



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://edergi.mehmetakif.edu.tr/index.php/febed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (1): 25-34 (2013)

Derleme Makalesi / Review Paper

Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma

Vahap VAHAPOĞLU

P.K. 538 07400 Alanya/Antalya

Geliş Tarihi (Received): 08.02.2013, Kabul Tarihi (Accepted): 27.06.2013

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): vahapvahapoglu@hotmail.com*

ÖZET

Kauçuk türü malzemeler, günlük yaşamın içinde her alanda yer almış vazgeçilmez bir mühendislik malzemesidir. Otomobil sektörü başta olmak üzere hortum, cam silecekleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, kapı ve cam fitilleri, conta ve o-ring gibi günlük yaşamdaki birçok araç ve gereçte kullanılmaktadır. Çalışmada, öncelikle polimer tanımı, polimerlerin sınıflandırılması, molekül yapıları sunulmuştur. Daha sonra ise polimerlerin bir alt grubu olan kauçuk türü malzemeler tanımlanmış, kullanım yerleri, kauçuk ve elastomerin birbirinden farkı ve ASTM standartlarına göre sınıflandırılması yapılmıştır. Bu derleme çalışmasında kauçuk-türü malzemelerin mekanik ve termal özellikleri irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Polimer; Kauçuk; Elastomer

Rubber-Like Materials: Classification

ABSTRACT

Rubber-like materials, which can be seen in many areas of daily life, are essential engineering materials. Rubber-like materials are used in many fields such as automobile industry, hoses, windshield wipers, transmission belts, washers, axle bellows, door and window seals, gaskets and o-rings. In this review, the definition of polymers, their classification, and their molecular structures are presented. Later, the rubber-like materials, a sub-group of polymers, are defined. The use of rubber-like materials, differences between rubbers and elastomers and the classification of rubber according to ASTM are presented. Lastly, the mechanical and thermal properties of rubbers are reviewed.

Keywords: Polymer, Rubber, Elastomer

1. GİRİŞ

Gereksinim duyulan maddelerin tümüne malzeme denilmektedir. Malzemeler ise literatürde organik, organik olmayan veya metalik, metalik olmayan gibi birçok sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. En genel anlamda ise malzemeleri katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırmak mümkündür. Katı malzemeler ise kendi aralarında metal, seramik, polimer, ve kompozit olmak üzere dört gruba ayrılmaktadırlar.

Polimerik malzemeler, hafif olmaları ve kolay işlenebilmeleri nedeniyle son zamanlarda önemli bir mühendislik malzemesi haline gelmişlerdir. Polimerler, üretimlerinin belirli bir aşamasında enjekte edilerek biçimlendirdiklerinden endüstride *plastikler* olarak da adlandırılırlar. Selüloz, ipek, doğal kauçuk gibi bazı polimerler doğada doğal olarak bulunmalarına karşılık polietilen, polyester, naylon gibi polimerler ise petrol esaslı maddelerden suni olarak elde edilmektedirler (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

Bu çalışmada kauçuk türü malzemelerin tüm malzemeler içindeki, özellikle de polimerler içindeki yerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Çalışmada, polimerler genel olarak incelenmiş, kauçuk ve elastomerin birbirinden farkı tanımlanmış, ve kauçuk türü malzemelerin kendi arasındaki sınıflandırılması yapılmıştır. Böylece kauçuk malzeme üzerine bilimsel çalışma yapan araştırmacıların ilgilendikleri malzemenin malzeme bilimindeki yerinin aydınlatılması amaçlanmıştır. Tüm bu çalışmanın özeti ise Şekil 6'da sunulmuştur.

2. POLİMERLER

Polimer tarif olarak, küçük ve basit bir kimyasal birimin tekrarlanmasıyla oluşmuş büyük bir moleküldür. *Makromolekül* olarak da adlandırılır. Bu nedenle de bu malzemelere latince poli=çok, meros=parça anlamına gelen iki kelimenin birleşmesiyle *polimer* adı verilmiştir. Polimer içinde tekrarlayan küçük birim, tek bir atom olabileceği gibi atom grubu da olabilir. Tek bir atomun tekrarlanmasıyla oluşan polimere örnek olarak plastik sülfür verilebilir. Bu polimer, belirli bir sıcaklıktaki erimiş sülfürün soğuk su içine dökülmesiyle elde edilir. Elde edilen polimerin kimyasal yapısı ise sülfür atomun uç uca birleştirilmesiyle oluşmaktadır (Treloar, 1970).



Bu yeni konumdaki sülfürün fiziksel özellikleri, kristalin veya kaya durumundaki sülfürden tamamen farklı olup kauçuksu polimerin tüm özelliklerini göstermektedir. Elde edilen bu malzeme yumuşak, elastik ve yarı şeffaf bir malzeme olmaktadır. Diğer kristal yapıya sahip malzemeler gibi sabit bir erime noktası yoktur. Ayrıca bu malzeme stabil bir yapıya sahip değildir. Oda sıcaklığında bir kaç saat beklemesi durumunda eski toz veya kristal yapıya sahip malzeme formuna dönmektedir.

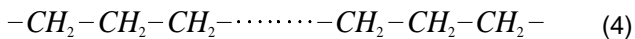
Polimerlerin çoğunda tekrarlayan birim, atom gruplarının uygun şekilde birleşmeleriyle elde edilir. Kimyasal yapı bakımından buna verilebilecek en basit örnek ise, polietilen malzemesidir. Polietilen malzemesi, etilen molekülünün birbirine bağlanmasından elde edilir.



Burada önce, etilen molekülü arasındaki çift bağ uygun bir katalizör vasıtasıyla açılır.



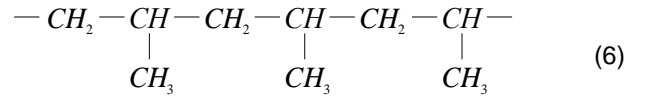
Karbon atomları arasındaki çift bağların açılarak tek bağ oluşturmasıyla dıştaki bağlar diğer komşu bağlarla birleşecek duruma gelerek polietilen malzemesini oluştururlar.



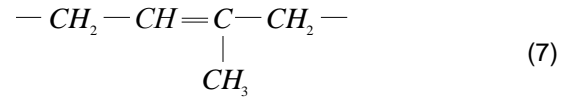
Polimer molekülü içinde tekrarlayan bu küçük, basit kimyasal birime *tekrarlayan birim* denir. Polimeri elde etmek için başlangıçta kullanılan küçük molekülü maddelere de *monomer* denir. Bu örnekte etilen monomeri iki adet tekrarlayan birimden (CH₂) elde edilmektedir. Buradan da görüleceği üzere monomerin tekrarlayan birim ile aynı olması gerekmemektedir.



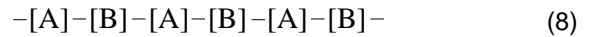
Polietilen malzemesine benzer yapıda bir başka polimer malzeme ise polipropilendir. Bu malzeme propilen monomerinin uç uca eklenmesinden elde edilir (Treloar, 1970). Polipropilen malzemesinde, polietilen malzemesinin aksine, monomer ve tekrarlayan birimin aynı olduğu görülmektedir (6).



