kimyasal ve termal adımlar içeren aşamalardan oluşmaktadır.

Karıştırma

Çeşitli oranlarda doğal ve sentetik kauçuk, karbon siyahı, kükürt ve diğer kimyasallarla birleştirilerek lastik hamur karışımı hazırlanmaktadır. Sırt, yanak, gövde ve iç lastiği oluşturan hammaddelerin karışımları içinde homojen bir biçimde dağılmasını sağlamak karışıma istenen yumuşaklığı verebilmek, dispersiyon ve viskozite dereceleri aynı olan karışımları meydana getirmek amacıyla karıştırılmaları gerekmektedir. Karıştırıcıdan çıkan gövde karışımı haddelemeye (calendering) gönderilirken diğer karışımlar sıcak haddeden geçirilerek, ardından çekme işlemine tabi tutulur [Batır, 2002; Clark et al, 1992].



Şekil 2.2 Karıştırma işleminden sonra lastikler [İnternet 2]

Haddeleme

Haddeleme; gövde karışımının levha haline getirilmesi, kord bezinin gövde karışımı ile kaplanması, kaplanmış malzemenin ezilmesi olarak üç ayrı işlemde meydana gelir. Gövde karışımı üç merdaneli bir haddeleme tezgahında levha haline getirilir. Levhaların haddelenmesi sırasında merdane sıcaklıkları önemlidir. Levhaların soğuk olması pürüzlenmeye yol açacağından haddelenecek karışımın merdaneler üzerinde ısıtılmış olmaları gerekmektedir. Kaplama, üç veya dört merdaneli haddeler üzerinde yapılır. Üç merdaneli haddeler kord bezinin bir yüzünü, dört merdaneliler ise her iki yüzü kaplamada kullanılmaktadır. Haddeleme hız farkı ve merdane açıkları yüzünden kord bezi ile malzeme arasında bazı boşluklar oluşmaktadır. Kaplanmış malzemenin ezilmesi (frictionning), kord bezi ile kaplanan

malzeme arasındaki boşlukların doldurulması işlemini ifade etmektedir [Mark et al, 2005; İnternet 2].



Şekil 2.3 Haddemele [İnternet 2]

Çekme

Çekilmesi istenen ürünün profilini verecek kalıbın budinöze (iplik çekme makinesi) bağlanması ile meydana gelen düzenle yapılır. Çekilecek malzeme lastik veya damar teli, sıcak veya soğuk olarak budinöze verilebilir. Soğuk malzeme verilen budinözlerde sıcak malzeme ile çalışanlara göre daha fazla güç gereklidir. Ayrıca malzeme içindeki nemi ve hava kabarcıklarını önlemek için vakumlu budinözler de bulunmaktadır [U.S. EPA, 1992; İnternet 2].



Şekil 2.4 İplik çekme makinesi [İnternet 2]

Ön montaj

Kaplanmış damak teli damak çemberi makinesinde sarılarak lastik tekerlek ebadına uygun boyutta çember elde edilir. Bu çemberin üzeri bir sarma makinesinde özel dokunmuş bez ile bir veya daha fazla kat halinde sarılarak kaplanmaktadır. Haddeme işleminde elde edilen gövde katları çapraz kesme ile belli açı, genişlik ve uzunlukta kesilmektedir. Çekme ile elde edilen sırt ve yanak malzemesi belli ebatlarda kesilerek montaja hazır hale getirilir [Mark et al, 2005; U.S. EPA, 1992; İnternet 2].

Montaj

Lastik dönebilen bir tambur üzerine monte edilir. Birinci gövde katı tambur üzerine yuvarlanarak yerleştirilir. Uçlar iki kord genişliğinde birbirlerinin 90° açıyla gelecek şekilde üstüne yapıştırılır. Damak teli çemberlerinin birisi bir ucuna diğeri öteki ucuna yakın olarak gövde katları üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Damak teli çemberlerinin son kat sargı bezinin uçları da gövde katı üzerine yapıştırılır. Damak tellerinin üzerine gövde katlarının uçları katlanır. Katlanan iki gövde katı ilk katlarda olduğu gibi kordun yönü değiştirilerek ilk katların üzerine yapıştırılır, uçları damak telleri üzerine katlanır. Gövde katlarının üzerine takviye katları çekişe karşı direnci fazla yönleri birbirleri üzerindeki katlarda çapraz gelecek şekilde ve sırtın yol ile temas yüzeyi altına gelmek üzere yerleştirilir. Şekil verildikten sonra birbirlerine yapışık haldeki yanak ve sırt lastiklerinin uçları birleştirilerek bir bant haline getirilir ve gövdenin üstüne yapıştırılır. Çapraz katlı lastiğin üretiminde sırt kat bezleri damak telleri gibi parçaları imalat makinelerinde birleştirilerek ham lastik meydan gelir. Bu işlem ebada göre değişen sürelerde ancak tek makine üzerinde tamamlanır. Radyal lastik üretiminde ise bu işlem iki makinede gerçekleştirilir. Birinci makinede damak telleri ve kat bezleri yerleştirilirken ikinci makinede kuşak ve sırt yerleştirilir ve lastik tamburdan çıkarken oval şekil alır [Batır, 2002; U.S. EPA, 1992].



Şekil 2.5 Lastik bileşenlerinin montajı [İnternet 2]

Şekil verme ve vulkanizasyon

Tamburdan çıkarıldığında lastik silindir şeklinde olup optimum esneklik ve dayanıklılığa sahip değildir. Bu sebeple son şeklinin verilmesi ve pişirilme işleminin yapılması gereklidir. Kalite kontrolü yapıldıktan sonra koni biçiminde dönen tambur üzerine konan lastiğe yapışmayı önlemek için kimyasal bir madde püskürtülür, pres içerisine yerleştirilir. Burada lastiğin iç kısmına özle bir torba kaplanmaktadır. Lastiğin dış kısmına ise son dış şekil kalıbı yerleştirilir. Lastiğin içindeki torba şişirilerek, iletilen ısıyla yaklaşık olarak 30–40 dakika pişirime yapılır. Lastik soğutulduktan sonra kalıptan çıkarılır ve şekil verme işlemi sona erer [Clark et al, 1992; Mark et al, 2005].



Şekil 2.6 Vulkanizasyon [İnternet 2]

3. ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ LASTİKLERİN YÖNETİMİ

Dünyada ve Türkiye’de ağırlıklı olarak yük taşımacılığı ve beraberinde insan ulaşımı amaçlı olarak, lastik tekerlekli araçlar kullanılmaktadır. Endüstrinin gelişimi çerçevesinde artan ulaşım ve ulaştırma ihtiyaçları, daha ağır araçlar, daha fazla mesafe ve daha çok lastik aşınımı ortaya çıkartmaktadır. Ülke yönetimleri öncelikli olarak depolanması yönünde yarattığı riskleri azaltmak, sonrasında ise doğaya ve insan sağlığına etkilerini azaltmak amacıyla yayımlanan yönetmelikler, çeşitli teşvik ve yaptırımlarla ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetimi konusunda önlem almaya çalışmaktadır. Yeni Zelanda da bulunan bir lastik depolama alanı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Yeni Zelanda’da bir lastik depolama sahası [İnternet 3]

Ömrünü tamamlamış lastikler açık alanda depolanması beraberinde bazı riskleri gündeme getirir [Higgins and Raton, 1995]. Dünyadaki örnekleri de dikkate aldığımız takdirde haşere ve kemirgenlerin üremesi için uygun ortam teşkili ve boşluklu yapısı sebebiyle önüne geçilemeyen yangınlara sebep olduğu gözlenmiştir. Yangınlar sonrasında çevreye yayılan zehirli gazlar atmosfer kirliliğine sebep olmaktadır. Şekil 3.2’de lastik depolama sahasında çıkan yangın ve beraberinde yaydığı hava kirliliği görülmektedir. Bilinen bertaraf yöntemlerinden birisi olan

depolama, görelî olarak uygulaması kolay ve ucuz bir yöntem olmakla beraber gerçekte potansiyel bir hammaddenin gömülerek kaybıdır. Bununla beraber atık lastiklerin depolaması ülkemizde depolama alanlarının ömrünü uzatmak gayesi ile yasal mevzuat ile yasaklanmıştır.



Şekil 3.2 Lastik yığınlarında çıkan yangın [İnternet 4]

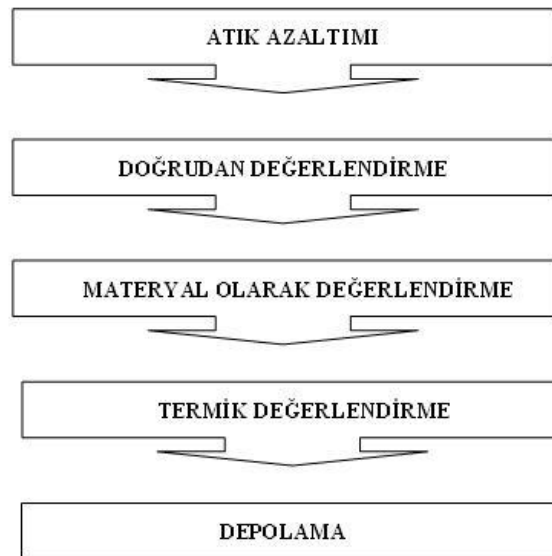
Ülkemizde kullanılmış araç lastikleri ilgili düzenlemeler 2006 yılında başlamasına rağmen gelişmiş ülkelerinin çok gerisindedir. Halen kullanılmış lastikler, karstik boşluklara, denize, deponi alanlarının kenarlarına, benzin istasyonlarına, yol üzerlerine, boş arazilere kontrolsüz olarak terk edilmektedir. 2006 yılında yayımlanan Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği ile kontrollü olarak bertaraf edilmesi gereken lastik atıklar gerekli denetlemeler yapılmadığı için ülkemizde çevre için tehdit oluşturmaktadır.

Bileşimi açısından yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir içeriğe sahip olan lastikteki ana maddeler SBR (Styrene Butadiene Rubber), sentetik ve doğal poli-izopiren kauçuk, çelik, kord bezi, karbon siyahı, çinko oksit, kükürt ve vulkanizasyon kontrol kimyasalları olarak sayılabilir. Doğrudan kullanılmaya da uygun olan lastikler, öğütülerek küçük parçacıklar haline veya kriyojenik yöntemle toz hale getirilebilir ve bu malzemeler ile asfalt katkı maddesi veya spor sahalarının yüzeyinin kaplanmasında kullanılabilir. Makro moleküler yapıdaki vulkanize edilmiş kauçuk termik, mekanik ve kimyasal yollarla parçalara ayrılabilir.

Sonuçta oluşan rejenere lastik dediğimiz malzeme yeni lastiklerin üretiminde katkı olarak kullanılabilir. Lastiklerin pirolizi ise teknik olarak kolay bir yöntem olmamasına karşın uygulanabilir bir yöntemdir. Bu yöntemle bir lastiğin ağırlığının %45-48'i kadar yakıt özelliğinde hidrokarbonlar üretilmektedir. Bu hidrokarbonların rafinerizasyonu ile motorine kadar çeşitli yakıtlar elde edilmektedir. Akışkan yataklı, döner fırınlı gibi çeşitli kauçuk piroliz teknolojileri geliştirilmiştir. Ayrıca kauçuk bileşiklerinin süperkritik su kullanılarak kontrollü depolimerizasyonu gerçekleştirilmektedir. Lastikler yüksek moleküler ağırlıklı olefinlere veya yağlara parçalanmaktadır [White and De, 2001; Scheirs et al, 2006; Rhyner et al, 1995].

3.1 Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Yönetim Hiyerarşisi

Ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetimi de tıpkı katı atıkların yönetim hiyerarşisinde olduğu gibi, öncelikle atık azaltımı ile başlar [Higgins and Raton, 1995; Bishop, 2004]. Şekil 3.3'te genel atık yönetim hiyerarşisinin lastik atıkların yönetimine uygulanması sırası gösterilmiştir. Atık önleme, atıkların hem miktarının, hem de tehlikelilik düzeyinin azaltılmasını içerir. Atıkların oluşumunun önlenmesi, doğal kaynakların korunmasında en etkili yol olup, çevrenin korunmasında ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımında temel bir faktördür. Lastiklerin faydalı ömürlerini uzatacak basit yaklaşımlarla atık azaltımı sağlanabilir [Tchobanoglous et al, 2002].



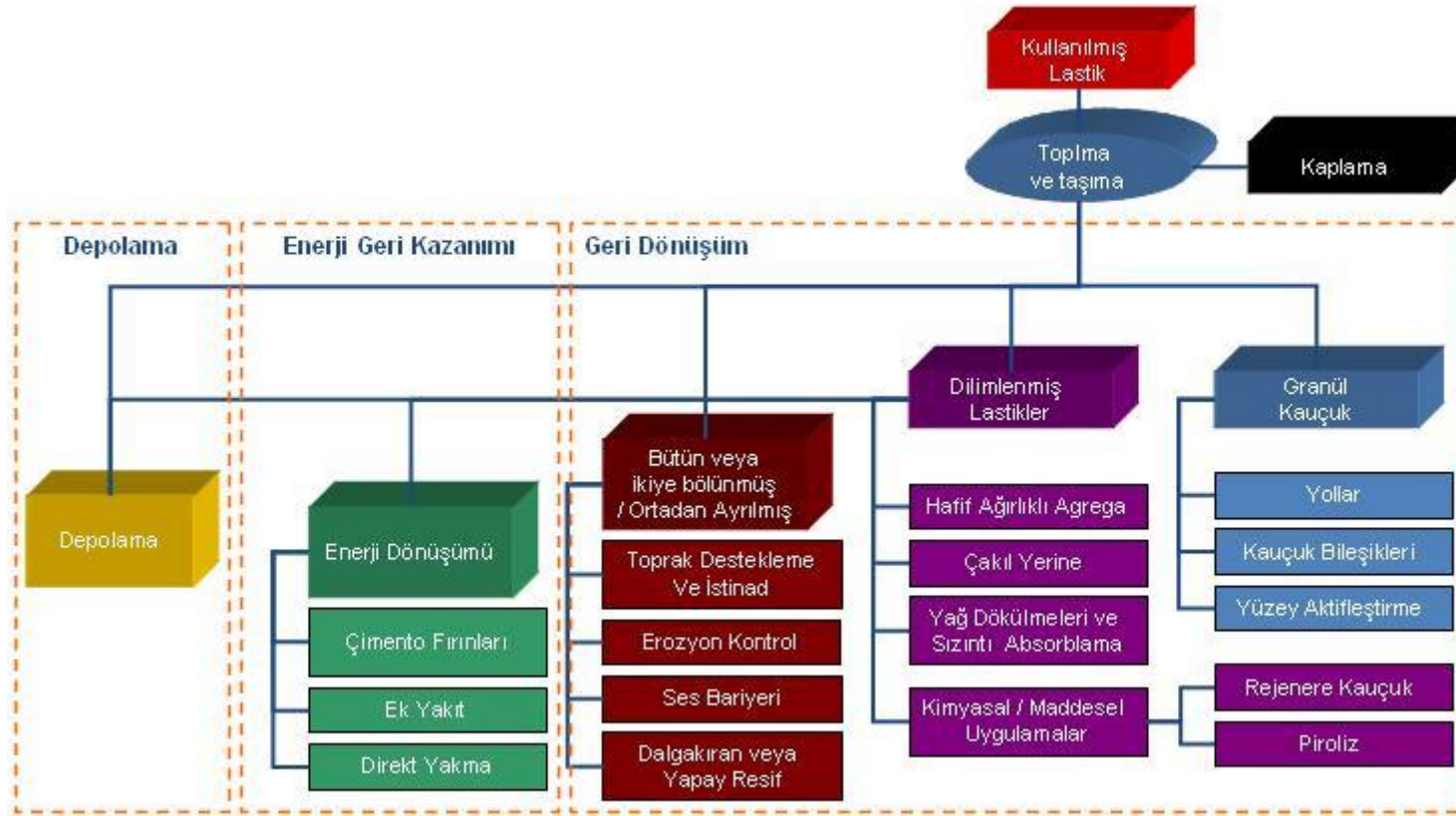
Şekil 3.3 Lastik atıkların yönetim hiyerarşisi

Lastiklerin faydalı ömürleri dolduğunda sürüş güvenliği açısından belli kilometrelerde değiştirilmesi zorunludur. Tekrar kaplanarak kullanılması, oyun parklarında, spor ve liman gibi yerlerden korunma amaçlı kullanımı ile lastikler doğrudan veya materyal olarak değerlendirmeye örnek olarak verilebilir. Yine aynı şekilde lastiklerin parçalanarak kauçuk kırpıntısı haline getirilerek inşaat malzemeleri ve elastomerik ürünlerin üretimi gibi pek çok alanda katkı malzemesi olarak kullanılabilir.

