



Üretim Fazlası Ürün (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene- EPDM) Kauçuktan Granüllerin Karakterizasyonu ve Yeniden Kullanım Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Teknik ve Yasal Değerlendirme

Characterization of Excess Production Product (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene-EPDM) Rubber Granules and Technical and Legal Evaluation for Determining Reuse

Melike İşgören^{1*} , İsmail Toröz²

¹Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma ve Kontrol Programı, Kocaeli, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Kauçuk, insan hayatının kolaylaştırılması için her gün bir başka gelişim ve üretim alanı yaratılan endüstriyel sahalarda kendine geniş kullanım ve uygulama alanı bulan teknolojik bir malzemedir. Bu kadar çok kullanılması yine aynı oranda atık üretilmesine de sebep olmaktadır. Bu atıkların yönetiminde asıl olan üretilen atık miktarlarının azaltılmasının yanı sıra oluşan atıkların geri kazanım ve yeniden kullanımının artırılmasıdır. Dolayısı ile atıkların iyi tanınması doğru tanımlanması, yönetiminin doğru şekilde yapılmasının temel gereğidir. Bu çalışmada bir kauçuk türü olan Etilen Propilen Dien Kopolimer (EPDM)'lerin otomotiv sektöründen kaynaklanan üretim artıklarının yeniden kullanım alanlarının doğru belirlenebilmesi için fiziksel kimyasal ve teknik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Atık malzemeden üretilen granül malzemenin ihracatı ve saha kullanım alternatifleri mer'i mevzuat kapsamında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerin değerlendirilebilir atık niteliğinde olduğu, Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) kodları içerisinde '400270000000: Etilen-Propilen-Konjuge Olmamış Dien Kauçuk (EPDM)' kodlu madde kapsamında değerlendirilmesi gerektiği, ayrıca da insani kullanım amaçlı çocuk parkı ve spor sahası gibi alanlarda dolgu malzemesi vb. amaçlarla kullanılmaya uygun bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM), mevzuat, otomotiv, yeniden kullanım.

Abstract

Rubber is a versatile material with many applications in various industrial fields. However, its extensive use also leads to the generation of significant amounts of waste. Therefore, waste reduction and the promotion of waste recovery and reuse are crucial in waste management. Therefore, accurate recognition and identification of waste is essential for proper management. This study aims to determine the physical, chemical, and technical properties of Ethylene Propylene Diene Copolymer (EPDM), a type of rubber, to identify the reuse areas of production residues from the automotive industry. The analysis results will be evaluated. The evaluation of alternatives for field use and the export of granule material produced from scrap material has been conducted under current legislation. The materials used for sealing windows and doors in the automotive industry, specifically EPDM rubber wicks, are recyclable scrap. The excess products produced during their production should also be evaluated as recyclable waste within the GTIP codes '400270000000: Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene Rubber (EPDM)'. It was concluded that along with other filling materials, it is suitable for use in areas such as children's playgrounds and sports fields for humanitarian purposes.

Keywords: Automotive, etilen propilen dien monomer (EPDM), legislation, reuse.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: melike.isgoren@kocaeli.edu.tr

Melike İşgören orcid.org/0000-0003-0952-1403

İsmail Toröz orcid.org/0000-0002-0340-6925

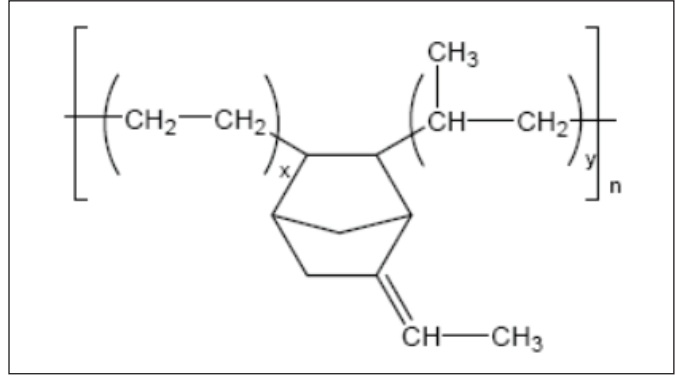


1. Giriş

Kauçuk; süte benzeyen özsuya sahip bazı bitkilerden doğal yolla ve yahut da alkol-petrol bileşimlerinden suni yolla elde edilebilen bir materyaldir (Vahapoğlu 2013). Tarihte ilk kez, Hevea Brasiliensis ağacının (Güney Amerika) lateksinden ayakkabı imal etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra Kristof Kolomb tarafından Amerika'nın keşfedilmesi neticesinde Avrupa'ya getirilmesi söz konusu olmuş ve burada da kullanımı yaygınlaşmıştır. Başlarda yapışkanlık ve sıcaklık değişiminden etkilenmesi dolayısı ile kullanımı sınırlı kalsa da Charles Goodyear vulkanizasyon adı verilen bir işlem uygulanması sonucunda malzemenin elastikiyet özelliklerini geniş sıcaklık aralıklarında koruyabildiğini keşfetmiştir. Bu gelişme ile beraber kauçuğun kullanımı daha da artmıştır (Cömez ve Öztürk 2022). Esneklik, düşük bozunma ve yayılma, kolay işlenebilirlik, yüksek dinamik performans, iyi aşınma dayanımı ve korozyon sınırları dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması kauçuğu günümüzde önemli ve yaygın kullanıma sahip bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Otomotiv sektöründe insan hayatının korunmasına hizmet eden parçaların bir kısmı kauçuktan üretilmektedir. Bu kauçuğun %60'ından fazlası, araç lastiği üretiminde kullanılmaktadır. Kauçuğun kullanıldığı diğer otomotiv parçalarından bazıları ise transmisyon kayışları, aks körükleri, yakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, contalar, kapı ve cam fitilleri, radyatör, hava hortumları, izolasyon elemanları, salınım ve titreşim takozları vb. dir.