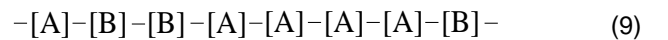
Doğal kauçukta tekrarlayan birim ise çok daha karmaşık olup isopren birimiyle formüle edilmektedir. Bu grup dört karbon atomu ve bir metil (CH₃) grubu içermektedir (7). Ayrıca bu malzeme polipropilen malzemesinden, zincir molekülünde çift bağ taşınmasından dolayı da ayrılmaktadır. Bu durum kauçuk molekülünün kimyasal reaksiyona girmesi bakımından önem arz etmekte ve özellikle de vulkanizasyon işleminde çok önemli olmaktadır.



Yukarıda verilen örneklerde zincir molekülündeki tüm birimler aynı idi yani tek bir monomer molekülünden oluşmaktaydı. Tek bir monomerden oluşan polimerlere *homopolimer* denir. Eğer birden fazla monomer polimer zincirini oluşturmuşsa bunlara *kopolimer* adı verilir. Birçok polimer, naylon malzemesinde olduğu gibi, iki farklı monomerin kimyasal reaksiyonu sonucunda elde edilir. Bu durumda zincir molekülü -[A]-[B]- biriminin uç uca düzenli olarak eklenmesiyle elde edilir.



Bazı polimerler ise yine aynı şekilde [A] ve [B] birimlerinin yine uç uca fakat rastgele eklenmesiyle elde edilir. Birçok sentetik kauçuğun molekül dizilişleri ise bu şekilde olmaktadır.



Bunlardan birincisine (8) *ardarda kopolimer* ikincisine (9) ise *rastgele kopolimer* adı verilir.

Polimer içerisinde tekrarlayan birim sayısına *polimerizasyon derecesi* adı verilir. Polimerin molekül ağırlığı; tekrarlayan birimin molekül ağırlığıyla polimerizasyon derecesinin çarpımına eşittir. Yüksek molekül ağırlığına sahip oluşlarından ileri gelen yüksek viskozite, elastik (sünebilme), plastik (şekil verilebilme, kalıplanabilme) özellikleri polimerlerin başlı başına bir bilim dalı olarak incelenmesini gerekli kılmıştır. Bu özellikler, polimerlerin aynı zamanda malzeme olarak kullanılabilmelerine de imkan sağlar. Molekül ağırlığı 10.000'den yüksek olan malzemeler polimer özelliği göstermeye başlar. Molekül ağırlığı arttıkça elastik, plastik, ve mekanik özellikleri yanında yumuşama ve erime olasılıkları da artar.

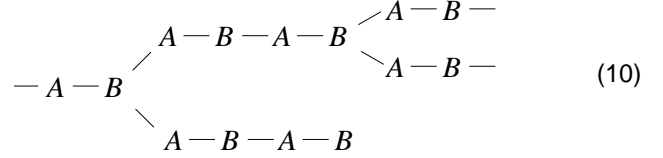
Küçük molekül ağırlıklı maddelerle makromoleküllerin bir karşılaştırmasını yaparsak aralarında çok büyük farklar olduğunu görürüz. Küçük molekül maddeler homojen bir madde yapısına sahiptir. Tüm molekülleri aynı özellikte ve aynı molekül ağırlığındadır. Makromoleküllerde ise bu özellikten söz edilemez. Homojen madde yapısına sahip değildir. Tüm polimer molekülleri aynı molekül ağırlığına sahip olmayıp farklı molekül ağırlığındadır. Kesin bir molekül ağırlığı yerine ortalama bir molekül ağırlığı söz konusudur. Küçük molekül maddelerin erimiş hali düşük viskoziteye sahip iken polimerlerin erimiş hali yüksek viskoziteye sahiptir. Erimiş halde bulunan doğrusal polimerler normal soğumaya bırakıldığında yumuşama sıcaklığı diyebileceğimiz bir camsı geçiş sıcaklığından sonra katılaşıp ve camsılaşır. Camsı geçiş sıcaklığının yukarısında polimer kauçuksu özellik gösterir. Erimiş bir küçük molekül ağırlıklı maddeyi normal hızla soğutmaya bıraktığımızda ise belli bir sıcaklıkta doğrudan doğruya donma noktasına eriştiğini görürüz (Hazer, 1991).

2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Büyük moleküllerden oluşan polimerlerin mekanik davranışları önemli ölçüde molekül yapılarına bağlıdır. Molekül yapıda kovalent bağların yayılışına göre de polimerler *lineer polimerler* ve *uzayağı polimerler* olmak üzere iki grupta toplanabilir. Makro moleküllerin monomer adı verilen küçük moleküllerin polimerizasyon reaksiyonları sonucunda birbirlerine bağlandıklarını yukarıda belirtmiştik. Polimerize olabilmek için bir monomer molekülünün iki ya da daha fazla fonksiyonu olması gereklidir. Bunun anlamı, molekülün iki veya daha fazla reaktif gruplara (hidroksil, amino asidi, di-veya poli-alkol, di-amino asidi gibi) sahip olmasıdır. İki fonksiyonlu monomerde reaktif gruplar, molekülün iki ucunda yer alır. Bunlar birbirlerine kovalent bağlarla eklenerek Şekil-1'de görüldüğü gibi uzun bir zincir meydana getirirler. Bu durum zincirlere bir doğrultuda hareket kolaylığı verir. Bu tür polimerlere molekül dizilişinden dolayı *lineer polimerler* denir. Zincir doğrultusundaki bağlar kuvvetli bağlar olduğu halde, yanal doğrultudaki muhtelif zincirler birbirlerine ancak ikinci derecede zayıf çekim kuvvetleri ile bağlıdır.

Polimer zincirleri doğarken bazı yan kollar da teşekkül edebilir. Böylece dallı zincirler meydana gelebilir. Bu tip dallı zincirlerin hareket kabiliyetleri düz zincirlere kıyasla azalır. Eğer monomerler daha fazla reaktif gruplara

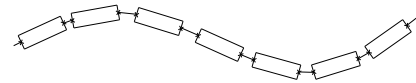
sahip iseler bunların polimerizasyonu sonucunda Şekil-2'de görüldüğü gibi üç boyutlu ağ doğar. Bu ağdaki yanal bağlar, zincirlerin hareketlerini tamamen imkansızlaştırır. Bu tür polimerlere ise *uzayağı polimerleri* denir (Kocataşkın, 1976). Bu durum, 10 numaralı denklemde gösterildiği üzere, zincir dallanmasına sebep olur. Böyle bir polimer büyümeye her bir dallanma noktasından devam eder ve karmaşık üç boyutlu bir yapı elde edilir (Treloar, 1970).