Isıl değeri yüksek olan lastikler, aynı zamanda yakıt olarak elektrik ve buhar üretimi gibi termal olarak değerlendirilebilirler. Ayrıca, atık lastiklerin pirolizi ile de farklı ürünlere dönüştürülebilir.

Atık hiyerarşisinin son basamağı olan depolama bilinen en eski bertaraf yöntemidir. Fakat günümüzde taşıma maliyetleri, depolama alanlarının daralması, gibi sebeplerden ötürü çok fazla tercih edilmemektedir. Şekil 3.4’de lastik atıkların oluşumundan son bertarafına kadar uygulanabilecek değerlendirme şekilleri yer verilmiştir.

Ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanılması yöntemleri günümüzde giderek çeşitlenerek yaygınlaşmaktadır. Ömrünü tamamlamış lastiklerin başarılı yönetimi sonucunda hammadde olarak değerlendirilmesi ve çevresel etkileri minimize edilmesi başta anılabilecek nihai hedeflerdir. Bu tür çalışmalarda başarının sağlanması için üretici, tüketici ve kamu paydaş olarak aktif rol oynamalıdır.



Şekil 3.4 Kullanılmış lastiklerin değerlendirme şekilleri

3.1.1 Doğrudan Değerlendirme

Araç lastiklerin üzerindeki yolu tutmaya yarayan dış kalınlığı belirli bir ölçüye geldikten sonra tam aşınmadan atılması durumunda bir lastik deposunda toplanıp kullanılmış lastik piyasasında tekrar satışa sunulabilir. Kullanılmış ve tekrar satılabilecek lastiklerin ayrılması, depolama sahasına giden lastik oranını % 5-10 arasında azaltmaktadır. [Batır, 2002; Karaağaç 2003]

Amerika'da bu konuda yapılan bir çalışma da lastiklerin resif olarak kullanılmasıdır. Lastik resifler, balık habitatları için bir ortam yaratır ve gel-git ve fırtına olaylarının su altı alanına çevrimini sağlayarak doğal ortamına dönmesini sağlarlar. Diğer bir kullanım örneği de eski lastiklerin ev yapımında kullanılmasıdır. Bu projede 3000 atık lastik kullanılmıştır [İnternet 5; US EPA, 1992].



Şekil 3.5 Lastik atıkların oyun parklarında kullanılması [De et al, 2004]



Şekil 3.6 Lastik atıkların dekorasyon amaçlı kullanılması - Yeni Zelanda'da bir lastik servisi [De et al, 2004]



Şekil 3.7 Kamyon lastiklerinin bariyer olarak kullanılması [De et al, 2004]

Ömrünü tamamlamış lastikler işlem görmeden, bütün olarak oyun parklarında, motor sporları alanlarında, deniz taşıtları yanaşma bölgelerinde, erozyonla mücadelede, köprü ayaklarının kaplanmasında, dalga kırıcı olarak, yol stabilizasyonunda da doğrudan değerlendirilebilmektedir [Gönüllü, 2004, US EPA, 1992].

3.1.2 Malzeme Olarak Değerlendirme

Lastik üretiminde kullanılan materyaller olağanüstü kuvvetlidir ve binlerce kilometre asfalt yoldaki abrasif temasa dayanıklı olacak şekilde dizayn edilirler. Eski lastikler tekrar kaplansa bile, üzerlerindeki bireysel bileşimler bağlı olarak kalır. Teknik olarak, lastiğin kullanım süresi dolduğunda tüm kauçuk, çelik ve kumaş geri kazanılabilir.

Kaplama

Tekrar kaplanmış lastikler yeni lastiklerle aynı güvenlik ve performans standartlarına sahiptir. Lastiklerin tekrar kaplanmasının, depolama sahalarındaki kullanım alanı artması yanında daha birçok avantajı vardır. Yeni lastik üretimi için kullanılan yağ korunur ve hem satıcı hem de üretici için ekonomik faydalar sağlar. Bu lastikler yeni lastiklerle karşılaştırıldığında aynı mesafe yolu kat ederken, maliyet olarak da %50 daha ucuzdur. Kullanılmış lastikler tekrar kaplanırsa, lastik

yıgınlarının yanma riskinin elimine edilmesinde yardımcı olur [Batır, 2002; Bilitewski et al, 1997].

Ülkemizde yeniden kaplanmış araç lastikleri, ekonomik olması nedeniyle daha çok kamyonlarda tercih edilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kaplama lastik kullanılması desteklenmektedir. İtalya'da kanun düzenlemesi ile stepne lastiğin kaplanmış lastik olması halinde %20 destek öngörülmüştür [İnternet 5]. Şirketler araçlarına yenilenmiş araç lastikleri takmayı prensip haline getirmişlerdir. Meydana gelen gelişmeler, hurda araç lastiklerin kullanılmasının giderek yaygınlaşacağını göstermektedir. Ancak bu konudaki önemli bir nokta ise yeniden kaplama yapılmış lastiklerden yolda parçaların kopmaması gerektiğidir. Bu şekildeki uygunsuz yenilemeler yapılmasının önüne geçilmelidir. Uygun yenilemeye rağmen, araçların kullanılmasındaki gerekli dikkat edilecek noktalar araç lastiği ömrünü uzatmaktadır.

Parçalama ve Granüle Etme

Kullanılmış lastiklerin en çevresel kullanım yolu tekrar kaplama olsa da, lastikler hurda haline geldiğinde atılmaları gerekir. Sonuçta, lastiklerin uygun bir yönetim sistemi ile bertaraf edilmesi zorunludur. Bir alternatif, diğer prosesler için lastiklerin parçalanarak kauçuk kırpıntısı haline getirilmesidir. Bu işlem çeşitli parçalama makinelerinin kullanımı ile sağlanır. Parçalama sistemleri, özel amaca göre granül boyutu seçimini sağlar. Parçalama aynı zamanda tüm lastiğin öğütme ve granüle etme işlemleri için ilk adım olabilir. Kırpıntı ve toz haldeki kullanım alanları çok daha geniştir.



Şekil 3.8 Parçalanmış lastiklerin yol katkı maddesi olarak kullanılması
[De et al, 2004]

Granül formundaki lastikler otomobil endüstrisinde; kayış, balata bağlayıcı, tampon, conta, paspas, amortisör, çamurluk, lastik ve şamriyel, raspa malzemesi olarak kullanılmaktadır. Spor alanları yüzeylerinde ise atletizm parkuru ve golf sahalarında, kreş oyun alanları, rekreasyon alanları, yüzme havuzu çevresi ve bahçe içi yollarda, tenis ve basketbol sahalarında kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe granül haldeki lastikler; tutkallar ve izolasyon sıvıları, halı tabanı, baraj, depo, havuz, atık bertaraf sahası ve çatı sızdırmazları ve örtüleri, paspaslar, bina zemin kaplamaları, hastane, endüstri ve banyo zeminleri, kümes hayvanı altlıkları, kaymayı önleyici yüzey malzemesi, inşaat boyası, zemin yükseltme, kiremitleri, çatı ve duvarlarda su izolasyon maddesi olarak kullanılmaktadır. Zemin ve asfalt uygulamalarında da drenaj boruları, civa ve metalik yüzeyler için filtreleyici malzeme, sulama boruları, demiryolu ray bağlantıları, karayolu inşası ve tamiri, karayollarında lastik katkı asfalt, toprakaltı drenajı, trafikte araç ve insan geçiş barikatlarında kullanılır. Termoplastik elastomerik ürünler kategorisinde ise, oto, radyo, TV vs. parçaları, kablo yalıtkanı, halı kayma önleyicileri, ekstrüzyon malzemeleri, esnek lastik uygulamaları, dökümle şekillendirilmiş inşa ürünleri, izolasyonlar, yarı havalı tekerler, içi dolu endüstriyel tekerler, tepsiler, bidonlar ve kutular granül formundaki lastiklerden üretilebilmektedir [Gönüllü, 2004; Ryhner, 1995].

3.1.3 Termik Değerlendirme

%90'dan fazlası organik olan ısı değeri yüksek olan hurda lastikler, yakıt olarak da değerlendirilmektedir. Hurda lastik, ısı değeri 18,6 - 27,9 mJ/kg aralığında değişen kömürden daha fazla ısı değere sahiptir. Hurda lastik, genelde iri parçalara bölünerek yakıcılarda yakılmaktadır. Lastiklerin yakılması ile elektrik ve buhar üretilmektedir. Buna karşılık, aynı zamanda önemli bir hava kirlenmesi oluşacağından, önemli bir hava kirliliği kontrol ekipmanının kurulması gerekmektedir.

Atık lastiklerin termik değerlendirilmesi depolamaya oranla daha fazla tercih edilir. Bazı işletmelerdeki yakma ünitelerinde lastikler bütün olarak veya parçalanmış olarak yakılırlar. Lastiklerin yakıt dönüşümünün ekonomikliği, lastiğin tekrar rafine edilmesinden önce yakma tesisine karıştırılmasına bağlıdır. Lastikleri bütün olarak yakan işletmeler parçalanmış şekilde yakan işletmelere göre daha ekonomiktir. Diğer bir ekonomik ayırım ise yakma tesisinin lastiği çelik telle birlikte veya bu teller giderilmiş şekilde kabulüne bağlıdır. Parçalama işlemindeki akım, daha küçük parçalar ve yakıt dönüşüm için tel ve kablolardan ayırmak için ızgaradan geçirilmiş ve ayrılmış üniform parçalar elde etmektir [Batır, 2002; Higgins and Raton, 1995].



Şekil 3.9 Çimento fabrikasında yakılmak üzere olan lastik atıklar [De et al, 2004]

Atık lastikler çimento fabrikalarında veya elektrik üretimi maksatlı termik santrallerde yakıt olarak; ısı, buhar ihtiyacı için kağıt vb. endüstriyel sektörlerin kazanlarında yakılmaktadır.

Avrupa, Kanada, Japonya ve Amerika'daki birçok işletmede bütün veya parçalanmış lastiklerin yakıt olarak kullanımı ile ilgili kayıtlar mevcuttur. Çimento üretimi için yüksek sıcaklık gereklidir. Aynı zamanda çimento ocakları coğrafik koşullarından dolayı da kullanım için uygundur. Çünkü hem ocaklar hem de lastik istifleri, merkezi yerleşimden uzaktır [İnternet 5].

Elektrik üretiminde kullanma, eski lastiklerin değerlendirilmesi için diğer bir olasılıktır. Almanya'daki bir tesiste yılda yaklaşık olarak 50.000 ton lastik yakılıyor ve merkezi ısınma, proses buharı ve civardaki konut ve endüstri için elektrik üretiliyor. Lastikler 1300°C'de yakılır ve yanma prosesi sonucu olarak curüf, çinko içeriği fazla olan toz ve kireçtaşı oluşur. Bunlara da geri kazanım ve tekrar kullanma için ilave işlemler uygulanır [Sugözü ve ark, 2009].

Hurda lastiklerin yakılması yerine pirolizi üzerine de çalışmalar yapılmış ve günümüzde birçok ülkede kurulu tesisleri bulunmaktadır. Laboratuarda yapılan hurda lastik piroliz araştırmasında; 5.59 °C/dakika aralığında değişen hızlarda ısıtmalar ile 150 °C gibi düşük bir sıcaklıkta bozunma ürünleri başlamış ve 550-580 °C 'a kadar termal bozunma tamamlanmıştır. 59 °C/dakika hızla termal bozundurmada oluşan pirolitik kömür miktarı %20 olarak gerçekleşmiştir. Deneylerde elde edilen pirolitik yağın ve kömür ısıl değerlerinin, sırasıyla; 10.720 ve 7.780 cal/g olduğu tespit edilmiştir [Gönüllü, 2004].

Atık lastiklerin vulkanize edilmiş olması, tekrar işlenmelerini güçleştirmekte olduğundan, birçok devulkanizasyon yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Bu konudaki gayretler devam etmekte olup, giderek bu yönde araştırma ve uygulamaların yaygınlaşması beklenmektedir. Elde edilen ürünün ham kauçuğa benzemesi ve işlenme kolaylığına sahip olması gibi avantajlar bu yöntemlerin sunduğu avantajlardır. Devulkanizasyon için geliştirilen yöntemler; fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler şeklinde sınıflandırılabilir. Fiziksel yöntemler; mekanik işlemler, termo mekanik işlemler (dondurma-çözme), kriyomekanik işlemler,

mikrodalga ve ultrasonik işlemler olarak sıralanabilir. Kimyasal yöntemler ise yine başlıklar olarak; organik disülfürler ve merkaptanlarla işleme, inorganik bileşiklerle işleme ve kimyasal bozundurmaya işleme belirtilebilir [Adhikari et al, 2000].

3.1.4 Düzenli Depolama ve Stoklama

Depolama bilinen en eski bertaraf yöntemidir. Fakat günümüzde depolama alanlarının daralması, atığın depolama alanına taşınması maliyetinin yüksek olması önemli bir ekonomik kaynağın değerlendirilmeksizin bekletiyor olması ve depolanan atıkların gelecekte çevre kirliliğine olumsuz etkileri gibi nedenlerle günümüzde terk edilmek eğiliminde olan bir yöntemdir [Batır, 2002]. Lastik üretiminin karışım hazırlama aşamasında, lastik karışımına hızlandırıcılar, stabilizatörler, plastikleştiriciler gibi çok sayıda katkı maddeleri karıştırılmaktadır. Depolama sahalarında bekletilme sırasında bu çok küçük moleküllerden oluşan katkı maddeleri zamanla atık yüzeyine oradan da alıcı ortama difüze olmaktadır. Bu durum hem hava ve su kirliliğine sebep olmakta hem de topraktaki yararlı bakterileri öldürmektedir. Ayrıca depolama alanları büyük yangın riskleri taşımakta ve lastiklerin iç kısımlarında yağmur sularının birikmesine izin vermesi ve sivrisineklerin üremesine uygun ortam oluşturması nedeni ile risk taşımaktadır [Dhir, et al, 2001].

Depolama normal bir depolama sahasına veya bir monofille olabilir. *Monofiller* tek tip atıkların depolandıkları sahalara verilen isimdir. Ülkemizde tek tip atıkların deponi (basit tanımıyla sızdırmaz zemin, ara örtü, son örtü şeklinde yapılan) şeklinde depolandığı tesislerin varlığı bilinmemektedir. Yurtdışında özellikle ABD’de monofiller tek tip atıkların bertarafında az da olsa kullanılmaktadır. Monofill uygulamalarında yaygın olarak ihtiyaç halinde geri dönüşüm ve yeniden kullanım için malzeme sağlandığı gözlenmiştir. Bu çerçevede monofiller hem ara depoloma hem de nihai depolama anlamında hizmet verebilmektedir. Tek tip atıkların depolandığı bu monofillerde gerekli önlemler alınmazsa ve kontroller iyi yapılmazsa oluşan sızıntı suları daha spesifik ve konsantre olabilir. Bu özelliği ile klasik deponi alanlarına göre monofillerin dezavantajı olabilmektedir.