Kauçuklar çapraz bağlı olmayan ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olma kabiliyetine sahip polimerlerdir. Elastomer ve kauçuk kavramları ASTM standartlarında tanımlanmıştır (ASTM-D 1566, 1993). ASTM 1566 standardına göre elastomerler, uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla hemen orijinal boylarına dönebilen makromoleküler yapı olarak tanımlanmaktadır. Kauçuk ise, uygulanan kuvvet kaldırıldığında belirli bir süre sonunda tekrar eski haline dönebilen makromoleküler yapı olarak tanımlanmaktadır. Buradan hareketle tüm kauçuk malzemelerin elastomer olduğu ancak tüm elastomerlerin kauçuk malzeme olmadığı söylenebilmektedir (Güler 2021, Vahapoğlu 2013).

Kauçuk tiplerinin arasında Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) kauçuğu en çok kullanılan tiplerindendir (Öteleş 2023). E; etilen, P; propilen, D; dien anlamındadır, M ise ASTM standardı içindeki D-1418 sınıflandırmayı gösterir. Bu elastik polimer madde etilen, propilen ve doymamış dienin kopolimerizasyonu ile elde edilir. EPDM kauçuğun moleküler yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Etilen propilen dien kauçuğun yapısı (Öztürk 2008).

EPDM terpolimeri etilen ve propilen monomerleri ve ayrıca dien içeren üçüncü bir monomere sahiptir ve peroksitle ve kükürtle vulkanize olabilir. Camısı geçiş sıcaklığı propilen oranına bağlı olarak değişir ve -54°C ile -64°C arasındadır. Bu nedenle düşük sıcaklıkta çalışma performansı yüksektir. EPM ve EPDM kauçukları ısı, ışık ve oksidasyona karşı dayanıklıdır. Elektrik özellikleri gelişmiştir. Mekanik özellikleri doğal kauçuk ile bütül kauçuk arasındadır Yüksek dolgu ve yağ alabilme kapasitesine sahip olduğundan düşük maliyette karışımlar oluştururlar. Seyreltik veya konsantre asit ve alkalilere dayanıklılık gösterirler. Düşük yoğunluklu olduklarından hafif malzemeler üretilebilir (Vahapoğlu 2007).

Bu denli yaygın kullanımı olan EPDM atıkları, biyolojik olarak parçalanamayan atıkların büyük bir parçasını oluşturmaktadır. Bu atıkları uzaklaştırmada kullanılan eski yakma, piroliz ve düzenli depolama gibi yöntemlerin sebep olduğu ekolojik ve çevre sorunları kauçuk atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik çabaları arttırmakta ve etkili bir geri dönüşüm teknolojisinin geliştirilmesi arayışını arttırmaktadır (Jacob vd. 2001). Son dönemde devulkanizasyon teknikleri, çevreye duyarlı olmalarının yanında hammadde tüketiminin azaltılmasına imkan verdikleri için dikkat çekmektedirler (Çataklı vd. 2019). EPDMler stabil bileşimleri sayesinde, daha küçük kauçuk bileşiklere öğütülebilirler ve spor parkurları, yollar veya çocuk oyun alanları için kauçuk paspaslar gibi uzun bir katma değerli çözüm listesi için kullanılabilirler (Demirer vd. 2018). Karbon siyahı gibi bileşenler de EPDM'den ekstrakte edilebilir ve yeni EPDM'ler dolgu maddesi olarak veya farklı malzemeler için bileşikler olarak yeniden kullanılabilirler. Bu malzemenin işlenmesi ve kullanılması önemli miktarda atık bırakmaktadır. Ancak bu malzeme termoset yapısından dolayı doğrudan geri dönüştürülmemekte ve genellikle çimento sektöründe yakıt olarak kullanılmaktadır. EPDM'lerin yeniden kullanılması, doğal

kaynakların daha sorumlu bir şekilde kullanılmasına izin vererek, ham hammadde ihtiyacını azaltmaya yardımcı olur.