Lineer polimerlerle uzayağı polimerler arasında bir yapıya sahip olan elastomerler (kauçuk türü malzemeler) ise, bükülmüş ve topak şeklinde dolanmış uzun molekül zincirlerinden oluşur. Kuvvet etkisi ile bu topakların açılması ve bağ dönmesi sonucu, büyük ölçüde tersinir davranış (yani elastik şekil değişimi) göstermeleri sebebiyle bu malzemeler *Elastomerler* olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1).



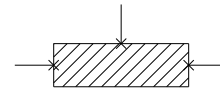
İki Fonksiyonlu Monomer



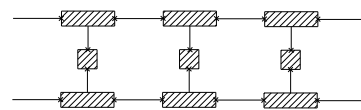
İki Fonksiyonlu Moleküllerin Reaksiyonundan Doğan Zincir

Şekil 1. İki fonksiyonlu monomerler (Kocataşkın, 1976).

Endüstride polimerler, sıcaklık etkisiyle davranış yönünden de termoplastik ve termoset polimerler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Termoplastik polimerler, lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar, soğutulunca sertleşirler ve yeniden ısıtıldıklarında tekrar yumuşarlar (Yanal bağların zayıflığı dolayısı ile). Termoplastik polimerler diğer bir tanımla, yüksek sıcaklıklarda molekülleri parçalanmaksızın plastik şekil değiştirme yeteneğine sahip polimerler veya kısaca sıcakta biçimlendirilebilen plastikler olarak tanımlanabilir (Şekil 2).



Üç Fonksiyonlu Monomer



Yanal Bağları Olan Zincirler

Şekil 2. Üç fonksiyonlu monomerler (Kocataşkın, 1976).

Termoset polimerler ise uzayağı polimerleri olup, ısıtıldıklarında yumuşarlar. Sıcakken şekil verilip soğutulduktan sonra sertleşirler (Yanal bağlar doğmasından dolayı). Ancak termoplastiklerin aksine yeniden ısıtıldıklarında (çok yüksek sıcaklıklar dışında) tekrar yumuşamazlar. Çünkü bunların yanal bağları da kuvvetli bağlardır. Termoset polimerler, diğer bir tanımla, sıcakta biçimlendirildikten sonra (yani üretiminden sonra) yüksek sıcaklıklarda kimyasal ve yapısal çözünme olmaksızın yumuşamayan ve işlenemeyen polimerlerdir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

2.2. Polimerlerin Molekül Yapıları

Polimerlerin elde edilimleri *eklenme* (zincir veya katılma), *kondansasyon* (basamaklı), veya *ko-polimerizasyon* metotlarından biri ile yapılır. Eklenme polimerizasyonunda bir birim diğerine yinelenerek eklenir. Böylece moleküllerin reaksiyonu sonucunda başlangıçtaki monomer moleküllerinin tam katları elde edilir. Polimerleşmeyi başlatmak üzere bir katalizör kullanılır. Katalizör karbon-karbon ikili bağına katılarak etkin bir ara ürün oluşturur. Bu ara ürün ise ikinci monomerin ikili bağına katılarak yeni bir ara ürün meydana getirir. Bu işlem polimer zinciri istenen uzunluğa ulaşmaya kadar sürer ve bir şekilde sonlanır. Bu tür polimerleşmede monomer birimindeki atomların hepsi polimer içinde yer alır. Örnek olarak polietilen ve polistiren verilebilir.

Kondansasyon polimerizasyonunda, genellikle iki işlevsel grup arasındaki tepkime ile polimer oluşur. Moleküller birbirleriyle reaksiyon yaparken arada bazı moleküller (genellikle su) dışarıya atılır. Bu polimerizasyonla elde edilen polimerlerdeki tekrarlayan moleküller ilk başta reaksiyona giren moleküllerden tamamen farklıdır. Bu tip üretimle elde edilen polimerlere örnek olarak naylon (lineer zincirler), ve fenol reçineleri (yanal bağlı zincirler) verilebilir.

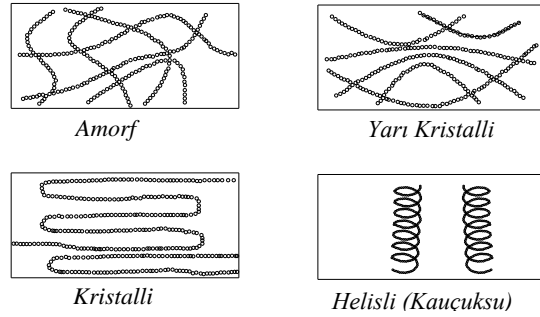
Ko-polimerizasyon yönteminde ise; birbirinden farklı iki veya daha fazla monomerin bir arada polimerizasyonudur. Buradaki her bir monomer kendi başlarına bir polimer zinciri oluşturabilmelerine rağmen iki farklı monomer bilerek birbirlerine bağlanır. Böylece daha farklı özelliklerde ve daha uzun polimer zinciri elde edilir. Ko-polimerizasyon yönteminin en önemli özelliklerinden birisi de polimerlerin özelliklerini iyileştirmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede birçok ticari polimer malzeme elde edilmiştir. Ko-polimerizasyon yöntemine örnek olarak da bütadien ile stiren'in ko-polimerizasyonu sonucu elde edilen GR-S kauçuğu verilebilir (Budinski, 1989).

Yukarıda anlatılan polimerlere şekil verilmesi; kalıplama, presleme ve haddelme gibi, metallere benzer metotlarla yapılır. Şekil verme sırasında yumuşak olmaları, bu maddelerin tümüne *plastik maddeler* adı verilmesine sebep olmuştur. Gerçekte ise şekil verilmeleri bittikten sonra birçoğu plastik olmayıp yarı sert veya sert durumdadır.

Polimerlerin özellikleri, molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri ile belirlenmektedir. Bu kuvvetlerin birinci veya

ikinci dereceden bağlar olabileceği yukarıda bahsedilmiştir. Yanal bağlı polimerlerde bütün moleküller her yönde kuvvetli kovalent bağlarla bağlı oldukları için büyük ve üç boyutlu moleküller doğar. Düz ve dallı zincirli polimerlerde ise zincirler arasında ancak zayıf ikinci derece bağ kuvvetleri bulunur. Zincirlerin uzunluğu, yani molekülün ağırlığı arttıkça bu kuvvetin değeri de artar. Böylece molekül ağırlığı düşük polimerler yumuşak, yüksek olanlar ise sert ve ısıya daha dayanıklı maddelerdir (Kocataşkın, 1976).

Polimer moleküllerinin birbirlerine göre yerleşme şekilleri Şekil 3'te görüldüğü gibi amorf veya kristalli yapılara yol açmaktadır. Tamamen gelişigüzel yerleşme amorf durumdur. Buna karşılık zincirlerin paralel yönelmeleri kristalli durumdur. Kristalli durumda moleküller birbirine göre daha sıkı bir şekilde yaklaşmış oldukları için moleküller arasındaki çekim kuvvetleri artmıştır. Bu da sertliğin, rijitliğin, mukavemetin, birim ağırlığın artmasına yumuşama noktasının daha keskin olmasına sebep olur (Kocataşkın, 1976).