Lastiklerin bileşimine bulunan organik maddelerin türüne bağlı olmasına karşın monfillerde oluşan sızıntı sularında yaygın olarak naftalin, pyrene, fenol gibi organik bileşikler arsenik, kadmiyum, kobalt, krom, bakır, demir, mangan, nikel, kurşun, toprak alkaliler, civa, kükürt ve çinko gibi inorganik bileşikler farklı konsantrasyonlarda bulunabilmektedir [Kanematsu et al, 2009]. Lastik monofill sızıntı sularının alg ve küçük balıklar üzerine Avrupa Birliği eko toksikolojik skala değerinden 130 kat fazla toksik etki yaptığı bulunmuştur [Edeskar, 2009].

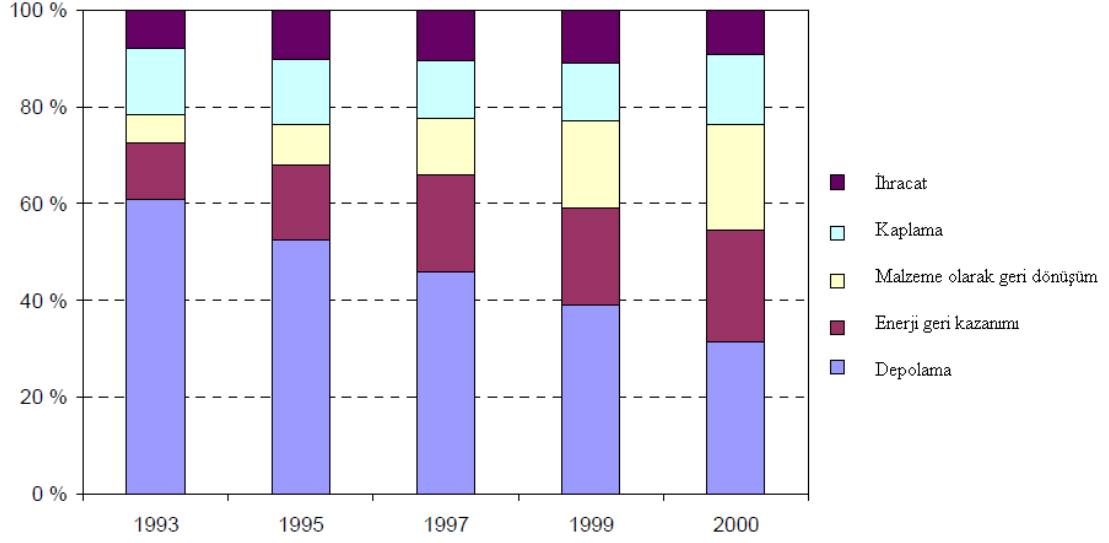
3.2. Yasal Durum

Türkiye'nin, 1987'deki Avrupa Birliği'ne tam üyelik için resmi başvurusu ve 1996 yılında yürürlüğe giren Gümrük Birliği anlaşması ile AB-Türkiye ilişkileri kurumsallaşmaya başlamıştır [İktisadi Kalkınma Vakfı, 2001; DPT].

Avrupa Birliği'ne üyelik için uyulması gereken kriterler, 1993'de belirlenen Kopenhag Kriterleri olarak tanımlanmıştır. AB müktesebatının benimsenebilmesi de bu üç kriter içinde toplam 31 başlık altında toplanan AB müktesebatının 22 nolu başlığı "Çevre" olmuştur. Bu nedenle AB müktesebatının uyumlaştırılması çalışmaları kapsamında atık yönetimi konusunda da birçok yönetmelik çıkarılmış, yürürlükte olanlar da revize edilmiştir [Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, 2003].

Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılmış lastiklerin yönetimi ile ilgili direktif 1999 yılında Depolama (1993/31/EC) da kabul edilmiştir, 2003 yılından itibaren ömrünü tamamlamış lastiklerin olduğu gibi depolanması yasaklanmış, 2006 yılından itibaren ise parçalanarak depolanması da yasaklanmıştır. Ayrıca 2000 yılında ömrünü tamamlamış taşıtlar konulu direktifte (2000/53/EC) ise hurda araçların üstündeki lastiklerin söküleceği belirtilmiştir.

Şekil 3.10'da görüldüğü üzere Avrupa Birliği ülkelerinde ömrünü tamamlamış lastikler ile ilgili yasal mevzuatın değişimi ile birlikte lastiklerin depolanması giderek azalırken, yerini malzeme olarak geri dönüşüm ve enerji geri kazanımına bırakmıştır.



Şekil 3.10 Avrupa Birliği'nin lastik değerlendirmeye ilişkin yıl bazlı verileri [Indicator fact sheet TERM, 2002]

Türkiye aynı zamanda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) bünyesinde 1992 yılında hazırlanan Basel Sözleşmesi'ni 1989 yılında imzalamış ve 1994 yılında onaylamıştır. Basel sözleşmesi “Tehlikeli atıkların ve diğer atıkların sınırlar ötesi taşınımına, bu atıkların taşınmasının ve nihai bertarafının sadece çevreyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi” için uluslararası düzenleme yapan bir anlaşmadır [Basel Sözleşmesi, 2006]. Ömrünü tamamlamış lastikler Ek-8 B Grubu listesinde yer almaktadırlar. Bu gruptaki atıklar tehlikeli atık olarak değil özel atık olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizde Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde 25 Kasım 2006 tarih 26357 sayılı Resmi Gazetede “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği” yayımlanarak 1 Ocak 2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı, ömrünü tamamlamış lastiklerin; çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesine, geri kazanım veya bertarafı için toplama ve taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulması ve ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde gerekli düzenlemelerin ve standartların sağlanmasına, ithalatı, ihracatı ile transit geçişine ilişkin sınırlama ve yükümlülükler yönelik idari ve teknik esasları belirlemektir [Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006].

Bu yönetmeliğe göre atık lastiklerin toplanması, taşınması ve usulüne uygun olarak geri kazanılması için üretici ve ithalatçılar yükümlü kılınmıştır. Lastik üreticisinin yükümlülükleri bu yönetmeliğin 9. maddesinde yer alan

a) Üretimde çevre kirlenmesini ve enerji tüketimini azaltıcı önlemler almakla,

b) Bu Yönetmeliğin 18 inci maddesine göre EK-2’de yer alan kota müracaat formunu doldurarak, her yıl mart ayı sonuna kadar Bakanlığa kota müracaatında bulunmakla,

c) Lastik kullanımı ve Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin (ÖTL) düzenli toplanması konusunda tüketicinin bilgilendirilmesi için gerekli çalışmaları yapmakla, toplama faaliyetlerine kamuoyunun katılımının artırılması için lastik tüketicilerinin yükümlülüklerini de içeren dokümanları ve uyarı işaretlerini lastik satış ve değiştirme noktalarında bulundurmakla,

ç) Geri kazanılması mümkün olmayan ÖTL’leri bu Yönetmeliğin 24 üncü maddesi doğrultusunda bertaraf ettirmekle, yükümlüdür [Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006].

Geleneksel çevre yönetimi yaklaşımında kirliliklerin önlenmesi veya giderilmesi kamuya aittir. İlerleyen yıllarla bu yaklaşım, yerini üretici sorumluluğunu esas alan “Kirleten öder” prensibine bırakmıştır. Bu bağlamda tüketiciler 1993 yılından itibaren Çevre Vergisi vasıtasıyla ürettikleri atıkların yönetimine katkıda bulunmaktadır. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği’ne göre üreticiler ve ithalatçılar, her yıl bir önceki yıl iç piyasaya sürülen lastik tonajını hesaba alarak bu Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği ilk yıl %30, ikinci yıl %35, üçüncü yıl %40, dördüncü yıl %45 ve beşinci yıl %50 devamı yıllarda ise Bakanlığın ortalama lastik aşınma oranını dikkate alarak belirleyeceği oranlarda ÖTL’leri toplamak/toplatmak, toplanan miktarın geri kazanımını veya bertarafını sağlamak ve bu işlemleri Bakanlığa belgelemekle yükümlüdürler. [Birpınar ve Cihan, 2009; Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006].

Sözü geçen işlemlerin oluşturacağı giderler üreticiler/ithalatçılar tarafından karşılanacaktır. Lastik üreticileri/ithalatçıları bu işlemleri münferit olarak yapabilecekleri gibi yönetmeliğin 17. maddesine istinaden lastik üreticisi, ÖTL’lerini alıcı ortama olan etkilerini asgariye indirebilmek amacıyla, taşınması, geçici depolanması, geri kazanımı ve bertaraf edilmelerine dair yükümlülüklerini yerine

getirmesi ve bunlara yönelik gerekli harcamaların karşılanması, eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için, Bakanlığın koordinasyonunda bir araya gelerek kâr amacı taşımayan tüzel kişiliğe haiz bir yapı oluşturabilirler. Bu yapıya karşı yükümlülüklerini yerine getiren ve harcamalara katılan kuruluşlar taşıma, geçici depolama, geri kazanım ve bertaraf yükümlülüklerini bu kuruluşa devredebilirler. Bu bağlamda, 11 Nisan 2007’de ömrünü tamamlamış lastiklerin Türkiye çapında yaygın satıcı organizasyonundan toplanması amacıyla, lastik üretim piyasasının %75’ini temsil eden BRISA, CONTINENTAL (OLTAŞ), GOODYEAR, MICHELIN, PETLAS ve PIRELLI firmaları bir araya gelerek, Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER)’i kurmuşlardır. Dernek tüzüğünde belirlenen 3 amacından ilki ve önemlisi, tüzüğün 3. maddesinde belirtildiği üzere "Ömrünü tamamlamış lastiklerin çevreye olan zararını en aza indirmek için ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetimini üstlenmek" dir [İnternet 6]; Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 2006].

Ömrünü tamamlamış lastikler üretimden bertarafına kadar 4 aşamada incelenebilir.

1. Lastiklerin değiştirildiği yetkili bayiler ve diğer küçük tamirhanelerin ömrünü tamamlamış lastikleri diğer atıklardan ayrı toplaması,
2. Çevre ve Orman Bakanlığı’ndan lisans almış ve LASDER ile anlaşarak taşıma ve toplama işlerini yapan firmanın araçlarıyla ömrünün tamamlamış lastiklerin düzenli bir şekilde belgelendirerek toplanması,
3. Yine LASDER ile anlaşma yapmış olan taşeron firmanın oluşturacağı Çevre ve Orman Bakanlığı’ndan lisanslı geçici depolama sahasına getirilmesi ve kayıt altına alınarak biriktirilmesi,
4. Belirli miktarlara ulaşan ömrünün tamamlamış lastiklerin Çevre ve Orman Bakanlığı’ndan lisanslı araçlarla Ulusal Atık Taşıma Formları düzenlenerek lisanslı geri kazanım veya bertaraf tesisine ulaştırılması şeklindedir. [Birpınar ve Cihan, 2009]

Ülkemizde 2006 yılında belediyeler arasında Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yapılan çalışmada Tablo 3.1’de görülmektedir. Ankete katılan belediyelerin % 13,30’u yönetmeliğin bilinmediğini, % 46,26 maddi imkansızlıklar, % 28,46 personel yetersizlikler, % 26,88 teknik sebepler, %18,20 araç yetersizliği, %

3,44 diğer sebeplerden ötürü yönetmeliğin gereklerini yerine getirildiği bir uygulamanın mevcut olmadığını belirtmiştir. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği hükümlerini yerine getirememe sebebine göre belediyeler değerlendirildiğinde yönetmeliğin yeterince bilinmediği ortaya çıkmakta ve maddi imkansızlıklar başı çekmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2005 ve 2006 yıllarında Belediyelerin atık istatistiklerinden derledikleri bertaraf ve geri kazanım tesislerine getirilen atık miktarının atık tipine ve kaynağına göre dağılımı Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 incelendiğinde 2005 yılında düzenli depolama tesislerine getirilen toplam 7.096.932 ton tehlikesiz atığın 8.000 (% 0.11) tonunu atık lastikler oluşturmaktadır. Bu rakam 2006 yılında 8.000 ton/yıl'dan 143.154 ton/yıl'a yükselmiştir.

Tablo 3.1.Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği hükümlerini yerine getirememe sebebine göre belediye sayısı, 2006 [TÜİK, 2006]

Düzeyler	Anket uygulanan belediye sayısı	Atık hizmeti verilen belediye sayısı	Sebepler					
			Yönetmelik bilinmiyor	Maddi imkansızlıklar	Personel yetersizlikler	Teknik sebepler	Araç yetersizliği	Diğer
TÜRKİYE	3.225	3.115	429	1.492	918	867	587	111
İstanbul	74	74	10	12	13	19	11	4
Batı Marmara	172	170	34	73	55	48	43	1
Ege	594	585	69	296	175	193	102	32
Doğu Marmara	226	226	23	69	53	48	28	4
Batı Anadolu	289	283	30	153	106	79	55	13
Akdeniz	463	454	41	257	132	123	91	11
Orta Anadolu	381	364	70	138	83	79	55	12
Batı Karadeniz	307	298	43	134	86	105	51	14
Doğu Karadeniz	233	209	25	121	81	40	60	8
Kuzeydoğu Anadolu	117	115	13	68	42	38	16	3
Ortadoğu Anadolu	174	156	51	48	34	38	30	7
Güneydoğu Anadolu	195	181	20	123	58	57	45	2

Tablo 3.2 Bertaraf ve geri kazanım tesislerine getirilen atık miktarının atık tipine ve kaynağına göre dağılımı, 2005 [TÜİK, 2005]

Tesis tipi	Atık tipi	Niteliği	Toplam	Belediye atıkları	Sağlık kuruluşları atıkları	(ton/yıl)		
						Sanayi atıkları	Hizmet sektörü atıkları	Diğer(1)
Düzenli Depolama Tesisi	Toplam	Tehlikeli	39.130	14	13.497	20.033	5.586	
	Toplam Lastik atıklar	Tehlikesiz	7.096.932 8.000	6.934.022		139.962 8.000	22.948	

Tablo 3.3 Bertaraf ve geri kazanım tesislerine getirilen atık miktarının atık tipine ve kaynağına göre dağılımı, 2006 [TÜİK, 2006]

		(ton/yıl)						
Tesis tipi	Atık tipi	Niteliği	Toplam	Belediye atıkları	Sağlık kuruluşları atıkları	Sanayi atıkları	Hizmet sektörü atıkları	Diğer(1)
Düzenli Depolama Tesisi	Toplam	Tehlikeli	30.549	601	5.989	18.654	-	5.305
	Toplam	Tehlikesiz	9.920.860	9.427.725	31.612	253.976	50.473	157.074
	Lastik atıklar		143.154	143.019	-	135	-	-
Yakma Tesisi	Toplam	Tehlikeli	27.877	-	6.462	21.415	-	-
	Lastik atıklar		15	-	-	15	-	-
Kompost Tesisi	Toplam	Tehlikeli	32	15	17	-	-	-
	Toplam	Tehlikesiz	268.173	254.913	-	10.348	2.642	270
	Lastik atıklar		11.260	11.260	-	-	-	-

(1) Yakma tesislerinden çıkan kül ve cürufu, kompost tesislerinden düzenli depolama tesislerine aktarılan atıkları ve kendi imkânları ile getirilen kooperatif, site vb. yerleşim yeri ve konaklama tesisleri atıklarını kapsamaktadır.

Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER)' nin açıklamalarına göre 2007 yılında 200.000 ton ömrünü tamamlamış lastik değişim amaçlı piyasaya girmiştir. LASDER henüz Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan yetkilendirme almadığından 2008 yılında ömrünü tamamlamış lastiklerin toplanması işlemi lastik üreticileri tarafından münferit olarak gerçekleştirilmiş ve yaklaşık olarak 7000 ton atık lastik toplanarak bertaraf edilmesi sağlanmıştır. Bu veriler, Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 ile karşılaştırıldığında yönetmeliğin ilk iki yılına oranla daha verimli biçimde uygulanabildiği görülmektedir.

2007 yılından bu yana Çevre ve Orman Bakanlığı'nca 8 adet geri kazanım tesisine lisans verilmiş ve 14 adet geçici depolama sahasına izin verilmiştir. (İnternet 7 ve 8)

Ülkemizdeki Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan lisanslı lastik geri kazanım tesislerinin toplam kapasiteleri 31.000 ton/yıl'dır. Aralık 2008'den bu yana 14.000 ton ömrünün tamamlamış lastiğin geri kazanımı bu tesislerde sağlanmıştır [Birpınar ve Cihan, 2009].

Ayrıca, ömrünü tamamlamış lastikler ek yakıt olarak kullanılabilirler. Ülkemizdeki 21 adet çimento fabrikasına Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından "Atıkların Ek Yakıt Olarak Kullanılmasında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ" çerçevesinde lisans verilmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan lisanslı ek yakıt olarak lastik yakabilen tesislerinin toplam kapasiteleri 110.000 ton/yıl'dır [Birpınar ve Cihan, 2009]. Tablo 3.4'te görüldüğü üzere ülkemizde 2007 yılında toplam 498.440 ton atık alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Bu yakıtların % 21.35'i yani 106.458 tonunu kullanılmış lastikler oluşturmaktadır.

Tablo 3.4 Çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılan atık türlerine göre dağılımı [Çevre Orman Bakanlığı, 2007]

Atık Türleri	Lisanslandırılan Miktar (ton/yıl)
I. ve II. Kategori Atık Yağ	214.226
Kullanılmış Lastik	106.458
Kontamine Atık	61.884
Atık Plastik	51.866
Petrol Rafineri Atığı	24.120
Petrol Dip Çamuru	18.902
Boya Çamuru	16.964
Sıvı Yakıt Çamur	4.020
Toplam	498.440

4. MATERYAL VE METOT

Lastik atıkların yapılarından ötürü bütün olarak normal bir depolama sahasına depolanmaları uygun değildir. Yeniden değerlendirilme veya yakıt olarak kullanılmalarına kadar veya kalıcı olarak depolanmaları gerektiğinde *monofil* denilen tek tip atığın alındığı sahalar kullanılmaktadır. Ancak lastik üretiminde kullanılan hızlandırıcılar, stabilizatörler, plastikleştiriciler gibi katkı maddeleri bu depolama sahalarında bekletilirken reaksiyonlar sonucu oluşan kirleticiler günümüze kadar yeteri derecede incelenmemiştir. Monofillerde depolanan lastiklerin değişen yağış ve iklim koşulları altında alıcı ortam üzerinde nasıl bir etki yapacağı konusunda bir belirsizlik söz konusudur. Kullanılmış lastiklerin atıldığı/depolandığı alanlarda çözünme reaksiyonları sonucu, oluşan sızıntı suları toprak ve yeraltı suyunu direk etkileyecektir. Ülkemizde henüz yasal olarak lastik monofil depolanma alanları veya bu tip depolama alanlarının yasal kriterleri bulunmamakla birlikte bazı ülkelerde bu tip uygulamalar mevcuttur.

Bu çalışmada atık lastiklerin monofillerdeki veya terk edildikleri alanlarda fiziksel-kimyasal davranışlarının incelenmesi için iki tipte deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kullanılmış lastiklerin değişik pH aralıklarında ağırlık kaybı deneyleri yapılmıştır. İkinci olarak da monofillerdeki lastiklerin ayrışma süreçleri sonucunda oluşan sızıntı suyunu karakterize etmeyi amaçlayan deneyler yapılmıştır. Bu deney sonuçlarında yoğun trafik yükünün olduğu, araç lastiklerinin aşınmalarının yoğun olduğu yollarda kontrolsüz olarak yağış ile ortama geçen kirletici parametreler de yorumlanabilmektedir.

4.1 Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

Deneylerde pH ölçümleri WTW Multi metre ile gerçekleştirilmiştir. Tartımlar Explorer OHAUS marka hassas terazi ile yapılmıştır. Kullanılan cam malzemeler ve tartım cihazı kalibrasyonlu ve sertifikalıdır. Çalkalamalı deneylerde Heidolph Unimax 1010 marka çalkalayıcı kullanılmıştır. Deneylerde metallerin konsantrasyonlarını tayin etmek için Alevli ve Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi

(AAS-1100 Model, Perkin Elmer) ve Grafit Fırınlı Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi (AAS-6000 Model, Perkin Elmer) kullanılmıştır.

4.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler

Kullanılan saf su 18.2 μ s iletkenliğine sahip olup Mini Q marka cihazla temin edilmiştir. Analiz ve kalibrasyon için sertifikalı standartlar kullanılmıştır. pH ayarlamalarında Sodyum Hidroksit ve Nitrik Asit Çözeltisi: kullanılmıştır (Sodyum Hidroksit Çözeltisi: NaOH (Merck, %99.5) kullanılarak 1N NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. Nitrik Asit Çözeltisi: H(NO₃) (Merck, %99.5) kullanılarak 1N H(NO₃) çözeltisi hazırlanmıştır).

4.3 Numunelerin Hazırlanışı

Deneyler için Gebze çevresinde lastik değişimi yapan bir tesisten alınan bir adet otomobil lastiği kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Deneyde kullanılan atık lastik

Öncelikle bütün lastikten testere yardımıyla dördte bir lastik parçası çıkarılmıştır. Şekil 4.1’de bütün halden dördte bir parçası çıkartılmış atık lastik görülmektedir. Bu dördte bir parça kesici pek çok alet kullanılarak sırt ve yanak olmak üzere daha küçük paçalara ayrılmıştır. Şekil 4.2’de üstte yanak kısımdan ve altta lastiğin sırt kısmından kesilmiş parçalar görülmektedir.



Şekil 4.2 Parçalamada kullanılan gereçler ve ilk parçalamadan sonra örnekler

Lastiğin yanak kısmından tel içermeyen parçalar çıkartılmış ve deneylerde tel içerip içermeme durumlarına göre ayrılarak kullanılmıştır.

Ağırlık kaybı deneyleri için lastiğin sırt ve yanak kısmından 3 farklı tipte örnekler alınmıştır. Bunlar tel içeren sırt kısmı, tel içermeyen yanak kısmı (iri parça) ve tel içermeyen yanak kısmından (küçük parçalar) şeklindedir. Şekil 4.3'te üst kısımda tel içeren lastiğin sırt kısmından alınan iri parçalı numuneler, ortada tel içermeyen lastiğin yanak kısmından alınan iri parçalı numuneler ve en altta lastiğin yanak kısmından alınan küçük parçalı numuneler görülmektedir.



Şekil 4.3 Deneylerde kullanılacak şekilde küçük boyutlara getirilmiş lastikler

4.4 Ağırlık Kaybı, pH Değişimi ve Toplam Organik Karbon

Ağırlık kaybı, katı haldeki numunelerin sıvı ortamda ağırlıklarının ne kadarını sıvı ortama bıraktıklarıyla ilgilidir. Bu sebeple sabit tartıma getirilen numuneler

belirli aralıklarla içinde buldukları sıvı ortamdan alınarak kurutulur ve tekrar durum tartımları alınır.

Alınan örneklerde 4 farklı pH'da (pH 4, 5, 6, 7 olmak üzere) 12 adet numune binek araç lastik parçası ile çalışılmıştır.

Numuneler sabit tartıma getirilmek üzere 120°C'de 2 saat bekletilmiştir. Desikatörde soğutulduktan sonra ilk tartımları alınmıştır. Numuneler beherlerde 400 mL'ye saf suyla tamamlandıktan sonra HNO₃ ve NaOH kullanılarak pH ayarlamaları yapılmıştır. Beherlerin üstleri sıkıca kapatılıp oda sıcaklığında beklemeye alınmıştır. Beklemeye alınan numuneler Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4 Beklemeye alınmış numuneler

Numuneler haftalık olarak çıkartılıp 120°C'de kurutularak, tartımları yapılmış ve içerisinde buldukları sıvının asitik veya bazik oluşu kontrol edilmiştir. Ayrıca içerisinde buldukları sıvıdan alınan örneklerde Toplam Organik Karbon değerlerine bakılmıştır.

Şekil 4.5'te kurutma işleminden sonra tartımları alınan numuneler görülmektedir.



Şekil 4.5 Kurutma işleminden sonra numuneler

Beklemeye alınan numunelerin içindeki buldukları sıvıların pH değişimleri de haftalık izlenmiştir.

4.5. Ağır metallerin tespiti

Lastiklerin depolanması sırasında sızıntı suyuna geçebilecek ağır metallerin tespiti için çalkalamalı deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için tel içeren sırt kısımlarından alınan numuneler iki farklı sıcaklık (25, 45°C), pH (5, 6, 7, 8) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) çalkalayıcı ile çalkalandıktan sonra süzülerek atomik adsorpsiyonda içerdiği çinko, kadmiyum, krom bakır, civa gibi ağır metal miktarları incelenmiştir.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde lastik atıkların laboratuvar şartlarında ağırlık kaybı ve pH değişimi ile metal ölçümlerinin sonuçları değerlendirilecektir.

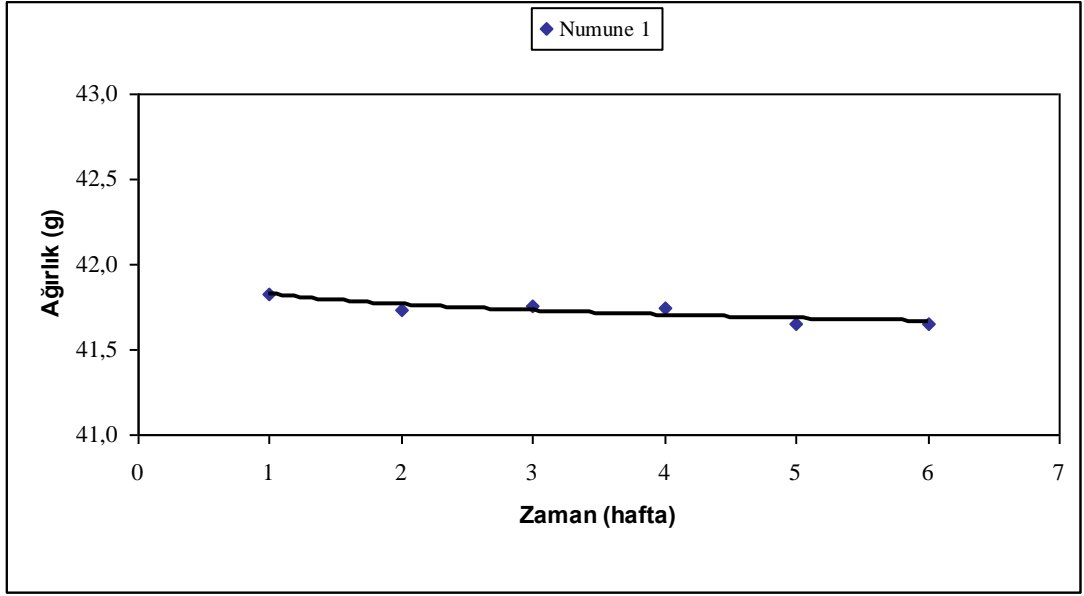
5.1 Ağırlık Kaybı, pH Değişimi ve Toplam Organik Karbon Ölçümleri

Ağırlık kaybı deneyleri sırasında lastiklerin az da olsa içerisinde buldukları sıvının pH'ına göre lastiklerin ağırlıklarını kaybetmeleri beklenir. Ağırlık kayıpları için yapılan deney sonuçlarında elde ettiğimiz veriler Tablo 5.1 özetlenmiştir.

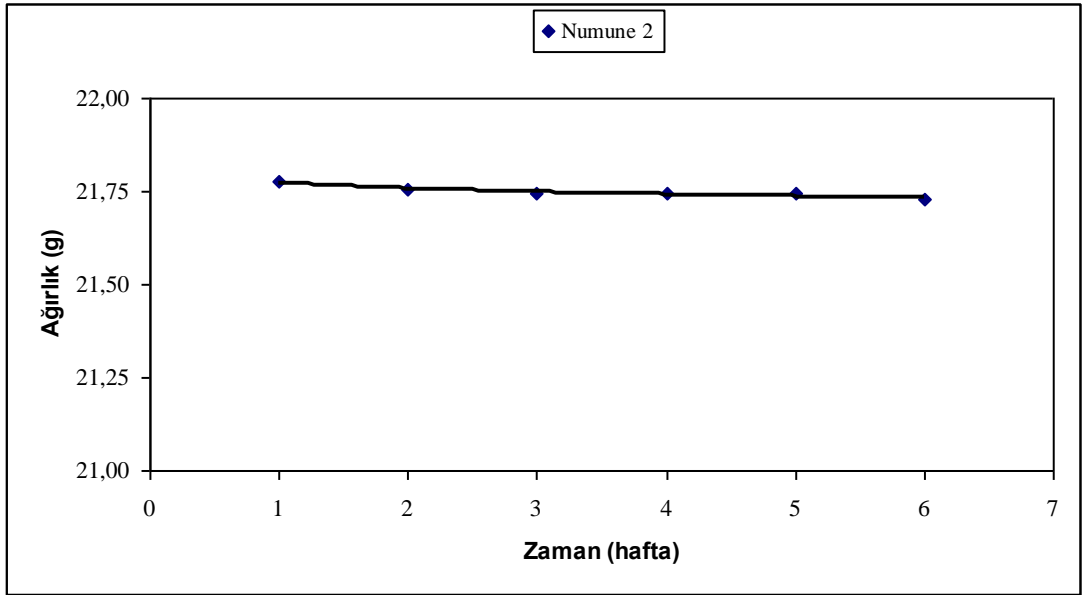
Tablo 5.1 Ağırlık kaybı verileri

	Başlangıç pH	1. Hafta (g)	2. Hafta (g)	3. Hafta (g)	4. Hafta (g)	5. Hafta (g)	6.Hafta (g)	Ağırlık Kaybı (%)
1. TELLİ	4	41.8204	41.7580	41.7498	41.7371	41.6527	41.6460	0.42
2. TELSİZ	4	21.7755	21.7558	21.7443	21.7435	21.7421	21.7297	0.21
3. TELSİZ PARÇALI	4	5.4246	5.4179	5.4176	5.4140	5.4108	5.4108	0.25
4. TELLİ	5	46.7625	46.7156	46.7053	46.6927	46.5740	46.5380	0.48
5. TELSİZ	5	17.5901	17.5624	17.5408	17.5393	17.5387	17.5377	0.30
6. TELSİZ PARÇALI	5	5.3974	5.3857	5.3800	5.3794	5.3792	5.3775	0.37
7. TELLİ	6	38.4216	38.2658	38.2582	38.2545	38.1402	38.1301	0.76
8. TELSİZ	6	19.4615	19.4615	19.4365	19.4362	19.4302	19.4230	0.20
9. TELSİZ PARÇALI	6	5.7373	5.7276	5.7215	5.7212	5.7201	5.7185	0.33
10. TELLİ	7	37.2634	37.2068	37.2008	37.1866	37.1084	37.1001	0.44
11. TELSİZ	7	12.1063	12.0839	12.0742	12.0692	12.0688	12.0663	0.33
12. TELSİZ PARÇALI	7	6.3742	6.3677	6.3594	6.3590	6.3574	6.3564	0.28

