

ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRETİM SÜRECİNDE ZnO YERİNE KATILAN  $Al_2O_3$ 'ÜN  
OTOMOBİL LASTİĞİNDEKİ FİZİKSEL ETKİLERİ

Zeynep ARDIÇ (TOPRAK) |

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

T. O.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkez

Bu tez 28.11.1991 tarihinde aşağıdaki juri tarafından yüz (100) üzerinden .70.. not takdir edilerek oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Çelik TARIMCI

Prof.Dr.DEMİR INAN

Prof.Dr.Mustafa ALPBAZ

**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**ÜRETİM SÜRECİNDE ZnO YERİNE KATILAN  $Al_2O_3$  'ÜN  
OTOMOBİL LASTİĞİNDEKİ FİZİKSEL ETKİLERİ**

**Zeynep ARDIÇ**

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Çelik TARIMCI  
1991, Sayfa 82

Juri: Doç.Dr. Çelik TARIMCI  
Prof Dr. Demir İNAN  
Prof Dr. Mustafa ALPBAZ

Tekerlek lastiği hamurunun hazırlanmasında ZnO aktivatör olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ZnO yerine  $Al_2O_3$  aynı amaçla lastik hamuruna katılmıştır. ZnO ve  $Al_2O_3$  için değişik oranlarda hamur reçeteleri hazırlanmıştır. Bu reçeteler ile hazırlanan hamurun pişme özelliklerine etkilerini belirlemek üzere üretim süreci boyunca zamana bağlı viskozluk ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca her bir reçeteye göre hazırlanan lastiklerin aşınma, dayanıklılık sınırı, esneklik katsayısı, yırtılma direnci, uzama, yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Bu ölçümler dikkate alınarak ZnO'li ve  $Al_2O_3$  'lü lastikler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** ZnO,  $Al_2O_3$ , lastik hamuru, viskozluk, shoreA.

## II

### ABSTRACT

Masters Thesis

THE PHYSICAL EFFECT OF AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> WHICH  
IS USED INSTEAD OF ZnO ON TYRE PRODUCTION

Zeynep ARDIÇ (TOPRAK)

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied  
Sciences Department of Physics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Çelik TARIMCI  
1991, Page 82

jury: Assoc. Prof.Dr. Çelik TARIMCI  
Prof.Dr. Demir INAN  
Prof.Dr. Mustafa ALPBAZ

ZnO is used as an activator in rubber compounds. In this research Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is used as an activator in compounds instead of ZnO. The compounding ingredients is prepared with different ratio for ZnO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The Viscosity of unvulcanized compounds is measured time to determine the curing effect property. In addition; Physical property as specific gravity, tensile strength, elongation, hardness, modulus, abrasion, tear strength, off all recipes are measured. The comparison of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to ZnO has been done with respect to these tests.

KEY WORDS: ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Compound, activator, tyre Rubber, viscosity, shore A.

### III

#### TEŞEKKÜR

Bana bu tez konusunda alıőma olanağı sağlayan, alıőmalarımın her aőamasında yakın ilgi, destek ve yönlendirmelerde bulunan sayın hocam Doç.Dr.elik TARIMCI'ya, tez konumun belirlenmesinde yardımcı olan Grup Müdürüm sayın Ali DANIŐMANT'a, çalıőmalarımı ve deneylerimi yaptığım PETLAS LASTİK SANAYİ A.Ő'ne en içten teőekkürlerimi sunarım.



## IV

### SIMGELER

A	Kesit alanı
Ad	Aşınma direnci
B	Yırtılma direnci
C	Mooney viskozimetre aletine ait sabit
d	Dairesel izin çapı
D	Çelik bilyanın çapı
E	Esneklik Katsayısı
Eb	Buharlaştırma ısısına bağlı ve viskoz akmayı başlatan enerji
f	Akma sınırına karşılık gelen gerilme
F	Kuvvet
H	Brinell sertlik sayısı
$\Delta l/l_0$	Gerinim
R	Genel gaz katsayısı
tg	Gecikme zamanı
to	İlk kalınlık
t90	Optimum pişme zamanı
T	Mutlak sıcaklık
Tt	Tork
v	Viskozimetre rotorunun hızı
V	Vickers sertlik sayısı
Zp	Yırtılma sınırına karşılık gelen kuvvet
$\tau$	Kayma gerilmesi
$\tau_0$	Maksimum gerilme
$\psi$	Döner koni düzlem viskozimetresinde koni yüzünün yatayla yaptığı açı
$\eta$	Viskozluk katsayısı
$\delta$	Kayma gerinimi

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
SİMGELER	IV
1.GİRİŞ	1
2.TEKERLEK LASTİĞİ	2
2.1 Lastiğin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	3
2.1.1 Elastomerler	3
2.1.1.1 Doğal Kauçuk	3
2.1.1.2 Yapay Kauçuk	4
2.1.1.3 Yenilenmiş (Rejenere) kauçuk	4
2.1.2 Peptizerler (Plastikleştiriciler)	4
2.1.3 Vulkanize Ediciler	5
2.1.4 Hızlandırıcılar (Akseleratörler)	5
2.1.5 Aktivatörler	6
2.1.6 Dolgular	7
2.1.7 Yumuşatıcılar (Yağlar)	7
2.1.8 Koruyucular	7
2.1.9 Özel Bileşenler	8
2.1.9.1 Renk Vericiler	8
2.1.9.2 Geciktiriciler	8
2.1.9.3 Sertleştiriciler	8
2.1.10 Dokuma Malzemeleri	9
2.2 Lastik Hamurunun Hazırlanması	9
3.FİZİKSEL ÖLÇMELER	13
3.1 Reoloji	13
3.1.1 Esnek Şekil Değiştirme	13
3.1.1.1 Yırtılma Direnci	16
3.1.2 Viskoz Şekil Değiştirme	17
3.1.2.1 Newton Akışkan	17
3.1.2.2 Newton Olmayan Akışkan	19
3.1.2.2.1 Zamandan Bağımsız Newton Olmayan Akış	20
3.1.2.2.1.1 Plastik (Bingham) Akış	20
3.1.2.2.1.2 Sözde Plastik Akış	21
3.1.2.2.1.3 Genleşmeli (Dilatent) Akış	22

3.1.2.2.2 Zamana Bağlı Newton Olmayan Akış	23
3.1.2.2.2.1 Tikotropi	23
3.1.2.2.2.2 Reopeksi	25
3.1.3 Visko Esneklik	25
3.1.3.1 Hooke Modeli	26
3.1.3.2 Newton Modeli	26
3.1.3.3 Maxwell Modeli	26
3.1.3.4 Voigt-Kelvin Modeli	28
3.2 Sertlik	30
3.2.1 Statik Sertlik Ölçme Yöntemleri	30
3.2.1.1 Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi	31
3.2.1.2 Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi	32
3.2.1.3 Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi	33
3.2.2 Dinamik Sertlik Ölçme Yöntemi	33
3.3 Aşınma direnci	34
<b>4.ÖLÇÜ DÜZENEKLERİ VE YÖNTEMLERİ</b>	<b>36</b>
4.1 Viskozluk Ölçümleri	36
4.1.1 Döner Koni Düzlem Viskozimetresi	36
4.2 Gerilme Direnci, Yırtılma Direnci, Esneklik Ölçmeleri	38
4.3 Sertlik Ölçmeleri	40
4.4 Aşınma Direnci	41
4.5 Standart Test Örneği Kesme Aleti	42
4.6 Laboratuar Ölçülerinde Lastik Hamuru Hazırlama Aleti	43
<b>5.ÖLÇÜMLER</b>	<b>44</b>
<b>6.TARTIŞMA VE SONUÇ</b>	<b>52</b>
6.1 Tartışma Ve Sonuç	52
<b>EK</b>	<b>74</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>82</b>

## 1.GİRİŞ

Oto lastiği yurdumuzda çeşitli firmalarca üretilen önemli bir kimya ürünüdür. Genel olarak lastiğin temel bileşenini doğal ve yapay kauçuk (%53), karbon siyahı (%25), ve lastik kordu (%9) oluşturur. Ayrıca hammaddelerin işlenmesini kolaylaştırmak ve kullanma amacına yönelik olarak istenilen fiziksel özellikleri kazandırmak amacıyla, kimyasallar (%6), yağlar (%5) ve diğer maddeler (%2) üretim süresince lastiğe katılmaktadır.

Ham kauçuk sert ve esnektir. İşlenebilmesi için önce yumuşatılması başka bir deyişle plastikleştirilmesi gerekir. Plastikleştirme, uzun zincirden oluşan kauçuk makromoleküllerinin peptizerler yardımıyla ısı işlem ve uygun bir değirmende yoğrulma ile parçalanarak kısaltılmasıyla sağlanır. Plastikleşmiş kauçuk etkilenen ve çoğu sıvı içinde kolaylıkla çözünen dayanıksız bir maddedir.

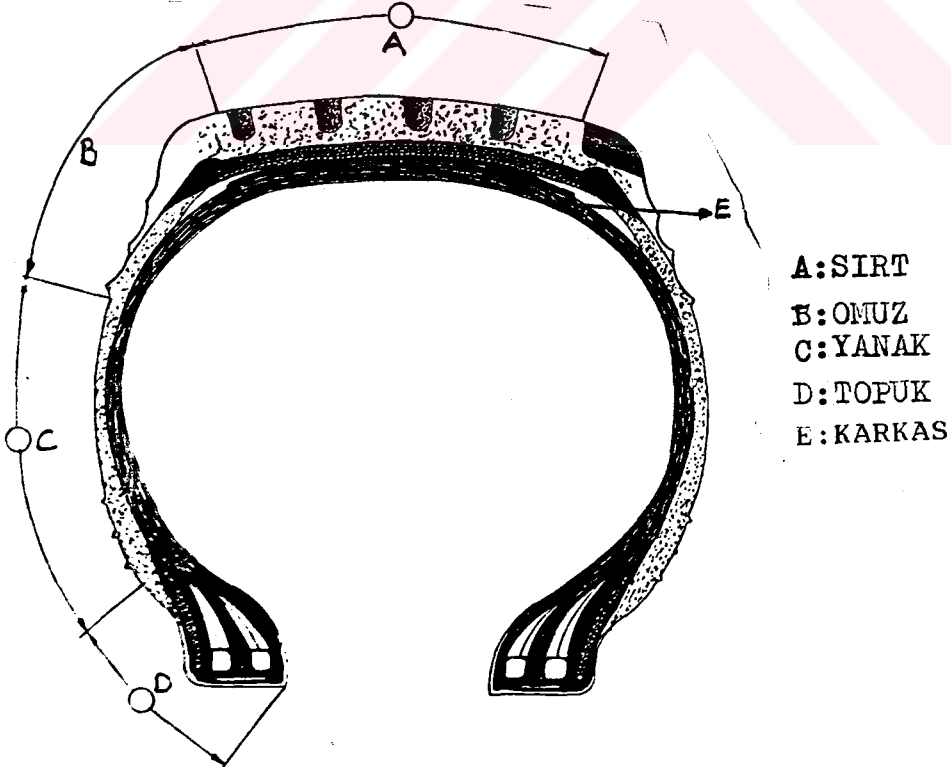
Kauçuk istenilen miktarda yumuşaklığını koruyarak dayanıklılık ve esnekliğini kazandırmak için kükürtle işlem yapılarak pişirilir (Vulkanizasyon). Kauçuğun kükürtle reaksiyona girmesini başlatıp hızlandırmak amacıyla "Akselerator" ve "Aktivatör" olarak anılan kimyasal maddeler lastik hamuruna karıştırılır. Daha sonraki işlemlerde dolgu maddesi olarak karbon siyahı, karışımı kolaylaştırmak üzere yumuşatıcılar, koruyucu maddeler ve amaca uygun fiziksel nitelikleri veren kimyasal bileşikler katılarak oto lastiğinin hamuru elde edilir.

Çinko Oksit ( $ZnO$ ) lastik hamurunun hazırlanmasında önemli bir inorganik bileşiktir.  $ZnO$ , vulkanizasyonu başlatıcı görev yaptığı gibi aynı zamanda lastiğe üstün fiziksel özellikler kazandırır. Bu özellikler, yaşlanmayı önleyici, güneş ışınlarından bozunmaya karşı direnç sağlayıcı, mekanik olarak güçlendirici ve yüksek ısı iletimi kazandırıcı olarak sıralanabilir.

Bu tezde lastik hamurunun hazırlanma aşamalarında katılan  $ZnO$  (çinko oksit) yerine hamurun özelliklerini değiştirmeden  $Al_2O_3$  (alüminyum oksit) kullanılması olanakları araştırılarak lastiğin fiziksel özelliklerine etkileri incelenmektedir.

## 2-TEKERLEK LASTİĞİ

Çeşitli kara ve hava araçları tekerlek lastiği kullanılmaktadır. Araçların kullanım amaçları ve türleri tekerlek lastiklerinde farklı özelliklere sahip olmasını gerektirmektedir. Örneğin bir savaş uçağının lastiği ile bir traktör lastiği hiç bir zaman aynı olamaz. Bu nedenle araçların kullanım amaçlarına göre farklı lastik bileşimleri hazırlanmaktadır. Bununla birlikte lastik belli bir süre içinde, belli bir ısı ve basınç altında pişirilmiş esnek bir yapıda olmalıdır. Genellikle içinde taşıdığı hava ile yere sürtünerek motorlu yada motorsuz taşıt araçlarının hareketini başlatır, hızlandırır ve durmasını sağlar.kullanım yerlerine göre çeşitli boyut, tür ve yapıda üretilirler. Ayrıca her lastiğin dış yapısını oluşturan bölümler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Bunlar lastikten kesit alınarak şekil 2.1'de gösterilmiştir (Petlas A.Ş,1987) KARKAS:Kauçuk ve diğer kimyasallar ile iplik dokumadan oluşan lastiğin iskeletine karkas denir. Karkas kaplama karışımı her bir kordu sararak ham lastik içinde yerleşimini sağlar.



Şekil 2.1-lastik kesiti.

**YANAK:**Gövde katlarını (karkas katları) dış etkilerden koruyan bir lastik bileşeni olup, belli bir karışımdan elde edilir. Eğilip bükülebilen bir özelliğe sahiptir. Yanak karışımı havanın bozucu etkilerine (Oksijen, Ozon ve Güneş ışığı gibi) karşı dayanıklı, esnek bir karışım olmalıdır.

**SIRT:**Lastiğin yol ile temas eden bölümüdür. Aşınmaya, yırtılmaya ve gerilmeye karşı dayanıklı olmalı, aynı zamanda yol yüzeyini iyi kavrama özelliğine sahip olmalıdır.

**ASTAR:**Lastik içindeki havanın muhafaza edilmesi için hava geçirgenliği az olan kauçuklu karışımlardan hazırlanmaktadır. Özellikle iç lastiksiz tekerlek lastiğinin iç kısmından karkasa doğru havanın sızmasını önlemek için, astarda hava geçirgenliği az olan butil kauçuk kullanılır.

**DARBE KATLARI:**Darbe katı sırt ile karkas arasında bir geçiş bölgesidir. Çoğunlukla ağır koşullarda çalışan lastiklerin direncini arttırmak ve sırt ile karkas arasında bir tampon bölge oluşturmak amacıyla kullanılır. Karkas katlara benzer fakat daha dar ve lastiğin yol ile temas eden sırt karışımının hemen altında yer alır. Bu kısma ek güç kazandıran kat sayısı lastik türüne göre değişir.

**TOPUK:**Gerilme ve aşınma direncine karşı dayanıklı aynı zamanda topuk teline iyi yapışma özelliği gösteren karışımlardan yapılır.

## 2.1 Lastiğin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Lastik endüstrisi genelde 25 hammaddeyi elemental veya bileşik halinde kullanmaktadır. Bunlar; Karbon siyahı, Kükürt veya bileşikleri halinde, ZnO, TiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> ve BaSO<sub>4</sub> gibi kimyasallarla güçlendirici kord materyalleridir.

### 2.1.1 Elastomerler

#### 2.1.1.1 Doğal Kauçuk

Kauçuk ağacının işlenmesi ile elde edilen doğal kauçuğun hava ve gaz geçirgenliği düşüktür. Doğal kauçuk ısınının

etkisiyle yumuşamakta yapışkan özellik kazanmaktadır. Soğuduğunda ise sert, kırılğan bir yapıya dönüşmektedir. Bu kauçuk vulkanize edildiğinde; sağlam, dayanıklı ve elastik bir yapı kazanmıştır. Doğal kauçuk çeşitleri; Pale creepe, SMR 5, 10, 20, 50, TYRE RUBBER A, SMRCV, SMRLV gibi ticari isimleri ile anılır. SMR 5 kauçuklarının sayıları arttıkça saflık azalır. SMR 5 tipi doğal kauçuk %10 yağ ile karıştırılarak TYRE RUBBER A elde edilir.

#### 2.1.1.2 Yapay Kauçuk

Yapay kauçuklar, küçük yapı taşları, monomerlerin bir araya gelmesi ile üretilirler. Bu olaya polimerleşme denir. Polimerleşme ile elde edilen kauçukların gerilme direnci yüksek ve esnek bir yapıya sahiptirler. Sırt karışımlarında kullanıldıklarında aşınma direnci artar. Ancak yol yüzeyini kavrama özelliği azalır. Aşınmaya ve ısınmaya karşı daha dirençli olan kauçuk özellikle sırt ve yanak karışımları için en uygundur.

#### 2.1.1.3 Yenilenmiş (Rejenere) kauçuk

Hurda lastiklerin kimyasallarla birlikte ısı ile işlenmesi sonucunda elde edilir. En önemli özelliği karıştırma esnasında daha az enerji gerektirmesidir. Yenilenmiş kauçuk lastiğin en iç tabakası olan astar ve kolonların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Morton, 1991)

#### 2.1.2 Peptizerler (Plastikleştiriciler)

Lastik hamuru hazırlanırken doğal ve yapay kauçuklar mekanik olarak öğütülür. Bu esnada parçalama işlemini kolaylaştırıcı maddelere ihtiyaç duyulur. Bu işlem için, kimyasal plastikleştirici veya başka bir deyimle peptizerler kullanılır. Bunlar, mekanik enerji ile

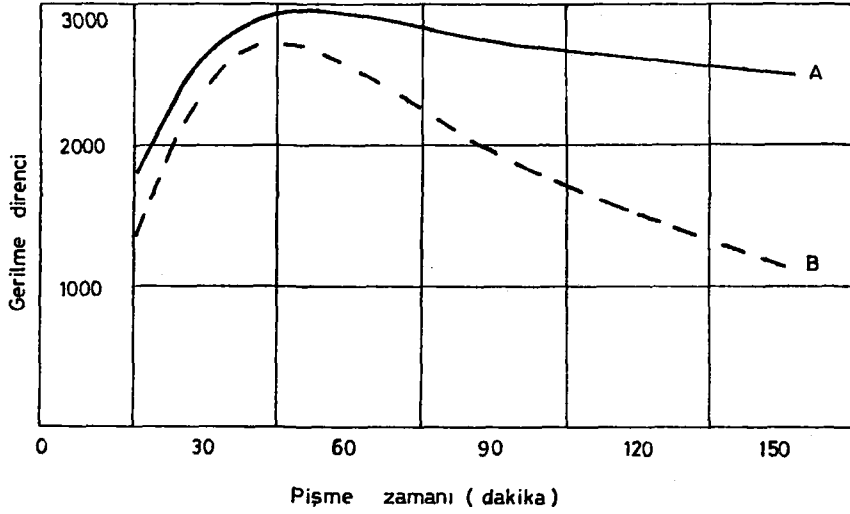
parçalanmış molekül zincirlerine etki ederek yeniden birleşmesini (polimerleşmeyi) önlerler. Peptizerlerin vulkanize olmuş ürünler üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Kauçuğun yumuşatılma işlemi sırasında karışıma az miktarda katılan peptizerler parçalanma sırasında dikkate değer zaman ve güç tasarrufu sağlar. Kükürt ihtiva eden peptizerler kompleks organik maddeler olup Pepton 22, Vulkanel TBN, Pepton 65 gibi ticari isimleri ile anılır (Petlas A.Ş.,1987).

### 2.1.3 Vulkanize Ediciler

Vulkanizasyon, plastik haldeki lastik hamurunun dışardan verilen bir enerji ile (çoğunlukla ısı) elastik hale dönüşme işlemidir. Vulkanizasyon işlemi için kullanılan kür maddelerinin başında kükürt gelmektedir. Kükürt, kauçuk moleküllerini birbirine bağlayarak yapının daha sağlam ve esnek hale gelmesini sağlamaktadır. Böylece mekaniksel dış etkenlere karşı uzun süre dayanıklılık sağlanmaktadır. Normal kükürt kauçuk içinde bir miktar çözünmektedir. Eğer karışımdaki kükürt miktarı 1.0 phr\*'yi aşarsa pişmemiş kauçuk mamül yüzeylerinde kusmaya (blooming) sebep olmaktadır (Kuan,1985).

### 2.1.4 Hızlandırıcılar (Akseleratörler)

Hızlandırıcılar kauçuğun kükürt ile reaksiyonunu hızlandıran maddelerdir. Hızlandırıcıların kullanımı ile daha iyi fiziksel özellikler, özellikle yaşlanmaya karşı daha iyi direnç elde edilir. Pişme süresinin kısalması, üretim miktarını artırdığı gibi büyük kauçuk ürünlerinde homojen pişme imkanı sağlar. Hızlandırıcılar organik maddeler olup, karışım hamurunun fiziksel özelliklerini mükemmeleştirir. Hızlandırıcıların kullanımına bağlı olarak fiziksel özelliklerde sağlanabilen değişiklik pişme süresi ile gerilme direnci arasında çizilen grafikte şekil 2.2'de açıklanabilmektedir.



**Şekil 2.2-Gerilme Direnci-Pişme Süresi**

Şekil 2.2' de A ve B ile gösterilen iki ayrı hızlandırıcı sistemi ve buna bağlı fiziksel özellik değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi A eğrisi maksimum gerilme direncine eriştikten sonra yavaş bir düşüş göstermekte ve 120 dakika olan pişme süresi ile 60 dakika sonundaki değer fazla büyük farklılık göstermemektedir. B eğrisi maksimum gerilme direnci değerinden sonra hızla bir düşüş göstermektedir ve buna bağlı olarak hızlandırıcının tipi ve gurubu, diğer bileşenlerin dengeleyici miktarları dikkate alınmalıdır. Yani hızlandırıcı kullanılmasının genel amacı, pişirilen lastiğin pişme zamanından sonraki süre içerisinde fiziksel özelliklerini (Modülüs, Gerilme Direnci gibi) yitirmemesidir. Bu süre içerisinde ani düşüşün önlenmesini sağlamaktadır. Hızlandırıcılar, MBT, MBTS, CBS, DPG, Vulcafor CBS, Sontocure gibi ticari isimlerle anılırlar (Hofman, 1981).

### 2.1.5 Aktivatörler

Lastiğin pişme işlemini hızlandıran ve fiziksel özelliklerini de büyük ölçüde etkileyen, hızlandırıcıların tepkimesini başlatan ya da katalizör görevi gören katkı maddelerine Aktivatör adı verilir. Bu maddelerin başında, Çinko Oksit ( $ZnO$ ) ve bununla birlikte kullanılan veya özel bileşenlerde tek başına da kullanılabilen stearik asit gelmektedir. Çinko Oksit lastiğe %3-5 gibi düşük oranlarda

giren fakat tüm lastik çeşitlerinin üretiminde yer alan önemli bir kimyasaldır. Çinko Oksit aynı zamanda beyaz dolgu maddesi olarak birinci kademe karışımında da kullanılabilir. Stearik Asit ve Çinko Oksit lastiğin kullanımı sırasında sırt altı kuşaklarında oluşacak ısının topuk bölgesine yayılmasını sağlar.

### 2.1.6 Dolgular

Bu sınıflamada yer alan malzeme, lastiğin fiziksel özelliğini bozmadan üretim maliyetini düşürmek amacıyla kullanılır. Bunların başında karbon siyahı gelmektedir. Karbon siyahı kullanıldığı karışımın aşınma direnci, yırtılma direnci ve viskozluk özelliklerini değiştirir ve iyileştirir. Dolgu malzemesinin daha küçük parçacıklardan oluşması, daha geniş bir yüzey ve daha etkili bir güçlendirme demektir. Karbon siyahı bu durumu yansıtan bir dolgu maddesi olarak çok küçük parçacıklardan meydana gelmiştir. Karbon siyahı çok kirletici bir malzeme olduğundan sıkıştırılarak veya palet haline getirilerek bu olumsuz etkisi giderilmeye çalışılmıştır. Bunlar; SAF, ISAF, FEF, HAF gibi ticari isimlerle anılırlar.

### 2.1.7 Yumuşatıcılar (Yağlar)

Lastik bileşimini oluştururken harmanlardan başlayarak tüm üretim aşamalarında kolayca işlenebilmesi için yumuşatıcı adı verilen organik yağlar kullanılır. Yumuşatıcılar, diğer katkı maddeleri ile birlikte kimyasal reaksiyona girmeleri yanı sıra viskozluğunu düşürürler. En çok yumuşatıcı olarak parafin kullanılır.