Şekil 3. Polimerlerin molekül yapıları (Kocataşkın, 1976).

Termoset polimerlerin molekülleri yanal bağlarla bağlı olduklarından onların yerleşme tarzını değiştirmek mümkün değildir ve onlar daima amorf yapıda kalırlar. Termoplastik maddeler ise dış kuvvetler altında veya ısı değişimleri sonucunda moleküllerini yönlendirerek şartlara göre amorf, yarı kristalli, kristalli veya kauçuksu yapılardan birinde bulunabilirler. Bir polimer hiçbir zaman tam kristalli olmamakta, içinde yer yer amorf ve kristalli bölgeler bulunmaktadır. Tam kristalli olması, malzemeyi çok gevreklettiği için, zaten istenmemektedir.

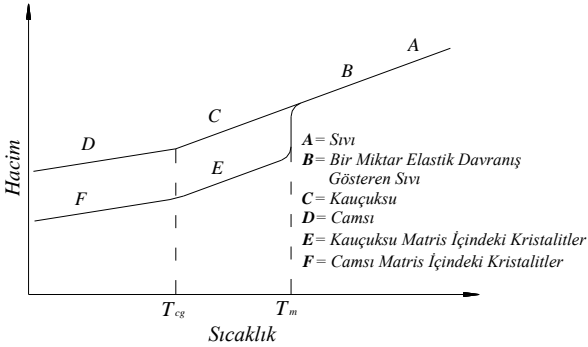
Düzensiz olmayan helisler şeklinde uzun helezonlu zincirleri bulunan polimerlere ise *kauçuklar* adı verilir. Helezonlu zincirler gelişigüzel yerleşmişlerdir ve polimer amorfudur. Fakat böyle bir polimer kuvvet altında şekil değiştirince helezonlar açılarak birbirlerine paralelleşir ve polimer kristalleşir, molekülleri arasındaki bağlar artar, malzeme sertleşir. Kuvvet kaldırılacak olursa, yapı eski şekline geri döner. Ancak şekil değiştirme sırasında helezonlarda birbirlerine kıyasla kaymalar olursa yapı eski şekline tam dönemez ve malzemede kalıcı şekil değiştirme olur. İşte, kauçukta meydana gelen bu kayma olayını önlemek için kükürtle yakmak (*vulkanizasyon*) yolu ile helezonlar arasında bir miktar yanal bağ kurmak metodu geliştirilmiştir. Eğer vulkanizasyon çok ileri götürülecek olursa kauçuğun yumuşaklığı tamamen

kaybolur ve sert kauçuk (ebonit) elde edilir (Kocataşkın, 1976).

Eğer zincirler bir doğrultuya paralel olarak yönlendirilirse lif veya iplikler elde edilir. Bu tip polimerlerde ipliklerin çekilmesi yolu ile *kristalleşme* olur ve özellikler iplik doğrultusunda yükselir. Fazla sertleşmelerini ve fleksibilitelerini kaybetmelerini önlemek için de içlerine bir miktar amorf kısım, veya moleküller arası çekim kuvvetlerini azaltıcı (plastikleştirici) madde katılır.

2.3. Polimerlerin Deformasyonları

Polimerlerin özelliklerinin sıcaklığa bağlılığı Şekil-4'teki özgül hacmin sıcaklıkla değişimini gösteren grafikten görülmektedir. Ergimiş durumdaki polimer amorf yapıda olup, amorf veya kristal yapıya sahip olacak şekilde katılabilir (Şekil 5a). Polimer içinde, kristalit çekirdeği oluşmuş ise katılma sabit bir T_m sıcaklığında (ergime noktası) ve Şekil 4'te görüldüğü gibi ABEF eğrisi boyunca ani hacim küçülmesi ile meydana gelir (Şekil 5a III). Ergimiş durumdaki polimer kristalize olmayacak bir hızda ani olarak soğutulduğunda (aşırı soğutulmuş sıvı) yüksek sıcaklık yapısı düşük sıcaklıklarda da elde edilebilir (Şekil 5a II). Bu durumda özgül hacmin sıcaklıkla değişimi Şekil 4'teki ABCD eğrisi boyunca olur. Ergimiş amorf durumdaki polimerin hızlı soğutulması ile elde edilen amorf yapı çekme kuvveti etkisinde kalması halinde polimerlerin paralelleşmesine ve kristalleşmeye yol açar (Şekil 5a IV). Bu sebepten polimerlerin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları metallerinkine benzemez. Gerilme arttıkça kristalleşme sonucu polimer sertleşir, elastiklik modülü artar ve diyagramın eğikliği metallerinkinin tersine olur (Şekil 5b).

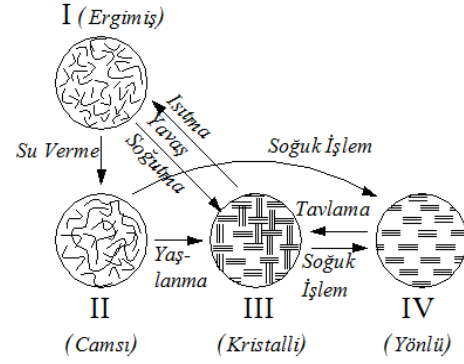


Şekil 4. Polimerlerde özgül hacim-sıcaklık ilişkisi (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

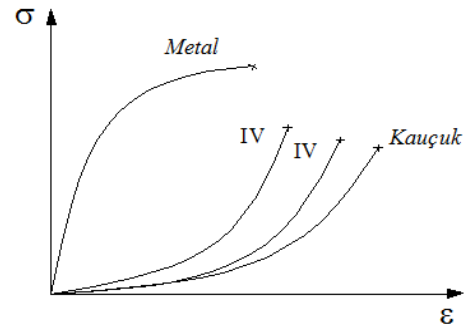
Polimerin *camsı geçiş sıcaklığı* olarak isimlendirilen T_{cg} sıcaklığında eğrinin eğiminde bir kırıklık görülür.

Polimerlerin özellikleri T_{cg} 'nin altında ve üstünde farklılık gösterir. Bu sıcaklığın üstünde molekül bölümleri serbestçe birbiri üzerinde kayabilir. Yani viskoz bir sıvı gibi kalıcı şekil değiştirebilir. Doğal olarak sıcaklık arttıkça viskozite azalacağından şekil değiştirme daha kolay olur. Bu sıcaklıkta malzeme kauçuksu özellikte bir katıdır. T_{cg} sıcaklığının altında ise hareket sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni ise T_{cg} 'nin altına kadar

soğutmayla malzemenin viskozitesi artmakta ve gevrek davranış göstermektedir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).



(a) İç Yapıdaki Etki



(b) Mekanik Özelliklerdeki Etki

Şekil 5. Polimerlere uygulanan işlemler (Kocataşkın, 1976).