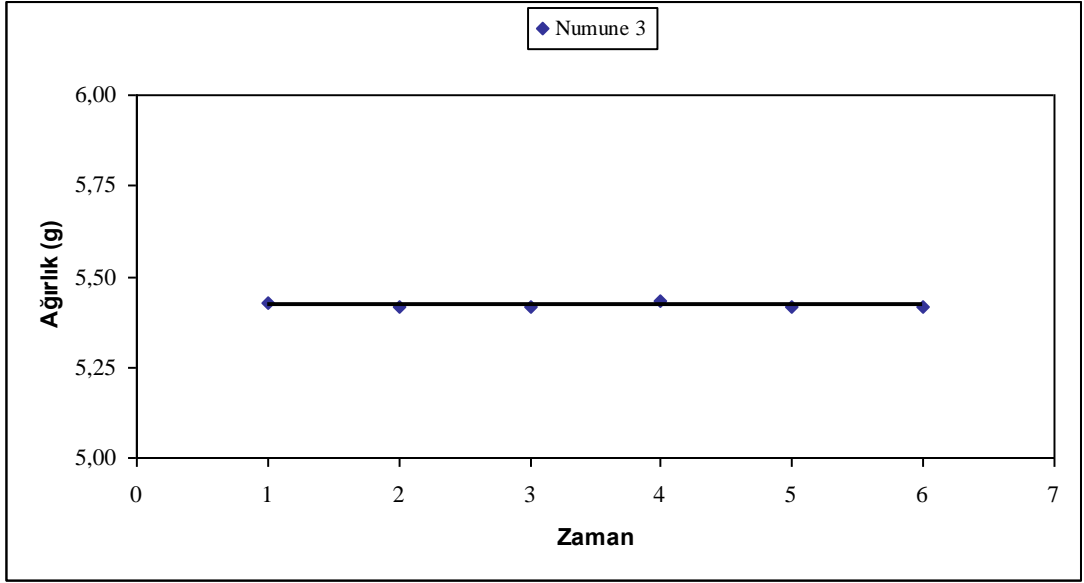
Farklı numuneler için sonuçlar grafikler halinde verilmiştir (Şekil 5.1-12). Numunelerin 6 haftalık zaman içindeki ağırlık kayıpları yüzde olarak hesaplanmış ve Tablo 5. 1 de verilmiştir. Ayrıca telsiz numunelerde ortalama olarak 26.62 mg/L Toplam Organik Karbona rastlanırken, telli numunelerde ortalama olarak 14.23 mg/L Toplam Organik Karbon ölçülmüştür.



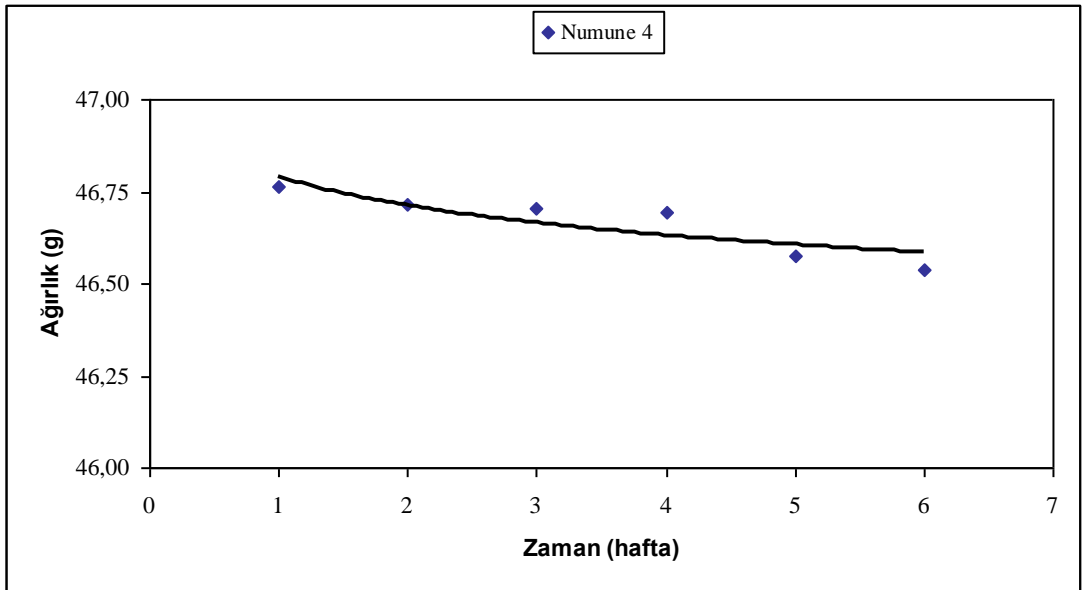
Şekil. 5.1 Telli iri parça. başlangıç pH = 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı



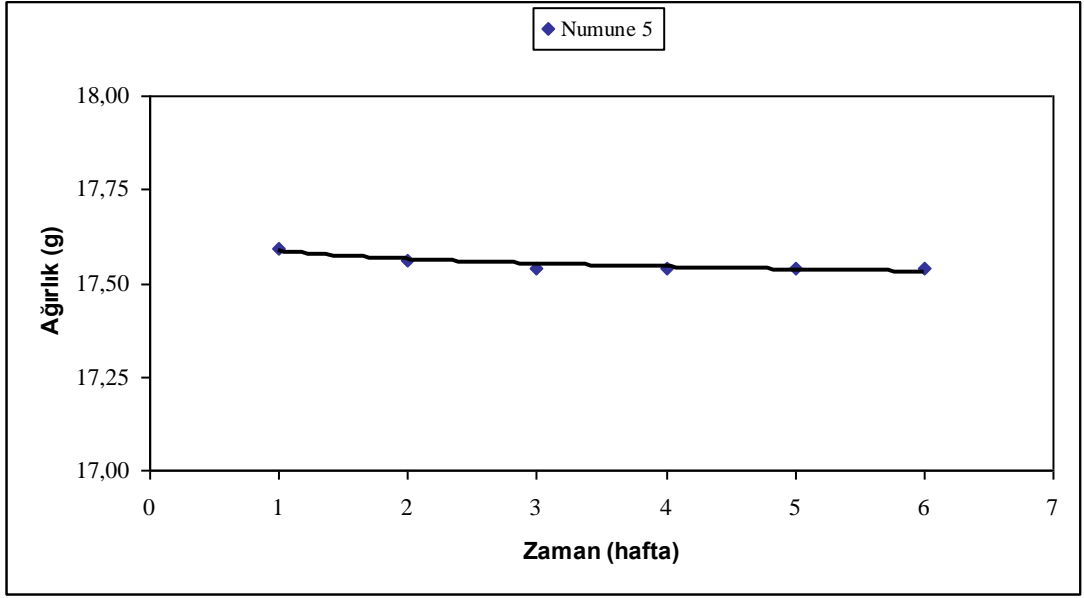
Şekil. 5.2 Telsiz iri parça başlangıç pH = 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı



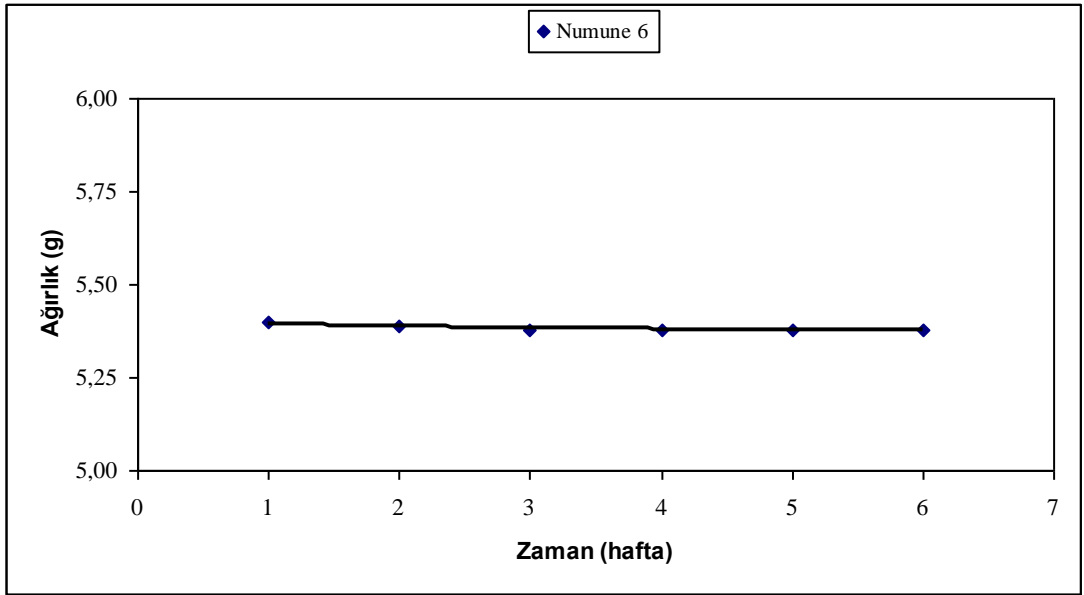
Şekil. 5.3 Telsiz küçük parça başlangıç pH = 4 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



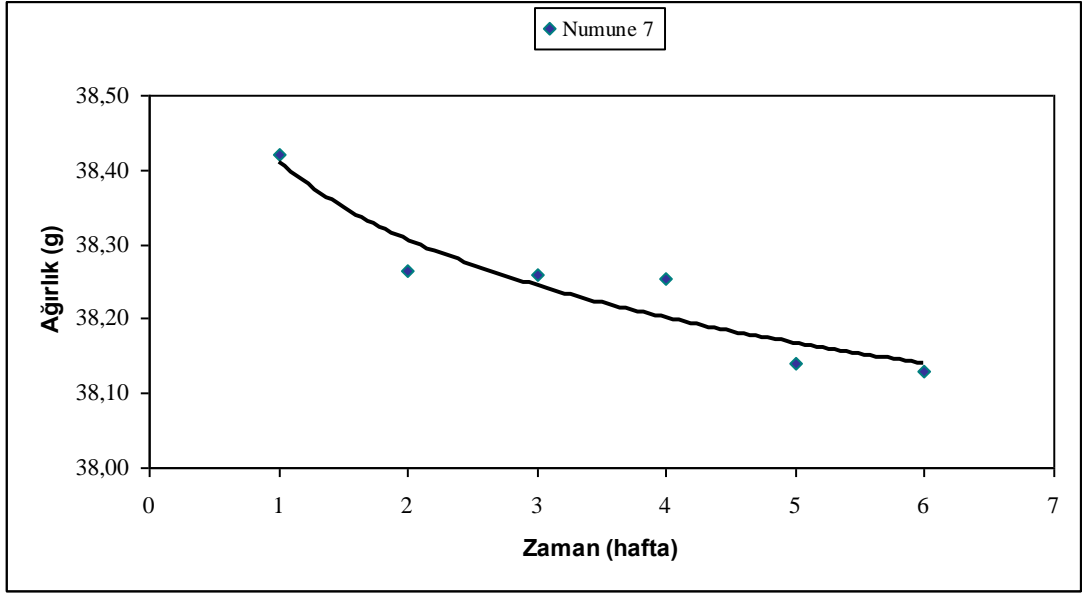
Şekil. 5.4 Telli iri parça başlangıç pH = 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



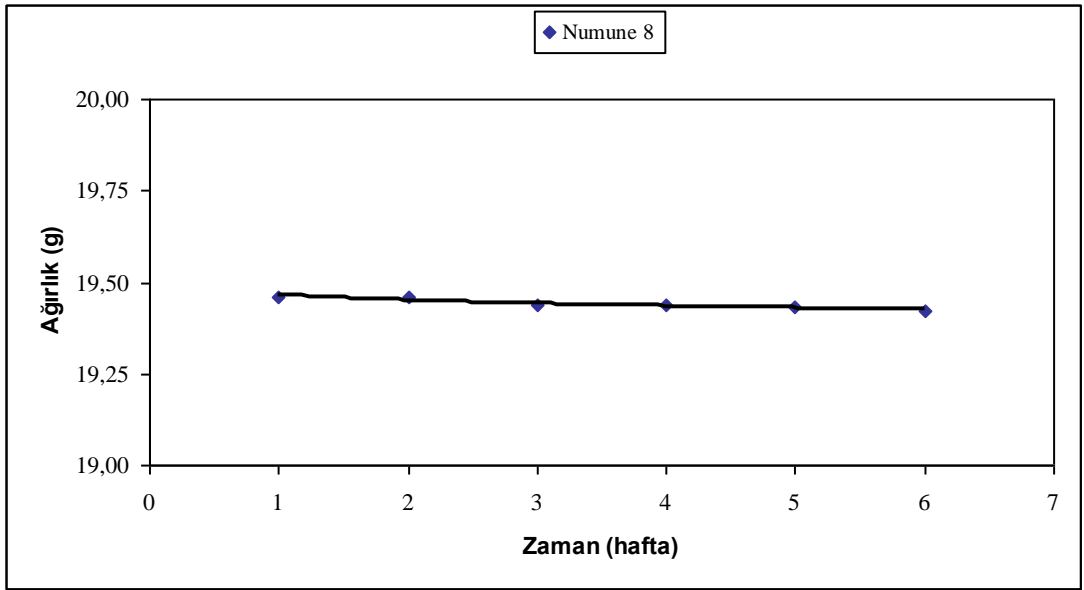
Şekil. 5.5 Telsiz iri parça başlangıç pH = 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



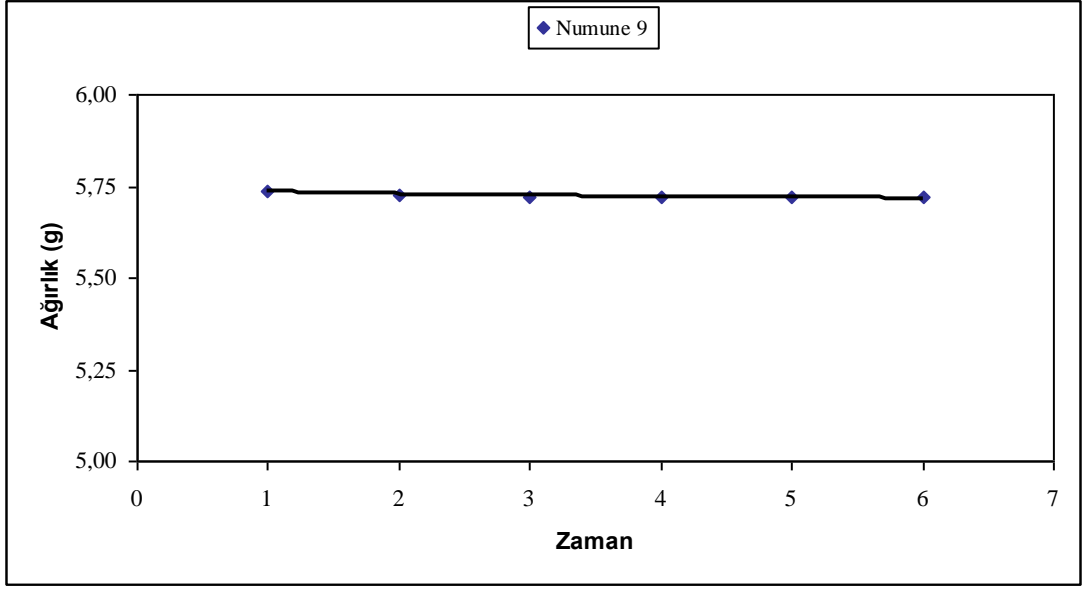
Şekil. 5.6 Telsiz küçük parça başlangıç pH = 5 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