2018 yılında EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer) pazarı yaklaşık 6,48 milyar ABD doları olarak raporlanmıştır. Bu pazarın 2026 yılına kadar yaklaşık 9,87 milyar ABD doları gelir elde etmesi beklenmektedir. Bu pazarın yıllık büyüme oranı kabaca %5,4'tür. Küresel EPDM pazarı, otomotiv, inşaat, lastikler ve tüpler, teller ve kablolar, yağlayıcı katkı maddeleri ve diğer sektörlerle yönelik uygulamaya dayalı olarak bölünmüştür. Otomotiv endüstrisinde EPDM, radyatör, fren parçaları, silecekler, cam geçiş kanalı, gövde contası, motor takozları ve çatı kaplama membranının imalatının yanı sıra araç cam sistemleri, nem bariyerleri, O-ringler, valfler ve pompaların yapımında kullanılır. Otomotiv sektöründe EPDM kullanımının yaygınlaşması nedeniyle otomotive ait pazar payının en yüksek oranda büyümesi beklenmektedir (<https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/01/1895449/0/en/>). Bu sebeple otomotiv sektöründen kaynaklanan üretim fazlası ve atık haldeki EPDM malzemenin kendine uygulama alanı ve atık yönetim stratejisi bulması doğal kaynakların korunması ve çevresel kirliliğinin önlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

EPDM atık kauçuğun geri dönüşümü, polimer zincirleri arasındaki çapraz bağların kırılması (devulkanizasyon) yoluyla işlenmemiş formuna döndürülmesini veya atık kauçuğun yeni bir formda yeniden kullanılmasını içerebilir. Ancak EPDM kauçuğun geri dönüşümüyle ilgili çeşitli zorluklar vardır. Bunlardan bazıları devulkanize edici maddelerin birçoğunun kauçuktaki çözünürlüğünün düşük olması ve ağda daha yüksek oranda stabil monosülfidik çapraz bağların var olmasıdır. Literatürde EPDM yapısındaki monosülfidik C-S, polisülfidik S-S ve peroksit C-C bağlarını kırmak için gereken enerjiler sırasıyla 270, 240 ve 345 kJ/mol olarak raporlanmıştır. Atık EPDM'lerin yeniden kullanımına ait literatürde yer alan bazı çalışmalardan örnekler verilecek olursa; Mohaved ve ark. atık EPDM otomotiv parçalarından elde edilen atık toz, hem ısıtma hem de yüksek basınçlı buhar sağlayan endüstriyel bir otoklav kullanılarak devulkanize etmişler ve mekanik özelliklerin aşırı derecede bozulmaması için geri kazanılan kauçuğun çok düşük oranda işlenmemiş kauçuğa katılarak yeni ürün üretiminde ürün özelliklerini bozmadan kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Mohaved 2015). Ayrıca bu alanda gerçekleştirilen bir çok çalışma kesme eylemi sırasında devulkanize edici maddeler olan disülfür, merkaptanlar ve alifatik aminlerin eklenmesiyle devulkanizasyon verimliliği arttığını göstermiştir (Sutanto 2006, Mohaved 2015). EPDM'nin yeniden kulla-

nımına ait bir çalışmada Singh ve ark. (Singh 2017) modifiye edilmiş EPDM kauçuk içeren epoksicam elyaf takviyeli nanokompozitler geliştirilmişler ve darbe dayanımına etkisini incelemişlerdir. Nanokompozitlerde ağırlıkça %1 nano kil ve ağırlıkça %2.5-10 EPDM (hem işlenmemiş, hem de modifiye edilmiş) kullanılmışlar ve en çok darbe dayanımını %5 EPDM ilavesi ile elde etmişlerdir. Merve Türkben çalışmasında lastik ve EPDM kauçuğu atıklarının kompozit malzemede kullanımını araştırmış ve epoksi-EPDM malzemesinin malzeme özellikleri nedeniyle yüksek dayanım ve güvenilirlik gerektiren bağlar ve uygulamalar için kullanımının mümkün olmadığını ortaya koymuştur (Türkben 2019).

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerin yeniden kullanım alanlarının doğru belirlenebilmesi için fiziksel kimyasal ve teknik özelliklerinin araştırılmasıdır. Ayrıca atık malzemeden üretilen granül malzemenin ihracatının mümkün olup olmadığı ve insani kullanım amaçlı sahalarda değerlendirilmeye uygun bir malzeme olup olmadığı teknik ve yasal açıdan değerlendirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Üretim Fazlası Ürünlerden (EPDM) Granül Üretimi