Polimerleri uzun süreli yüklemeye, zincirlerin birbiri üzerinde kaymaları sonucunda viskoz şekil değiştirmeler de yer alır. Metallerde yüksek sıcaklıklarda kendini gösteren sünme ve gevşeme olayları polimerlerde normal sıcaklıkta kendisini gösterebilmektedir.

Bir polimer; camsı malzemenin, gevrek katı bir malzemenin, elastik kauçuğun veya viskoz sıvının tüm özelliklerini uygulanan sıcaklığa ve ölçüm zamanına bağlı olarak gösterebilir. Bu nedenle polimerler, genellikle, *viskoelastik malzeme* olarak tanımlanırlar. Bu terim viskoz sıvı ve elastik katı durumlarında bulunabilen polimerin genel bir tanımlamasıdır (Ward, 1971).

2.4. Polimerlerin Mukavemetine Etki Eden Faktörler

Polimerlerin mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı olması, yukarıda belirtildiği gibi, bu malzemelerin iç yapılarındaki değişimden kaynaklanmaktadır (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991). Polimer zincirlerinin uzamasını veya birbiri üzerinden kaymasını sınırlayan yapısal değişim polimerlerin mekanik özelliklerine etki etmektedir. Polimerlerin mukavemetine etki eden faktörler moleküler ağırlık, kristalleşme, karşılıklı bağlanma, zincir direngenliği olarak dört grupta toplanabilir (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

1. *Moleküler Ağırlık*: Moleküler ağırlık arttıkça polimerin mukavemeti artmaktadır. Mukavemetin artması T_{cg} ve T_m sıcaklık aralığında yük taşıma kapasitesinin artmasına ve T_m 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise sıvı viskozitesinin artmasına neden olur (Çimenöğlü ve Kayalı, 1991). Ayrıca zincirin uzunluğu, yani molekül ağırlığı arttıkça moleküller arasındaki çekim kuvveti de artar. Böylece molekül ağırlığı düşük polimerler yumuşak, yüksek olanlar ise sert ve ısıya dayanıklı malzemelerdir. *Molekül ağırlığını, veya zincir boyunu kontrol ederek aynı bir polimerin özelliklerini yumuşak ve fleksibilden sert bir hale kadar değiştirmek mümkün olabilmektedir* (Kocataşkın, 1976).

2. *Kristalleşme*: Kısmen kristalize olmuş polimerler, amorf yapıya polimerlerden daha yüksek mukavemete sahiptirler. Kristalli durumda moleküller birbirlerine daha sık şekilde yaklaşmış oldukları için moleküller arasındaki çekim kuvvetleri artmıştır. Bu da sertliğin, rijitliğin, mukavemetin, birim ağırlığının artmasına, yumuşama noktasının daha keskin olmasına sebep olur (Kocataşkın, 1976). Amorf polimerlerde ise, zincirler arası bağların az ve düzensiz olması, uygulanan gerilmenin zincirlerin serbest bölgelerini uzatmasına sebep olur. Ayrıca kristalli polimerler yapılarındaki zincirlerin birbirlerine sıkıca bağlı olmaları nedeniyle amorf polimerler gibi büyük oranda elastik deformasyona uğrayamazlar. Polimerin birden fazla tip monomer veya simetrik olmayan moleküllerden oluşması durumunda polimerin kristalleşmesi zordur. Yani basit zincir yapısı kristalleşmeyi teşvik eder. Ayrıca hızlı soğuma da kristalleşmeyi önler.

3. *Karşılıklı Bağlanma*: Polimer zincirleri arasında kuvvetli kovalent bağların oluşması halinde karşılıklı bağlanma söz konusudur. Karşılıklı bağlanma, mukavemeti artırır ve diğer fiziksel ve mekanik özellikleri önemli ölçüde değiştirir. Kauçuğun vulkanizasyonu mekanik özelliklere karşılıklı bağlanmanın etkisini belirten güzel bir örnektir. Gerçekte tümüyle karşılıklı bağlanmış kauçuk ebonit olarak bilinir. Oda sıcaklığında çok sert ve gevrekler. Karşılıklı bağlanmaya ilave olarak dallanma da zincirlerin birbiri üzerinde kaymasını engellediği için mukavemeti artırır. Karşılıklı bağlanmayla sertleşebilen malzemelere örnek olarak; sert kauçuk, termoset reçineleri, poliesterler, poliüretanlar ve fenolformaldehit (bakalit) verilebilir. Polimerik malzemeler dolgu malzemesi kullanılarak da sertleştirilebilirler. Dolgu maddeleri polimer zincirlerini birbirlerine bağlayarak hareketlerine engel olurlar. Doğal ve sentetik kauçuklar için *karbon siyahı* önemli bir dolgu maddesidir.

4. *Zincir Direngenliği*: Eğer polimer kristalizasyon ve karşılıklı bağlanma, veya bu ikisinin kombinasyonu ile sertleştirilememiş ise, polimerin mukavemeti önemli ölçüde zincir mukavemetine bağlı olur. Özellikle direngen zincirler sahip polimerler yumuşak, bükülebilir zincirli polimerlerden daha dayanıklıdır. Polimer zincirleri, iki kenarlı atom gruplarını zincire asarak gerilmeyi önlemek veya direngen ana hatlı zincirler üretmek suretiyle sertleştirilebilirler. İri kenarlı atom grupları yardımıyla zincirlerin direngenliklerini

arttırmanın bir dezavantajı, bu polimerlerin genellikle amorf ve açık yapıya sahip olmalarıdır. Bu nedenle belirli çözütiler, söz konusu polimerin kolaylıkla şişmesine sebep olabilirler. Kristalleşme derecesi ve karşılıklı bağlanma sayısı arttıkça, çözünmeye ve şişmeye karşı direnç arttığından sert, bükülmez, zincirli polimerlerin kenar gruplara kıyasla korozif ortamdaki çalışma koşullarında daha üstündürler (Kocataşkın, 1976).

2.5. Polimerlere Katılan Katkı Maddeleri

Birçok polimerlere fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı maddeleri katılır. Bunlardan birkaçı aşağıda kısaca verilmiştir (Askeland, 1994).

- *Pigmentler*: Pigmentler, plastiklerde ve boyalarda renkler üretmek için kullanılır. Polimerizasyon sırasında sıcaklık ve basınca dayanmak zorunda olan pigmentler, polimerlerle uyumlu ve kararlı olmalıdır.

- *Karalaştırıcılar*: Karalaştırıcılar, çevrenin zararlı etkilerinden dolayı polimerlerin bozulmasını önler. Aynı zamanda ultraviyole radyasyonundan dolayı bozulmayı önler.

- *Antistatik Maddeler*: Çoğu polimerler çok zayıf iletken oldukları için statik yük biriktirirler. Antistatik maddeler polimer yüzeyine havadan nem çekerek polimerin yüzey iletkenliğini iyileştirir ve muhtemel bir kıvılcım veya boşalmayı azaltır.

- *Alev Geciktiriciler*: Çoğu polimerler organik malzeme oldukları için alev alabilirler. Klor, brom, fosfor veya metalik tuzlar içeren ilaveler muhtemel yanmayı ve yansımayı önlemektedir.