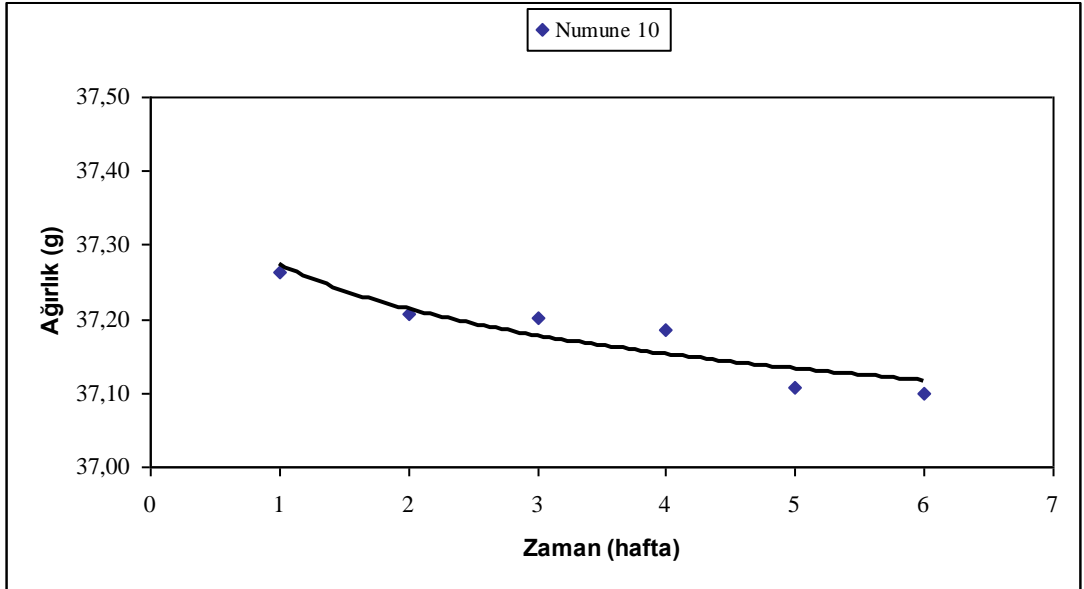
Şekil. 5.7 Telli iri parça başlangıç pH = 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



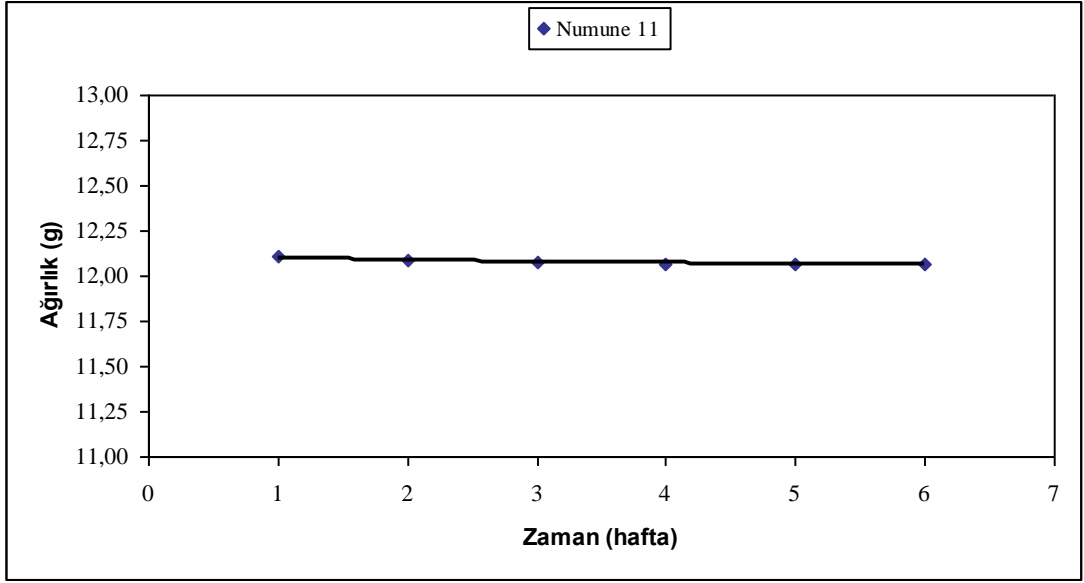
Şekil. 5.8 Telsiz iri parça başlangıç pH = 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



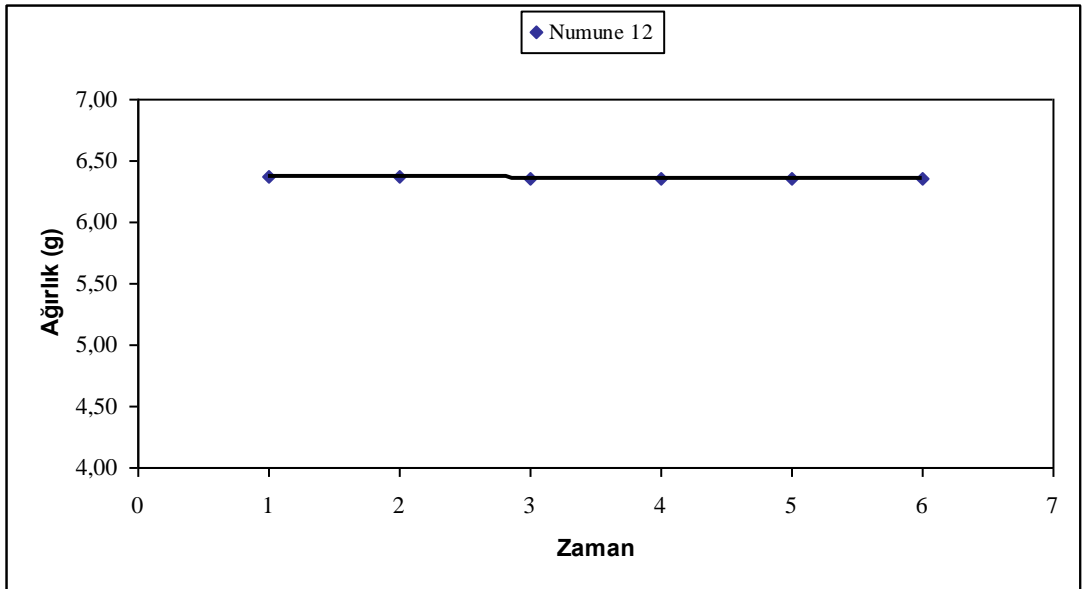
Şekil. 5.9 Telsiz küçük parça başlangıç pH = 6 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



Şekil. 5.10 Telli iri parça başlangıç pH = 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



Şekil. 5.11 Telsiz iri parça başlangıç pH = 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.



Şekil. 5.12 Telsiz küçük parça başlangıç pH = 7 olan numunenin zaman içindeki ağırlık kaybı.

Ağırlık kaybı, katı haldeki numunelerin sıvı ortamda ağırlıklarının ne kadarını sıvı ortama bıraktıklarıyla ilgilidir. Tablo 5.1'den görüleceği üzere tel içeren sırt kısmı, tel içermeyen yanak kısmı (iri parça) ve tel içermeyen yanak kısmından (küçük parçalar) şeklinde alınan atık lastiklerin hepsi çeşitli deney şartlarında farklı oranlarda (%0.18-0.76) ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Şekil 5.13'te numunelerden, 1. hafta sonunda telli numunelerin içerisine konduğu çözeltinin oksitlenme sonucu renk değiştirdiği görülmüştür.

Bu deneylerin sonucunda lastik atıkların, atıldıkları açık alanlarda veya depolama alanlarındaki iklim ve ortam şartlarında, çözünerek bileşimlerindeki kirleticilerin bir kısmını sıvı ortama geçtiği sonucuna varılmıştır. Bir araba lastiğinin ortalama olarak 10 kg olduğunu varsayarsak her araba lastiğinin içeriğinden 36 g alıcı ortamlara geçtiği düşünülebilir.



Şekil 5.13 İlk hafta sonunda (soldan sağa) tel içermeyen (küçük parçalı), tel içermeyen (iri parça) ve tel içeren numuneler

Ağırlık kaybı deneyleri sırasında proses değişkeni olarak kullanılan başlangıç pH değerinin zaman içinde değişimi gözlenmiştir (Tablo 5.2). Şekil 5.13'de farklı pH'lardaki lastik numunelerinde oluşan renk değişimi gözlenmektedir. Aynı zamanda farklı numuneler için pH'ın değişim grafiği Şekil 5.15'de verilmiştir.

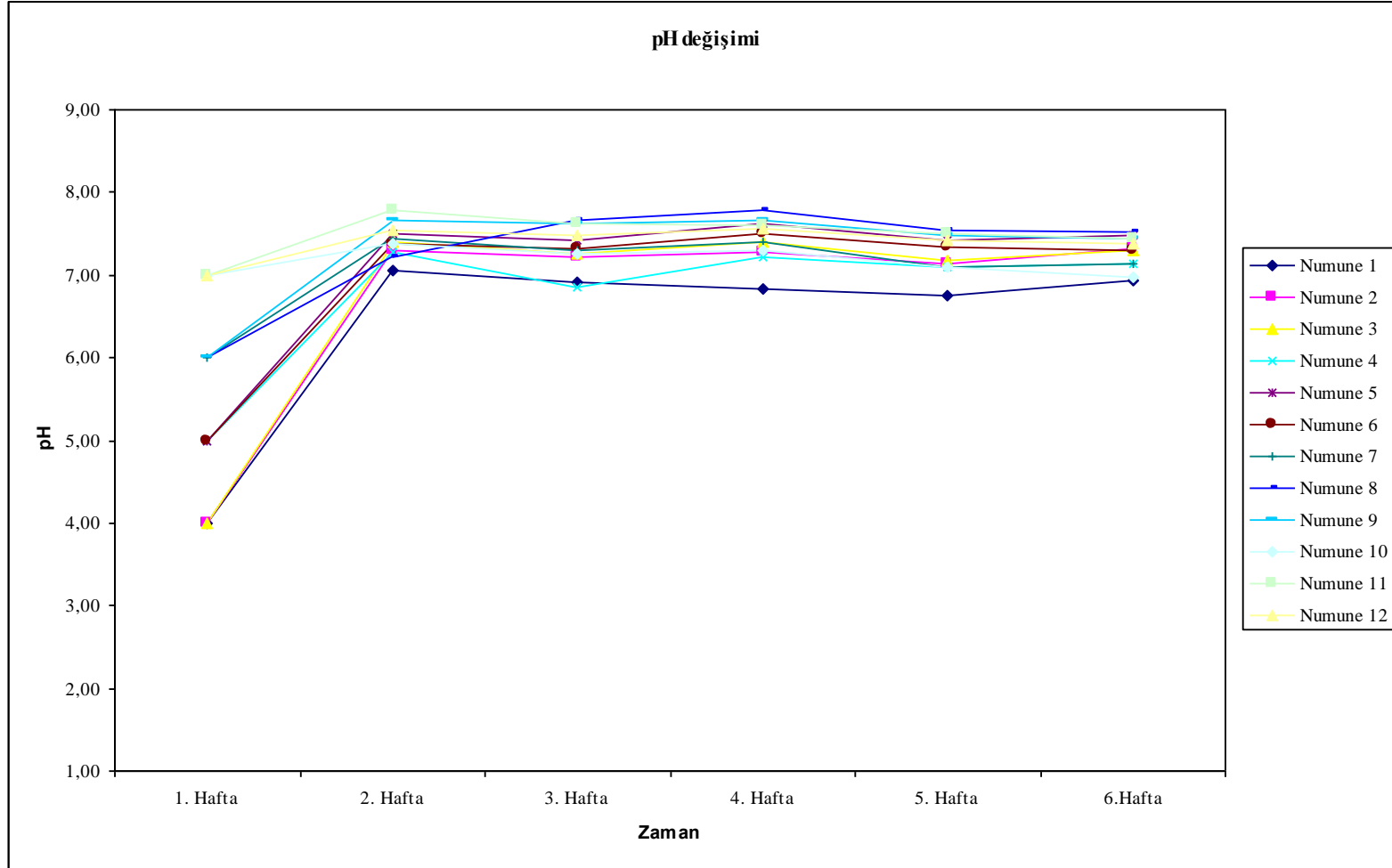


Şekil 5.14 İlk hafta sonunda (soldan sağa) kör, pH 8, pH 7, pH 6, pH 5'e ayarlanan numunelerin içinde buldukları çözeltiler

Tablo 5.2 Haftalık pH verileri

		1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta	4. Hafta	5. Hafta	6.Hafta
		pH	pH	pH	pH	pH	pH
1.	TELLİ	4.00	7.06	6.92	6.83	6.76	6.94
2.	TELSİZ	4.00	7.30	7.21	7.27	7.13	7.32
3.	TELSİZ PARÇALI	4.00	7.40	7.26	7.39	7.18	7.29
4.	TELLİ	5.00	7.28	6.86	7.21	7.10	7.14
5.	TELSİZ	5.00	7.50	7.42	7.63	7.43	7.49
6.	TELSİZ PARÇALI	5.00	7.38	7.31	7.51	7.33	7.3
7.	TELLİ	6.00	7.44	7.29	7.39	7.10	7.13
8.	TELSİZ	6.00	7.21	7.67	7.78	7.54	7.52
9.	TELSİZ PARÇALI	6.00	7.67	7.63	7.67	7.48	7.45
10.	TELLİ	7.00	7.37	7.26	7.30	7.10	6.97
11.	TELSİZ	7.00	7.78	7.63	7.61	7.51	7.44
12.	TELSİZ PARÇALI	7.00	7.54	7.48	7.56	7.42	7.38

Şekil 5.15'te görüldüğü üzere farklı başlangıç pH'larına sahip (4-5-6-7) farklı lastik numunelerinin ikinci haftadan itibaren pH 7-8 aralığına ulaştığı 6 hafta sonunda da aynı kaldığı gözlemlenmiştir.