### 2.1.8 Koruyucular

Zaman içinde statik ve dinamik koşullarda lastiğin oksijen, ozon, güneş ışığı ve ısı sonucu bozunmasını

önleyici malzemelerdir. Her ne kadar dıştan uygulanan koruyucu veya boyalarla bu etkilerden kısmen korunmak mümkünse de, iyi bir koruma, ancak koruyucunun karışım esnasında hamuru etkilemesiyle elde edilebilir. Bu maddelere Antioksidant ve Antiozanant denmektedir.

### 2.1.9 Özel Bileşenler

Normal koşullarda kullanımlarına gereksinim olmayıp özel amaçlar için kullanılan malzemelerdir.

#### 2.1.9.1 Renk Vericiler

Renkli kauçuk mamülleri üretiminde kullanılırlar. Bunlardan  $TiO_2$  Çok iyi bir renk verici olarak bilinmekle birlikte pahalı bir boyadır.  $ZnO$  diğer bir renk vericidir. %30  $ZnS$  (Çinko sülfür) + %70  $BaSO_4$  (Baryum Sülfat) karışımı da çok iyi bir renk vericidir.

#### 2.1.9.2 Geciktiriciler

Lastik karışımlarına, pişiricileri dengelemek ve pişmeyi denetlemek (geciktirmek) amacıyla kullanılan maddelere geciktiriciler denir. Acetyl Salisilic asit gibi maddeler bu amaçla kullanılır.

#### 2.1.9.3 Sertleştiriciler

Organik sertleştiriciler, plastikleşmenin düşük olduğu durumlarda çok düşük oranlarda hamura karıştırılırlar. En iyi bilinen sertleştirici Dihytrazin Sülfattır.

### 2.1.10 Dokuma Malzemeleri

Lastik endüstrisinde güçlendirici katkıların yanısıra fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, lastik uzamasının kontrol altına alınması için kord adı verilen dokumalar kullanılmaktadır. Dokumalar lastiğe şekil ve ölçü verir, yük taşıma kapasitesini arttıırırlar. Lastikte kullanılan kordlar genel bir sınıflandırma ile dokuma ve çelik kordlar olmak üzere iki ayrı grup altında incelenebilir. Çelik kordların dayanıklılık özelliği tekstil kordlara göre çok yüksek, esneklik özellikleri ise düşüktür.

### 2.2 Lastik Hamurunun Hazırlanması

Doğal veya sentetik kauçuk başlangıçta esnek olup içerisine katkı maddeleri karıştırılabilmesi ve işlenebilmesi için yumuşatılıp plastikleştirilmesi gerekir. Bu işleme kauçuğun "mastikasyonu" veya yumuşatılması denir. Bu işlem, genellikle döner silindirli karıştırıcılarda yapılır. Kauçuk, silindirler arasından geçerken polimer moleküllerinde oluşan büyük kesici gerilim sonucu serbest radikaller ortaya çıkar. Bir kısım radikaller oksijenle birleştiklerinde birbiri ile birleşme olanağını kaybederler. Polimer zincirlerindeki kırılmalar kauçuğun ağ yapısında gevşemeye yol açarak kauçuğa plastik karakter kazandırmış olurlar.

Kauçuk yumuşatıldıktan sonra formüle göre hazırlanmış olan katkı maddeleri, belirli bir sıra ile karıştırılır. Öncelikle aktivatörler, arkasından dolgu maddeleri, daha sonra hızlandırıcılar en son olarakta hızlandırıcıların anamaddesi olan kükürt eklenir. Karıştırma işlemi iki aşamada olur.

1.Aşamada karıştırıcılara vulkanize edici kimyasallar hariç, kauçuklar, dolgu maddeleri, aktivatörler, yumuşatıcı yağlar belirli bir reçete ve karıştırma programına göre hazırlanır.Örnek bir reçete olarak;

Madde	phr(Per Hundered Rubber)
-----	----
Kauçuk	100
Karbon siyahı	50
Çinko Oksit	3-6
Stearik Asit	1-2
Özel kimyasallar	1-10
Koruyucular	0.8-1.2
Yağlar	2-15

verilebilir.

Tekerlek lastiğini oluşturan temel yapı unsurlarından karkas, sırt, yanak, astar, darbe katları ve topuk bölümlerinin herbiri için ayrı ayrı reçeteler uygulanır. 1.Aşama karışımın fiziksel özelliklerinden viskozluk ve yoğunluk değerleri iyi sonuç veriyorsa 2.Aşama karışımına başlanır. 2.Aşama karışımının hazırlanmasına örnek olarak;

Madde	phr
-----	----
1.Aşama karışımın toplam miktarı	
Hızlandırıcılar	0.8-2
Aktivatörler	0.8-2
Kükürt	1-4

verilebilir.

1.Aşama karışımına hızlandırıcılar, aktivatörler ve kükürtün eklenmesi ile elde edilir. Karışımın iki aşamada yapılmasının amacı, özellikle yanma problemini ortadan kaldırmak içindir. 2.Aşama karışımı hazırlandıktan sonra lastik üretiminden iyi sonuç alabilmek için fiziksel özelliklerinden viskozluk özelliğine bakılır. Bu şekilde hazırlanan ve pratikte "hamur" adı verilen plastik özellikteki karışım kalıplamaya hazırlanır. Kalıplamada, ısı, zaman ve basınç: imal edilen ürünün kalitesini doğrudan etkileyen üç etkindir. Diğer taraftan ısı ile zaman arasındaki ilişkiye de karışımın içindeki hızlandırıcılar doğrudan etkiler (Petlas A.Ş,1987).

Kauçuk, katkı maddeleri ile karıştırıldığı zaman plastik haldedir. Yani, ısıtılır ve bir dış kuvvete maruz bırakıldığında şekil değiştirir veya bulunduğu kabın şeklini

alır. Kauçuk polimer yapılı kimyasal madde olduğu için, aşağıdaki gibi karbon zinciri olarak düşünülebilir.



Karbon Atomu

Polimer

Kauçuk, bir zincir parçasının binlercesi, milyonlarcasının bir arada bulunduğu bir yapıya sahiptir. Bu zincirler dolgu maddeleri üzerinde düğümlenerek birbirine dolanır ve daha dirençli bir yapı oluşur. Vulkanizasyon işlemi yapılmadan hamur henüz çıgıdır ve plastiktir. Karbon atomunun iki bağ polimerde komşu iki atoma bağlıdır. Bu bağlardan biri kopmaya elverişli başka atom veya moleküllere bağlıdır. Vulkanizasyona uygun polimerlerin kopmaya elverişli bağları bulunmaktadır. Polimerlerdeki kopmaya elverişli bağları koparabilen vulkanize edici olarak kükürt kullanılır. Plastik haldeki lastik hamurunun dışardan tatbik edilen bir enerji ile elastik hale dönüşme işlemine vulkanizasyon denir. Bugün, yaygın olarak kükürtle yapılan pişirme işlemine vulkanizasyon, diğer tekniklerle yapılanlarına çapraz bağlanma (crosslink) denmektedir. Vulkanize kauçukta gördüğümüz kuma olayı kauçukta henüz bağlanmamış serbest kükürtler bulunduğunu gösterir, bunun sebebi yetersiz vulkanizasyondur. Bu noktada pişirme süresinin de vulkanizasyon üzerindeki etkisi ortaya çıkıyor. Sekiz kükürt atomu halka biçiminde bağlanarak kükürt molekülünü meydana getirirler. Vulkanizasyon işlemi, önce sekizli halkanın açılmasını ve ikinci basamakta da açılan bu uçların polimerin elverişli noktalarında bağlanma uçlarını açarak bu noktalarda kalıcı bağların oluşmasını sağlar (Otomarsan A.Ş,1989).



Kükürt Atomu

Kükürt Molekülü

Uçları Açık kükürt Molekülü

Kauçuğun kükürtle vulkanizasyonu, yavaş bir reaksiyon olup kendi haline bırakıldığında uzun zaman alır.

Ancak, hızlandırıcı adı verilen organik bileşikler vasıtasıyla reaksiyon hızlandırılır ve vulkanizasyon kısa zamanda tamamlanır. Vulkanizasyonun tamamen gerçekleşmesi için geçen süreye "pişme süresi" adı verilir.

Ham kauçuktan lastiğe geçişte meydana gelen yapı değişikliği ve özelliklerindeki farklılaşma, çeşitli fiziksel testlerle sağlanır. Lastiğin yapısı ve fonksiyonu arasındaki bağıntı ile yakından ilgili olan araştırma ve geliştirme çalışmalarında faydalanılan testleri iki büyük grupta toplamak mümkündür. Bunlardan birinci grubu, fiziksel ve kimyasal yönden yapıyı ilgilendiren ve bu konuda bilgi veren testlerdir. Bu testler viskozluk, pişme özellikleri, gerilme direnci, uzama, sertlik ve aşınma direncidir. Bunlardan viskozluk testi vulkanizasyonla yakından ilgili olduğundan ham lastiği ne kadar sürede pişirebileceğimiz ve çapraz bağlarla kauçuk polimer zincirlerini birbirine bağlayıp daha sağlam bir yapı oluşturup oluşturamayacağımız hakkında bilgi verir. Gerilme direnci, uzama, esneklik katsayısı, maddenin yapısındaki değişikliklerin izlenmesini sağlar. Sertlik testi lastiğin esnekliğini belirtir. Lastiğin kullanım özelliği ve fonksiyonu konusunda bilgi edinmek için ise aşınma deneyi yapılır.

Belli özelliklere sahip bir lastik parçasının imali için bir bileşim hazırlanarak fiziksel ve kimyasal yönden yapıyı ilgilendiren birinci gruptaki testler yapıldıktan sonra lastik için gerekli sıra izlenerek sırt, yanak, karkas, astar, darbe katları gibi profiller elde edilir. Lastiğin bölümleri olan bu bileşenler biraraya getirilerek ham lastik oluşturulur. Ham lastik vulkanizasyon özelliklerine bağlı olarak belirli ısı ve basınçta belli bir süre pişirilir. Pişirme işlemi, ham lastiğin lastik şeklini alması ve sırt deseninin oluşturulması işlemidir. Ham lastik pişirildikten sonra çalışma şartlarında fonksiyonunu yapabilme derecesi ile ilgili ikinci grup testler yapılır. Bu testler, lastiğin düzgünlük kontrolü, dayanıklılık, yüksek hız, statik ve dinamik, denge deneyleridir. Bu testlerin amacı lastiğin performansını ve kalitesini arttırmaktır (Petlas A.Ş.,1989).

### 3.FİZİKSEL ÖLÇMELER

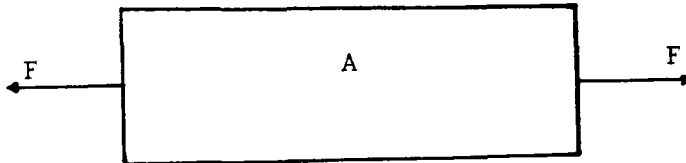
Bir taşıt lastiğinin kullanım uygunluğunu belirlemek için yapısı ile ilgili fiziksel özelliklerin ölçülmesi gerekir. Dayanıklılık lastik için temel bir özelliktir. Bu nedenle, lastiğe etkiyen gerilme kuvvetleri, sertlik ve aşınma direnci ölçülür. Ayrıca üretim süresini denetlemek üzere lastik hamuru sıvı fazında iken viskozluk ölçümleri gerçekleştirilir.

#### 3.1 Reoloji

Şekil değiştirebilen malzemeleri inceleyen bilim dalına reoloji denir. Şekil değiştirme, malzemenin bilinen bir gerilim altında akması, akışkan davranış göstermesi veya boyut değiştirmesidir. malzemenin akmaya karşı gösterdiği ve sürtünme etkisi ile ortaya çıkan dirence "viskozluk" (ağdalı akış) diyoruz. Bir katının şekil değiştirmesi, boyutlarında değişme ile olurken sıvınıninki akma şeklinde olur. Temel kavram olarak her iki durumda da önemli olan, şekil değişmesinin nasıl olduğudur. Genel olarak, şekil değiştirme, esnek ve viskoz olarak iki grupta ele alınabilir.

##### 3.1.1 Esnek Şekil Değiştirme

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, dış kuvvetlerin etkisi altında kalan katı bir cisim, şekil değiştirir. Uygulanan kuvvetler kaldırıldığında cisim tekrar eski şekline dönebiliyorsa bu cisme esnek cisim ve şekil değiştirmeye de esnek şekil değiştirme denir.



Şekil 3.1-Esnek Şekil Değiştirme.

Dış kuvvetlerin etkisi altında malzemenin iç yapısında karşılıklı yerdeğiştirmeler oluşur ve iç ve dış kuvvetler arasında denge kuruluncaya kadar devam eder. Şekil değiştirmeye zorlanan bir malzemede birim alana etki eden dış kuvvete gerilme denir ve  $F$  dış kuvvet,  $A$  kesit alanı olmak üzere,

$$\sigma = F/A \quad (3.1)$$

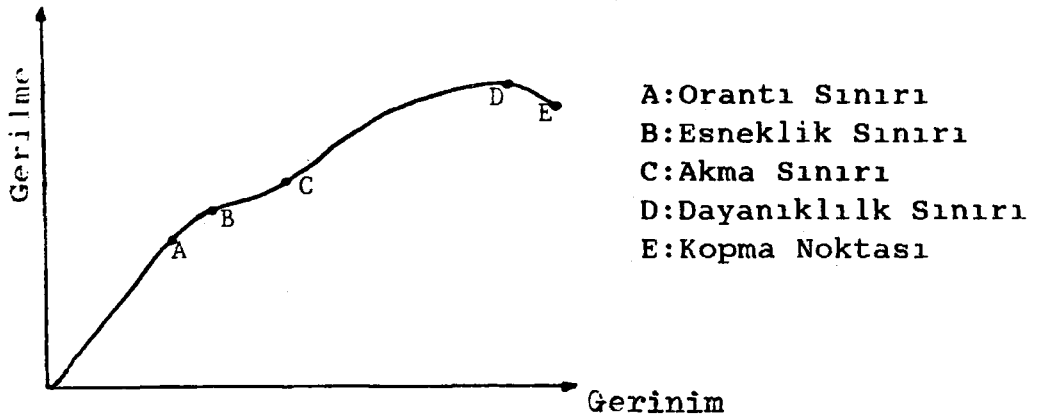
olarak tanımlanır. Boyutu basınç boyutunda olup birimi  $N/mm^2$ 'dir. Gerilmenin etkisiyle malzeme şekil değiştirmeye zorlanır. Bu zorlamaya yada gerilmeye karşı malzemenin gösterdiği tepkiye ise gerinme denir. Tepki, malzemedeki şekil değiştirme olarak gözlenir, başka bir deyişle gerinme, boyca uzama ya da kısalma, hacimce değişiklikler, burulma vb. olarak ortaya çıkar. Malzeme esneklik sınırları içinde kalacak şekilde geriliyorsa, gerinme de gerilme ile doğru orantılı olur. Böylece,

$$(\text{Gerilme}) = E (\text{gerinme}) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir,  $E$  ise Esneklik katsayısı olarak tanımlanır. Şekil 3.1'de, çubuk  $F$  kuvveti etkisi altında gerilir ve buna tepki olarak çubuğun boyu uzar. Başka bir deyişle, gerinim boyca uzamanın bir ölçüsü olarak ortaya çıkar ( $\Delta l/l_0$ ). (3.2) bağıntısı yeniden yazılırsa,

$$F/A = E(\Delta l/l_0) \quad (3.3)$$

olur. Çekme geriliminin gerinime bağlı olarak değişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2-Gerilim-Gerinim Eğrisi.

OA bölgesinde, gerilim belli bir değere yükselinceye kadar uzama kuvvet veya gerilme ile doğru orantılı olarak artar. Onun için A gerilmesine Orantı sınırı denir. Bu bölgeden sonra gerilim arttıkça uzamada artar; fakat bu artış gerilimdeki artışla orantılı olmaz.

OB bölgesinde, malzemenin üzerindeki kuvvet kaldırılınca, malzeme kalıcı bir uzama görülmez. Kuvvet etkisi kalkınca malzeme kısalır ve eski halini alır. Başka bir deyimle malzeme esner. Onun için "B" gerilimine esneklik sınırı denir. Esnek davranışın anlamı, kalıcı şekil değişimi olmaması demektir. Uygulanan yükler ortadan kaldırıldığında malzeme ilk şeklini alıyorsa esnek şekil değişimi olmuştur denir. Esneklik sınırı ile orantı sınırı birbirine çok yakındır. Esnek cisimle ilgili teoriler gerilme ve şekil değiştirmenin orantılı oluşuna dayanır. O halde bir malzemenin yüklenebileceği en büyük gerilme orantı sınırındaki gerilmedir (Changir, 1987).

Bu bölgedeki gerilimin şekil değiştirmeye (gerinim) oranına esneklik katsayısı denir. Başka bir deyişle, doğrusal kısmın eğimine eşittir. Buradan Esneklik katsayısı,

$$E = \text{Gerilim/gerinim} = \frac{\sigma}{\Delta l/l_0}$$

olarak bulunur.

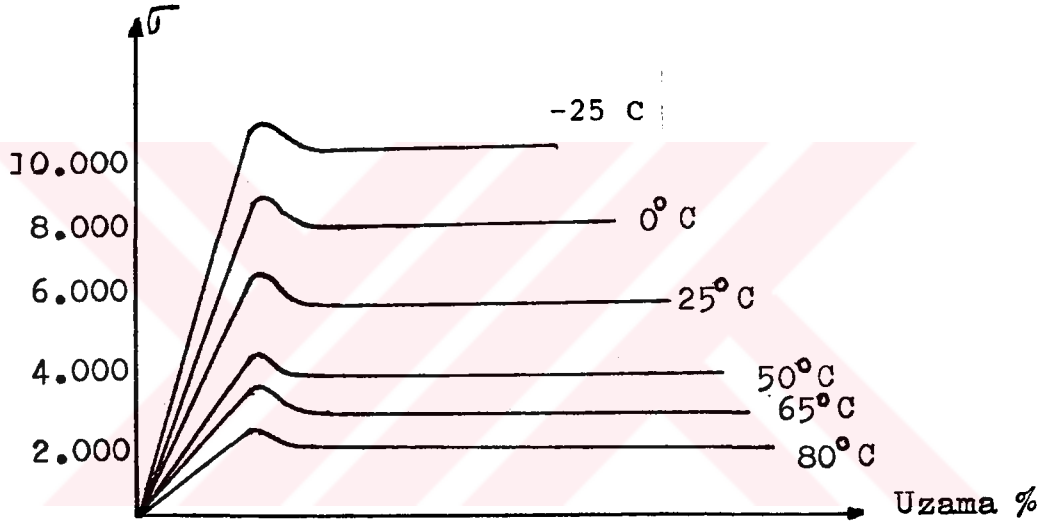
Çekme işlemine esneklik sınırından sonra da devam edilirse gerilim değişmediği halde malzemenin uzaması artar. C noktasındaki bu gerilime Akma Sınırı denir ve plastik şekil değişiminin başlangıcını verir.

Akma sınırından sonra malzemenin, üzerine uygulanan kuvvet arttıkça uzaması da artar. Burada malzeme kopmadan önce en büyük gerilime ulaşmış demektir. Kopma sınırına yaklaştığı zaman, malzemenin ortasına yakın bir yerde daralma olur ve malzeme buradan kopar. Grafikteki en büyük gerilmenin bulunduğu noktaya Çekme Dayanımı adı verilir. Bu değer uygulanan kuvvetin malzemenin ilk kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Gerilme, en yüksek noktaya ulaştıktan sonra ani bir düşme görülür ve malzeme kopar. Malzeme kopuncaya kadar meydana gelen toplam uzamanın ilk boya oranı kopma uzamasıdır.

Çekme ile yapılan mekanik özellik belirlenmesinde, kopmada gerilim direnci, uzama, Esneklik

Katsayısı, çekme hızı ve sıcaklığa bağlıdır. Çekme hızının artması, gerilim direnci ve esneklik katsayısının yüksek olmasına neden olur. Sert malzemelerde çekme hızının artması ile uzama azalır.

Çekme sıcaklığı, çekme hızından çok daha etkin rol oynar. Çekme sıcaklığının azalması, yüksek gerilim direnci ve Esneklik Katsayısı ile uzamada azalmaya neden olur. Şekil 3.3'de sıcaklık artması ile gerilme direnci - uzama eğrisi arasındaki bağıntı verilmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla uzama azalır, gerilme direnci artar (Akovalı,1984).



Şekil 3.3- Gerilme Direncinin uzamaya göre farklı sıcaklıklarda değişimi.

#### 3.1.1.1 Yırtılma Direnci

Gerilen test örneğinin yırtılmaya karşı direnci olarak tanımlanır ve birim kalınlığa düşen kuvvettir. Test örneği sabit bir yük altında sürekli gerilmeye maruz bırakılarak örneğin yırtılmasına neden olur.

Yırtılma Direnci;

$$B = Z_p / t_0 \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır.

Not: Yırtılma direnci, Gerilme direnci gibi ölçülür.

Zp:Test örneği yırtıldığı zaman 0.1 hassasiyetle tesbit edilen kuvvet,

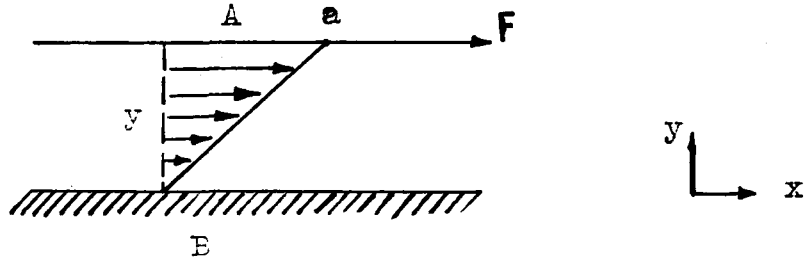
to:Test öncesi ölçülen test örneği kalınlığı

### 3.1.2 Viskoz Şekil Değiştirme

Amorf katıların ve sıvıların şekil değiştirmeleri onların akma özellikleri ile yakından ilgilidir. Akan bir sıvının en temel özelliklerinden biri de viskozluktur. Viskozluk, sıvının akışı sırasında oluşan ve akmaya karşı direnme ya da iç sürtünme olarak tanımlanır. Sıvının molekül büyüklüğü, saflığı, yoğunluğu, çözelti şeklinde olup olmadığı vb. viskozluğunu etkileyen etkenlerdir. Akan bir malzeme (sıvı ya da amorf katı) bakımından genel olarak, Newton ve Newton olmayan akışkan olarak ikiye ayrılır.

#### 3.1.2.1 Newton Akışkan

Sabit bir B yüzeyi üzerinde düzgün olarak akan bir sıvı düşünelim (Şekil 3.4). Akmayı sağlayan F teğetsel kuvveti A yüzeyine a noktasında etkisin.



Şekil 3.4-Newton Akışkan

A yüzeyi, durgun B yüzeyine göre, aradaki paralel sıvı tabakalarını da sürükleyerek hareket eder. Her tabakadaki sıvı parçacıklarının hızı, B ile A düzlemleri arasındaki uzaklığın fonksiyonudur. Böylece, sıvı parçacıklarının konumlarına bağlı olarak hızlarının değişim

miktarı akan miktarın (debinin) bir ölçüsü olur. Parçacıkların  $v$  hızının konuma bağlı değişimi  $dv/dy$  ile gösterilir. Bu ise kayan A düzlemine dik hız gradientidir. Newton, teğetsel kuvvetle hız gradienti arasındaki ilişkiyi,

$$F = \eta \frac{dv}{dy} A$$

şeklinde tanımladı.  $F/A = \tau$  kayma ya da kesme gerilmesi olduğundan bu bağıntı,

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad (3.5)$$

olarak yazılır. Buradaki orantı katsayısı viskozluk katsayısı adını alır. Akan miktar (debi) kayma gerinimi zamana bağlı olarak da verilebilir. Şekil 3.4 göz önüne alınırsa,

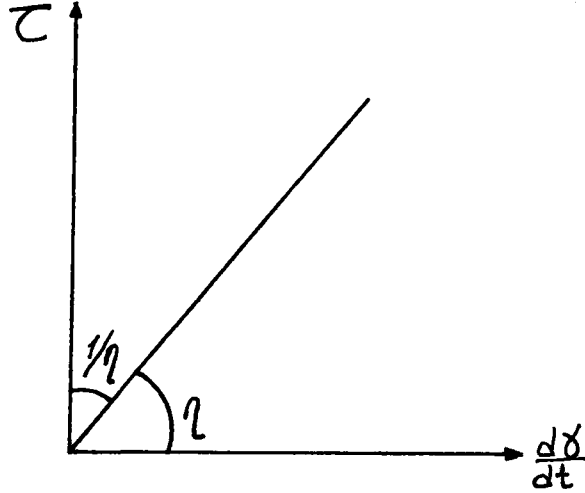
$$v = \frac{dx}{dt}, \quad \frac{dv}{dy} = \frac{d}{dy} \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{dx}{dy}$$

kayma gerinimi  $\gamma = \frac{dx}{dy}$  olduğundan,  $\frac{dv}{dy} = \frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma}$  olur.