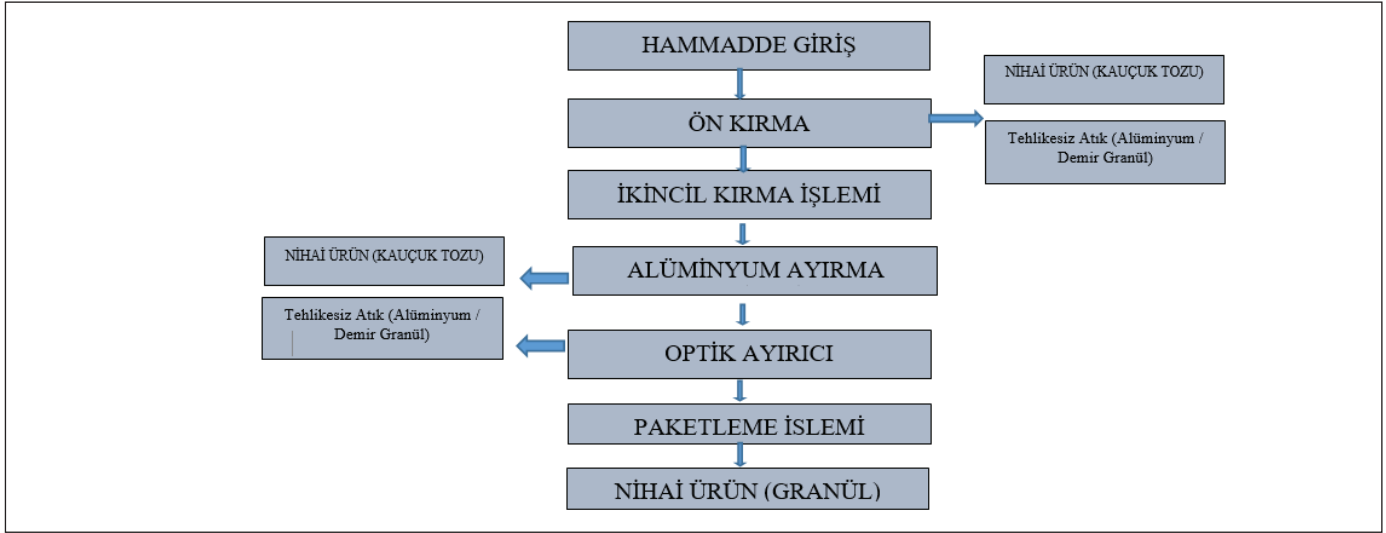
Örnek geri dönüşüm tesisinde EPDM kauçuk granül üretimine proses özeti ve üretim fazlası ürünlerden (EPDM) granül üretimi iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Ön Kırma İşlemi:

Malzeme tedariki yapılan firmalardan malzeme kırılmış olarak gelmektedir. Malzemeler kepçe yardımıyla 80'lik kırıcı makinesine beslenerek 0-6 mm aralığında kırılmaktadır. Bu işlemde çıkan malzemeler elekten geçirilerek bir kısmı ürün vasfında olduğundan dolayı sarsak eleklerle gönderilmektedir. Sarsak eleklerle gönderilmeyen malzeme manyetik tambur ve alüminyum alma ayırıştırıcısından geçirilerek ikincil kırıcılara gönderilmektedir. Ön kırma işlemi esnasında kauçuk içerisinde bulunan demirin tamamı ve alüminyumun bir kısmı ayrıştırılmaktadır. Kırma esnasında oluşan toz kauçuk filtre yardımıyla çuvallanmaktadır.

İkincil Kırma İşlemi:

Ön kırma işlemlerinden geçen malzeme ikincil kırıcılarda 0-4 mm aralığında kırılarak sarsak eleğe gönderilir. Sarsak elekte ön kırma işleminden gelen ve ikincil kırma işlemin-



Şekil 2. Üretim fazlası ürünlerden (EPDM) granül üretimi iş akış şeması.

den gelen ürünler ebadına göre granül ve toz şeklinde elenir. Sonrasında Siloya basılır. Silodan taş makinelerine gönderilen ürün içerisinden alüminyum elenir. Taş makinelerinden çıkan kauçuk ürün optik ayırıcı silosuna basılır. Optik ayırıcıda içinde kalmış olabilen metal ve metal olmayan parçalar ayrılarak ürün temiz şekilde ürün paketleme silosuna gönderilir. EPDM Kauçuk Granül ürünü çuvallara konur, paketleme işlemi yapılarak ürün stok sahasına taşınır. Bu ürün, fitil üreten firmalarda, vulkanize edilip üretim fazlası olarak çıkmadan önce ön parçalamadan geçirilmekte (10-50 mm), geri dönüşüm tesisinde tekrardan kırılıp elenmesi ile 1-3.35 mm ebatlarında elde edilen ürün paketlenip yeniden kullanıma hazır hale gelmektedir.

2.2. EPDM Üretim Fazlası Ürünlerinin Karakterizasyonu

Bu çalışma kapsamında otomotiv sektöründe, sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerden elde edilmiş granüllerin (bu noktadan sonra bu malzeme 'UF-EPDM' olarak anılacaktır) özelliklerinin belirlenmesi ve malzemenin tanımlanması amacı ile yapılan analizler, analiz metotları ve testi yapan kurum, kuruluş bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. UF-EPDM Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

UF-EPDM için hazırlanmış test/analiz raporlarına ait sonuçlar ve sonuçlara ait yorumlar aşağıda verilmiştir.