- *Yumuşatıcılar*: Mum veya kalsiyum stearat gibi yumuşatıcılar ergiyik plastiğin viskozitesini azaltır ve şekillendirme özelliklerini iyileştirir.

- *Plastikleştiriciler*: Plastikleştiriciler düşük molekül ağırlıklı moleküller veya zincirlerdir. Bu katkı maddeleriyle camsı geçiş sıcaklığı düşürülmekte ve polimerlerin mekanik ve şekillendirme özellikleri iyileştirilmektedir.

- *Dolgular*: Dolgular çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlardan belki de en çok bilineni kauçuk türü malzemelere katılan karbon siyahı dolgu malzemesidir. Karbon siyahı, kauçukların aşınma ve dayanım direncini iyileştirmek için katılmaktadır. Bazı kısa fiberler ve organik malzeme pulcukları gibi bazı dolgular polimerlerin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. İlave dolgular (ekstender) olarak adlandırılan diğerleri ise büyük hacimli bir polimer malzemenin nispeten daha az reçine ile üretimini sağlarlar. Kalsiyum karbonat, silika ve kil genellikle ilave dolgular olarak kullanılır.

- *Şişirici Maddeler*: Şişirici maddeler katılmasıyla içi boş hücreli köpüklerle genişletilmiş polimerler elde

edilir. Bu sayede genişletilmiş polimerler çok düşük yoğunluklu mükemmel yapıtıcı maddeler olmaktadır.

- *Takviye Ediciler:* Polimerlerin dayanım ve rijitliğini arttırmaktadır.
- *Bağlama Maddeleri:* Polimerlerin inorganik dolgu maddesine, elyafları bağlanmasını iyileştirmek için ilave edilmektedirler.

3. KAÜÇUK TÜRÜ MALZEMELER

Kauçuk; bazı bitkilerin sütümsü öz suyundan doğal halde ya da petrol ve alkolün bileşimlerinden suni olarak elde edilen bir malzemedir. Esasen kauçuk terimi normalde *Hevea brasiliensis* ağacından elde edilen malzemeye karşılık gelmekte birlikte günümüzde ise bu terim uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla tekrar eski konumuna geri dönebilen malzemeler için kullanılmaktadır (Anonim, 1989).

Günlük kullanımda elastomer ve kauçuk kelimeleri aynı anlamları ifade etse de bu iki kavram ASTM standartlarında birbirinden ayrılmıştır. ASTM D1566 (ASTM-D 1566, 1993) standartlarında elastomerler, uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla orijinal boylarına hemen geri dönen makromoleküler bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Kauçuk, ise uygulanan kuvvetin kaldırılması sonucunda belli bir zaman dilimi içinde orijinal boyuna dönebilen makromoleküler malzeme olarak tanımlanmaktadır. Böylece, tüm kauçuk malzemeler elastomer iken tüm elastomerler kauçuk malzeme değildir. Çünkü elastomerlerin tanımında geri dönüş zamanı tanımlanmamıştır (ASTM-D 1566, 1993).

Kauçuğun günlük yaşamda kullanımı Charles Goodyear'ın (1800-1860), 1843 yılında, vulkanizasyon işlemini keşfi ile artmıştır. Önce Goodyear (1843) ve daha sonra Hancock (1844) kauçuğun sıcakta yumuşaması ve soğukta gevrekleşmesi gibi kullanımdaki zorlukları gidermek amacıyla kauçuğa kükürt katmışlar ve şekillendirmeden sonra 130-140°C sıcaklığa kadar ısıtmışlardır. Yapmış oldukları bu işlem ise literatürde *vulkanizasyon* olarak adlandırılmıştır. Kükürt miktarı düşükse (%0.5-5) yumuşak kauçuk, yüksekse (%30), çapraz bağ sayısı çok yüksek olan, sert kauçuk elde edilir. Kısaca vulkanizasyon işlemi, kauçuğun kükürtle ısıtma işlemidir. Bu işlemde polimer zincirleri kükürt atomları aracılığı ile çapraz bağlanırlar. Çapraz bağlar kauçuğa direnç verir ve kauçuğun elastik davranış sergilemesini sağlar (Güleç, 1990).

Doğal ve sentetik kauçuklar, yaygın olarak kükürtle sertleştirme işleminden başka, bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla da, çeşitli maddelerle karıştırılarak işlenirler. Örneğin, kauçuğun esnekliğini ve çekme dayanımını arttırmak amacıyla karbon siyahı ya da çok ince öğütülmüş silika gibi maddelerle, bazı organik katkı maddeleri; renklendirici olarak çinko oksit, titan dioksit, demir oksit ve organik boyalar, plastikleştirici ve yumuşatıcı olarak mineral yağlar, vazelin, yağ asitleri ve ağaç reçineleri, kükürtleme işlemini hızlandırıcı olarak

merkaptobenzotiyazol, yükseltgenme önleyici olarak da çeşitli amin ve fenol türevleri katılır (Ana Britanica, 1989).

3.1. Kauçuk Türü Malzemelerin Kullanım Yerleri

Kauçuk çok maksatlı, geniş kullanım potansiyeli olan, yaşamın her alanında iç içe olduğumuz önemli bir mühendislik malzemesidir (Savran, 2001). Kauçuk; yüksek esneklik, yüksek dayanım, düşük deformasyon ve yayılma, iyi dinamik özellikler, kolay işlenme, iyi yırtılma ve aşınma dayanımı ve polar sıvılara dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması bu malzemenin sanayinin her dalında kullanılmasına sebep olmuştur.

Özellikle otomotiv sektöründe insan hayatı için çok önemli ve fonksiyonel parçaların üretiminde kauçuk kullanılmaktadır. Üretilen kauçuğun %60'tan çoğu, araç tekerleklerinin imalatında kullanılmaktadır. O kadar çok otomobil lastiği üretilmektedir ki, eskimiş lastiklerin ne olacağı konusu tam bir sorun haline gelmiştir. Akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım ve titreşim takozları, izolasyon elemanları otomotiv sektöründe kauçuk malzemenin kullanıma birer örnektir (Savran, 2001).

Beyaz eşya sektöründe kullanılan kauçuk körükler, contalar, sıcak ve soğuk su hortumları, otoyol ve viyadüklerde kullanılan elastomer yataklar, genleşme contaları, içme suyu borularında sızdırmazlık contaları, plastik ve alüminyum doğramaların profil ve contaları, tıpta ve cerrahide kullanılan ince borular, şişme bot ve balonlar, iş ve ameliyat eldivenleri, havaalanı, terminal binaları ve otellerdeki yer kaplamaları, yürüyen merdivenler ve taşıyıcı bantlar, tenis ya da golf toplarında kullanılan kauçuk sektördeki diğer uygulamalara örnek olarak verilebilir (Savran, 2001).