(3.5)denkleminde yerine konursa

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (3.6)$$

yazılabilir. (3.5) veya (3.6) bağıntılarına uyan sıvılar, Newton sıvıları olarak anılırlar. Bu sıvılara ait kayma gerilmesinin kayma gerinim değişimine bağlı grafiği akış eğrisi adını alır ve Hooke yasasına uyan katılara ait gerilme-gerinme grafiğine benzer (şekil 3.5). Grafikteki doğrunun eğimi, katılar için esneklik katsayısı olurken, Newton sıvısı için viskozluğa eşit olur. viskozluk birimi  $Ns/m^2$  dir.



Şekil 3.5-Gerilme-Gerinme Grafiği.

Uygulamada bazan viskozluk birimi olarak "poise" kullanılır ve 1 poise=0.1 Ns/m<sup>2</sup> dir. Viskozluğun tersi olan  $1/\eta$  'ya ise sıvının akıcılığı denir.

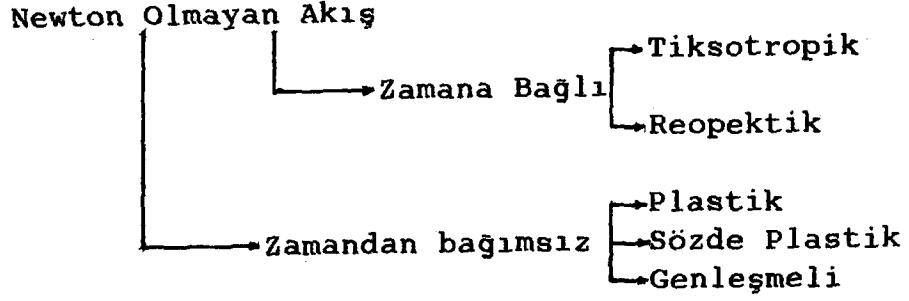
Viskozluk genel olarak sıcaklığın bir fonksiyonudur ve Arrhenius bağıntısına benzer bir bağıntı ile verilebilir (Jastrzebski, 1987).

$$\eta = Ae^{E_b/RT} \quad (3.7)$$

Burada A molekül ağırlığına ve molar hacime bağlı bir katsayı,  $E_b$  buharlaşma ısısına bağlı ve viskoz akmayı başlatan enerji, R genel gaz katsayısı ve T mutlak sıcaklıktır. Küçük molekül ağırlıklı sıvılar ancak newton akışkan özelliği gösterir.

### 3.1.2.2 Newton Olmayan Akışkan

Çoğu çözeltiler, özellikle yoğun olanlar, büyük moleküllü sıvılar, polimer çözeltileri vb. genellikle Newton akışkanı gibi davranmazlar. Viskozlukları sabit sıcaklıklarda sabit değerler almadığı gibi, kayma gerilmesi ( $\tau$ ), kayma gerinim değişimi ( $\dot{\gamma}$ ) ve zamanın da bir fonksiyonu olabilir. Newton olmayan akışkanlar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.



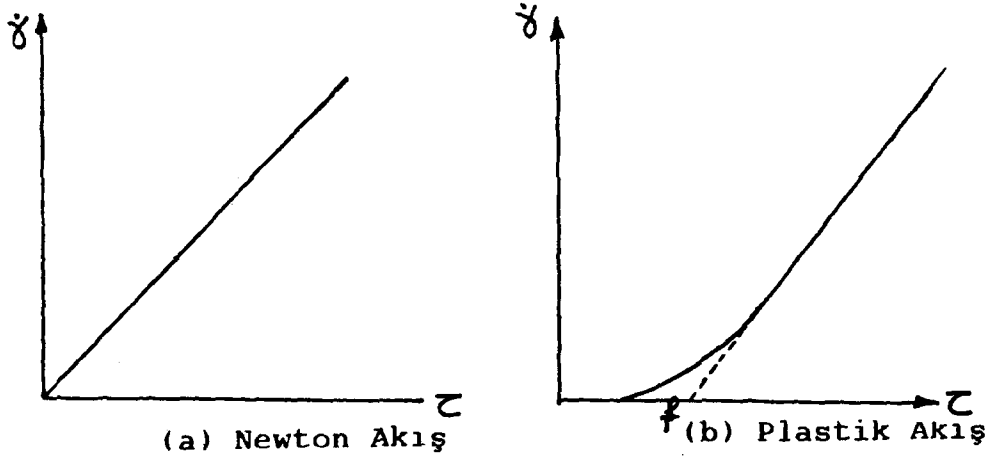
### 3.1.2.2.1 Zamandan Bağımsız Newton Olmayan Akış

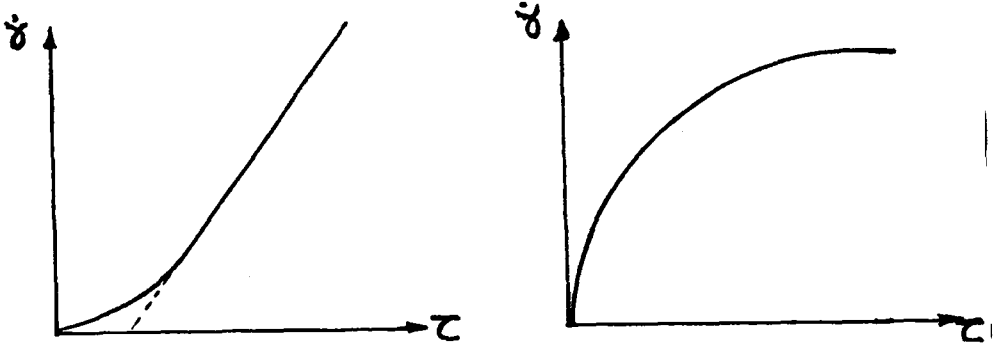
#### 3.1.2.2.1.1 Plastik (Bingham) Akış

Şekil 3.6b'de plastik ya da Bingham akışa ait akış eğrisi görülmektedir. Akış eğrisi başlangıçtan geçmez ve kayma gerilmesi eksenini akma sınırı adını alan  $f$  noktasında keser. Plastik malzeme bu noktanın altındaki kayma gerilmeleri ( $\tau$ ) etkisinde esnek katı gibi davranır. Gerilme,  $\tau = f$  olduğunda akmaya başlar. Bu tür akışlar için plastik viskozluk, kayma gerilmesi, akma sınırı ve kayma gerinim değişimine bağlı olarak Bingham tarafından,

$$\eta = \frac{\tau - f}{\dot{\gamma}} \quad (3.8)$$

şeklinde verilmiştir. Bu bağıntı, akış eğrisini, kayma gerilmesi eksenini  $f$  de kesen bir doğruyu vermektedir.





(c) Sözde Plastik Akış (d) Dilatent Akış  
Şekil 3.6- Çeşitli Malzeme İçin Akış Eğrisi.

Uygulamada, akma  $f$  den biraz daha küçük değerlerde gerçekleşmekte ve şekil 3.6b'de ki eğrinin lineer bölümüne yaklaşmaktadır. Akma sınırının üstündeki kayma gerilmelerinde plastik akış Newton akışına benzer. Akış eğrisinin eğimi akıcılığı ve akıcılığın tersi de viskozluğu verir.

### 3.1.2.2.1.2 Sözde Plastik Akış

Şekil 3.6c'de görüldüğü gibi akış eğrisi eğer başlangıçtan geçecek olursa, yani kayma gerilmesi uygulanır uygulanmaz akma başlar ve kayma gerinim değişimi ( $\dot{\gamma}$ ) arttıkça eğrinin eğimi yavaş yavaş artıyorsa sözde plastik akış gerçekleşir. Viskozluk eğrinin eğiminin tersine eşittir ve böylece eğrinin eğimi arttıkça viskozluk azalır. Sabit değerde ve özgün bir viskozluktan söz edilemez. Ancak belli bir nokta için, başka bir deyişle belli kayma gerilimi ve gerinim değişimi için aradaki eğri teğetinin eğimi hesaplanır ve tersi alınır. Bu tür hesaplanan viskozluk anlık viskozluk adını alır ( $\eta_{an}$ ). Sözde plastik malzemeyi belirlemek için bir çok anlık viskozluk katsayısına ihtiyaç olduğundan akış eğrisinin tamamının göz önüne alınması gerekir. Bununla birlikte, büyük kayma gerilmelerine karşılık gelen noktalarda eğri doğrusallaşır ve viskozluk da bir minimum değerde sabitleşir. Viskozluğun

bu değeri malzeme için anlamlı bir değer olur.

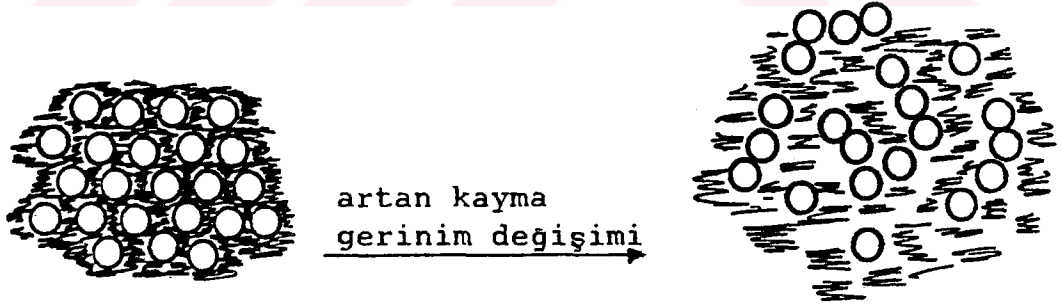
Sözde plastik akışı belirlemek üzere sıkça kullanılan ampirik bir bağıntı,

$$\tau^n = \eta' \dot{\gamma} \quad (3.9)$$

şeklinde verilir. Burada  $\eta'$  Viskozluk katsayısı ve n ise sözde plastiklik indisidir. n=1 için sıvı, Newton akışı gösterir, n<1 için ise sözde plastik akışı gösterir.  $\ln \tau - \ln \dot{\gamma}$  değişimi çizildiğinde elde edilen doğrunun eğimi akışkan için n değerini ve eksenleri kesim noktalarından da  $\ln \eta'$  ve viskozluk bulunabilir.

### 3.1.2.2.1.3 Genleşmeli (Dilatent) Akış

İçinde %50 üzerinde asılı küçük parçacık içeren çözeltiler genleşmeli akış özelliği gösterirler. Şekil 3.7 de görüldüğü gibi, sıvı durgun iken içindeki parçacıklar aralarındaki boşluk minimum olacak şekilde üstüste yığılmıştır. Çözeltinin taşıyıcı sıvısı ara boşlukları,



Şekil 3.7-Genleşmeli Akış da Çözelti İçindeki parçacıkların davranışı.

parçacıkların birbirlerinin üzerinden kaymalarını sağlayacak şekilde doldurmuştur. Dolayısıyla çözelti akma özeliğine sahiptir. Kayma gerilimi uygulandığında (sıvının karıştırılması ya da çalkalanması yoluyla) parçacıkların birbirlerine göre konumları değişir ve aralarındaki boşluk

artar. Yani hacimce bir genleşme oluşur. Taşıyıcı sıvının miktarında bir değişiklik olmadığından ara boşluklar yeterince doldurulamaması sonucu, parçacıkların bir kısmı ıslanmaz ve aralarındaki sürtünme artarak akmaya karşı direnç yükselir. Böylece çözelti koyulaşarak macunumsu bir görünüm kazanabilir. Bu nedenle genleşmeli akış gösteren sıvılar hızlı karıştırıldığında koyulaşma özelliği gösterirler. Yağlı boya buna örnek olarak verilebilir. Kayma gerilmesi (karıştırma) ortadan kalktığında çözelti tekrar ilk akıcılığına döner.

Şekil 3.6d'de genleşmeli akış gösteren bir akış eğrisi gösterilmiştir. Eğrinin davranışı yine 3.9 bağıntısı ile gösterilebilir ancak burada  $n > 1$  olur.

### 3.1.2.2.2 Zamana Bağlı Newton Olmayan Akış

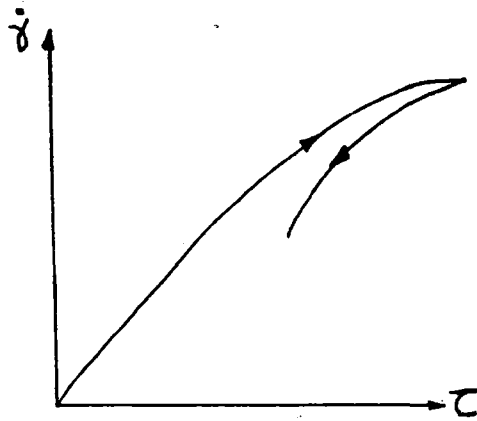
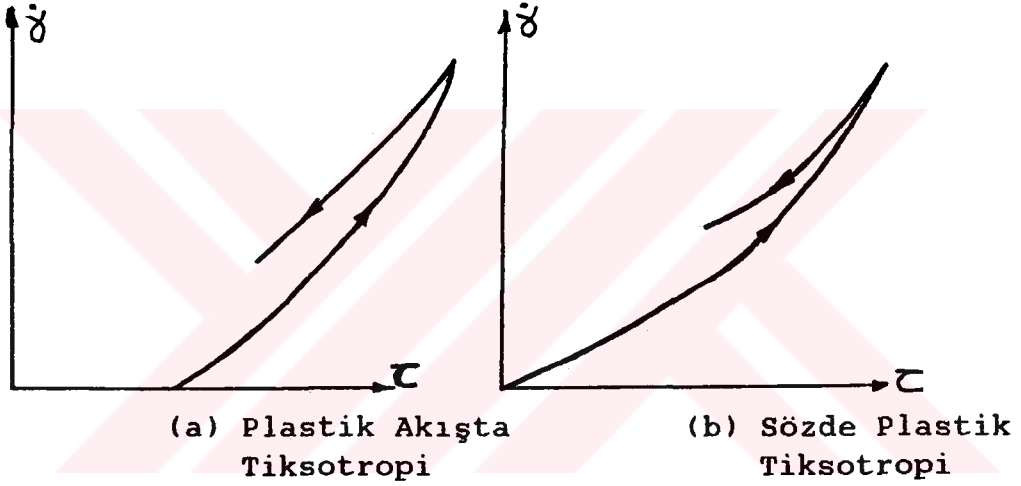
Zamana bağlı Newton olmayan akış ikiye ayrılır. Bunlar Tiksotropi ve Reopeksi'dir.

#### 3.1.2.2.2.1 Tiksotropi

Bu tip akışkanda kayma gerinim değişimi kayma gerilimine bağlı olarak sürekli artış gösterir ve viskozluk zamanla azalır. Gerilim kalkınca sistem kendisini zamanla toplamaya başlar. Yani, yeterli bir kayma gerilimi uygulandığı zaman sıvı incelir (cıvıklaşır) ve bu gerilim kaldırılıp yeterli bir süre kendi haline bırakıldığında tekrar koyulaşarak eski kıvamına döner, bu olaya Tiksotropi denir. Tiksotropik sistemler, zayıf polar bağlarla birleşmiş üç boyutlu ağsı yapı oluşturan asimetric partiküler içerirler. Durgunluk halinde, bu yapı bir dereceye kadar katı şekil alır ve bir jeli andırır.

Tiksotropi ayrı bir akış tipi olarak değil de temel akış tiplerinin yapısal bir özelliği olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi artan kayma gerilimi ile birçıkış eğrisi elde edilir ve her hangi bir noktadan sonra kayma gerilimi azaltılırsa inen bir eğri elde edilir. Newton olmayan bir akışkan, tiksotropik değilse

çıkan ve inen eğriler birbirleri ile çakışır. Eğer çakışmayıp bir histerisis eğrisi çizerse tiksotropi özelliği var demektir. Bu iki eğri arasındaki bölge sistemdeki tiksotropik değişimin bir ölçüsüdür. Şekil 3.8'de gösterilen bu histerisis, çözeltinin yapısına ve kayma geriliminin uygulandığı süreye bağlıdır. Kayma gerilmesi ile incelen sıvılarda (plastik ve sözde plastik) akışta histerisis eğrisini çizerken aşağı iniş eğrisi yukarı çıkış eğrisinin sol tarafında kalır. Kayma gerilmesi ile kalınlaşan sıvılarda (genleşmeli akışta) ise aşağı iniş eğrisi yukarı çıkış eğrisinin sağ tarafında yer alır (Martin, 1969).



(c) Genleşmeli Akışta Tiksotropi

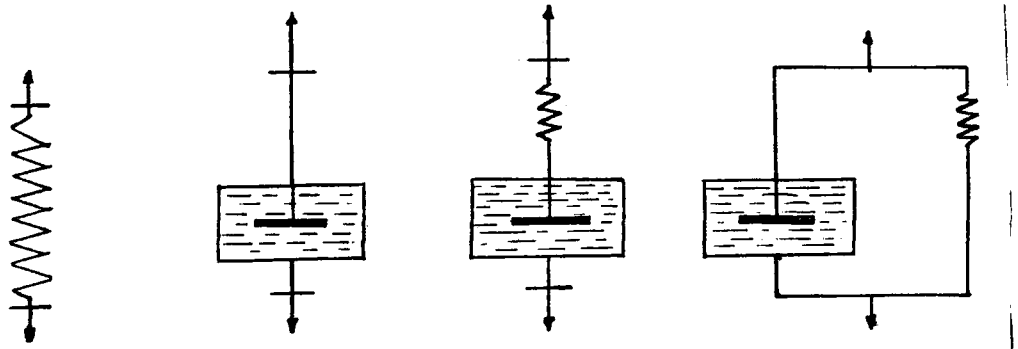
Şekil 3.8-Zamandan Bağımsız Akışta Tiksotropik özellik.

### 3.1.2.2.2 Reopeksi

Bazı tiksotropik sistemlere kuvvetli bir kayma gerilimi uygulandığında sıvılaşılan ve bir süre sonra katılaşılan akışkanlar reopeksi özelliği gösterir. Bu sıvılarda sabit kayma gerinim değişimi altında kayma gerilimi zamanla artmaktadır. Bu tip özellik gösteren akışkanlara reopeksi denir.

### 3.1.3 Visko Esneklik

viskoz ve esnek şekil değiştirmelerin birleşimi olan mekanik davranış biçimidir. Malzemeye gerilim uygulandığında genellikle esneklik kurallarına uymazlar. şekil değiştirmeyi oluşturan kuvvet kalktığında malzeme tamamen eski haline dönmez. Bunun nedeni, şekil değiştiren malzemenin ne esneklik ne de viskozluk özelliklerine tamamen uymamasıdır. Malzemenin kuvvet etkisinde şekil değiştirmesini anlamak için viskozluk ve esneklik gösteren modeller yapılmıştır. Bu modeller şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu modellerde malzemenin, esneklik özellikleri için bir yay (Hooke modeli) ile viskozluk özellikleri ise bir sıvının içinde hareket eden bir piston (Newton modeli) ile gösterilmektedir.



(a) Hooke (b) Newton (c) Maxwell (d) Voigt-Kelvin

Şekil 3.9-Malzemenin Mekanik Özelliklerini İncelemek İçin Kullanılan Modeller.

### 3.1.3.1 Hooke Modeli

Şekil 3.9a'da gösterildiği gibi kısa süreli gerinimler için malzemenin mekanik özelliklerini gösterir. Sabit bir kuvvet altında oluşan şekil değiştirme zamanla değişmez. Gerilme, doğrudan gerinim (şekil değiştirme) ile orantılıdır.

$$\text{Gerilme} = E (\text{Gerinme})$$

bağıntısıyla verilmektedir (bkz. bölüm 3.1.1).

### 3.1.3.2 Newton Modeli

Akma halinde bulunan bir sıvının mekanik özelliklerini gösterir. Belirli bir süre boyunca uygulanan dış kuvvet altında sıvının şekil değiştirmesi viskozluğa bağlı olarak zamanla değişir ve bölüm 3.1.3'de gösterilen 3.6 bağıntısı,

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

ile verilir. Newton modeli, mekanik olarak şekil 3.9b'de gösterilen yağ dolu silindirik bir kap içinde hareket eden bir piston ile temsil edilir (yağ kutusu).

### 3.1.3.3 Maxwell Modeli

Yük altında esnek katıdan akan bir sıvı durumuna geçen malzeme için uygulanabilecek bir modeldir. Bu nedenle Hooke ve Newton modellerinin seri bağlanmış bir bileşeni gibi düşünülebilir. Bu modelde, şekil değiştirmeyi oluşturan kuvvet kalktıktan sonra sistem eski haline hemen dönmez ve gerilim uygulandığında önce yay gerilir ve zamanla piston sıvının içinde yükseleceğinden sistemin gerilimi gittikçe azalır. Şekil değiştirmeyi oluşturan kuvvet kalktığında yay eski halini alsa da, piston sıvı içinde hareket etmediğinde

sistemde belli bir şekil değiştirme olur. Dış kuvvet etkisinde şekil değiştiren malzemenin üzerinden, kuvvet kaldırıldığında, gerilme de zamanla azalır ve malzeme tekrar ilk şeklini almaya çalışır. Bu sürece durulma, geçen süreye de durulma zamanı denir. Yay için gerilim,

$$\delta = \frac{1}{E} \tau \quad (3.10)$$

yağ kutusu için gerilim değişimi,

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{1}{\eta} \tau \quad (3.11)$$

şeklinde verilirse, bu iki şekil değiştirmenin mekanik benzetimi seri bağlanmış yay ve yağ kutusundan oluşur. Her bir elemanda gerilme aynı fakat gerilme farklıdır. Gerilmenin zamana bağlı değişimi,

$$\tau = \tau_0 e^{-Et/\eta} \quad (3.12)$$

bağıntısı ile verilir. Burada,

E:Esneklik Katsayısı,  
 $\eta$ :Viskozluk Katsayısı

olmak üzere;  $1/t_0 = E/\eta$  olarak alınırsa,

$$\tau = \tau_0 e^{-t/t_0} \quad (3.13)$$

olarak yazılabilir. Burada;  $\tau$ , herhangi bir andaki gerilme  $\tau_0$  ise maksimum gerilmedir.  $t_0$  değeri ise durulma zamanı adını alır.

### 3.1.3.4 Voigt-Kelvin Modeli

Hooke ve Newton modellerinin paralel bağlantısından oluşur. Sabit gerilme sonucu oluşan şekil değiştirme zamanla artar. Gerilim kalktığında sistemin eski haline dönmesi uzun bir zaman alır. Gerilim kalktıktan sonra sistemin eski haline dönmesine kadar geçen zamana gecikme zamanı denir. Bu modelde, yay, yağ kutusuna bağlı olarak gecikmiş bir tepki gösterir. Gerilim uygulandığı zaman yay dengeye gelirken yağ kutusunun buna karşı göstereceği direnç esnek şekil değiştirmeyi değiştirecektir. Buna göre Voigt-Kelvin modelinde bu iki şekil değiştirmenin paralel bağlanması sonucu kayma gerinim değişimi,

$$\gamma = \gamma_0 (1 - e^{-t/t_g}) \quad (3.14)$$

bağıntısı ile verilir. Burada,  $t_g$ : gecikme zamanıdır.

Bu eşitlik kayma gerinim değişiminin zamana ve gerilmeye bağlı şekil değiştirmeyi göstermektedir. Uzun zamanda ve gerilim altında  $e^{-t/t_g} \rightarrow 0$  olacağından tekrar kayma gerinim değişimi,

$$\gamma = \frac{\tau}{E}$$

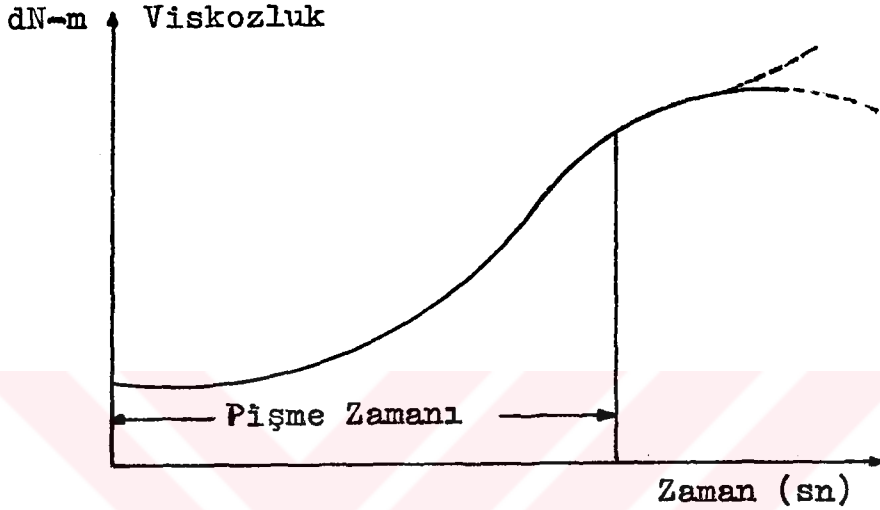
olarak elde edilir. Gerilim tamamen kaldırıldığı veya sabitleştirildiği zaman gerilimin zamana bağlı olarak azalması,

$$\gamma = \gamma_0 e^{-t/t_g}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Malzeme zaman içinde eski boyutuna dönmeye çalışacaktır (Akovalı, 1984).