A. PAH analizi 'Evsel (yerleşim), ticari ve hafif endüstriyel, endüstriyel veya medikal ortamlarda kullanımı amaçlanan

malzemelerin bu gibi amaçlarla kullanıma uygunluğunun tespiti; 'AfPS (Alman Ürün Güvenliği Komisyonu) GS 2019:01 GS İşaretlerinin Verilmesinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH'lar) Test Edilmesi ve Değerlendirilmesi Yöntemi' ne uygun olarak yapılmıştır. AfPS tarafından geliştirilen AfPS GS 2019:01 standardında, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) için genel spesifikasyon (GS) tanımlanmaktadır. Bu güvenlik ve sağlık (GS) standardı, teste konu olan malzemenin risk değerlendirmesi sırasında sağlığa yönelik bilinen riskleri belirlemek ve değerlendirmekle yükümlüdür. GS standardı, hem yeni bir GS işaretinin verilmesi sürecinde hem de mevcut GS işareti sertifikalarının izlenmesi çerçevesinde risk değerlendirmesi, kategorizasyon ve test sonuçlarının değerlendirilmesi adımlarını kullanarak nihai bir sonuç sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında UF-EPDM örneğine ait AfPS GS 2019:01 GS işaretinin verilmesi ile ilgili olarak hazırlanan raporda Poliaromatik Hidrokarbon (PAH) analizi sonucunu içeren raporda sonuç 'geçti' şeklinde belirtilmiştir. Toplam PAH değerini oluşturan maddelerin analiz sonuçları incelendiğinde bu maddelerin bir kısmının numunede bulunmadığı (benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, Dibenzenzo[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, phenanthrene, pyrene, anthracene, fluoranthene) diğerlerinin de (benzo[e]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, Naphthalene) 0,1 mg/kg değerinin altına olduğu görülmektedir. Toplam 15 adet PAH türü için ölçülen toplam değer <5 mg/kg limitinin altında olduğu raporlanmıştır. Buradan hareketle, PAH parametresi açısından numunenin, izin verilebilir sınırların altında olduğu ispatlanmıştır.

B. Yangına tepki sınıfı raporu: Bu raporda, malzemenin yangına tepki sınıfının belirlenmesi için yapılan analize ait bilgiler ve sonuçlar, rapordan alındığı şekliyle aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2'de belirtilen ilgili EN ISO standartları, evsel (yerleşim), ticari ve hafif endüstriyel veya endüstriyel ortamlarda kullanımı amaçlanan malzemelerin yangın dayanımının tespiti amacı ile uygulanmaktadır. Rapora göre UF-EPDM bu standartların gereğini karşılama konusunda yeterli bulunmuş ve malzemenin dış ortamlarda kullanılabilirliğinin yangın güvenliği açısından bir sorun teşkil etmeyeceği raporlanmıştır.

Çizelge 2'den elde edilen sonuçlara dayanarak malzemenin çevresel ortamlarda kullanılacak materyallerin sağlaması gereken gereklilikler açısından UF-EPDM malzeme insani, ticari, hafif endüstriyel ve endüstriyel alanlarda uygulanabilir bir malzeme olarak sınıflandırılmıştır. Malzemenin yalnızca sağlık sahalarında (sağlık iyileştirme hizmeti verilen kapalı alanlar; hastane, sağlık ocağı vb.) kullanıma uygun olmadığı bildirilmiştir (Çizelge 3).

C. Belirli elementlerin göçü test raporu: Belirli elementlerin göçü TS EN 71-3:2013-FA I:2014-12 Oyuncak güvenliği-Bölüm 3 kapsamında değerlendirilmiştir. Belirli elementlerin taşınımının (göçü) test raporunun incelenmesinden, ağır metal sonuçlarının (Alüminyum, Antimon, Arsenik, Bakır,

Çizelge 1. UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan analizler ve hazırlanan raporlar.

Analiz/Rapor adı	Yapan Kurum/Kuruluş	Metot
Poliaromatik hidrokarbon (PAH) analizi	Eurolab Laboratory Services	AfPS GS 2019;01 PAK
Belirli elementlerin göçü test	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI Kimya Laboratuvarı Ankara Müdürlüğü rapor no: 202082 (386554),	TS EN 71-3'e göre Ağır metal analizleri ICP-OES ve/veya ICP MS ile yapılmıştır.
Ftalat analizi	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BASKANLIĞI Kimya Laboratuvarı Ankara Müdürlüğü, rapor no:386564	GC-MS
Kimyahane analizi	T.C. Ticaret Bakanlığı Doğu Marmara Gümrük ve Dış Ticaret Bölge Müdürlüğü, Kocaeli Laboratuvar Müdürlüğü, rapor no:4122BYN7122	
Granül karakterizasyon analizi	Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi, rapor no:2021-0073	Termal analizler: DSC ve TGA
Yangına tepki sınıfı raporu	Eurolab Laboratory Services 2018210901 nolu	EN-ISO-11925-2 EN-ISO-9239-1
EPDM Granül Ürün Performans test raporu	SportsLabs Testing Technology for Sport, Laboratory Performance Report, rapor no:18146/5368	FIFA Test Metodu-11 FIFA Test Metodu-10-EN 20105-A02:1995 EN 14836:2005 ve EN 20105-A02:1995 DIN 18035-7

Çizelge 2. UF-EPDM'nin yangına tepki sınıfı raporu sonucu.