Ayrıca, konveyör bant imalatı, ayakkabı üretiminde ökçe, pençe ve taban imalatı, gıda, sağlık ve elektronik sanayindeki uygulamalar, kauçuğun her sektör için vazgeçilmez bir ürün olduğunu göstermektedir (Savran, 2001).

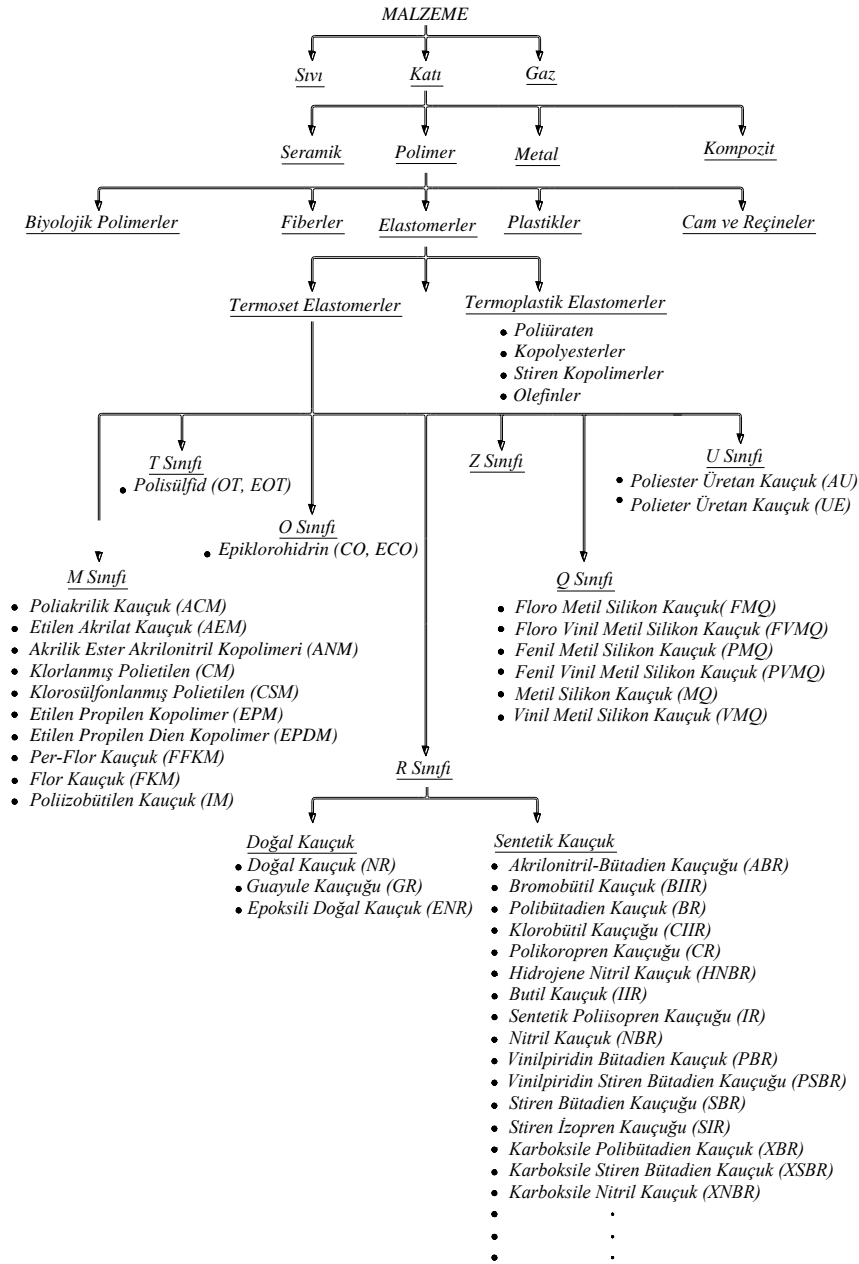
3.2. Kauçuk Türü Malzemelerin Sınıflandırılması

Kauçuk türü malzemeler, *katı* bir malzeme olan *polimerler* içinde yer almaktadır. Polimerler içinde ise moleküllerin dizilişleri ve göstermiş olduğu mekanik davranış açısından *elastomerler* grubun da yer almaktadır. 1839 yılında Charles Goodyear'ın vulkanizasyon işlemini bulmasına kadar termoplastik elastomer olan kauçuk türü malzemeler vulkanizasyon işleminden sonra *termoset elastomer* grubunda yer almıştır (Rosen, 1993). Termoset elastomerler içinde de, ASTM D1418 standartlarına (ASTM-D 1418, 1993) göre, kauçuk malzemeler M, N, O, R, Q, T, U, ve Z sınıflandırmasına tabi tutulmuştur (Şekil 6).

Azteklerden bu yana doğal kauçuk, sıvı halde bitki ve ağaçlardan elde edilerek pıhtılaştırılmakta ve çeşitli proseslerden sonra son ürün olarak kullanılmaktadır.

Christopher Columbus'un Amerika'yı keşfiyle, Avrupalıların doğal kauçuğu tanımaları ve endüstride kullanmaları başlamıştır (Vahapoğlu, 2007). Teknolojik gelişmeler ve yeni ürünlerin artması ve de özellikle otomobil tekerleğinin icadı kauçuğa olan ihtiyacı arttırmıştır. Doğal kauçuğa olan bu ihtiyaç Avrupalıları uzak doğu ülkelerinde büyük plantasyon kurmaya yöneltmiştir. Fakat bu plantasyonların kendi ülkelerinden çok uzakta olması, özellikle, I. ve II. Dünya savaşları sırasında ambargo nedeniyle Avrupa ve Amerika'yı sıkıntıya sokmuştur. Savaş yıllarındaki bu aşırı talep ise Almanya ve Amerika'da, sentetik kauçuk çalışma ve projelerini hızlandırmış ve bu ülkelerde dev sentetik kauçuk endüstrileri kurulmasına sebep olmuştur.

Almanya'nın I. Dünya Savaşı sırasındaki BUNA kauçukları üretimi, daha sonraları bu teknolojiyi Amerikan kauçuk şirketi ile paylaşımı, Amerika'nın Ohio eyaletinde dev sentetik kauçuk endüstrisinin kurulması ve Almanya ve Amerika'da ülke gelişimine önemli yön veren çok önemli projelerin uygulamaya konulması kauçuk sektörünü ve dolayısıyla da farklı kauçuk malzemelerin geliştirilmesine sebep olmuştur (Vahapoğlu, 2006a). Esasen geniş kullanım alanına sahip kauçuğun her kullanım yerindeki farklı fiziksel ve kimyasal şartlara maruz kalması araştırmacıları bugünde kullanmakta olduğumuz (Şekil 6) kauçuk-türü malzemelerin geliştirmesinde etkili olmuştur.



Şekil 6. Kauçuk türü malzemelerin sınıflandırması (Vahapoğlu, 2006b).

Kauçuk türü malzemelerin sınıflandırılmasında ASTM tarafından hazırlanan üç standart literatürde ve endüstride sıkça kullanılmaktadır.