Lastik hamurunda olan durum, aynı anda hem esnek hem de viskoz şekil değiştirme göstermektedir. Bu durum viskoz davranıştan esnek özelliğe geçiş ve geçiş aralıkları oluşmasına neden olur. Bu ise lastiğin zamana bağlı şekil değiştirmesi ile zamandan bağımsız esnek şekil değiştirmesinin birlikte oluşumu sonucu ortaya çıkan mekanik davranış şeklidir. Kayma gerinim değişimi kayma gerilmesi ile orantılı olduğundan (orantı katsayısı,  $\eta$ ) da zamanın

fonksiyonu olarak ortaya çıkar. Lastik hamuru hazırlandıktan sonra pişme ve viskozluk özelliklerin belirlenmesi amacı ile viskozluğu zamana bağlı olarak bir viskozimetre ile sürekli ölçülür. Bu değişim şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10- Viskozimetre Aletinden Elde Edilen Viskozluğu Zamana Bağlayan Eğri.

Şekil 3.10'da gösterildiği gibi lastik hamuru belirli bir sıcaklığa maruz kaldığında pişmeye; plastik özelliklerini kaybetmeye başlar. Plastik özelliklerini kaybetmeye başladığı zaman lastik hamuru yanmaya başlayacaktır. Bu süre lastik hamurunun yanma zamanını belirtir. Başka bir deyişle, yanma zamanı vulkanizasyon başlamadan önceki zamandır. Yanma zamanı, şekil 3.10'da gösterilen egriden minimum viskozluğun beş birim fazlası alınır ve buna karşı gelen zaman olarak bulunur. Bu zaman içerisinde karışım plastik özelliklerini muhafaza eder.

Şekil 3.10 pişme grafiğini incelersek, lastik hamurunda sıcaklığın artmasıyla kauçuk molekülleri kükürtle birbirine bağlanmaya başlar. Kükürtle bağlanma hızı artmakta ve maksimuma ulaşmaktadır. Maksimuma ulaştıktan sonra aşırı pişme sonucunda bağlar kırılmakta ve pişme eğrisi aşağı doğru düşmektedir. Maksimum pişmenin %90'ı, optimum olarak kabul edilir ve pişme olayı burada durdurulur. Başka bir deyişle lastik hamurunun hazırlanması esnasında kükürt miktarının tamamının kullanıldığı, maksimum sayıda çapraz bağın olduğu süre vulkanizasyon için ideal zaman

olacaktır. Bu noktaya ulaşmak için gerekli zamana " optimum pişme zamanı" (t90) denir. Optimum pişme sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu için reaksiyon hızının ısı ile değişimi önem kazanır. Optimum pişme zamanını bulmak için buna karşılık gelen optimum viskozluk (Mod 90) değeri,

$$\text{Mod 90} = \text{Max.Viskozluk} - (\text{Max.Viskozluk} - \text{Min.Viskozluk}) / 10$$

şeklinde bulunur. Buna karşılık gelen zaman ise optimum pişme zamanıdır.

### 3.2 Sertlik

Bir malzemenin belirli bir basınç kuvveti altında daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Malzemenin az veya çok sert oluşunun kullanma yeri için önemi büyüktür. yumuşak olan malzeme genel olarak eğilip bükülmeye elverişli olur, fakat zor aşınır. Sertlik tanımı, sertlik ölçümü için kesin bir anlam taşımaz. Ticari uygulamadaki sertlik deneyleri malzemenin doğal mekanik özelliklerini ölçmez, fakat belirli standart şartlar altında uygulanır ve malzemenin esneklik ve plastik özellikleri ile ilgilidir.

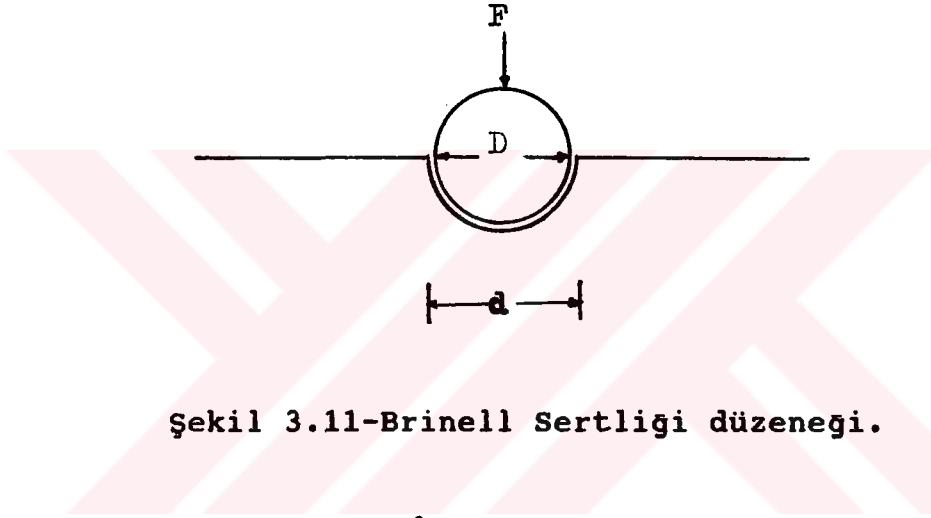
Sertlik ölçülmesi her ne kadar temel bir ölçü değil ise de çabuk uygulanan, basit ve ucuz bir deney olduğundan endüstride özelliklerin mukayesesi için çok kullanılır. Teknikte çeşitli sertlik ölçme yöntemleri geliştirilmiştir. Kullanılan sertlik ölçme yöntemleri statik ve dinamik olmak üzere iki grupta toplanır.

#### 3.2.1 Statik Sertlik Ölçme Yöntemleri

Statik sertlik ölçme yöntemlerinden Brinell, vickers ve Rockwell sertlik ölçme yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdir.

### 3.2.1.1 Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Genellikle metaller için kullanılır. Brinell sertlik numarası (BSN) veya Brinell sertlik sayısı (BSN) ile verilir. Bu yöntemde, D çaplı bir çelik bilyanın, sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyine F kuvveti ile bastırılması sonucunda oluşan dairesel izin d çapı ölçülür, Şekil 3.11 F kuvvetinin A çöken yüzey alanına oranı  $H=F/A$  Brinell sertlik sayısı olarak tanımlanır.



Şekil 3.11-Brinell Sertliği düzenegi.

Birimi  $N/m^2$  olmakla birlikte uygulamada kullanılan değeri  $kgf/mm^2$  dir. A yüzey alanı bilya ve iz çapları cinsinden yazılacak olursa brinell sertlik numarası için,

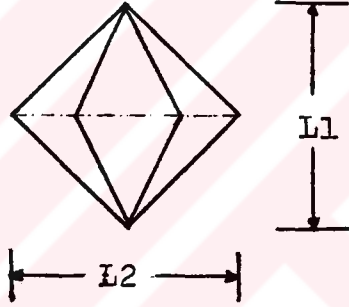
$$H = \frac{F}{\pi D/2 * ((D - (D - d)^{2/2})^{1/2})} \quad (3.15)$$

bağıntısı ile verilir.

Sertlik ölçümünde kullanılan bilyaların çapları malzemenin cinsine bağlı olarak 2.5, 5.5 veya 10mm olarak seçilebilir. Ölçü sırasında F kuvveti malzemeye birdenbire değil, yavaşça uygulanarak bir süre bekletilir, sonra kuvvet kaldırılarak çap ölçülmesi yapılır (Lea, 1936).

### 3.2.1.2 Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

Bu yöntem ilke olarak, Brinell sertlik ölçme yönteminin aynısıdır. Yalnız burada çelik bilya yerine yüzeyle arasındaki açısı  $136^\circ$  olan bir elmas piramit kullanılır. Vickers sertlik numarası, Şekil 3.12 gösterildiği gibi piramit üzerine basan  $F$  kuvvetinin, malzemede oluşturduğu kare biçimindeki izin yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir. Vickers sertliğine aynı zamanda elmas piramit sertliği de denir.



Şekil 3.12-Vickers Sertliği Düzeneği.

Şekil 3.12'den anlaşıldığı gibi vickers sertliği;

$$V = F/L \quad (3.16)$$

olarak verilir. Bu fömülde,  $F$  uygulanan yük, kgf;  $L$ , kare iz (köşegenin ortalama uzunluğu) mm'dir. İki köşegenin uzunlukları  $L_1$  ve  $L_2$  olursa,

$$L = \frac{1}{2} (L_1 + L_2) \quad (3.17)$$

olur.

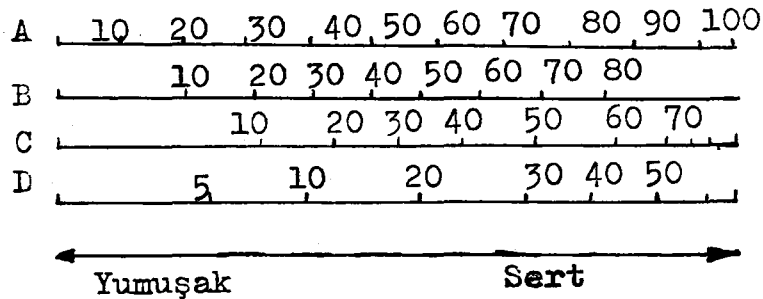
Vickers sertliği örnek yüzeyinin çok dikkatli hazırlanmasını gerektirdiğinden rutin test olarak kullanılamaz. Ancak araştırmalarda ve çok ince saclarda kullanılır.

### 3.2.1.3 Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

Bu yöntemle yapılan ölçüm, Vickers ve Brinell yönteminde yapılan ölçümlerden farklıdır. Ölçü için uygulanan kuvvet değişmez değerdedir ve meydana getirilen izin sadece derinliği ölçülür. Çeşitli Rockwell sertlik ölçümleri vardır. Bunlardan en çok kullanılan, Rockwell "C" ve Rockwell "B" dir. Rockwell "C" de malzemeye batan uç sayısı 120 olan ucu yuvarlatılmış elmas bir koni, Rockwell "B" de ise çelik bilye kullanılır. Rockwell "B", yumuşak ve tavlı çeliklerin sertliklerinin ölçülmesinde kullanılır. Rockwell "C" ise su vererek sertleştirilmiş, sertliği 300 Brinell'den yukarı olan malzemenin sertliğini ölçmede kullanılır.

### 3.2.2 Dinamik Sertlik Ölçme Yöntemi

Silindirik elmas uçlu bir çekiç veya sert çelik bilya belirli bir yükseklikten kendi ağırlığı ile malzeme üzerine düşürülür ve geri zıplama yüksekliği elastik sertliğin bir ölçüsü kabul edilir. Yumuşak malzemenin esneklik sınırı düşüktür ve daha çok enerji emer ve geri zıplama yüksekliği daha az olur. Bununla, lastik ve plastiklerin sertlikleri ölçülür. Dinamik sertlik ölçmede shore ve IRHD (International Rubber Hardness Degree) birimleriyle ölçüm yapan aletler vardır. Shore; kauçuk, sert lastik gibi malzemelerin sertliğini ölçmeye yarayan alettir. Çeşitli shore metodları vardır. Bunlar A,B,C,D, şeklindedir. Aralarındaki bağıntı şekil 3.18'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.18-Shore Metotları.

Bölüm 4.3'de belirtildiği gibi sertlik doğrudan küresel top üzerinden okunur. Bu değer shore birimi cinsindedir. Bir shore değeri  $7.45 \text{ kg/mm}^2$  birimine eşittir. IRHD birimi ise normalde shore biriminden 4 birim fazla olmakla birlikte, pratikte birbirine eşittir.

### 3.3 Aşınma Direnci

Aşınma, katı bir malzemenin yüzeyinden mekanik sürtme, kazıma ve erozyon gibi etkiler nedeniyle sürekli parça kopması olarak tanımlanır. Malzemenin aşınması tamamen mekanik olaylar sonucudur. Aşınma için en iyi örnek otomobil lastikleridir. Isınma nedeniyle yıpranmasında etkin olduğu otomobil lastikleri çok hızlı bir aşınma sürecinden geçer. Lastikte aşınan yüzey nedeniyle ağırlık kaybı yarım kg'ı geçmez. Fakat taşıdığı yükün 1000-1500kg olduğu gözönüne alınırsa, aşınmanın otomobilin çalışmasında ne derece etkin rol oynadığı anlaşılır. Aşınma direncini artıran bir çok etken vardır. Bunların başında sertlik ve esneklik gibi bazı fiziksel özelliklerin yanında lastik yapımında kullanılan katkı ve dolgu maddeleri de etkili olur. Fiziksel koşullar sıcaklık, nem, hava ve su kirliliği aşındırmaya neden olan yüzey ve aşındırıcının türü lastiklerin aşınma direncini etkiler. Aşınma sırasında aşınan yüzey ile aşındırıcı yüzeyde sürtünmeden oluşan sıcaklık artışı, kimyasal değişmelere yol açabilir. Bir başka sorunda aşınma sırasında malzemenin yırtılması veya çizilmesidir. Bu da aşınma direnci ölçümünün değerlendirilmesini zorlaştırır (Akovalı,1984).

Duyarlı ve sağlıklı aşınma direnci ölçümü, aşınma (abrader) aleti ile yapılabilir. Aşındırıcı toz bir disk üzerine sabit bir hızla dökülür. Dönen disk üzerine sabitleştirilmiş test örneği aşındırıcı tozlara sürtünerek aşınır. Bölüm 4.4'de açıklandığı gibi aşınma direnci, hacim kaybı oranıdır. Özel olarak hazırlanmış standart test örneği (ASTM,1985) kullanılarak aşınma direnci aşağıdaki gibi bulunur.

Standart test örneği :S,  
Numunenin test örneği :N,

Aşınmadan önceki ağırlık :M1,  
 Aşınmadan sonraki ağırlık :M2,  
 olmak üzere;

M:Kütle kaybı

V:Hacim kaybı

d:Yoğunluk

tır.Buna göre;standartın kütle ve hacim kaybı,

$$MS=M1S-M2S \quad (3.18)$$

$$VS= MS/d \quad (3.19)$$

dır. Aynı şekilde test örneğinin kütle ve hacim kaybı,

$$MN=M1N-M2N \quad (3.20)$$

$$VN= MN/D \quad (3.21)$$

dır. Bu bağıntılardan aşınma direnci;

$$A_d = VS/ VN*100 \quad (3.22)$$

şeklinde bulunur. Standart yöntemlerle yapılan aşınma direnci ölçümleri, malzemenin mekanik olaylar karşısındaki dayanımı hakkında bilgi verir.

#### 4.ÖLÇÜ DÜZENEKLERİ VE YÖNTEMLERİ

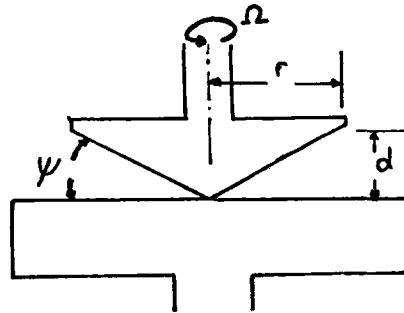
Lastik üretimi için reçeteye uygun olarak hazırlanan lastik hamurlarının, vulkanizasyon ve işlenebilirlik özellikleri hakkında bilgi edinmek amacıyla viskozluğu ve pişme özellikleri ölçülür. Bunları ölçebilmek için akışkan türüne uygun viskozimetreler kullanılır. Pişme özellikleri belirlenen lastik hamurlarının esneklikle ilgili ölçümleri belirli standartlara göre (ASTM,1985) hazırlanan test örnekleri ile esneklik ölçümleri yapılarak, deneyde kullanılan aletlerin düzenekleri ve yöntemleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

##### 4.1 Viskozluk Ölçümleri

Viskozluk ölçümünde, sıvıların türüne bağlı olarak çeşitli yöntem ve aletler kullanılır. Lastik hamuru Newton olmayan akışkan özellik gösterdiğinden viskozluğu zamana bağlı olarak değişir. Bu tür viskozluk ölçümleri döner koni-düzlem türü bir viskozimetre ile ölçülebilir.

##### 4.1.1 Döner Koni-Düzlem Viskozimetresi

Bu tip viskozimetrede, kayma gerilim değişimi kayma gerilimi ile doğru orantılı olduğundan kayma hızı sabit bir değere ayarlanır. Analizi yapılacak test örneği şekil 4.1'de gösterildiği gibi sabit bir levha ile döner koni (rotor) arasındaki boşluğa yerleştirilir.



Şekil 4.1-Döner Koni-Düzlem Geometrisi

Rotor sabit bir hızla dönerken test örneği kayma gerilimi etkisinde kalır. Test örneğinin kayma gerilimine karşı gösterdiği direnç bize viskozluğu verir. Döner koninin yatayla yaptığı açı radyan cinsinden olmak üzere,

$$\psi = \frac{d}{r} \quad (4.1)$$

olarak tanımlanır ve kayma gerinim değişimi,

$$\dot{\gamma} = \frac{\Omega}{\psi} \quad (4.2)$$

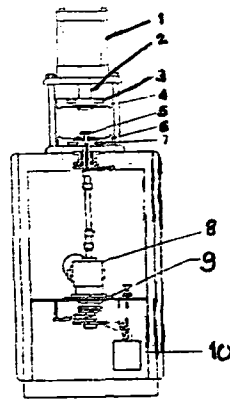
olur. Ölçümü yapılacak test örneğinin viskozluğu ise,

$$\eta = C \frac{T_t}{v} \quad (4.3)$$

şeklinde bulunur. Burada;

- C: Alete ait bir sabit  
 $T_t$ : Tork (kayma gerinim)  
v: Rotorun hızı  
 $\Omega$ : Koninin açısal hızı (rad/sn)

Bu deneyde döner koni-düzlem geometrisine sahip olan Monsanto firmasının 1500S viskozimetresi kullanıldı. Şekil 4.2'de şematik olarak gösterilen bu aletin rotor hızı 2dönü/dak. dır. Alete ait C sabitini bulmak için aletin



1. Pnomatik Silindir
2. İzalatör
3. Isıtıcı
4. Üst Kalıp
5. Rotor
6. Alt Kalıp
7. Isıtıcı
8. Motor
9. Tork Kolu
10. Kalibrasyon Ağırlığı

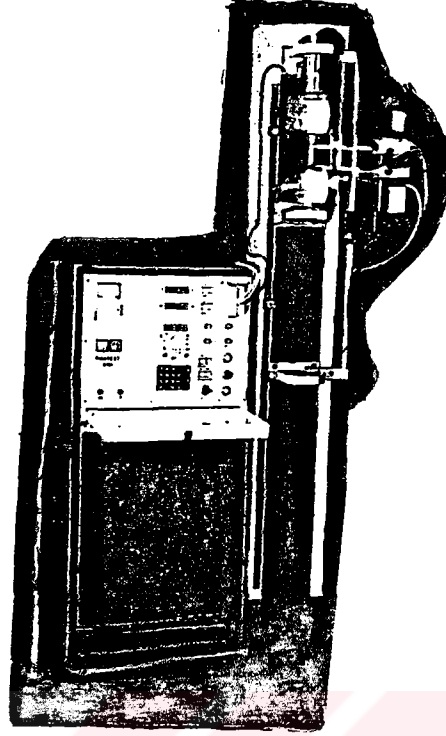
Şekil 4.2-1500S Mooney Viskozimetre Aleti.

kalibre edilmesi gerekmektedir. Alet kalibre edilirken alet içerisinde bulunan elektrik motoruna 100N'lik bir kuvvet uygulanır. Elektrik motoru otomatik kaydedici ile bağlantılı olduğundan otomatik olarak viskozluğu zamana bağlayan grafik üzerinden maksimum ve minimum değerlere ayarlanır. Bu ayarlama esnasında 1mV'luk gerilime sahip olan elektrik motoru otomatik kaydeticiye geçerken bu değeri 0.083 Nm'ye çevirir.

Aletin içindeki 38.1mm çaplı rotor, pürüzlü yüzeyli bir şafttan oluşmuştur ve şaftın ucu ölçme cihazı içinde olacak şekilde yerleştirilir. Bu araştırmada bu rotor kullanılmıştır. Eğer çok sert bir karışımın viskozluk ve pişme özellikleri tespit edilecekse o zaman küçük rotor kullanılır ve bu rotorun çapı 30.5mm'dir. Bu alette viskozluk ve pişme özelliklerinin doğrudan hesaplanabilmesi için viskozimetre aletine bağlı otomatik kaydedici üzerinde zaman ayarı yapılır. otomatik olarak viskozluğu zamana bağlayan grafik üzerinden viskozluk, yanma zamanı, optimum pişme zamanı ve Mod 90 değerleri elde edilir.

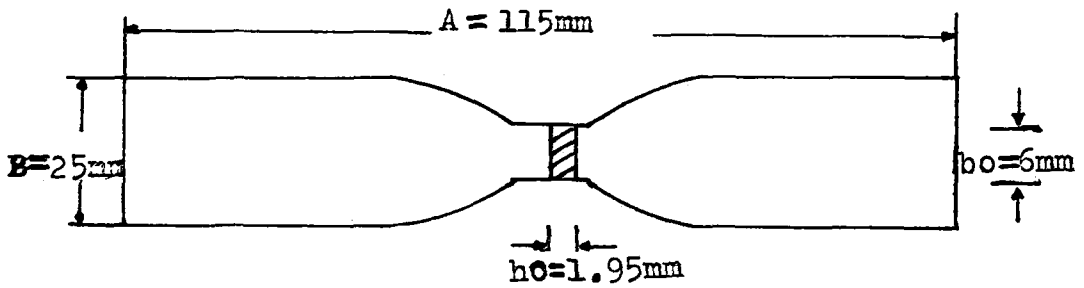
#### 4.2 Gerilme Direnci, Yırtılma Direnci, Esneklik Ölçmeleri

Gerilme ve uzama ölçmelerinde Alman Zwick firmasının z-125 model çekme aleti kullanıldı. Şekil 4.3. Bu alet, sonsuz bir vida üzerinde aşağı ve yukarı doğru hareket eden iki çene ve çenelere uygulanan kuvvetleri otomatik olarak kayıt eden bir düzenekten oluşmuştur. Uygulanabilen maksimum kuvvet 2500 Newton dur. Deneme sırasında kuvveti ve uzamayı birlikte izleyebilmek, istenen bir değerde aleti durdurmak ve yeniden başlatabilmek mümkün olduğu gibi kopma anındaki kuvvet değerleri değişmeden kalabilmektedir. Böylece, dikkatsizlikle kopma gerilimi ve uzama miktarı değerlerini izleyememek gibi bir durum söz konusu olmamaktadır.



Şekil 4.3-Gerilme Direnci, Yırtılma Direnci ve Esneklik Ölçme Aleti.

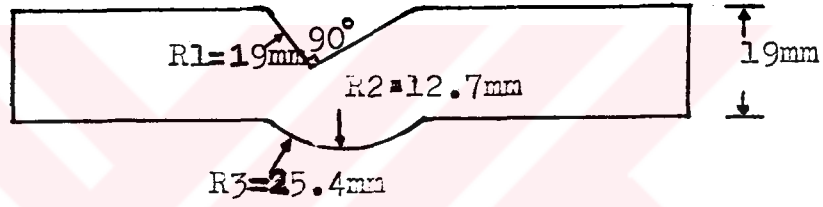
Standart numune kesme aletinde (bkz.4.6) hazırlanan test örnekleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Test örnekleri, Çenelere takıldıktan sonra alet çalıştırılarak gerilmeye maruz bırakılır. Gerilme direnci, uzama, esneklik katsayısı ve yırtılma direnci değerleri elde edilir.



Şekil 4.4-Gerilme Direnci, Uzama, Esneklik Katsayısı Hesaplamalarında Kullanılan Standart Test Örneği (dumbell).

Alet hareket ettirildiğinde test örneğinin her yanı aynı gerilim altında kalmaktadır. Yüzde uzama değeri, alet tarafından kaydedilmediği için, özel olarak hazırlanan bir eşel (skala) yardımı ile okunur. Gerilme direnci, okunan maksimum kuvvetin bilinen test örneğinin kesit alanına bölünmesiyle ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) cinsinden hesaplanır.