Yangın testine reaksiyonu-alevin doğrudan çarpmasına maruz kalan yapı ürünlerinin tutuşabilirliği (Bölüm 2)	EN-ISO-11925-2	Geçti SINIF B TS-EN 13501-1
Döşemeler için yangına tepki testleri (Bölüm 1) Bir radyan ısı kaynağı kullanarak yanma davranışının belirlenmesi	EN-ISO-9239-1	Geçti

Çizelge 3. UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin kullanılacağı alan gereksinimleri açısından değerlendirme.

Uygunluk	İnsani kullanım amaçlı alan
Uygun	Ticari ve hafif endüstriyel alan
Uygun	Endüstriyel alan
Uygun değil	Sağlık sahası

Baryum, Bor, Cıva, Çinko, Kadmiyum, Kalay, Kobalt, Kurşun, Mangan, Nikel, Selenyum, Stronsiyum) standartta belirtilen limit değerlerin altında kaldığı ve sonuçta testi “Geçti” şeklinde belirtildiği görülmektedir. Toplam krom için verilmiş “Not 1”deki açıklamada ise “Toplam Krom (Krom (III) + Krom (VI)) taşınımı, eğer Krom (VI)’nın maksimum sınır değerinin altında ise, hem Krom (III) hem de Krom (VI) için gereklilikler sağlandığı için, malzemenin uygun olduğu sonucuna varılır.” ifadesi yer almaktadır. Analiz edilen numunedeki toplam Krom miktarı, Krom (VI) nın maksimum limit değerinden yüksek olduğundan dolayı, Krom (VI) ve Krom (III) değerlendirilmez.” ifadesine yer verildiği görülmüştür. Sonuç olarak ‘Toplam Krom’ miktarı net olarak değerlendirilememiş olmakla birlikte içerdiği diğer elementlerin hepsinin sınır değerlerin altında kalması sebebi ile malzeme belirli elementlerin taşınımının testinden geçmiş ve test raporunda malzeme ile ilgili risk arz eden bir durum belirtilmemiştir.

D. Ftalat analizi: TSE Deney ve Kalibrasyon Merkezi Başkanlığı tarafından hazırlanmış olan raporda (No 386564), ürünün içerdiği ftalat oranı 1000ppm’den küçük olarak ölçülmüş, ürün uygun olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4). UF-EPDM Ftalat içermemektedir.

E. UF-EPDM Granül Ürün Performans Testi: Bu raporda tip olarak EPDM şeklinde belirtilmiş malzeme ile ilgili olarak partikül boyutu, şekli, yoğunluğu, rengi, yapay iklimlendirme şartları altında renk ve kompozisyonundaki görsel değişiminin ve renk değişiminin insani kullanım amaçlı alanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir.

F. Kimyahane Analizi: Raporun ‘Değerlendirme ve Açıklamalar’ kısmında, malzemenin kullanım amacına dair her-

hangi bir sonuca varılamadığı ifade edilmiş, malzemenin bütünü üzerinden değerlendirme yapılarak GTİP numarasına karar verilebileceği vurgulanmıştır.

G. UF-EPDM Karakterizasyon Analizi: Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi tarafından hazırlanan raporda, UF-EPDM malzemenin camsı geçiş sıcaklığı -60°C olarak bulunmuştur. Ayrıca %23 inorganik madde, %19 organik katı, %29 polimer madde, %29 karbon siyahı içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. UF-EPDM malzemenin EPDM olup olmadığının tespiti” hususunda sonuç kısmında “söz konusu kauçuk numunelerinin EPDM (Etilen Propilen) kauçuk olduğu görüşüne varılmıştır” beyanı yer almıştır. Bu sonuç atık malzemeden elde edilen granüllerin EPDM özelliklerini korumaya devam ettiğini göstermektedir. Ancak bu malzemenin üretimde yeniden kullanılabilmesi için ürün standartları veya ilgili ürün mühendislik şartnamelerinde tanımlanmış mekanik, kimyasal, iklimatik, sızdırmazlık, NVH (Noise-Vibration-Harshness), ömür vb. statik ve dinamik testlerden geçmiş olması gerekmektedir.

3.2. UF-EPDM'lerin Kullanımının Yasal Değerlendirmesi

Atık EPDM'den üretilmiş granüllerin yeniden kullanım, ithalat ve ihracat süreçlerinde hangi şekilde değerlendirilmesi gerektiği ülkemizin imzası bulunan uluslararası sözleşmeler ve ulusal mevzuat sistemindeki yeri incelenerek ortaya konmalıdır.