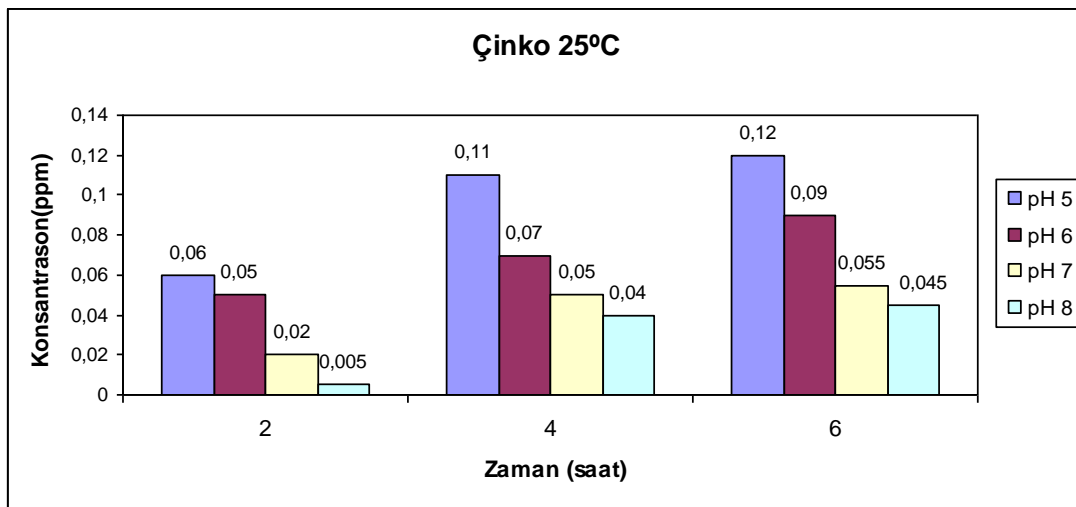
şekil 5.15 Farklı başlangıç pH'lı numunelerin haftalara göre pH değişimi

5.2 Metal Ölçümleri

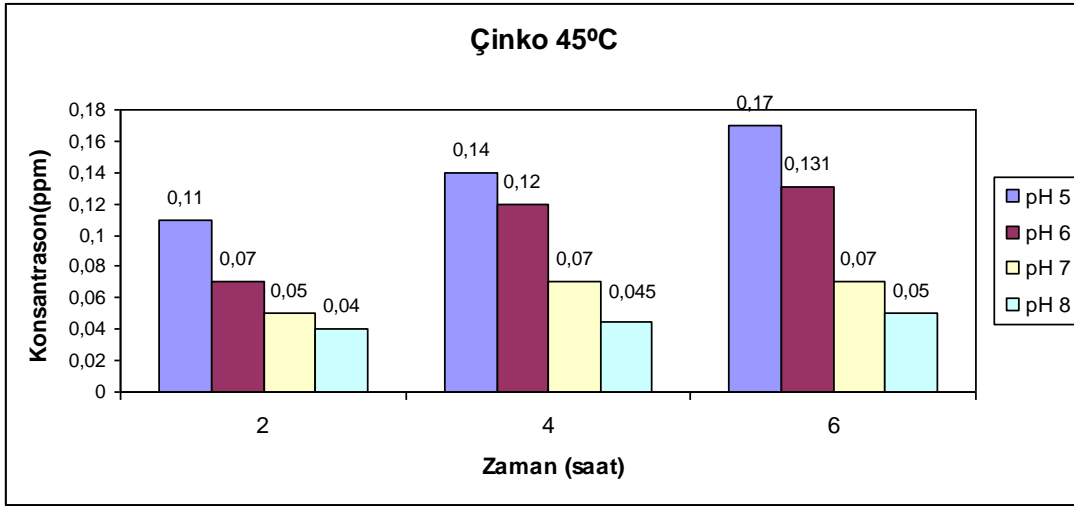
Lastiklerin geçici veya nihai depolanması sırasında sızıntı suyuna geçebilecek ağır metallerin tespiti için tel içeren sırt kısımlarından alınan lastik numuneler iki farklı sıcaklık (25, 45 °C), 4 farklı pH (5, 6, 7, 8) ve 3 farklı sürede (2, 4 ve 6 saat) çalkalayıcı ile çalkalandıktan sonra süzülerek atomik adsorpsiyonda içerdiği çinko, kadmiyum, krom, bakır, civa gibi ağır metal miktarları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Çinko

Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen çinko konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 5.16'da verilmiştir. Çinkonun çözeltiliye geçişinin zamanla arttığı gözlenmiştir. pH artışının çinkonun çözeltiliye geçişinde az da olsa ters yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu sonucun Kanematsu ve diğ. 2009 tarafından yapılan lastik sızıntı suyu karakterizasyon çalışmasında bulunan çinko konsantrasyonlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da yüksek pH değerlerinde çinko konsantrasyonlarının azaldığı rapor edilmiştir. Bu sonucun çinkonun pH 7.5 değerinden sonra çökme eğiliminde (Baes and Mesmer, 1976) olduğu gerçeğinden ortaya çıktığı düşünülebilir. Sıcaklığın beklenildiği gibi tüm pH değerleri için çözeltiliye geçen çinko miktarını arttırdığı görülmüştür.



(a)

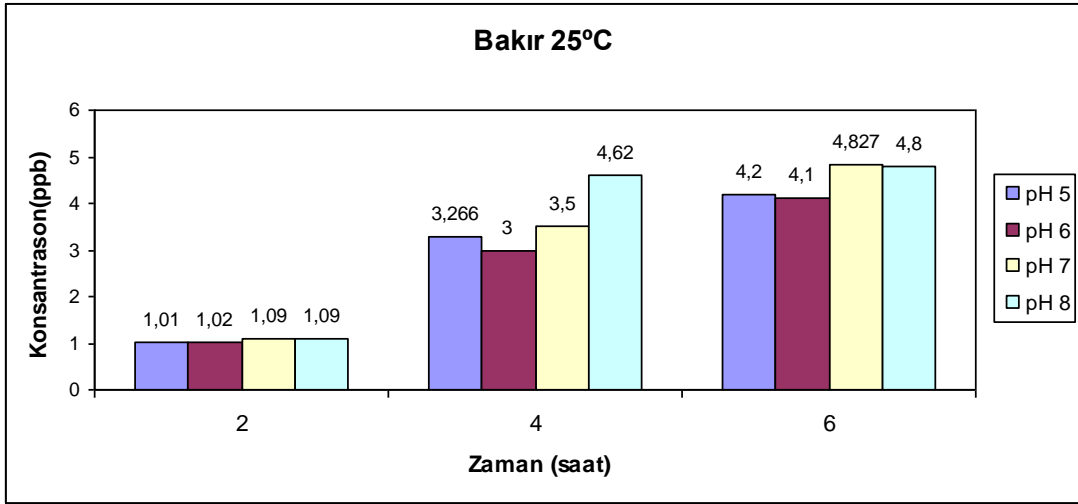


(b)

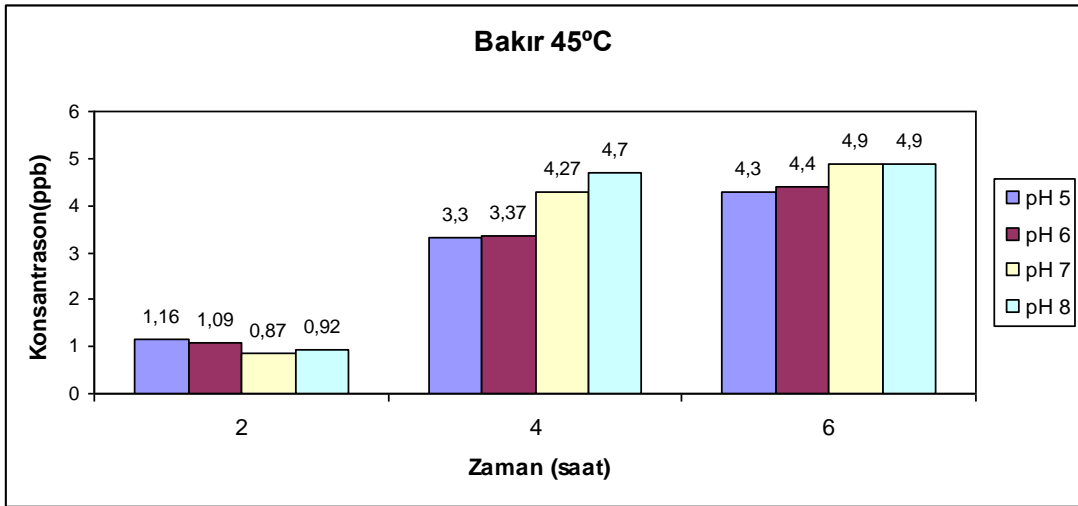
Şekil 5.16 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen çinko konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C

Bakır

Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen bakır konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir. Bakırın çözeltiliye geçişinin zamanla ve sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir. pH değişiminin bakırın çözeltiliye geçişini fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Bu sonucun Kanematsu et al. 2009 tarafından 3 farklı lastik numunesinin sızıntı suyu karakterizasyon çalışmasında sadece 1 lastik çeşidinde bulunan bakır konsantrasyonu ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bakırın pH = 6 değerinden sonra hidroksil bileşikler oluşturarak çökmesi beklendiği (Baes and Mesmer, 1976) halde sızıntı suyunda bulunan diğer iyonlarla yarışma halinde olduğu düşünüldüğünden bakır konsantrasyonunda pH değişimi ile çok fazla olmamıştır.



(a)

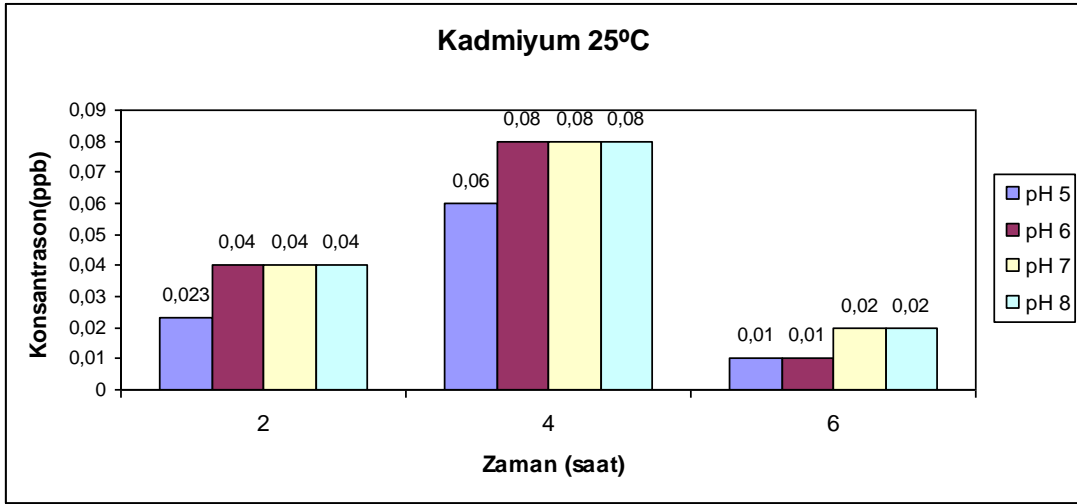


(b)

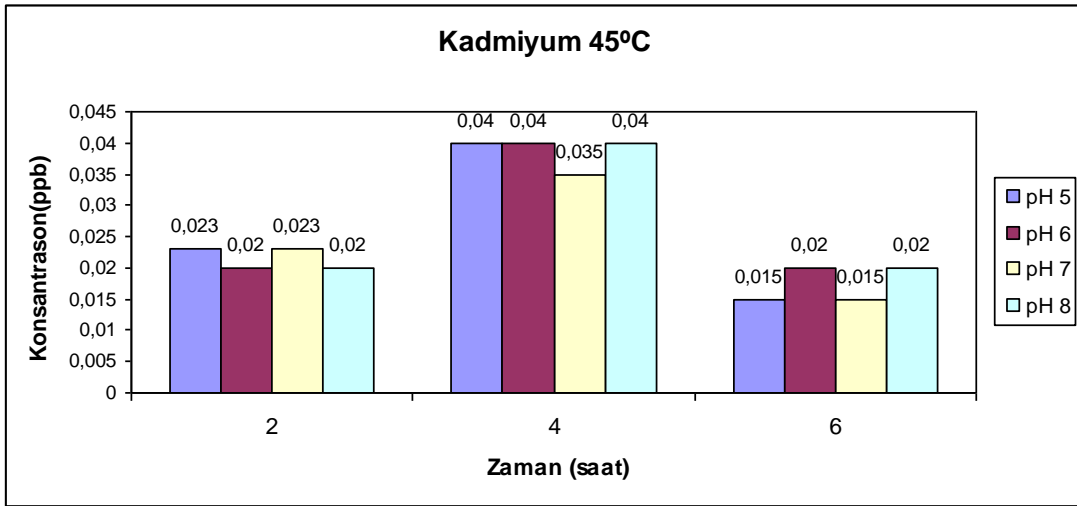
Şekil 5.17 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen bakır konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C

Kadmiyum

Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen kadmiyum konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 5.18'de verilmiştir. Kadmiyum pH = 8.5'ten sonra çökme eğiliminde olduğundan (Baes and Mesmer, 1976) pH değişiminin kadmiyumun çözeltiliye geçişini fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Kadmiyumun çözeltiliye geçişi 4. saatte beklenmedik bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun lastik çözelti suyundaki diğer karmaşık organik bileşimlerden olabileceği düşünülmüştür.



(a)

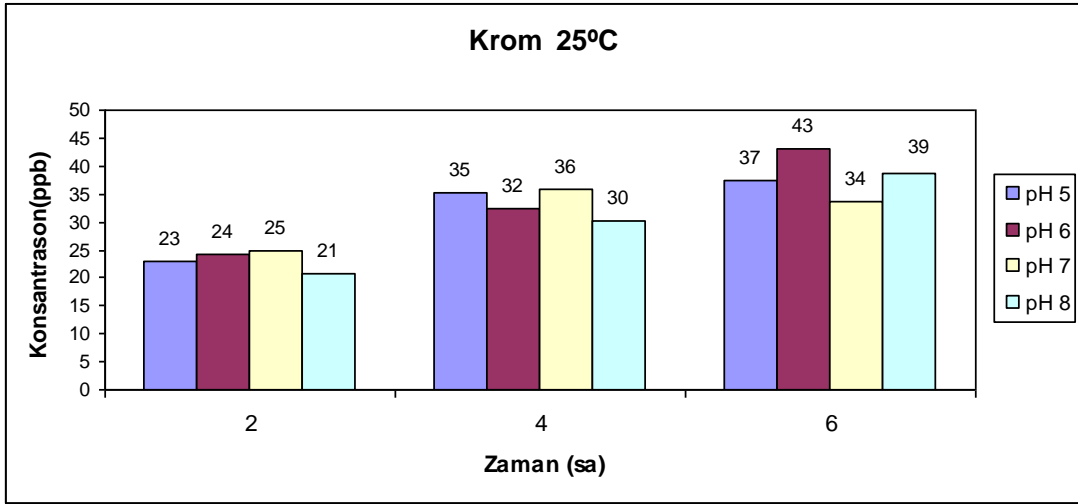


(b)

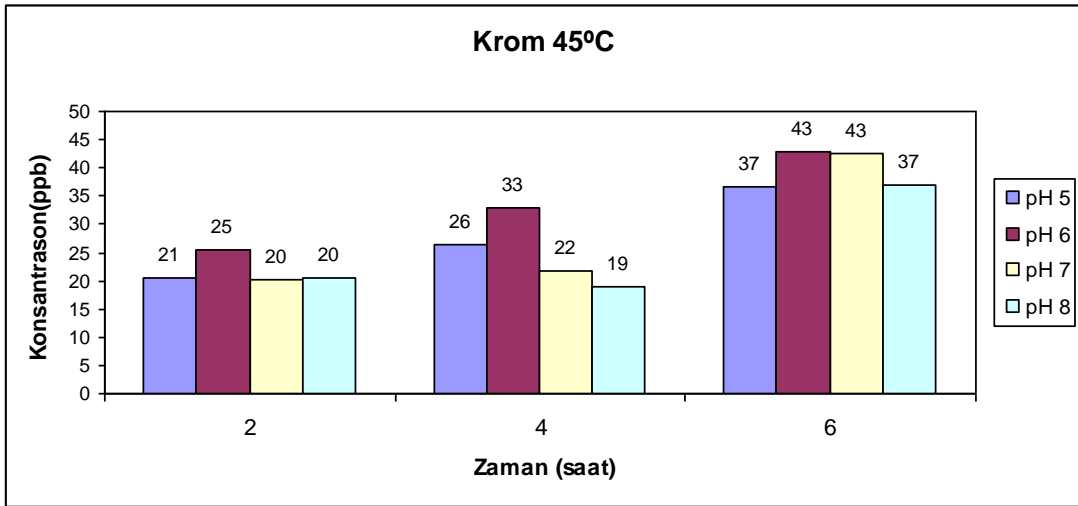
Şekil 5.18 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen kadmiyum konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C

Krom

Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen krom konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 5.19'de verilmiştir. Kromun çözeltiliye geçişinin zamanla ve sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir. pH değişimi ile farklı kromat bileşikler oluştuğu bilindiği (Greenwoodd and Bowman, 1988) halde analizlerde toplam krom ölçüldüğünden pH değişimi ile ölçülen toplam krom konsantrasyonunu değiştirmemiştir.