Esneklik katsayısı (Young Modulü) ise test örneğinin yüklendiği maksimum kuvvetin (Lastik numunesi için %300 uzamada) birim kalınlığa bölünerek %300  $\text{kg}/\text{cm}$  cinsinden hesaplanır. Gerilime ait bulgular bu şekilde hesaplanarak elde edilmiştir (ASTM, 1986).



Şekil 4.5-Yırtılma Direnci Hesaplanmasında Kullanılan Standart Test Örneği.

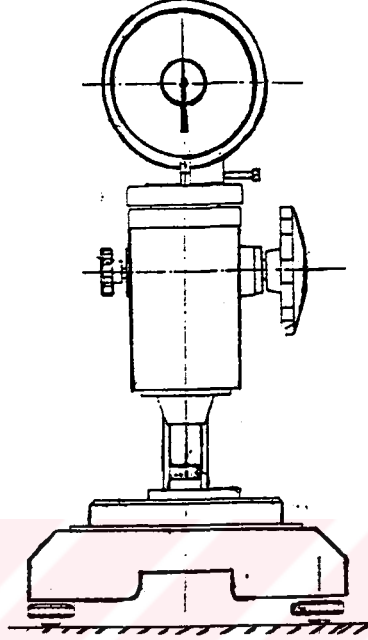
Yassı test örneklerinde kopmadan önce yırtılma başlamaktadır. Yırtılma Direnci yırtılmanın başladığı anda okunan kuvvetin birim kalınlığa bölünmesiyle  $\text{kg}/\text{mm}$  cinsinden hesaplanır.

#### 4.3-Sertlik Ölçmeleri

Sertlik ölçmeleri "shoreA" yöntemi'ni kullanan zwick-z-223 model sertlik ölçme aleti ile yapıldı. ShoreA sertliği, küresel bir bilya vasıtasıyla ölçülür. Sert malzemeler için 1mm, normal sertlikteki malzemeler için 2.5mm, yumuşak malzemeler için 5mm çapında bilya kullanılmalıdır.

Şekil 4.6'de gösterilen bu alet, ayarlanabilir vida üzerine monte edilmiş metal plaka üzerine yerleştirilmiştir. Bu alet, dikey olarak hareket ederken

ölçümler için gerekli bütün hareketler yuvarlak bir tokmağın döndürülmesi ile yapılır.



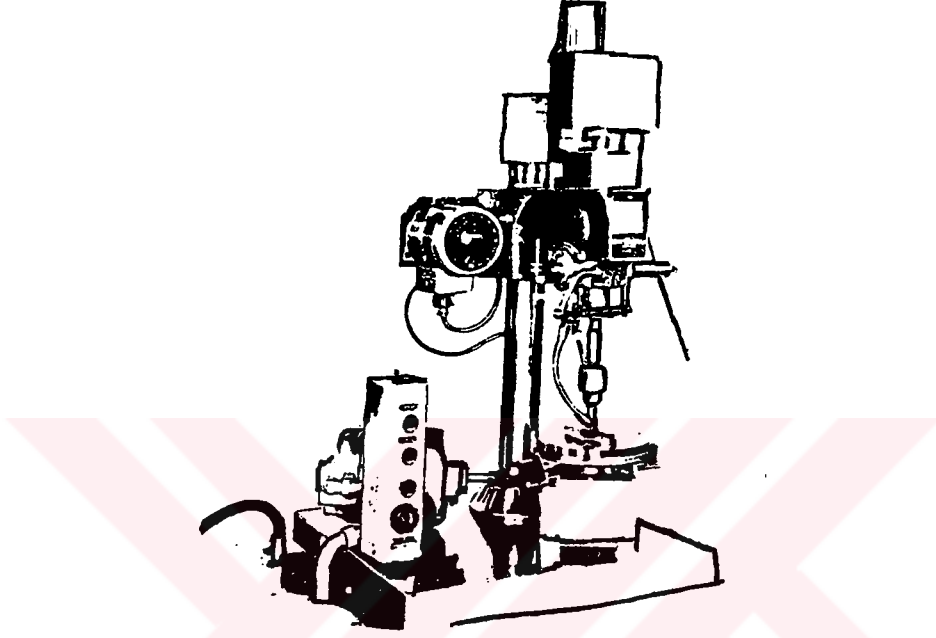
Şekil 4.6-Sertlik Ölçme Aleti.

Test örneği, 8-10mm kalınlığında kare veya dikdörtken şeklindedir. Bu test örneği plaka üzerine konulduktan sonra yanındaki tokmak vasıtasıyla temas edecek bir seviyeye kaldırılıp temastan 3sn sonra küresel top üzerinde gösterilen shoreA sertliği kaydedilir. Bu işlem üç ayrı noktada tekrarlandıktan sonra üç değerın ortalaması alınır. Üç okuma arasında ya hiç fark olmamalı yada aralarındaki farklar çok küçük olmalıdır. Aksi halde test örneği hatalı demek olacağından kullanılmamalıdır. Sertliğe ait bulgular bu şekilde hesaplanarak elde edilmiştir (ASTM, 1986).

#### 4.4 Aşınma Direnci

Aşınma direnci  $\text{mm}^3$  cinsinden hacim kaybı olarak tanımlanmıştır. Ölçümlerde zwick-z-220 model aşınma aleti kullanıldı. Şekil 4.7'de gösterilen bu alet temel olarak; test örneğini sabit bir durumda tutacak döner bir tabla, bu tablayı iki yönde sağa, sola döndürecek bir motor, sağa, sola dönüş tur sayısını veren iki adet tur sayıcı, bıçaklar

ve onların yukarıda sıkıştırılıp, aşağıda test örneği yüzeyinde dolaşmasını sağlayan kol, bıçaklara ve test örneği yüzeyine toz besleyen bir çift boru, toz kabı ve ağırlık kutusundan oluşmaktadır.

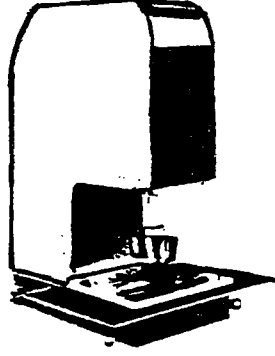


**Şekil 4.7-Aşınma Direnci Aleti.**

Standart test örneği,  $138^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 80 dakika pişirilmek suretiyle elde edilir ve aşındırıcı ortamda kaybettiği hacim belirlenir. Aynı şekilde test örneği de hazırlanarak aşındırıcı ortamda kaybettiği hacim  $\text{mm}^3$  cinsinden belirlenerek aşınma direnci hesaplanır. (bkz.3.3) Aşınma direncine ait bulgular bu şekilde hesaplanarak elde edilmiştir (ASTM, 1986).

#### **4.5 Standart Test Örneği Kesme Aleti**

Gerilme direnci, uzama, esneklik katsayısı, yırtılma direnci deneylerinde kullanılan test örneklerinin, standart bir şekilde kesilerek hazırlanması için şekil 4.8'de gösterilen zwick-z-121 modelinin el ile çalışan alet kullanıldı.

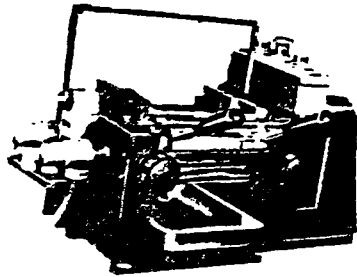


**Şekil 4.8-Standart Test Örneği Kesme Aleti.**

Alet, çeşitli boyutta kalıplar içerdiğinden istenilen test örneklerini kesmek mümkün olmaktadır.

#### **4.6 Laboratuvar Ölçülerinde Lastik Hamuru Hazırlama Aleti**

Şekil 4.9'de gösterilen bu makina, 1011 ord.ana tamir fabrikasında imal edilen 17cm çaplı ve 98cm boyunda iki silindirden meydana gelmiş karıştırma makinasıdır.



**Şekil 4.9-Laboratuvar Ölçülerinde Lastik Hamuru Hazırlama Makinası.**

Silindirlerin bağlı bulunduğu bir dişli sistemi yardımıyla silindirler arasındaki mesafeyi 0-10mm arasında ayarlamak mümkün olmaktadır.

## 5.ÖLÇÜMLER

Bu çalışmada, lastik hamurunun hazırlanmasında kullanılan ZnO (Çinko Oksit) yerine hamurun özelliklerini değiştirmeden  $Al_2O_3$  (Aluminyum Oksit) kullanılması olanaklarının araştırılmasını amaçlayan deneyler dört seri olarak planlandı. Her seride ayrı bir kauçuk baz olarak alındı. Kauçuklardan ikisi doğal kauçuk olup bunlar, Pale Creepe ve SMR 5 kauçuklarıdır. Üçüncü ve dördüncü seride ise soğuk polimerize edilmiş SBR 1502 kauçuğu ile yağ emdirilmiş SBR 1712 yapay kauçukları kullanılmıştır.

### Doğal Kauçuğun Özellikleri;

		Pale Creepe	SMR 5
Kül Miktarı	(kütle%)	max. %0.6	max. 0.75
Nem Miktarı	(kütle%)	max. %1	max. %1
Bakır Miktarı	(kütle%)	max. 8ppm	max. 8ppm
Mangan Miktarı	(kütle%)	max.10ppm	max. 10ppm
Mooney Viskozluğu (100 C°)		55-80	55-80

Doğal kauçuk hava ve gazlara karşı düşük geçirgenliğe ve atmosfer etkilerine karşı daha iyi dirence sahiptir. Doğal kauçuğun SMR 5, 10, 20, 50, TYRE RUBBER A, SMR CV, SMR LV gibi çeşitleri vardır. SMR kauçuklarının sayıları artıkça saflık azalır. SMR 5 tipi kauçuk %10 oranında yağ ile karıştırılarak TYRE RUBBER A elde edilir. Bu kauçuğun üretimi sırasında kauçuk plakalar buhar ile ısıtılmış millerden geçirilir. Daha sonra açık havada 7-10 gün 38C civarında ki bir sıcaklıkta kurutularak elde edilir.

## Yapay Kauçukların Özellikleri;

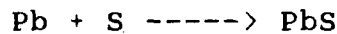
	SBR 1502	SBR 1712
Nem Miktarı (105°C) (kütle%)	max. %1	max. %1
Kül Miktarı (550+25°C) (kütle%)	max. %1.5	max. % 1.5
Organik Asit Miktarı (kütle%)	%5-7	%4.25-6.25
Serbest Sabun (kütle%)	max. %0.50	max. %0.50
Mooney Viskozluğu(100°C)	45-57	46-56

SBR 1712 oto lastiklerinin baz polimeri olması nedeniyle, uygulamada en büyük ekonomik etkindir. Bu bakımdan özellikle seçildi ve kullanıldı. SBR kauçukları için daha hızlı ve kuvvetli hızlandırıcı gerekmektedir. Lastik hamurunun hazırlanması sırasında katılan katkı maddelerinin özellikleri aşağıda verilmektedir.

## Çinko Oksitin Özellikleri;

Kurşun Oksit Miktarı (kütle%)	max. %0.3
Elek üzerindeki Kalıntı (0.063mm)	max. %0.25
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	4-5
Nem Miktarı (kütle%)	max. %0.5

Çinko oksitin ana fonksiyonu organik hızlandırıcı aktivatörü olmasıdır. Lastik hamuru karışımından çinko oksit çıkarıldığında hızlandırıcı vulkanizasyon reaksiyonunda görevini gerektiği gibi yerine getiremez. Çinko oksit içindeki kurşun oksit miktarı oldukça önemlidir. Kurşun oksit miktarı artarsa vulkanizasyonda kükürtle reaksiyona girerek kurşun sülfür oluşturur.



Oluşan kurşun sülfür hem kükürt miktarını arttırır hem de siyah renkli kurşun sülfür oluşmasına neden olur. Bu da lastik hamuru içerisindeki atık madde miktarını arttırır. Çinko oksitin içerisindeki nem oranı; vulkanizasyon esnasında lastik içinde ayrılmalara neden olur. ZnO'nun elek analizinde partiküllerin boyutları hakkında bilgi edinilir. Bu lastik hamurunun içinde homojen dağılmasını ve kolay çözünüp çözünmeyeceği hakkında bilgi verir.

ZnO, Neopren kauçuğu için vulkanize edici olarak kullanılabilir ve kükürtle aynı gruba girer. Neopren kauçuğunun diğer bir adı kloropren'dir. Neoprenden yapılan ürünler hava şartlarına karşı çok iyi direnç gösterirler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğundan genellikle yeraltı konveyör bantlarında imalat için tercih edilir. Neopren kauçuklarında pişirici özelliğe sahip olan kükürt'e ihtiyaç yoktur. Bu kauçuk için kükürtün yerine ZnO kullanılır. Lastik hamuru hazırlanırken ZnO miktarı gereğinden fazla kullanılırsa, kalan kısım aktif dolgu maddesi görevini yapar ve bu da fiziko mekanik özelliklerinde farklılıklar yaratır. Örneğin dayanıklılık sınırı daha yüksektir.

#### Stearik Asitin Özellikleri;

Kül Miktarı	(kütlesiz)	max. %0.02
Asit Sayısı	(mgKOH/g)	190-210
Katılma Noktası	(°C)	min. 47
Ergime Noktası	(°C)	50-55

Stearik asit, organik aktivatör olarak kullanıldığı gibi, fiziksel yumuşatıcı etkisi de vardır. Stearik asit lastik hamurunun işlenebilirliğini artırır. Genel olarak ZnO ile kullanılır ve lastik hamurunda 2-10phr\* miktarında kullanılır. Ayrıca stearik asit dolgu maddelerinin karışım içinde homojen bir şekilde dağılmasına neden olur.

#### Vulkafor CBS'nin özellikleri;

Erieme Noktası	(°C)	min. %94
Nem Miktarı	(kütlesiz)	min. %0.8
Kül Miktarı	(kütlesiz)	max. %1
Eterde çözünmeyen kısım	(kütlesiz)	max. %5
Yoğunluk	(g/cm <sup>3</sup> )	1.28

Vulkafor CBS, yapay kauçuklar için ideal bir hızlandırıcı olup, belirli pişme sıcaklığında diğer hızlandırıcılardan daha hızlı bir şekilde vulkanizasyon olayını gerçekleştirir. Bu hızlandırıcı erken pişme diye tanımladığımız yanma olayına karşı emniyet sağlar.

Öğütülmüş Kükürt (Graund Sulfur)'ün özellikleri;

Nem Miktarı	(kütle%)	max. %0.5
Kül Miktarı	(kütle%)	max. %0.5
Serbest Sülfirik Asit	(kütle%)	max. %0.01
Elek Üzerindeki Kalıntı	(0.07mm)	max. 1
Elek Üzerindeki Kalıntı	(0.313mm)	0

Öğütülmüş kükürt, bir çeşit kükürt olup, lastik hamuruna karıştırıldığında kauçuk moleküllerinin uzun zincirlerini birbirlerine bağlayarak daha sağlam, dayanıklı ve esnek hale gelmesini sağlar.

$Al_2O_3$  'ün özellikleri;

Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	1.94
Molarite	(g/mol)	101.96
Özdirenç	( $\Omega$ -cm)300 C	1.2*10

$Al_2O_3$  'i %52.91 Al ve %47.080 O oluşturmaktadır ve doğal olarak elde edilir. Beyaz toz kiristal halinde bulunan  $Al_2O_3$  2000<sup>o</sup> civarında çok serttir ve suyun içinde çözünür. ZnO gibi organik çözücüdür. Çoğunlukla renkli fotoğraflarda kullanılır ve yapışkan olma özelliği fazladır.

Bu çalışmada, çinko oksitin standart karışımı hazırlanarak lastik hamuru elde edildi. Bu karışım şu şekildedir.

	g
	-----
Kauçuk	100
Çinko Oksit	5
Stearik Asit	1
Öğütülmüş Kükürt	2
Vulkafor CBS	1

Hamurun karıştırılması esnasında miktarı çok az olduğundan her 1000gr kauçuğa göre hazırlanmış olan ZnO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarları 12.5, 25, 50, 75 ve 100gr alınarak standart lastik hamurları hazırlandı. Önce laboratuvar tipi iki rulolu karıştırıcıda kauçuk yumuşatıldı ve daha sonra ZnO, stearik asit, hızlandırıcı ve kükürt ilave edilerek homojen bir hamur elde edilinceye kadar karıştırıldı. Aynı şekilde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içinde diğer katkı maddeleri katılarak homojen bir hamur elde edildi. Elde edilen hamurun 150°C ve 120°C'de pişme ve viskozluk özelliklerine bakılarak ne kadar sürede pişirileceği hesaplanarak o süre ve sıcaklıkta pişirildi. Daha sonra hangi fiziksel testler uygulanacaksa ona ait standart test örneği hazırlanarak gerekli ölçmeler yapıldı. Yapılan ölçmeler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Ölçülen viskozluk, zaman grafikleri ekte verilmiştir. Bu grafiklerden viskozite, yanma zamanı, optimum pişme zamanı elde edilerek aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

#### ÖLÇMELER

		12.5	25	50	75	100
		----	----	----	----	----
Viskozite	(N-m)	25	24	23	24	26
Yanma Zamanı	(s)	11.5	12	11	11	12
Optimum pişme Zamanı	(s)	11	11	10.5	11.5	11
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	12	14	15	18	19
Esneklik Katsayısı	(Kg/mm)	1.6	1.8	2	2.1	2.2
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	33	38	41	42	42
Sertlik	(shoreA)	41	42	42	42	42
Uzama	(%)	700	675	700	675	700
Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	0.91	0.96	0.97	1	1

Çizelge 5.1 Pale Creepe İçin Çeşitli Miktarlarda ZnO İçeren (g) Test Sonuçlar

		12.5	25	50	75	100
Viskozite	(N-m)	29	32	30	31	31
Yanma Zamanı	(s)	8.5	9	11	9	9
Optimum Pişme Zamanı	(s)	9	10.5	10	8	8.5
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	2	2.4	2.8	2.6	2.7
Esneklik Katsayısı	(Kg/mm)	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	15	16	16	15	15
Sertlik	(shoreA)	29	30	30	31	32
Uzama	(%)	800	825	800	800	825
Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	0.92	0.94	0.94	0.95	0.99

Çizelge 5.2-Pale Creepe İçin Çeşitli Miktarlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren (g) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
Viskozite	(N-m)	31	30	29	30	31
Yanma Zamanı	(s)	11	11	10	11.5	11
Optimum Pişme Zamanı	(s)	10.5	10.5	9.5	11	10.5
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	17	17	18	19	21
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	40	39	39	39	41
Sertlik	(shoreA)	43	44	44	44	45
Uzama	(%)	625	625	625	625	625
Yoğunluk	(g /cm)	0.94	0.95	0.99	0.99	0.99

Çizelge 5.3-SMR 5 İçin Çeşitli Miktarlarda ZnO İçeren (g) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
Viskozite	(N-m)	24	29	27	26	30
Yanma Zamanı	(s)	5	7	6	5	9
Optimum Pişme Zamanı	(s)	4	6.5	5.5	4.5	8
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	2.5	3.3	3.4	3	3.6
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	0.7	0.7	0.9	0.7	0.8
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	16	17	16	16	17
Sertlik	(shoreA)	10	10	10	10	10
Uzama	(%)	825	800	800	800	800
Yoğunluk	(g /cm)	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99

Çizelge 5.4-SMR 5 İçin Çeşitli Miktarlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren (g) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
		----	----	----	----	----
Viskozite	(N-m)	21	21	21	21	19
Yanma Zamanı	(s )	27.5	28	26	25	25.5
Optimum Pişme Zamanı	(s )	27	27	25	24	25
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	18	20	20	20	19
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	12.2	14.5	13.5	14.9	15
Sertlik	(shoreA)	44	45	44	45	45
Uzama	(%)	375	350	400	400	400
Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	0.97	0.97	0.99	1.01	1.03

Çizelge 5.5-SBR 1502 İçin Çeşitli Miktarlarda ZnO İçeren (g ) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
		----	----	----	----	----
Viskozite	(N-m)	25	25	25	24	24
Yanma Zamanı	(s )	50	52	42	47	53
Optimum Pişme Zamanı	(s )	50	50	40	46	52
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	1.3	1.2	1.2	1.4	1.3
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	8.6	8.5	8.2	9.6	8.6
Sertlik	(shoreA)	18	19	20	32	32
Uzama	(%)	700	700	628	550	550
Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	0.98	0.98	0.99	1	1.02

Çizelge 5.6-SBR 1502 İçin Çeşitli Miktarlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren (ç ) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
		----	----	----	----	----
Viskozite	(N-m)	16	15	17	16	16
Yanma Zamanı	(s )	46	40	40	39	43
Optimum Pişme Zamanı	(s )	35	34	34	34	35
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	14	13	15	17	16
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	10.3	9.9	9	9.7	9.8
Sertlik	(shoreA)	35	35	36	36	36
Uzama	(%)	325	300	350	375	350
Yoğunluk	(g /cm)	0.99	1	1.03	1.01	1.05

Çizelge 5.7-SBR 1712 için Çeşitli Miktarlarda ZnO İçeren (g ) Test Sonuçları.

		12.5	25	50	75	100
		----	----	----	----	----
Viskozite	(N-m)	17	17	20	18	18
Yanma Zamanı	(s )	53	50	51	38	28
Optimum Pişme zamanı	(s )	52	49	49	36	27
Dayanıklılık Sınırı	(kg/mm <sup>2</sup> )	0.9	1.1	1.1	1.2	1.2
Esneklik Katsayısı	(kg/mm)	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9
Yırtılma Direnci	(kg/mm)	7.4	6.8	8.1	9.4	8.6
Sertlik	(shoreA)	20	20	21	20	20
Uzama	(%)	450	475	450	400	425
Yoğunluk	(g /cm <sup>3</sup> )	0.97	0.99	0.98	1.02	1.03

**Çizelge 5.8-SBR 1712 İçin Çeşitli Miktarlarda  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İçeren (g ) Test Sonuçları.**



## 6.TARTIŞMA VE SONUÇ

Tekerlek lastiği yapımında kullanılan aktivatörlerden ZnO yerine  $Al_2O_3$  kullanıldığında her ikisinde aynı karakterde olmadığı gözlemlendi. Aynı şartlarda farklı reçetelerle hazırlanan lastik hamurlarının fiziksel özellikleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

Viskozluk etkisi: Hem doğal kauçuk hem de yapay kauçuklar için  $Al_2O_3$  katkılı lastik hamurlarının viskozluğu ZnO katkılı lastik hamurlarına göre daha fazladır. Buradan  $Al_2O_3$  katkılı lastiğın akmaya karşı gösterdiği direncin daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.1, Şekil 6.2).

Yanma zamanına etkisi: Doğal kauçuklar için ZnO katkılı lastik hamurunun yanma zamanı  $Al_2O_3$  katkılı olanlara göre daha uzundur. Yapay kauçuklar için ise tam tersidir. Bu  $Al_2O_3$  katkılı yapay kauçuklu lastikler, plastik özelliklerini daha geç kaybedeceğinden uzun sürede yanmaya başlayacaktır. Doğal kauçuklarda ise ZnO katkılı lastik hamurlarının  $Al_2O_3$  katkılıya göre daha uzun sürede yandığı gözlenmiştir (Şekil 6.3, Şekil 6.4).

Optimum pişme zamanına etkisi: ZnO'li doğal kauçuklar için hazırlanan lastik hamurları  $Al_2O_3$  katkılıya göre daha çabuk pişme özelliği gösterir.  $Al_2O_3$  katkılı yapay kauçuklu lastik hamurları için ise ZnO katkılıya göre daha çabuk pişmektedir. Bu farklılık mod90'da da açık bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8).

Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16) incelendiğinde dayanıklılık sınırı, esneklik katsayısı, yırtılma direnci, sertlik etkisi hem doğal kauçuk hem de yapay kauçuklarda ZnO katkılı lastik hamurları  $Al_2O_3$  katkılı lastik hamurlarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Tekerlek lastiğinde bu özelliklere ait değerlerin büyük olması istenir. Ancak  $Al_2O_3$  katkılı lastik ZnO katkılıya göre daha zayıf kalmaktadır.