- ASTM D1418-*Rubber and Rubber Lattices-Nomenclature*: Bu standart var olan kauçukları kimyasal bileşimlerine göre tanımlamakta ve sınıflandırmaktadır (ASTM-D 1418, 1993).
- ASTM D1566-*Standart Definitions of Terms Relating to Rubber*: Bu standart kauçuk imalatçıları ve tasarımcılarının aralarındaki iletişimin kurulması amacıyla hazırlanmıştır (ASTM-D 1566, 1993).
- ASTM D2000-*Standart Classification System for Rubber Parts in Automotive Applications*: Bu standart ismi itibarıyla sadece otomobillerde kullanılan kauçuk malzemeleri kapsasa da hazırlanış itibarıyla tüm kauçuk malzemeleri kapsamaktadır. Ayrıca bu standarttan diğer iki standarttan daha çok kullanımı yaygındır (ASTM-D 2000, 1993).

ASTM D2000 standardı (Bu aynı zamanda SAE J200 standardı (SAE J200, 2006) ile aynıdır) kauçuk malzemeleri karakteristik özelliklerine göre sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırmada kauçuk *tip* ve *sınıf* olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Burada tip, kauçuğun ısıyla yaşlanmaya karşı, sınıf ise yağ içinde şişmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmıştır. Yani ASTM D2000 ve SAE J200 standartları, kauçuğu termal ve yağ emme testlerindeki performanslarına göre tanımlamaktadır. Termal test ile kauçuğun maksimum servis sıcaklığı belirlenmekte ve sınıflandırma 70-275°C sıcaklık aralığında yapılmaktadır. Burada 70°C A terimine, 275°C ise J terimine karşılık gelmekte olup bu iki sıcaklığın arasına tekabül eden servis sıcaklıkları da A ile J harfi arasında kalan harflere tekabül etmektedir (Tablo 1). Böylece elde edilen terim malzemenin tipini tanımlamaktadır. Yağ emme testinde ise, kauçuk ASTM 3 numaralı yağ (bu yağ yerine IRM 903 de kullanılmaktadır (ASTM-D 5964, 1993).) içinde bekletilerek maksimum yağ emme miktarı belirlenmektedir. Bu ise A-K harf aralığında tanımlanmaktadır (Tablo 1). Elde edilen bu terim malzemenin sınıfını oluşturmakta olup bu iki terimin önce tip sonra sınıf teriminin yan yana yazılmasıyla da ASTM D2000 standartlarına göre kauçuk tanımlaması yapılır. Mesela ASTM D2000 standartlarına göre AK ile tanımlanan bir kauçuk malzemesi 70°C'de kullanılabilen ve %10'dan fazla hacimsel şişmeye maruz kalmayan malzeme olarak tanımlanmış olmaktadır.

4.SONUÇ

Avrupa'da tarım toplumundan sanayi toplumuna geçişte önemli bir mühendislik malzemesi olan doğal kauçuk, büyük doğal kauçuk çiftliklerinin kurulmasını ve beraberinde de kauçuk makinaları sektörünün gelişmesine yol açmıştır. Özellikle otomobil tekerleklerinin icadı bu sektörün önemini ortaya koymuş ve I. ve II. Dünya Savaşları ise bu sektördeki çalışmalara büyük bir ivme kazandırmıştır. Ayrıca, I. ve II. Dünya Savaşlarındaki aşırı talep sentetik kauçuk kullanımına yöneltmiş ve bugün kullandığımız birçok sentetik kauçuk malzemesinin keşfine vesile olmuştur. Özellikle II. Dünya savaşından sonra farklı kullanım

yerleri için birçok sentetik kauçuk malzemesi keşfedilmiş ve bunlar günlük yaşamda yerlerini almışlardır.

Tablo 1. Kauçuk türü malzemelerin ASTM D2000 standartlarına göre tanım aralıkları (Anonim, 1989).

<u>Tip</u>	<u>Test Sıcaklığı</u>	<u>Sınıf</u>	<u>Hacimsel Şişme (max. %)</u>
A	70	A	Sınırlama Yok
B	100	B	140
C	125	C	120
D	150	D	100
E	175	E	80
F	200	F	60
G	225	G	40
H	250	H	30
J	275	J	20
		K	10

Kauçuk türü malzemeler üzerine bilimsel çalışmaya yeni başlamış olan araştırmacılarda, çok fazla kauçuk malzemesi olması, karışıklıklara sebep olmaktadır. Bu amaçla hazırlanan çalışmada ASTM D 1418 esas alınarak kauçuk türü malzemeler sınıflandırılması yapılmıştır (Şekil 6). Daha önce doğal kauçuk (Vahapoğlu, 2007) ve sentetik kauçuklar (Vahapoğlu, 2006a) üzerine hazırlanan çalışmaların devamı niteliğinde olan bu çalışma, kauçuk malzemelerin polimer malzeme içerisindeki yerinin belirlenmesini amaçlamıştır.

KAYNAKLAR

- Ana Britanica (1989) Genel Kültür Ansiklopedisi Cilt: 13, İstanbul.
- ASTM-D 1418 (1993). Standard practice for rubber and rubber lattices-nomenclature. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- ASTM-D 1566 (1993). Terminology relating to rubber. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- ASTM-D 2000 (1993). Standard classification system for rubber products in automotive applications. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- ASTM D 5964 (1993). Standard practice for rubber IRM 902 and IRM 903 replacement oils for ASTM No. 2 and ASTM No. 3 oils. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- Anonim (1989). Elastomers and rubbers. Machine Design, 61, 294-327.
- Askeland, D.R. (1995). The Science and Engineering of Materials. Boston: PWS Publications.
- Budinski, K.G. (1989). Engineering Materials: Properties and Selection. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Çimenoglu, H., Kayalı, S. (1991). Malzemelerin Mekanik Davranışları. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.
- Güleç, Ş. (1990). Malzeme Ders Notları. İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi.

- Hazer, B. (1991). Genel Kimya. Trabzon: K.T.Ü. Basımevi.
- Kocataşkın, F. (1976). Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.
- Rosen, S.L. (1993). Fundamental Principles of Polymeric Materials. New York: John Wiley and Sons Inc.
- SAE J200 (2006). Classification System for Rubber Materials. Society of Automotive Engineers, Pennsylvania:SAE International.
- Savran, H.Ö. (2001). Elastomer Teknolojisi I., İstanbul: Kauçuk Derneđi Yayınları.
- Trelaor, L.R.G. (1970). Introduction to Polymer Science. London: Wykeham Publications Ltd.
- Vahapoğlu, V. (2006a). Kauçuk türü malzemeler- II: Sentetik kauçuk. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9, 1, 44-55.
- Vahapoğlu, V. (2006b). Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Vahapoğlu, V. (2007). Kauçuk türü malzemeler-I: Doğal kauçuk. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 1, 57-70.
- Ward, I.M. (1971). Mechanical Properties of Solid Polymers. Bristol: John Wiley and Sons Inc.
-