Bu kapsamda malzemenin “İhracı Yasak ve Ön İzne Bağlı Mallara İlişkin Tebliğ” (İhracat 96/31) Ek-2 sayılı liste kapsamında olup olmadığına dair inceleme ve değerlendirme yapılmıştır. Bu tebliğde ‘Ek 2/İhracı Ön İzne Bağlı Mallar Listesi’ maddesinde belirtilen ifadeye göre, ihracı istenen malzemenin, öncelikle “Tehlikeli Atık” sınıfında olup olmadığına, sonrasında ise Basel sözleşmesi kapsamında olup olmadığına bakılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 02.04.2015 tarih ve 29314 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliğinde (AYY) yer alan d bendinde ‘Atık’ ve ‘Tehlikeli Atık’ tanımları birlikte değerlendirildiğinde

Çizelge 4. UF-EPDM Ftalat analizi sonuçları

Numune	Sonuçlar (ppm)							
1	DBP	BBP	DEHP	DNOP	DINP	DIDP	TOPLAM	SONUÇ
	TE	TE	TE	TE	TE	TE	<1000	Geçti

*TE: Tespit Edilemedi.

atık; üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali, tehlikeli atık ise; Ek-3/A'da yer alan tehlikeli özelliklerden birini ya da birden fazlasını taşıyan, ek-4'te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan atıkları kapsamaktadır. Atık tanımına göre bu ürünler atık veya artık değildir. UF-EPDM'ler üretim fazlası olduğundan, çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olmadığı görülmektedir. Ürünler bütün halde kullanılabilir. UF-EPDM'ler, EPDM Kauçuk granülü üretimi için özel tesislere gönderilmektedir. Tehlikeli atık tanımına göre değerlendirilirse Ek-3/A'da belirtilen özellikler, EPDM için hazırlanmış Malzeme Güvenlik Bilgi Formundaki (MGBF) bilgilerle karşılaştırıldığında, tehlike tanımlaması kısmında 'Tehlike etiketi uygulanamaz' ve 'Uygun şekilde kullanıldığında sağlığa veya çevreye zararlı değildir' ibareleri yer almaktadır.

AYY'de 'Tanımlar' kısmında verilen (jj) maddesine göre, E-4'e bakıldığında, kauçuk kelimesinin geçtiği tek maddenin 07 02 kodlu "Plastiklerin, Sentetik Kauçuk ve Yapay Elyafın İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar" başlıklı madde olduğu görülmüştür. Bu madde altında verilmiş 6 haneli atık kodlarına bakıldığında ise hiçbirinin, UF-EPDM'lerden üretilmiş granüller ile ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

"Tehlikesiz atık" tanımı içine giren Ek-4'deki maddeler içinde de, "EPDM kauçuk" veya sadece "kauçuk" kelimesinin geçtiği bir "atık kodu" bulunmamaktadır. Buna göre, AYY'e göre, gerek "tehlikeli atık" gerekse "tehlikesiz atık" tanımları içine girmeyen üründen (cam veya kapı fitilleri), fiziksel/mechanik kırma işlemleri ile elde edilen granül malzemenin atık şeklinde değerlendirmesinin uygun olmayacağı sonucuna varılmaktadır.

Basel sözleşmesi incelendiğinde, "Ek 1 Kontrol Edilecek Atık Kategorileri" başlıklı bölümde, atık türleri listesinde Y1'den Y18'e kadar farklı atık kategorilerinin içinde atık EPDM'den üretilmiş granüllerin ihracının yasak olmasını gerektirecek bir madde bulunamamıştır. Aynı Ek 1 in devamında, 'Atıkların İçinde Bulunan Maddelere Göre Verilmiş Liste' ve Ek 2 'Özel Değerlendirmeye Tabi Tutulacak Atık Kategorileri' incelendiğinde; UF-EPDM'lerden üretilmiş granüllerin içinde, belirtilen maddelerin bulunup bulunmadığı hakkında, malzeme üzerinde daha önce yaptırılmış analiz sonuçlarına bakılması yeterli olacaktır. Bu anlamda daha önce verilen analiz sonuçlarının tümünde, malzeme için gerekli standartların sağlandığı görülmektedir. Dolayısıyla,

yönetmelikte belirtilen maddeler açısından, malzemenin kullanımını kısıtlayacak bir durumun söz konusu olmadığı anlaşılmakta olup, buna göre, UF-EPDM'lerin Basel sözleşmesi kapsamında incelenmesi gereken bir malzeme olmadığı sonucu çıkarılabilir.

3.3. UF-EPDM'lerin GTİP Tanımlamalarının Değerlendirilmesi

<https://www.tim.org.tr/tr/gtip-arama> sayfasında yapılan aramada, konu ile ilgili tanımlamanın;

"400400000013:KAUÇUKTANTOZ VE GRANÜLLER; Kauçuğun döküntü, kırıntı ve artıkları (sertleştirilmiş kauçuk hariç) ve bunlardan elde edilen tozlar ve granüller" şeklinde olduğu görülmüş olup, UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin, sertleştirilmiş kauçuk (vulkanizasyon işleminden geçmiş) özelliği taşıdığından, bu madde kapsamında değerlendirilmesi doğru değildir.