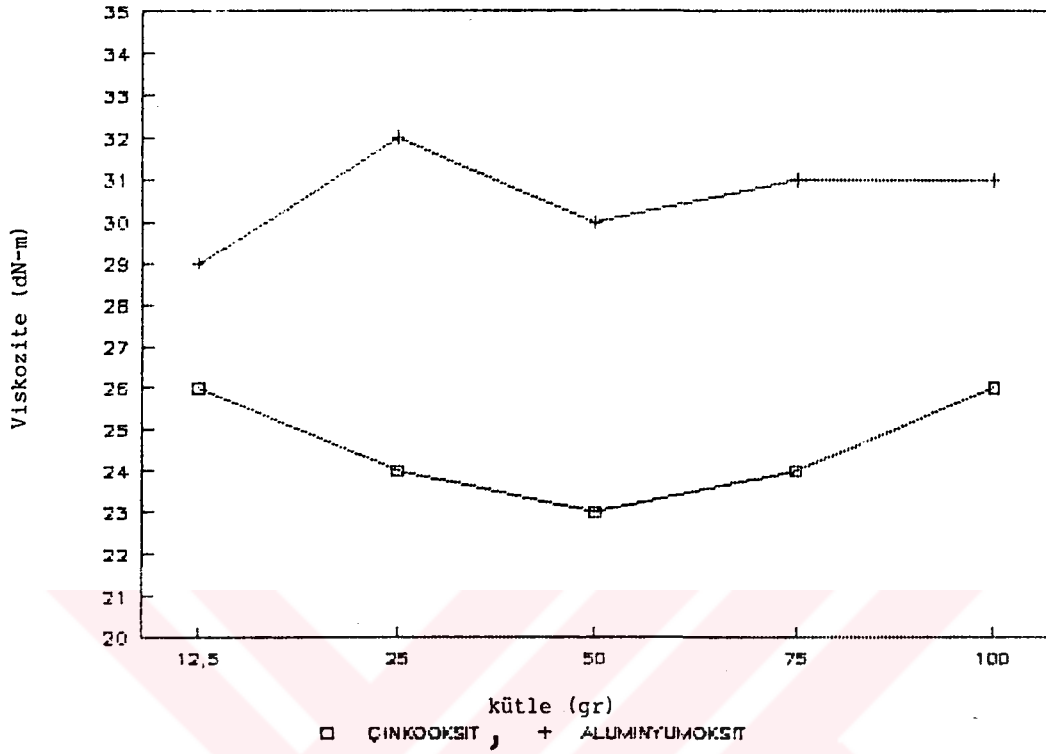
Uzamaya etkisi: Hem doğal kauçuk hem de yapay kauçuklarda katılan  $Al_2O_3$ , lastik hamurunu pişirme sırasında istenmeyen boyutta uzatmıştır. Lastik hamurunun plastik özelliği göstermesi kolayca şekil vermek için gereklidir. Bu nedenle pişirme sürecinde plastikleşmeyi kolaylaştırıcı özel katkı maddeleri kullanılmaktadır. Oysa Şekil 6.17,

şekil 6.18'de görüldüğü gibi  $Al_2O_3$  katkılı lastik, ZnO katkılı lastiğe göre daha fazla uzamıştır.

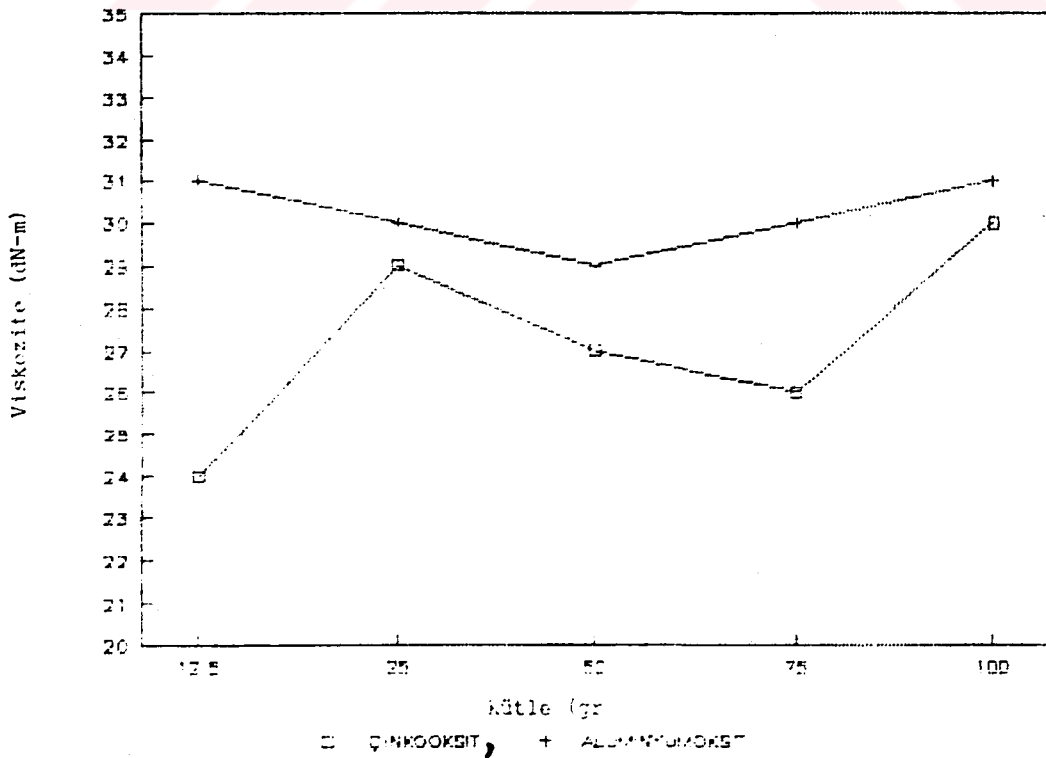
Yoğunluğa etkisi: Hem ZnO katkılı Hem de  $Al_2O_3$  katkılı lastik hamurları hazırlandıktan sonra yoğunlukları birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 6.19, Şekil 6.20).

Aşınma direnci ölçülmek istendiğinde  $Al_2O_3$  katkılı lastik hamurları yapışkan bir özellik kazandırdığından ölçülememiştir. Bu yüzden ZnO ile herhangi bir şekilde karşılaştırma yapılamamıştır. ZnO katkılı lastik hamuru ile yapılan deneyler sonucu bölüm 5'de yapılan standart karışımında en uygun ZnO miktarı 50gr olarak gözlenmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi optimum fiziksel özelliklere karşılık gelmektedir. Eğer  $Al_2O_3$  kullanılabilseydi hem kordlara iyi yapışma özelliği hem de maliyet düşürücü bir etken olacaktı. Fakat yapılan araştırmalar sonucu ZnO yerine kullanılamayacağı fiziksel özelliklerden daha iyi anlaşılmaktadır. Fiziksel özelliklere ait grafikler aşağıda verilmiştir.

## PALE CREEPE

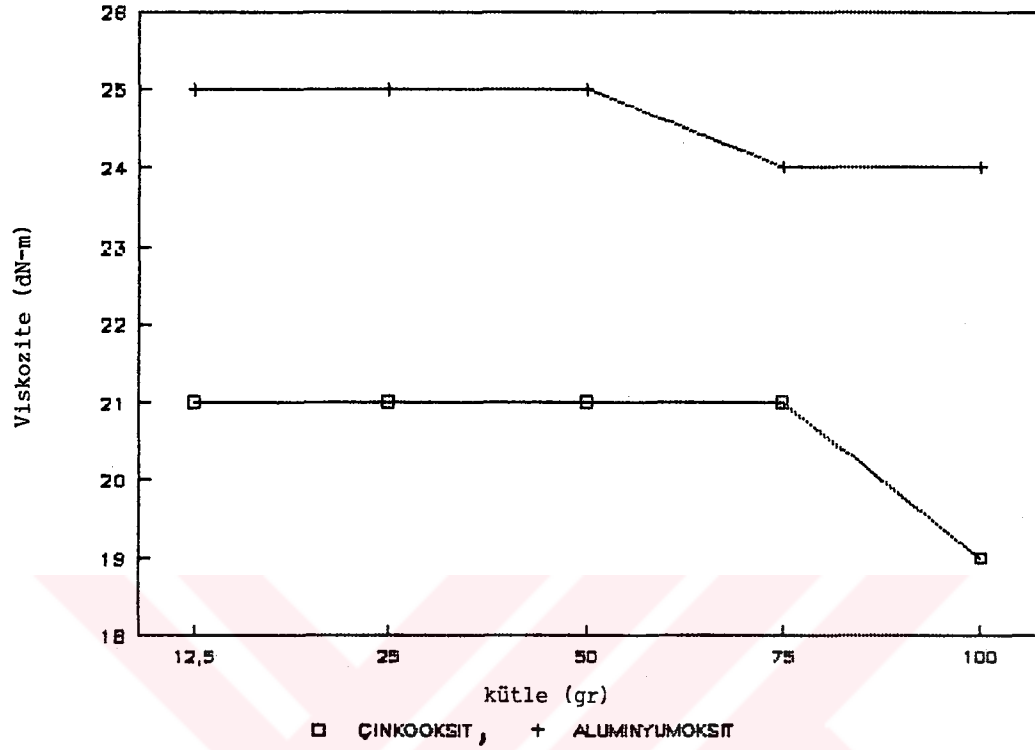


## SMR 5

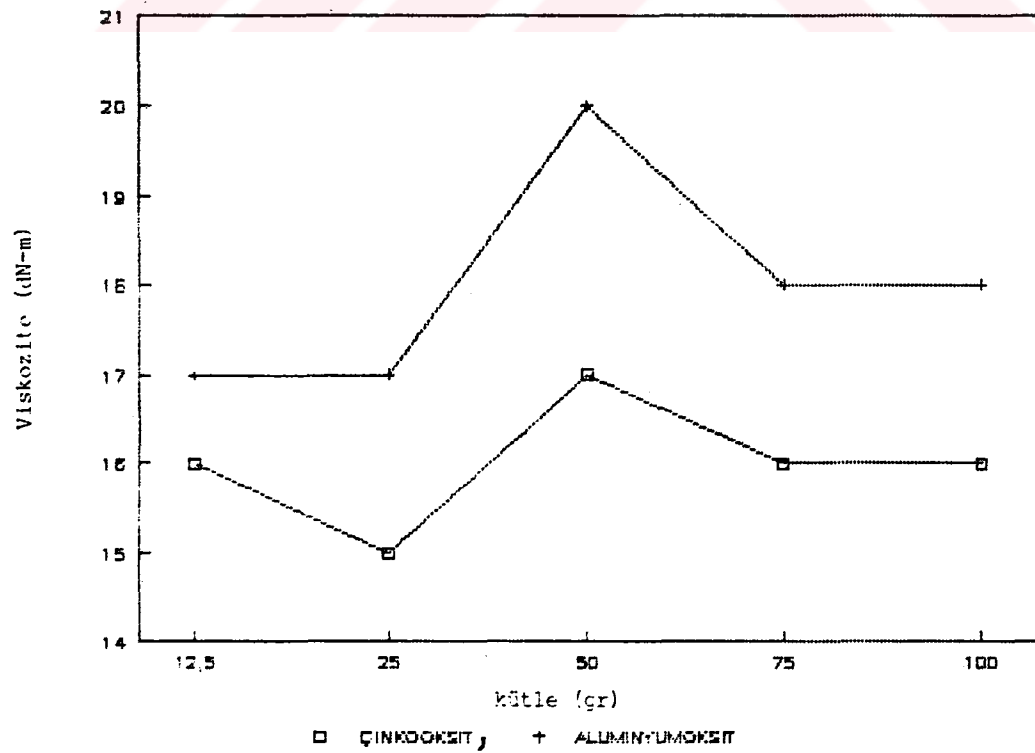


Şekil 6.1- Doğal Kauçuklar için Viskozite-kütle Grafiği (tolerans  $\pm 0.02$ )

## SBR 1502

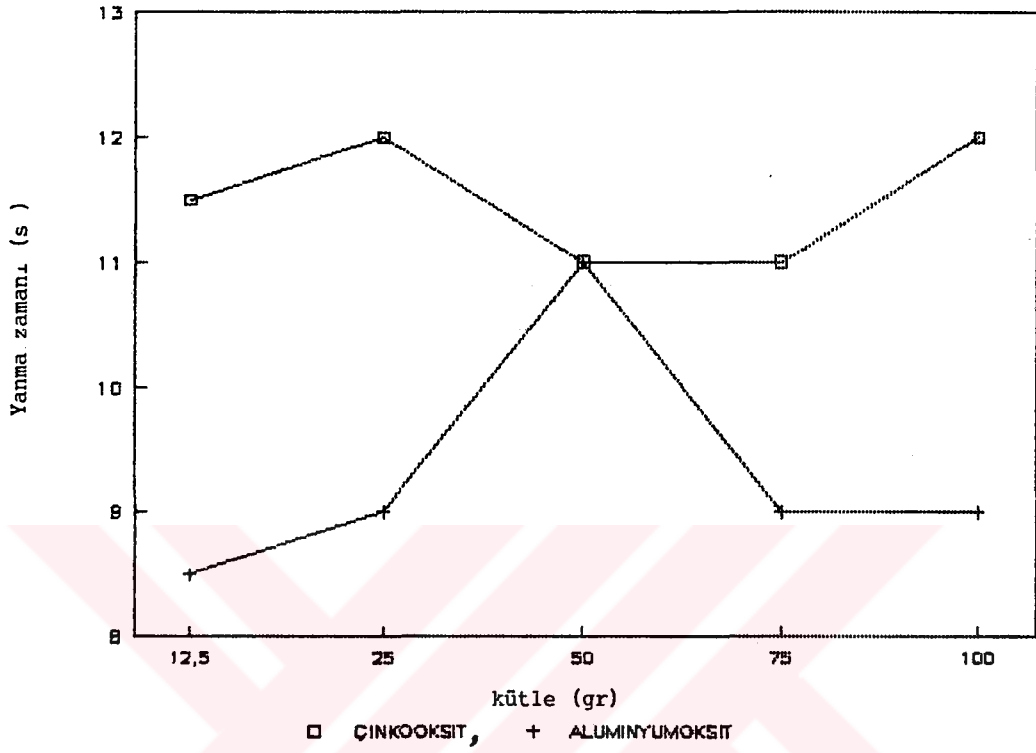


## SBR 1712

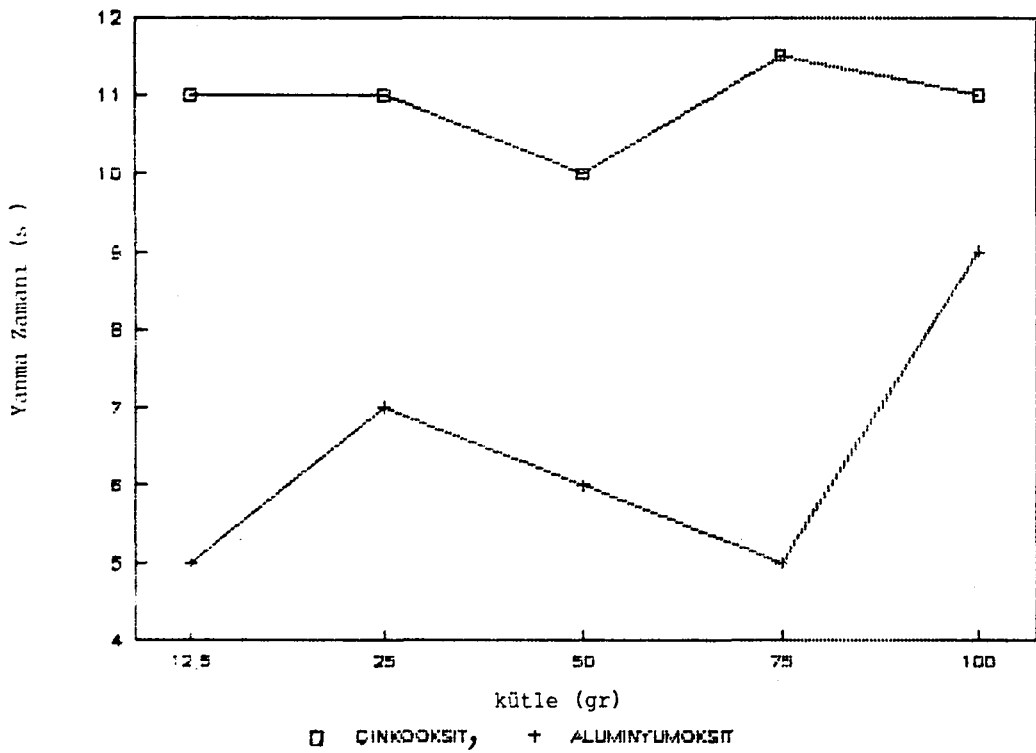


Şekil 6.2- Yapay Kauçuklar için Viskozite-kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm$  0.02)

## PALE CREEPE

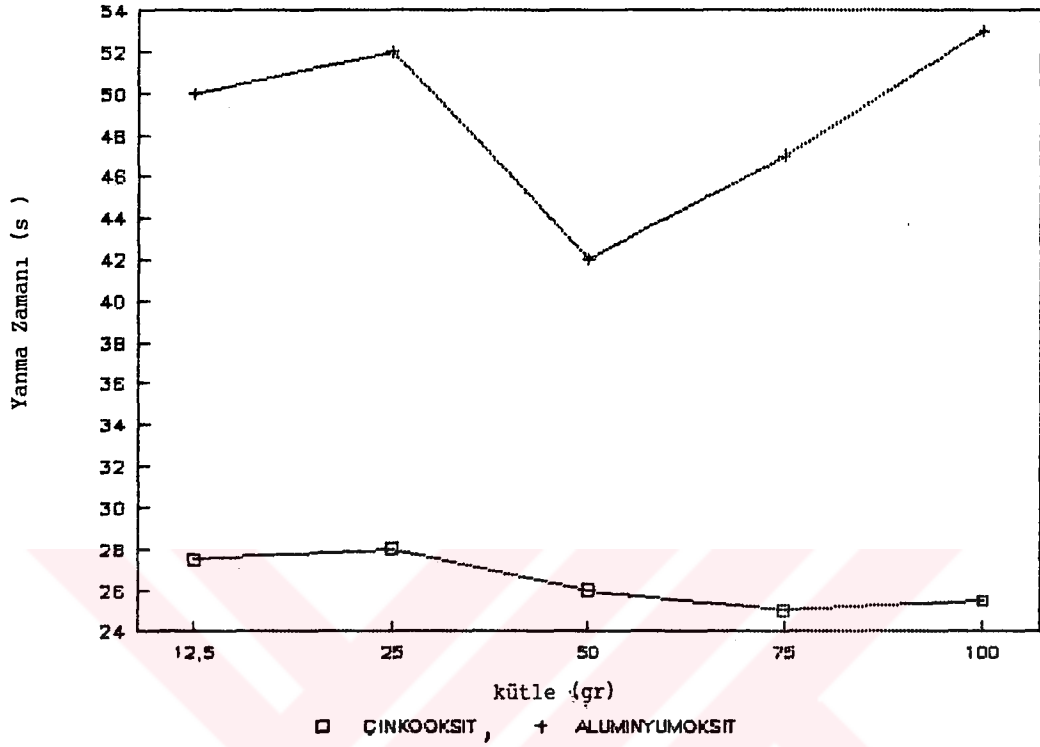


## SMR 5

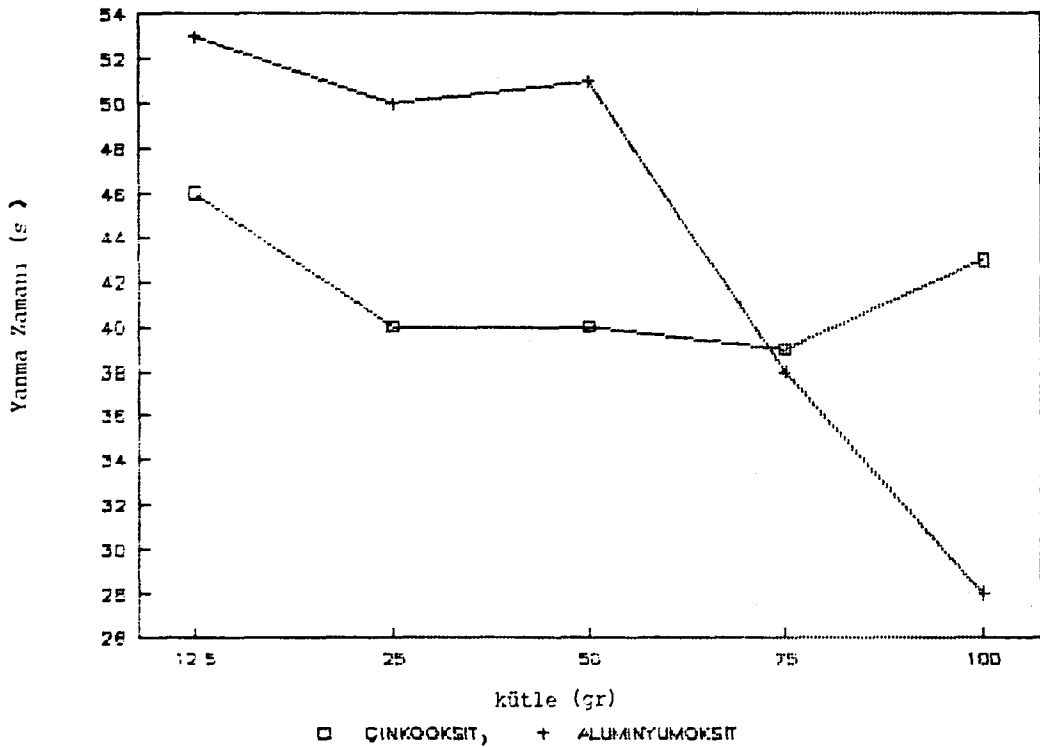


Şekil 6.3- Doğal Kauçuklar için Yanma Zamanı-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.02$ )

## SBR 1502

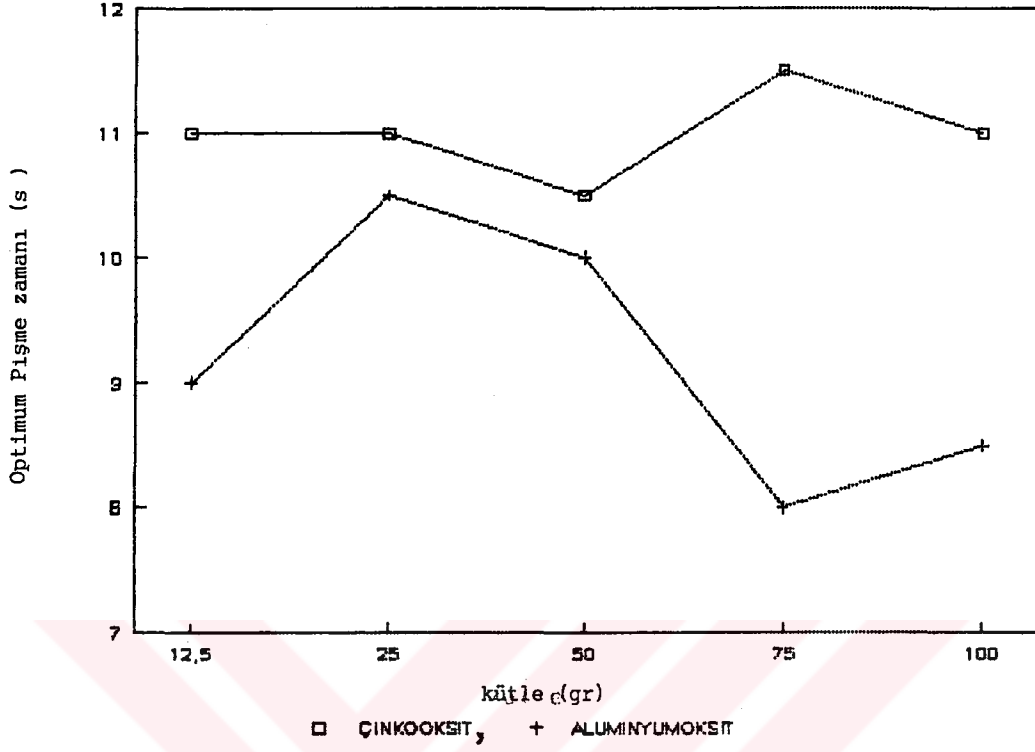


## SBR 1712

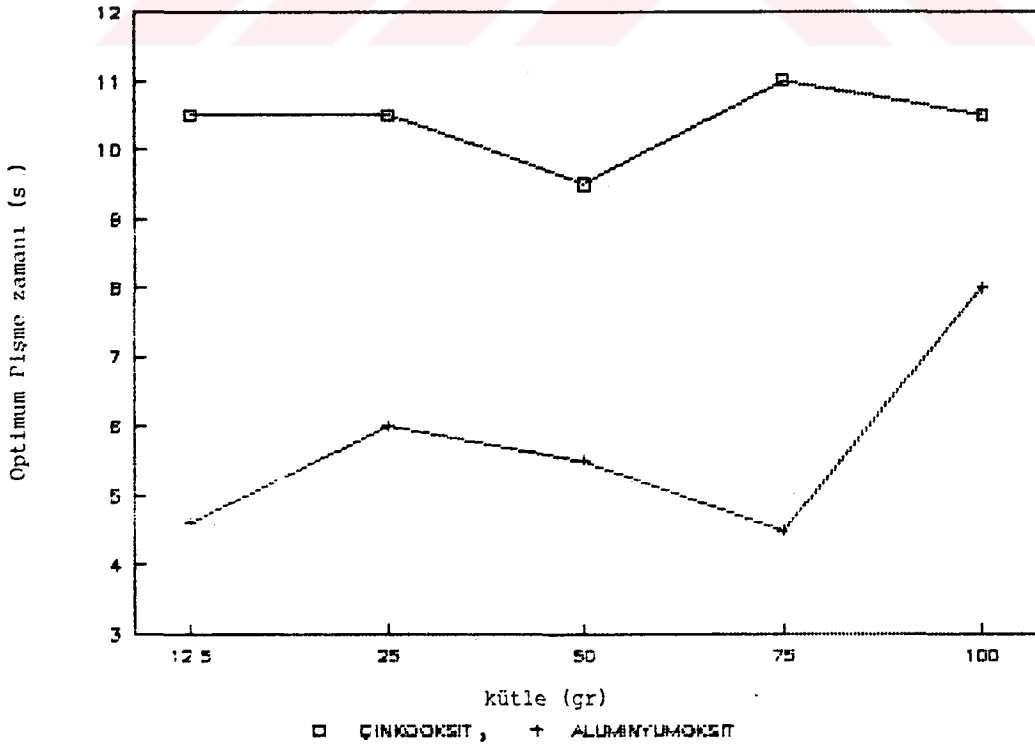


Sekil 6.4- Yapay Kauçuklar için Yanma Zamanı-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.02$ )