(a)

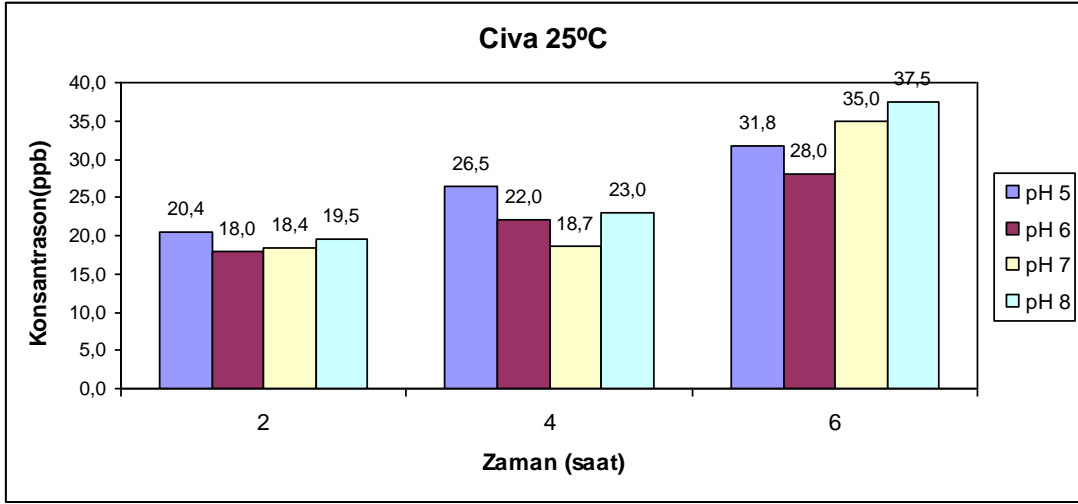


(b)

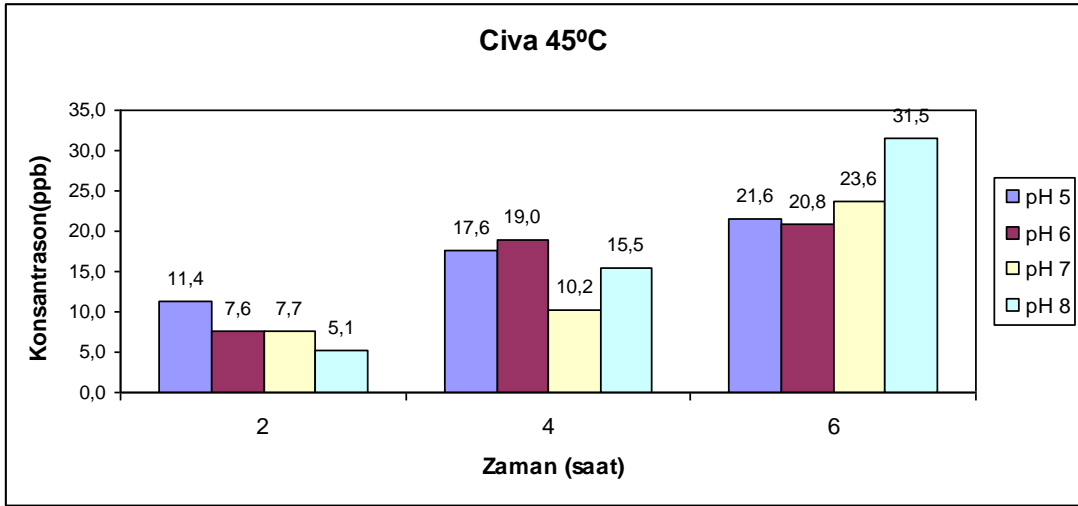
Şekil 5.19 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen krom konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C

Civa

Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen civa konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 5.20'de verilmiştir. Civanın çözeltiliye geçişinin zamanla ve sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir. Civanın konsantrasyonunda pH değişimi ile çok fazla değişme gözlenmemiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.20 Farklı sıcaklık ve pH'larda telli lastik numunelerinden çözeltiliye geçen civa konsantrasyonlarının zamanla değişimi. (a) 25 °C (b) 45 °C

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Gelişen dünya ekonomisinde gerek toplumsal yaşam gerekse endüstrinin gelişimi evrelerinde atık miktarı ve çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Kaynakların etkin kullanılması ve neredeyse yarı mamul kategorisindeki atıkların geri dönüşümü yeni teknolojilerle günden güne desteklenmekte ve oransal olarak artmaktadır. Katı atıklar halen tüm dünyanın en büyük problemlerinden birisidir.

Hurda lastiklerin çevreye ve toplum sağlığına etkilerini araştıran birçok çalışmalar olmuştur. Pekçok kaynağın hurda lastikleri tümüyle inert madde olarak ifade etmelerine karşın, laboratuvarda suya geçebilecek maddelerin tayini için kabul edilen yöntemlere göre bu çalışmanın sonuçları elde edilmiştir.

Bu çalışmada atık lastiklerin yönetimi, yasal durum ile ilgili temel bilgiler ve depolanması aşamalarında (*monofiller*), oluşan sızıntı suyunda bulunabilecek ağır metaller incelenmiştir.

Yapılan ağırlık kaybı ve pH değişimi deneylerinin sonucunda lastik atıkların kontrolsüz olarak atıldıkları açık alanlarda veya depolama alanlarındaki iklim ve ortam şartlarında çözünerek içerdiği kirleticilerin bir kısmının sıvı ortama geçtiği sonucuna varılmıştır. Bir araba lastiğinden ortalama olarak 36 g kirleticinin alıcı ortamlara geçtiğinden hareketle dünyada yılda üretilen lastik adedi ele alındığında alıcı ortamlara tonlarla ifade edilecek kirleticinin karıştığı söylenebilir. Kirleticilerin biyoakümülyasyon ile ağır metalleri canlıların beslenme zincirine taşıyarak akut ve kronik sağlık problemlerine sebep olduğu bilinmektedir.

Lastik monofillerinde oluşabilecek sızıntı suyunun simüle edildiği deneyler sonucunda sızıntı suyundaki metal konsantrasyonlarının değişimi incelenmiştir. Çinko ölçülen diğer ağır metallere (bakır, kadmiyum, krom, civa) oranla yüksek konsantrasyonda bulunmakla birlikte lastik sızıntı suyunda çinko ile birlikte diğer metallerin olacağı ortaya konmuştur. Doğadaki farklı şartlar göz önüne alınarak iki farklı sıcaklık ve pH değerlerinde bu çalışmalar yürütülmüştür.

Ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetimine dair ülkemizde yeterince çalışmalar yapılamamıştır. İlgili yönetmeliğin uygulanması ve gerekli kontroller ile bölgesel atık yönetim planları oluşturularak etkin bir atık lastik yönetim sistemi kurulmalıdır. Ayrıca bir

lastiğin yeniden işleme tabi tutulmadan doğrudan veya düşük maliyetli işlemler ile yeniden hammadde olarak kullanılabilirliği, enerji kazanılabilirliği çok karmaşık olmayan proseslerdir.

Diş derinliğinin azalması sonucu kullanılamamasının önüne geçmek amacıyla tekrar kaplanması; kaymaz zemin ve korunma amaçlı kullanılması; parçalanarak, granül haline getirilerek inşaat malzemeleri ve elastomerik ürünlerin üretilmesi atık lastiğin tekrar kullanımına örneklerdir. Aynı zamanda atık lastikler çimento ve kağıt fabrikalarıyla termik santrallerde yakıt olarak, elektrik ve buhar üretimi için değerlendirilebilirler. Yeniden kullanım alternatifleri dahilinde atık lastikler piroliz ile farklı ürünlere dönüştürülebilir. En eski bilinen yöntemlerden birisi olmasına karşın atık lastiklerin depolanması; taşıma maliyetleri, depolama alanlarının daralması, çevresel etkileri sebebiyle günümüzde tercih edilmemektedir. Lastiğin kullanım dışına çıkması sonrası değerlendirildiği alanların artmasına bağlı olarak ekonomik değeri her geçen gün daha çok anlaşılmaktadır.

Üretimi her geçen gün artan lastik sadece kullanımının daha etkin hale getirilmesine bağlı olarak daha az atıl hale gelebilir. Bu yönde üreticilerin teknolojik ve eğitsel alanlarda mevcut faaliyetlerinin yeterli olmadığı gözlenmiştir. Tüketimin azaltılması yönünde atık lastiklerin kullanımını ekonomik ve çevresel yönde pozitif bir adımdır.

KAYNAKLAR

Adhikari, B., De, D. ve Maiti, S., Reclamation and Recycling of Waste Rubber, Progress in Polymer Science, Elsevier, 2000.

Atık Eylem Planı 2008-2012, Çevre Orman Bakanlığı, 2007.

Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, AB Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Ulusal Program, 2003.

Baes, C.F., Mesmer, R.E., Hydrolysis of Cations, Wiley, New York, 1976.

Batır, B., Türkiye için kullanılmış lastik yönetimi araştırması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.

Bell, J. K., Handbook of Solid Waste Management- Scrap Tire, Mc Graw-Hill, 2002.

Bilitewski, B., Hardtle, G., Marek, K., Waste Management, Springer, 1997.

Birpınar, M.E., Cihan, F., İstanbul'da Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Yönetimi, Makale, TÜRKAY, 2009.

Bishop, P.L., Pollution Prevention: Fundamentals and Practice, McGraw-Hill, Boston , 2004.

Brigatti, M.F., Galan, E., Theng, B.K.G., Structures and Mineralogy of Clay Minerals in Bergaya, Elsevier, 2006.

Clark C., Meardon, K., Russell D., United States, Scrap tire technology and markets, Office of Solid Waste, 1992.

De, S.K., Isayev, A., Khait, K., Rubber Recycling, CRC Press, USA, 2004

Dhir, R. K., Limbachiya, M. C., Paine, K. A., Recycling and Reuse of Used Tyres, 2001.

Edeskar, T., Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology, 2004.

Gönüllü, M. T., Atık lastiklerin yönetimi, Makale, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.

Greenwood, N.N. and Bowman, R.S., Chemistry of the elements, Pergamon, New York, p. 1175, 1988.

Gualtieri, M., Andrioletti, M., Vismara, C., Milani, M., Camatini, M., Toxicity of tire debris leachates, Article, Department of Environmental Science, University of Milano- Bicocca, Italy, 2005.

Higgins, T. E., Raton, B., Pollution Prevention Handbook, Lewis Publishers, 1995.

Indicator fact sheet TERM 2002 11b EU — Waste from vehicles (number and treatment of used tyres).

İktisadi Kalkınma Vakfı, Avrupa Birliğinin Çevre Politikası ve Türkiye'nin Uyumunu, İstanbul, 2001.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timır, S., Metallerin Çevresel Etkileri-I, Makale, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2004.

Kanematsu, M., Hayashi, A., Denison, M. S., Young, T. M., Characterization and potential environmental risks of Leachate from shredded rubber mulches, Article, University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, Chemosphere, 2009.

Karaağaç, B., Lastik sanayinde takviye malzemeleri hurdalarının kriyonejik yöntemle geri kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2003.

Kraiburg, Gummi werk Gmbh Co., Germany, 1992.

Leff, A.A., McNamara, C. J., Leff, L.G., Bacterial communities of leachate from tire monofil disposal sites, Article, Department of Biological Sciences, Kent State University, Ohio, USA, 2007.

Mark, J.E., Erman, B., Eirich, F.R., Science and Technology of Rubber, Elsevier, 2005.

Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, 26357 sayılı Resmi Gazete, 2006.

Ryhner. C.R., Schwartz. L.J., Wenger. R. B., Kohrel. M. G., Waste Management and Resource Recovery, 1995.

Sarasa, J., Llabres, T., Ormad, P., Mosteo, R., Oveelliro, J., Characterization and photo-Fenton treatment of used tires leachate, Article, Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies, University of Zaragoza, Spain, 2006.

Scheirs, J., Kaminsky, W., Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels, Wiley, 2006.

Sharma, V.K., Fortuna, F., Mincarini, M., Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment, Article, ENEA C.R., Italy, 1999.

Siddique, R., Naik, T.N., Properties of concrete containing scrap tire rubber- an overview, Article, Department of Civil Engineering of Mechanics, University of Wisconsin, USA, 2004.

Sugözü, İ., Mutlu, İ., Atık Taşıtların Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri, Makale, Taşıtların Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2009.

Taşıtların Lastiklerinin Hammaddelerinin Üretim Metodları, PETLAS.

Tchobanoglous, G., Kreith, F., Handbook of Solid Waste Management, McGraw-Hill, 2002.

Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres, 1999 (<http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech.usedtyres.pdf>).

Topçu, İ. B., Demir, A., Lastik Agregalı Harçlarda Deniz Suyu Etkisi, Makale, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2004.

Tunç, B., Bektaş, N., Öncel, S., Lastik Atıkların Mikrodalga Pirolyzi İle Yeniden Değerlendirilmesi, Blacksea International Environmental Symposium, Giresun, 2008.

Türkiye İstatistik Kurumu 2005 Yılı Geri Dönüşüm Verileri.

Türkiye İstatistik Kurumu 2006 Belediye Verileri.

Türkiye İstatistik Kurumu 2006 Yılı Geri Dönüşüm Verileri.

U.S. Environmental Protection Agency, Scrap Tire Technology and Markets, William Andrew Publishing/Noyes, 1992.

Vahapoğlu, V., Kauçuk Türü Malzemeler- Doğal Kauçuk, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makale, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2006.

Varol, R., Türkiye’de ana malları sanayi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1984.

White, J.R., De, S.K., Rubber Technologist Handbook, Rapra Technology Ltd., United Kingdom, 2001.

Wik, A., Dave, G., Acute toxicity of leachates of tire wear material to *Daphnia magna* – Variability and toxic components, Article, Department of Applied Environmental Science, University of Göteborg, Sweden, 2005.

Wik, A., Dave, G., Occurrence and effects of tire wear particles in the environment – A critical review and initial risk assesment, Article, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Gothenburg, Environmental Pollution, 2009.

(İnternet 1) www.ozkalastik.com .

(İnternet 2) www.bridgestone.eu/corporate/.../tyre-manufacturing-process .

(İnternet 3) <http://www.carbonrecovery.co.nz/files/carbon/carbonrecovery-homepage.jpg> .

(İnternet 4) http://media.lt05.net/3104/Media_Library_GNR/Nov_08/EU/tire_pile_fire.gif .

(İnternet 5) www.bcm.org.tr/pdf/lastiklerin%20geri%20kazanimi.pdf .

(İnternet 6) www.lasder.org.tr .

(İnternet 7) <http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/lisans/lisans/lastik.doc> .

(İnternet 8) <http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/lisans/lisans/lasdep.doc> .

ÖZGEÇMİŞ

Berna TUNÇ, 23 Ekim 1983'te İstanbul'da doğmuştur. İlkokul eğitimini İzmir'de, ortaokul eğitimini Elazığ'da, lise eğitimini ise Ankara'da tamamlamıştır. 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden dereceyle mezun olmuştur. Hafriyat atıklarının geri kazanımı konusunda özel bir şirkette çalışmış halen ambalaj atıklarının geri dönüşümü konusunda özel bir şirkette görev yapmakta ve eğitim hayatına devam etmektedir.