Konu hakkında gerek üretim bilgileri gerekse literatürden elde edilen bilgilerden, GTİP kodları içerisinde, söz konusu malzemenin gireceği en uygun kod numarasının "400270000000: Etilen-propilen-konjuge olmamış dien kauçuk (EPDM)" olması gerektiği kanaatine varılmaktadır. Buna göre, malzemenin atık olarak değil, bitmiş bir üründen ortaya çıkan hatalı parçaların, granül haline getirilerek, farklı bir sahada yan ürün olarak değerlendirilen malzeme şeklinde değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünler, geri kazanılabilir malzeme niteliğindedir. Bu malzemelerin geri kazanım tesisinde mekanik işlemler ile kırılarak granül hale getirilmesi ile elde edilen malzemenin analiz raporları ve literatür bilgileri detaylı olarak değerlendirildiğinde, GTİP kodları içerisinde '400270000000: Etilen-Propilen-Konjuge Olmamış Dien Kauçuk (EPDM)' kodlu madde kapsamında değerlendirilmesi gerektiği, dolayısıyla, İhracı Yasak ve Ön İzne Bağlı Mallara İlişkin Tebliğin (İhracat 96/31) Ek-2 sayılı liste kapsamında olmadığı görülmüştür. Ayrıca UF-EPDM'den elde edilen granüllerin, insani kullanım amaçlı, spor sahası, çocuk parkı gibi alanlarda taban dolgu malzemesi vb. amaçlarla sağlık riski oluşturmaksızın kullanılması da uygun görülmektedir. Sonuç olarak, UF-EPDM'den elde edilen granüllerin, "tehlikeli atık" niteliğinde olmamakla beraber, Basel sözleşmesi kapsamında değerlendirilmesinin gerekli olmadığı sonucuna varı-

labilir. Gelecekte bu alanda yapılacak çalışmaların ise, UF-EPDM'nin kullanıldığı insani kullanım amaçlı uygulama alanlarından alınan ortam numunelerinin sağlık, güvenlik ve çevresel etkilerinin araştırılarak ortaya konması üzerinde yoğunlaşması beklenmektedir.

Yazar katkısı: Melike İşgören: Çalışma hakkında verileri toplamıştır, çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, İsmail Toröz: Çalışmayı tasarlamış ve çalışmayı koordine etmiştir.

Teşekkür: Makalenin oluşturulmasında verdikleri destek ve katkıdan dolayı Benli Geri Dönüşüm Makine San. Ve Tic. A.Ş. tesisi yetkililerine teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Çataklı, T., Ergüder, TH., 2019.** Biyo-devulkanizasyon: Atık Lastik Yönetiminde Çevre Dostu Bir Yaklaşım. 2(1): 20–34.
- Cömez, EE., Öztürk, S., 2022.** Farklı Vulkanizasyon Parametrelerinin Karbon ve Kaolen-Silika Esaslı Karışımların Çapraz Bağ Yoğunluğuna ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 4(2): 53–62.
- Demirer, H., Kartal, I., Ünlü, K., Büyükkaya, K., 2018.** Investigation of mechanical and thermal properties of waste EPDM and polypropylene mixtures. Acta Phys. Pol. A, 134(1): 257–259. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.134.257>.
- Güler, E. 2021.** Yüksek Lisans Tezi. Otomotivde kullanılan aem (etilen akrilik monomer) kauçuk hava hortumlarının ekstrüzyon ve otoklav parametrelerinin optimizasyonu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Jacob, C., De P, P., Bhowmick, AK., and De K, S., 2001.** Recycling of EPDM waste. I. Effect of ground EPDM vulcanizate on properties of EPDM rubber. J. Appl. Polym. Sci., 82(13): 3293–3303. <https://doi.org/10.1002/app.2188>.
- Mohaved, SO., Ansarifar, A., Nezhad, SK., and Atharyfar, S., 2015.** A novel industrial technique for recycling ethylene-propylene-diene waste rubber. Polym. Degrad. Stab., 111: 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.11.003>.
- Öteleş, A., Köprü, İ., Hakan, S., 2023.** Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Stiren Bütadien (SBR) Kauçukların Kükürt ve Peroksit Vulkanizasyon ile Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, 2(2): 131–137.
- Singh, K., Nanda, T., Mehta, R., 2017.** Addition of nanoclay and compatibilized EPDM rubber for improved impact strength of epoxy glass fiber composites. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., 103: 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.10.009>.
- Sutanto, P., Picchioni, F., Janssen, LPBM., Dijkhuis, KAJ., Dierkes, WK., Noordermeer, JWM. 2006.** EPDM rubber reclaim from devulcanized EPDM. J. Appl. Polym. Sci., 102(6): 5948–5957. <https://doi.org/10.1002/app.25153>.
- Türkben, M., 2019.** Yüksek Lisans Tezi. Lastik ve epdm kauçuğu atıklarının kompozit malzemede kullanımı. Konya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Vahapoğlu, V. 2007.** Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk. C. B. Ü Fen Bilim. Derg., 3(1): 70.
- Vahapoğlu, V. 2013.** Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., 4(1): 25–34. <http://edergi.mehmetakif.edu.tr/index.php/febed>
https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/01/1895449/0/en/Global-EPDM-Ethylene-Propylene-Diene-Monomer-Market-Will-Reach-USD-9-87-Billion-By-2026-Zion-Market-Research.html?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block