## PALE CREEPE

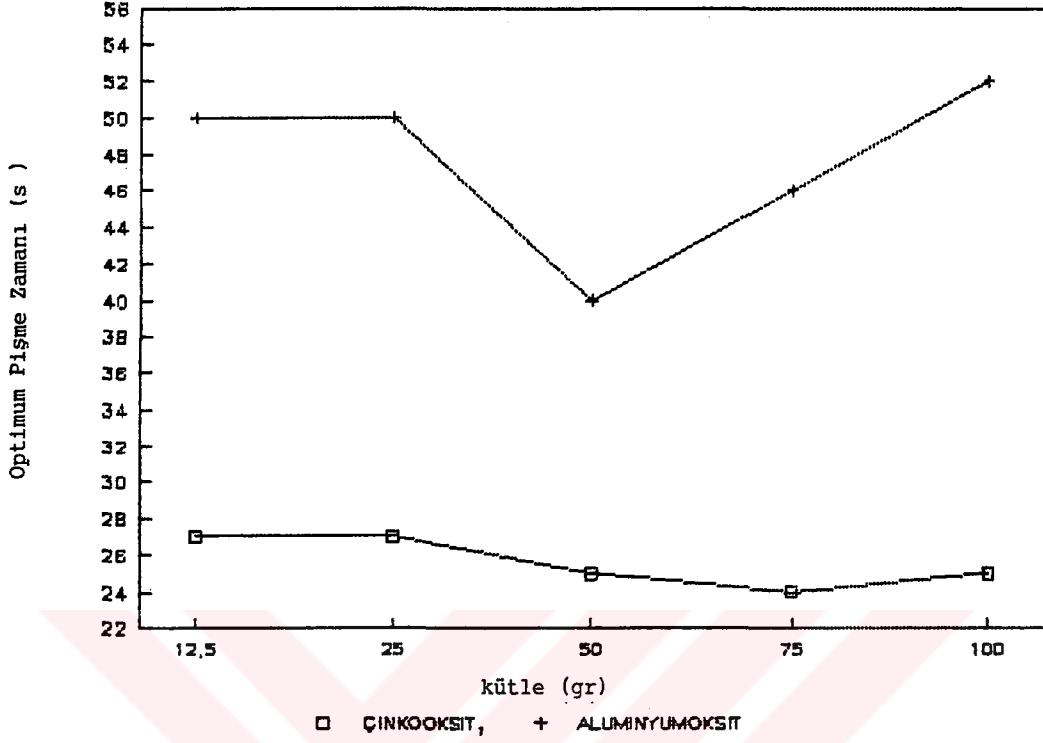


## SMR 5

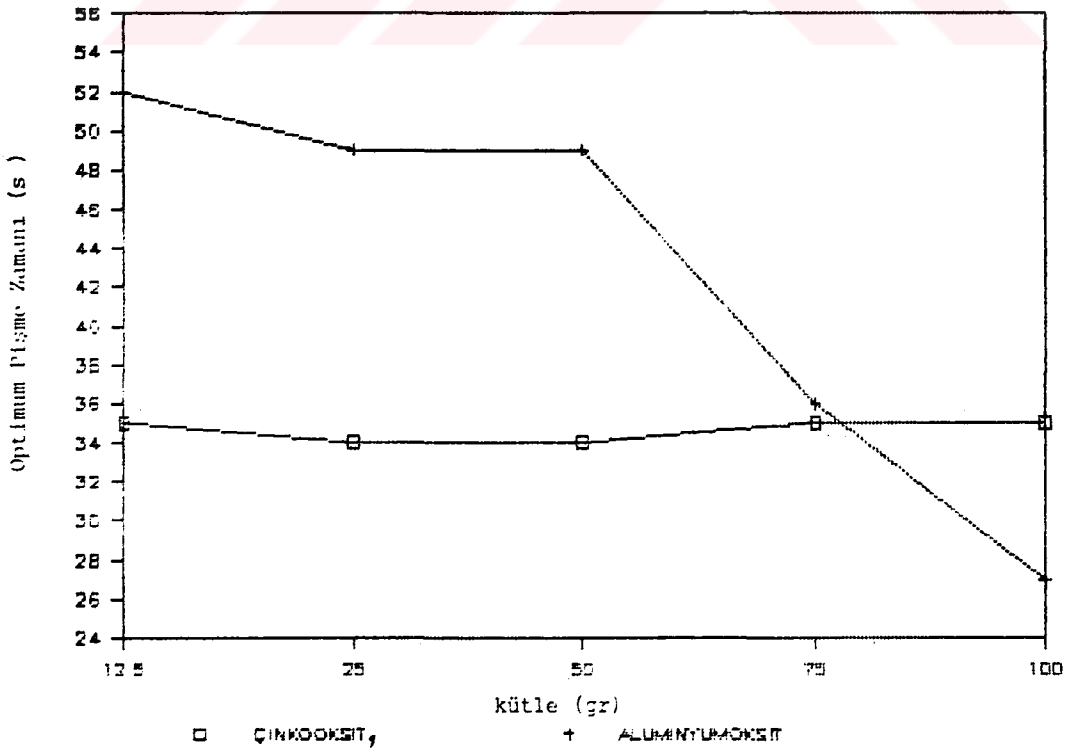


Şekil 6.5- Doğal Kauçuklar için Optimum Pişme Zamanı Kütle Grafiği (tolerans  $\pm 0.02$ )

## SBR 1502

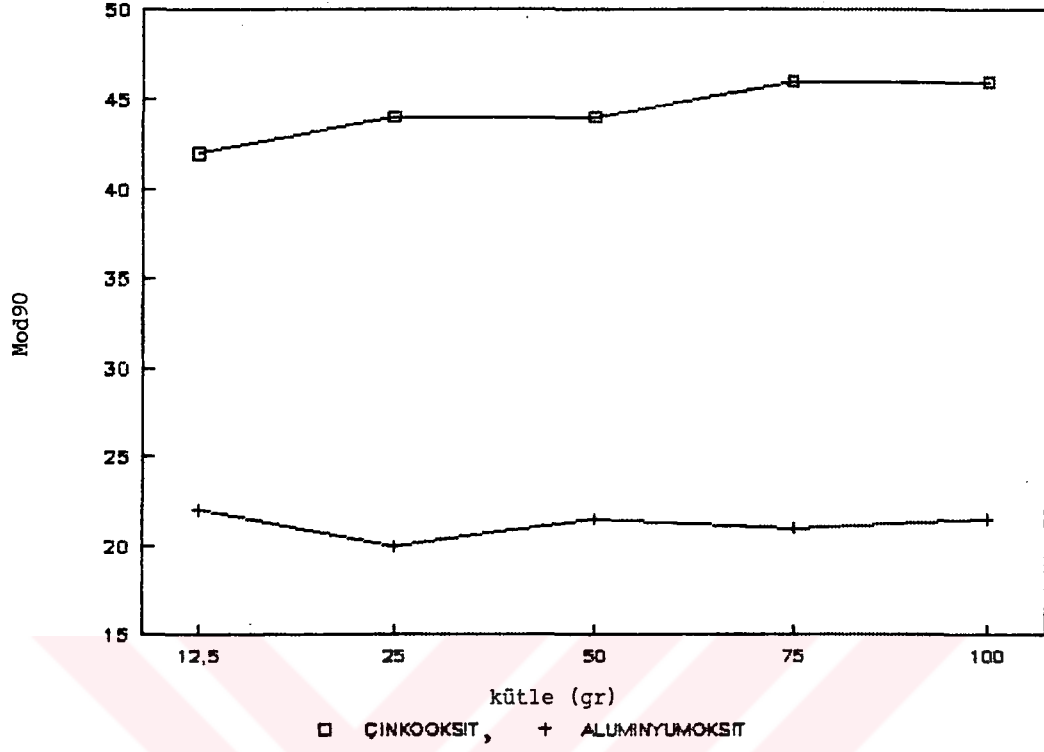


## SBR 1712

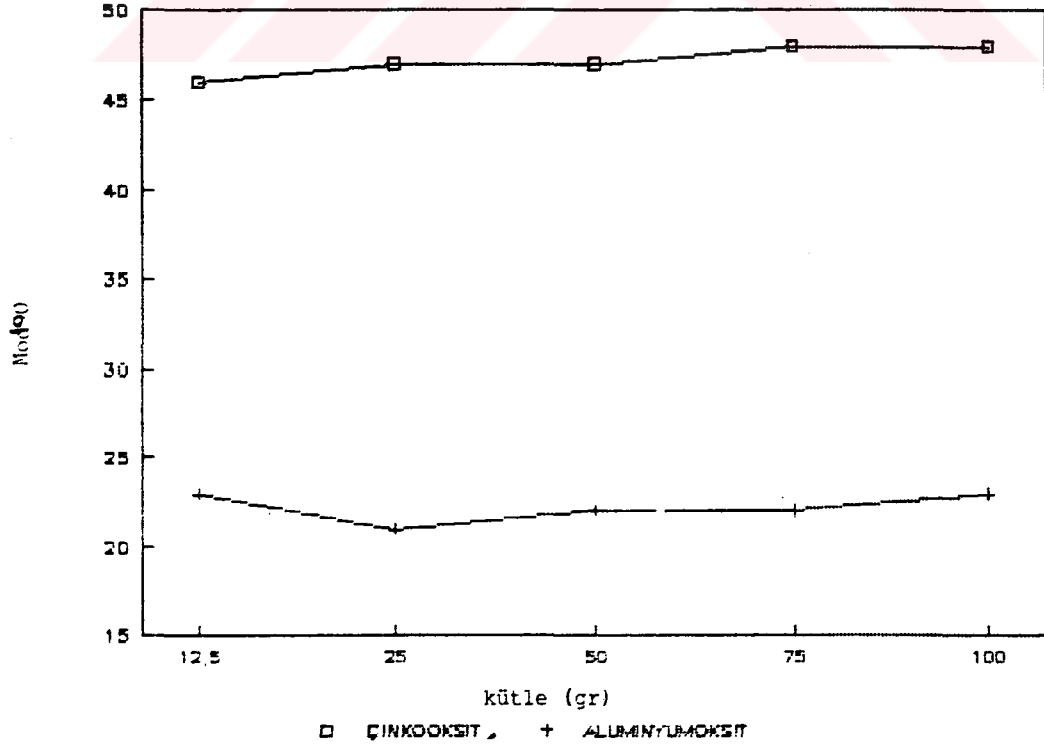


Şekil 6.6- Yapay Kauçuklar için Optimum Pişme Zamanı Kütle Grafiği (tolerans  $\pm$  0.02)

## PALE CREEPE

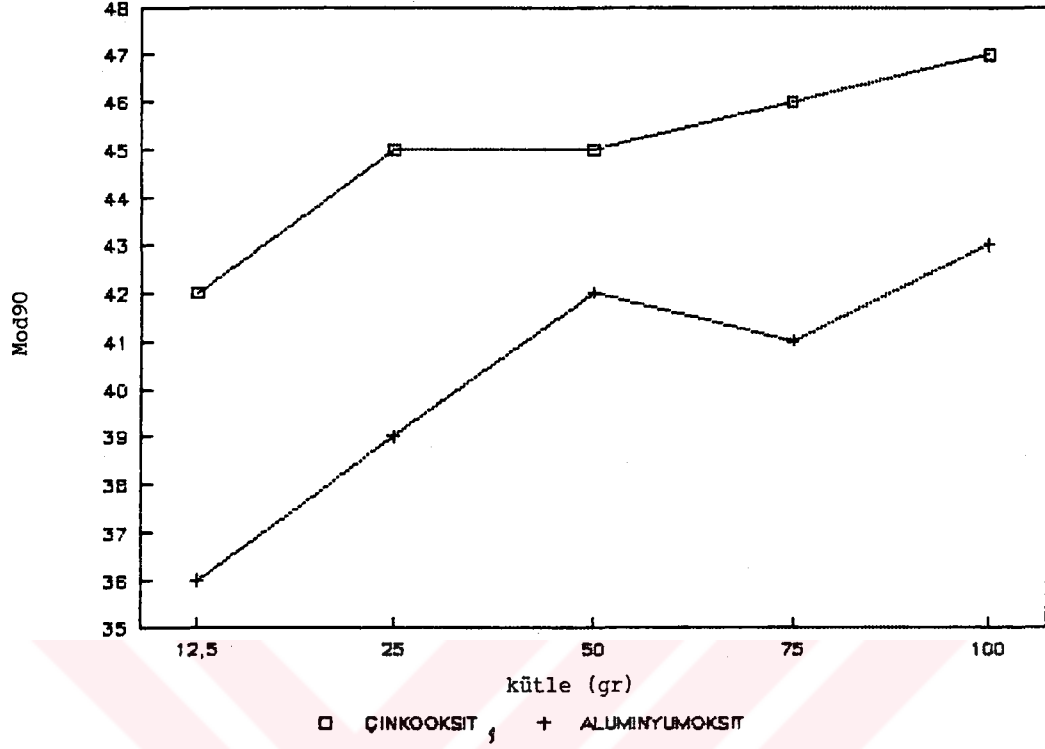


## SMR 5

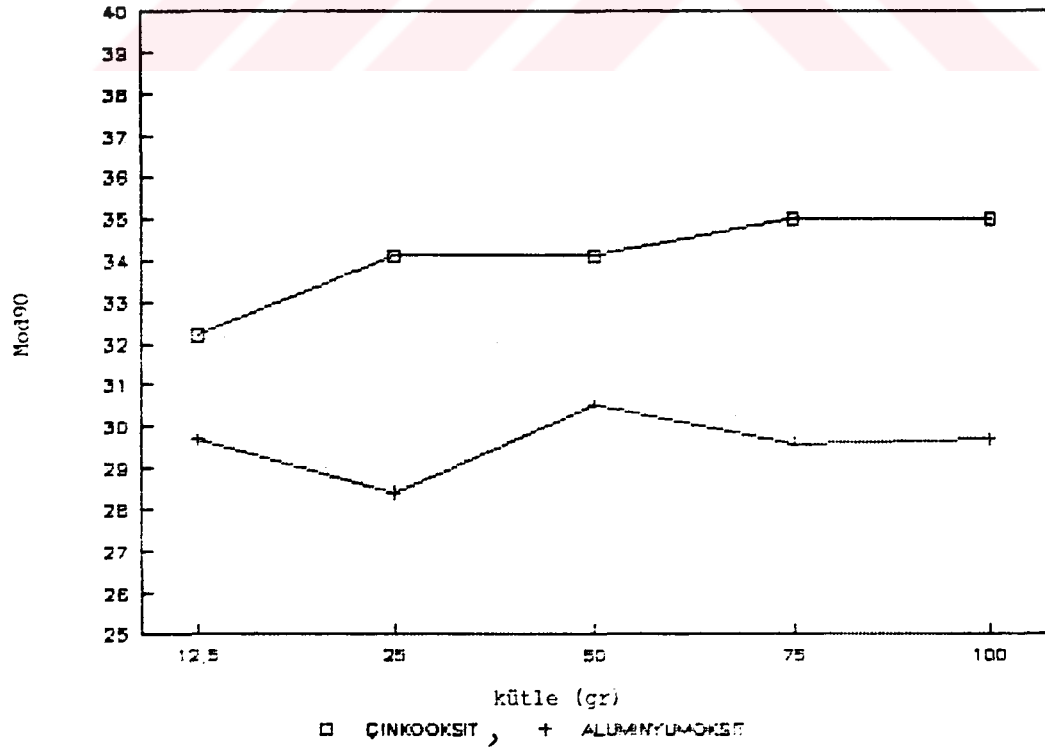


Şekil 6.7- Doğal Kauçuklar için Mod90-Kütüle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.02$ )

## SBR 1502

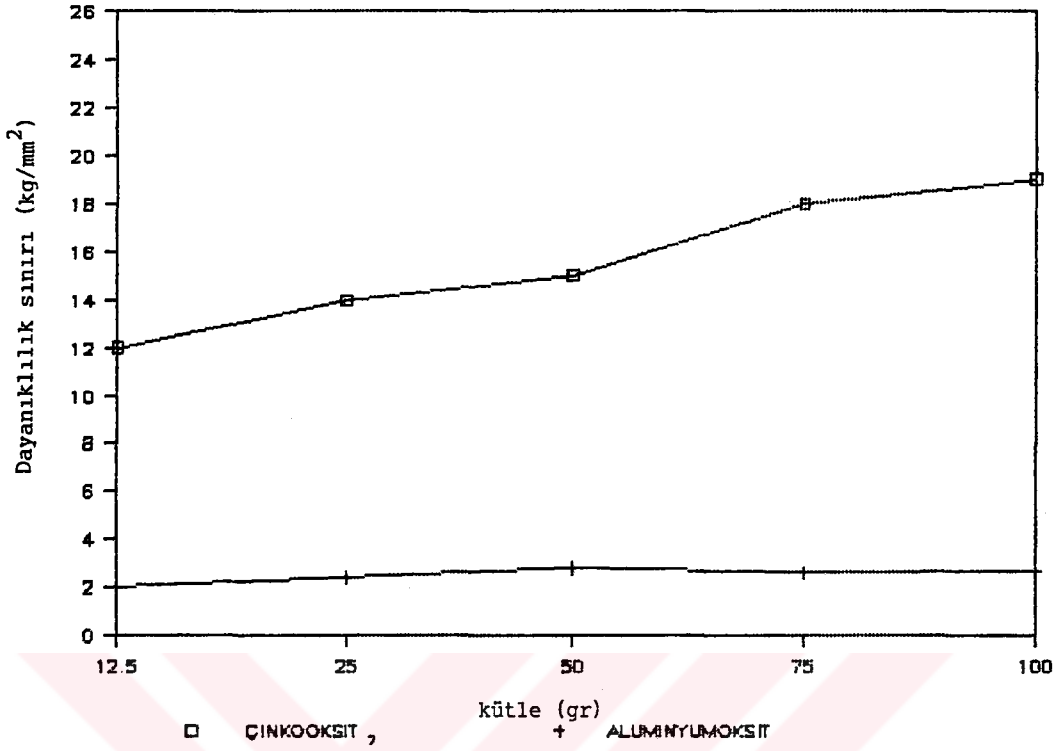


## SBR 1712

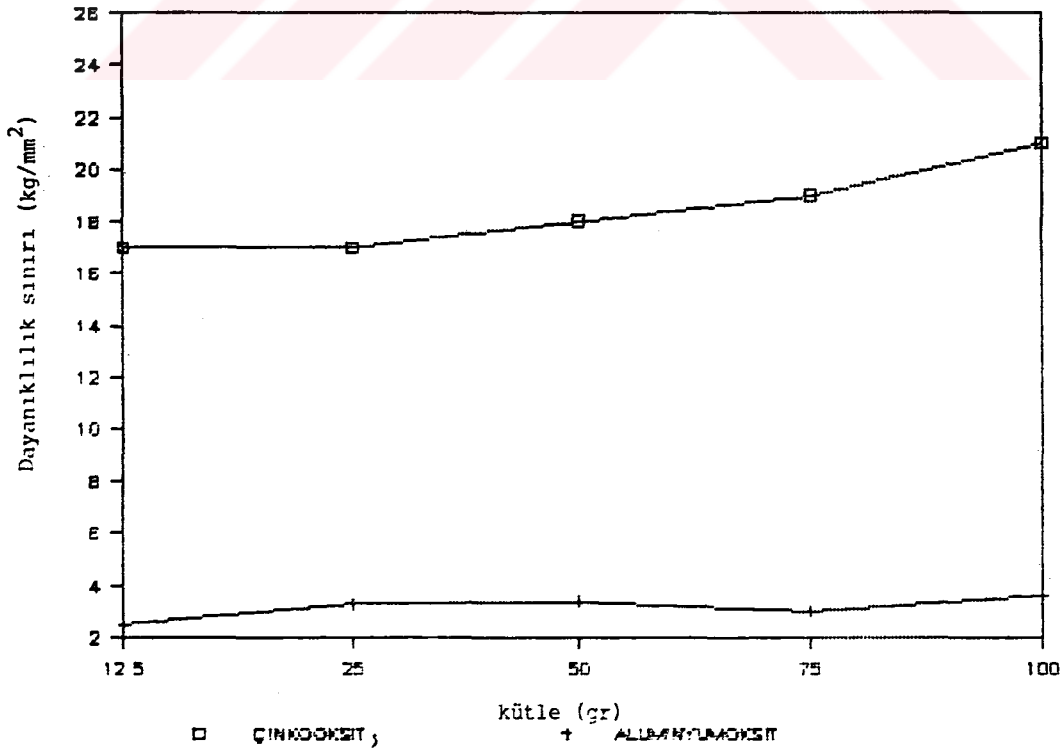


Şekil 6.8-Yapay Kauçuklar için Mod90-Kütüle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.02$ )

## PALE CREEPE

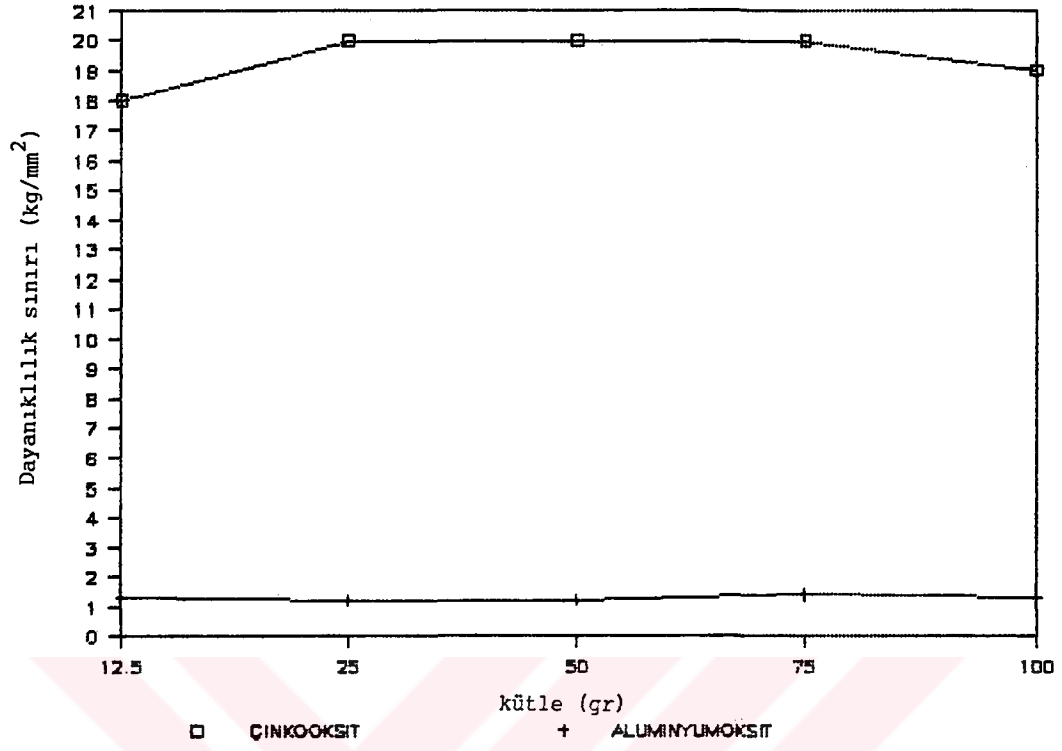


## SMR 5

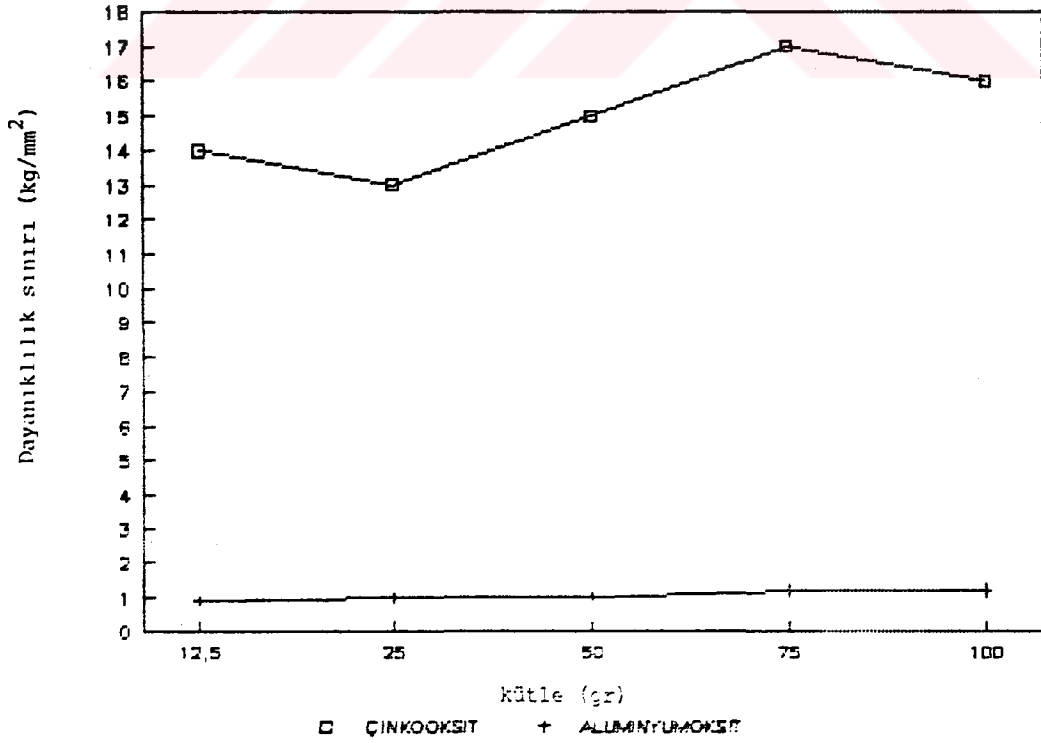


Şekil 6.9- Doğal Kauçuklar için Dayanıklılık Sınırı-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.01$ )

## SBR 1502

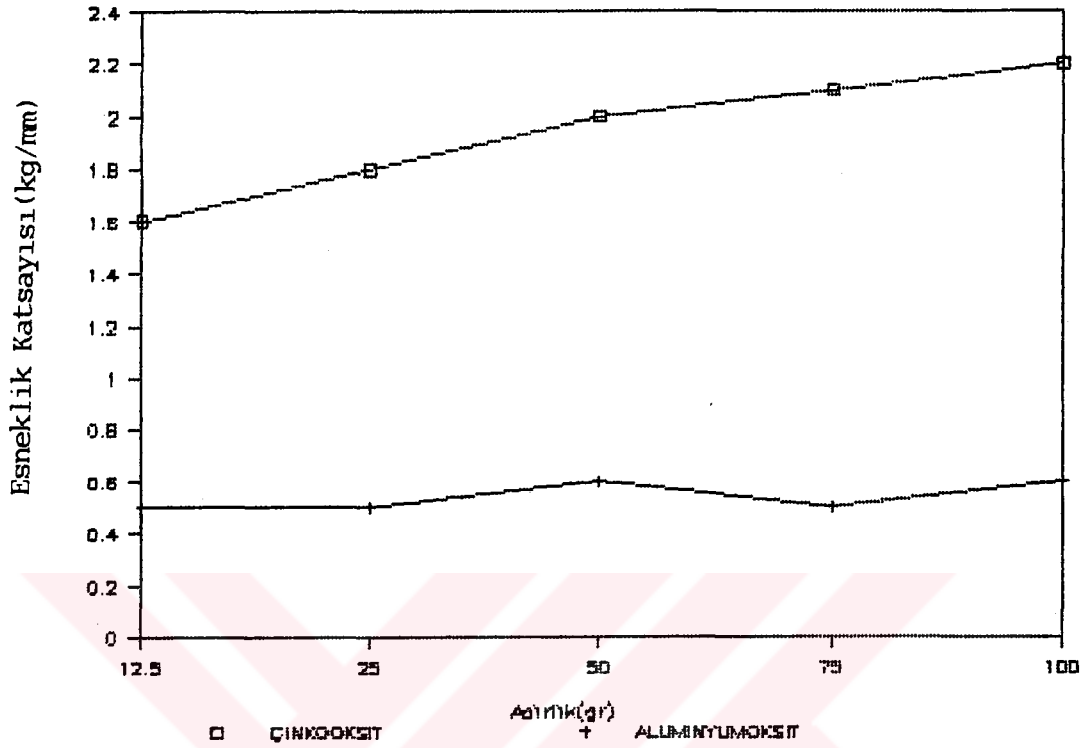


## SBR 1712

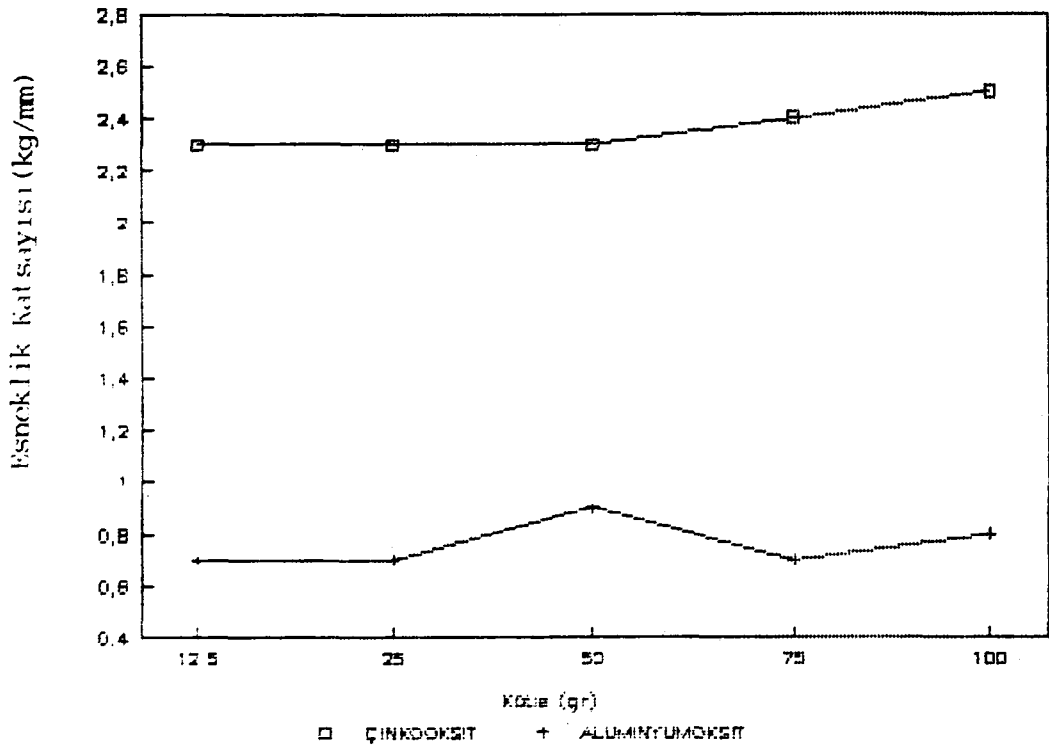


Şekil 6.10- Yapay Kauçuklar için Dayanıklılık Sınırı Kütle Grafiği (tolerans  $\pm 0.01$ )

## PALE CREEPE

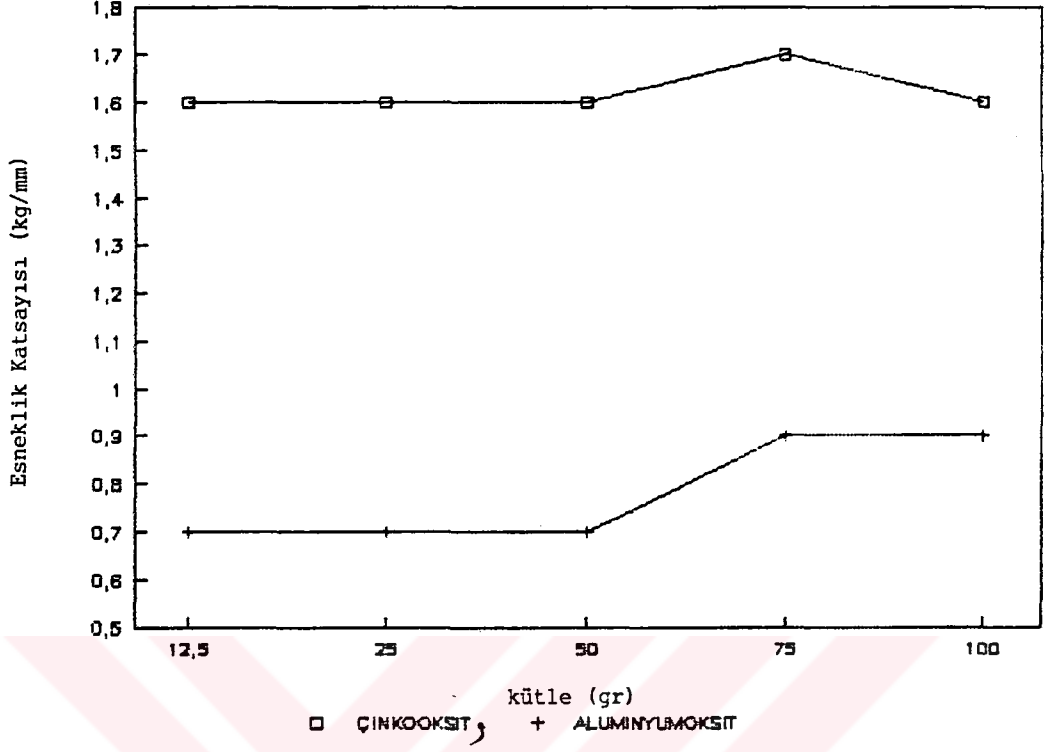


## SMR 5

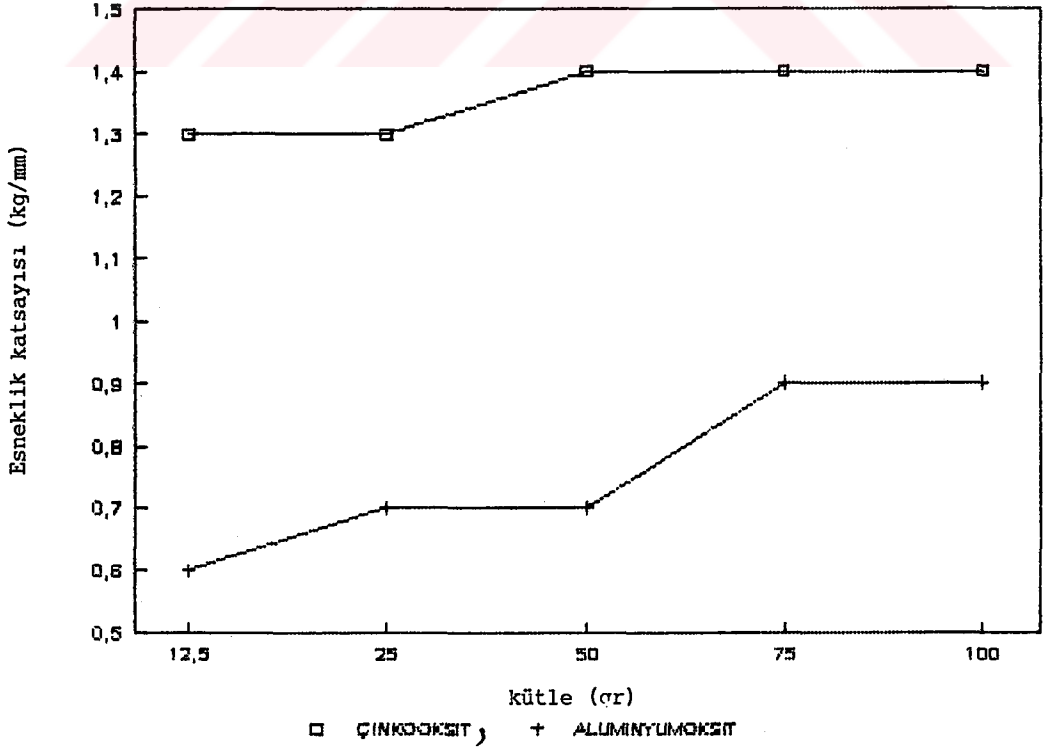


Şekil 6.11- Doğal Kauçuklar için Esneklik Katsayısı Kütle Grafiği (Tolerans  $\pm 0.01$ )

## SBR 1502

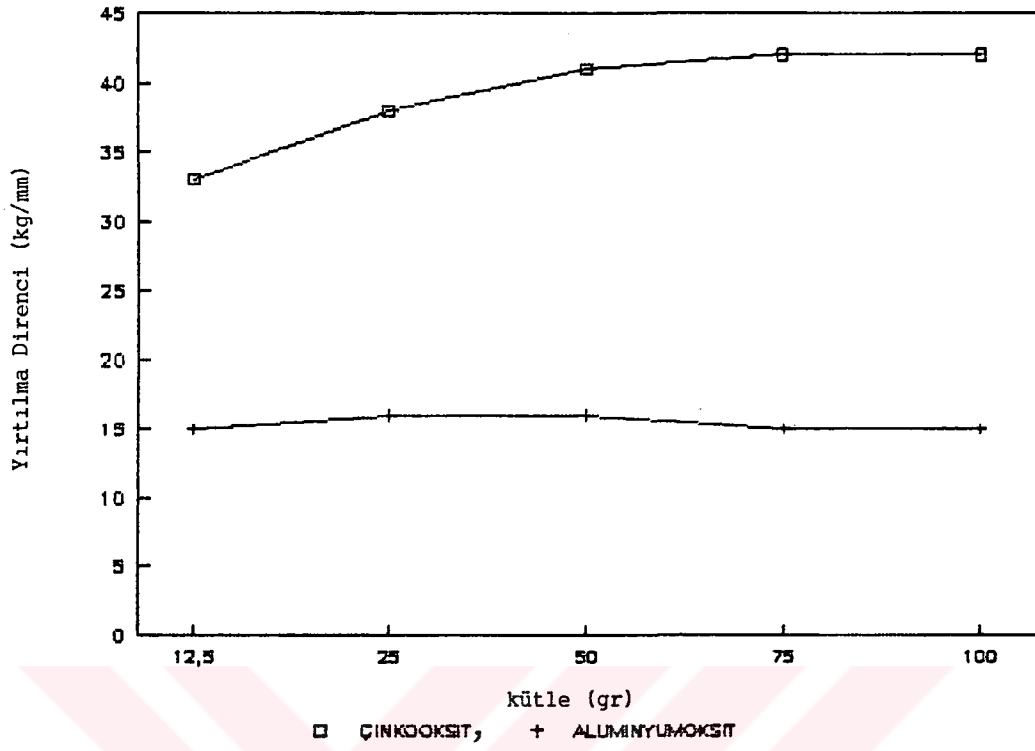


## SBR 1712

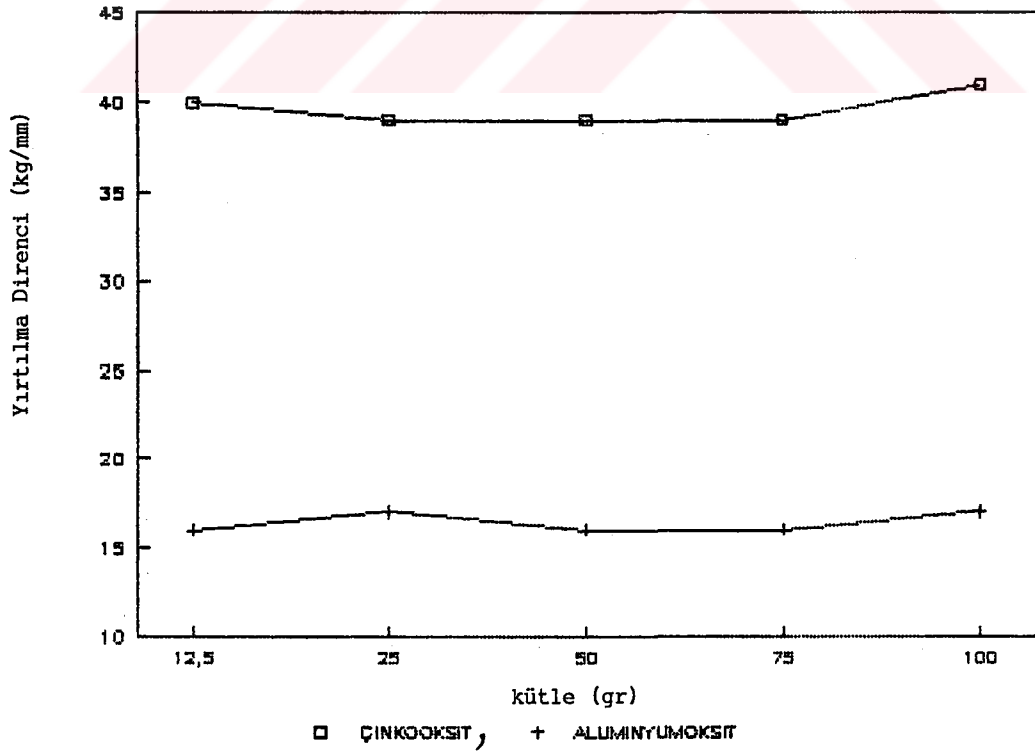


Şekil 6.12- Yapay Kauçuklar için Esneklik Katsayısı Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.01$ )

## PALE CREEPE

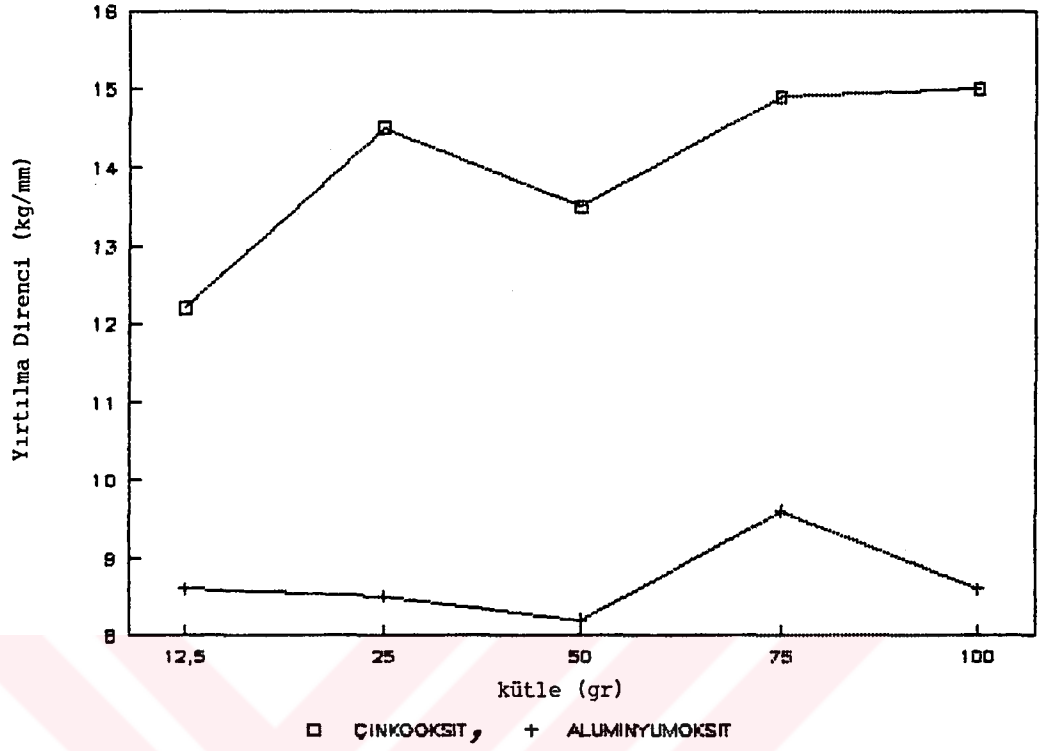


## SMR 5

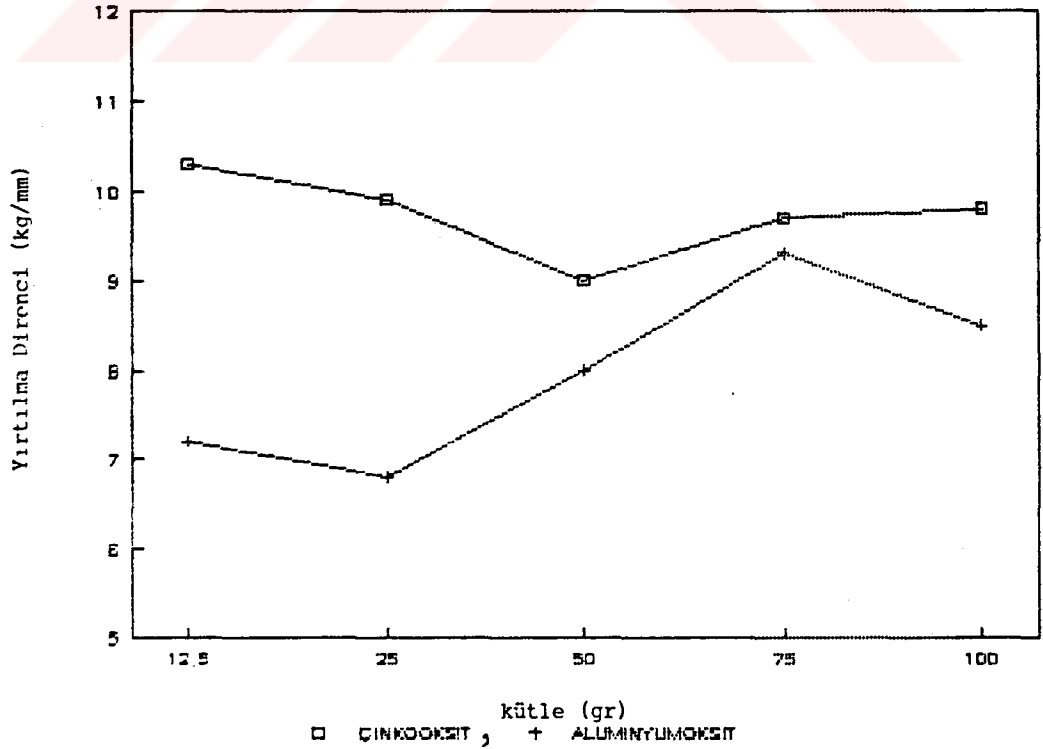


Şekil 6.13- Doğal Kauçuklar için Yırtılma Direnci Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm$  0.01)

## SBR 1502

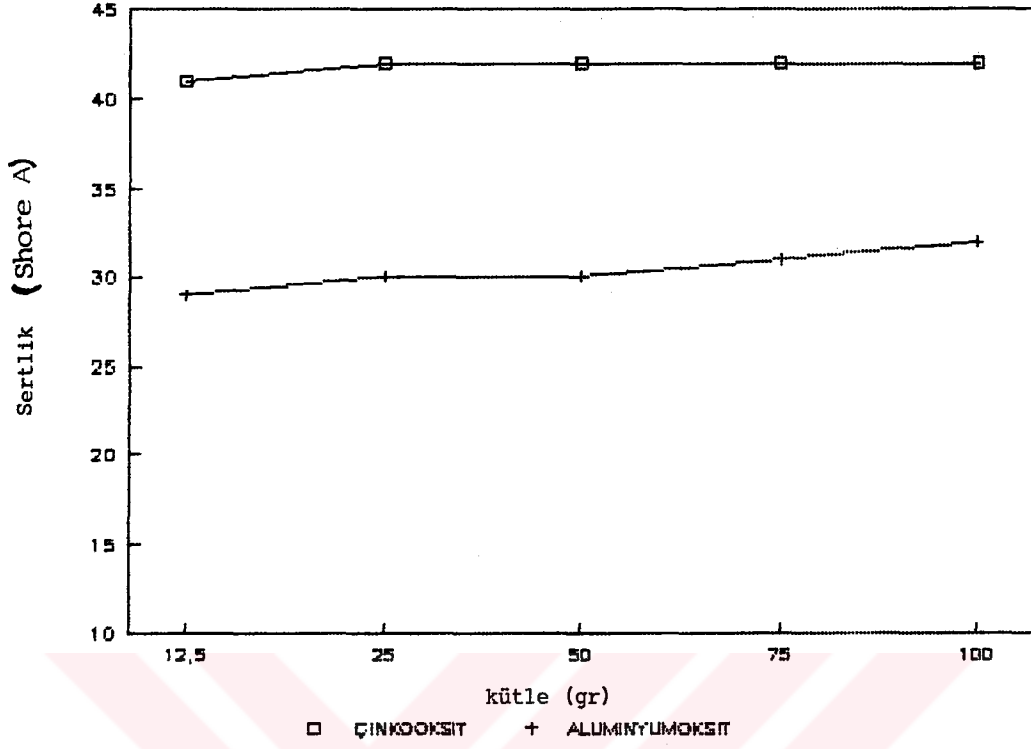


## SBR 1712

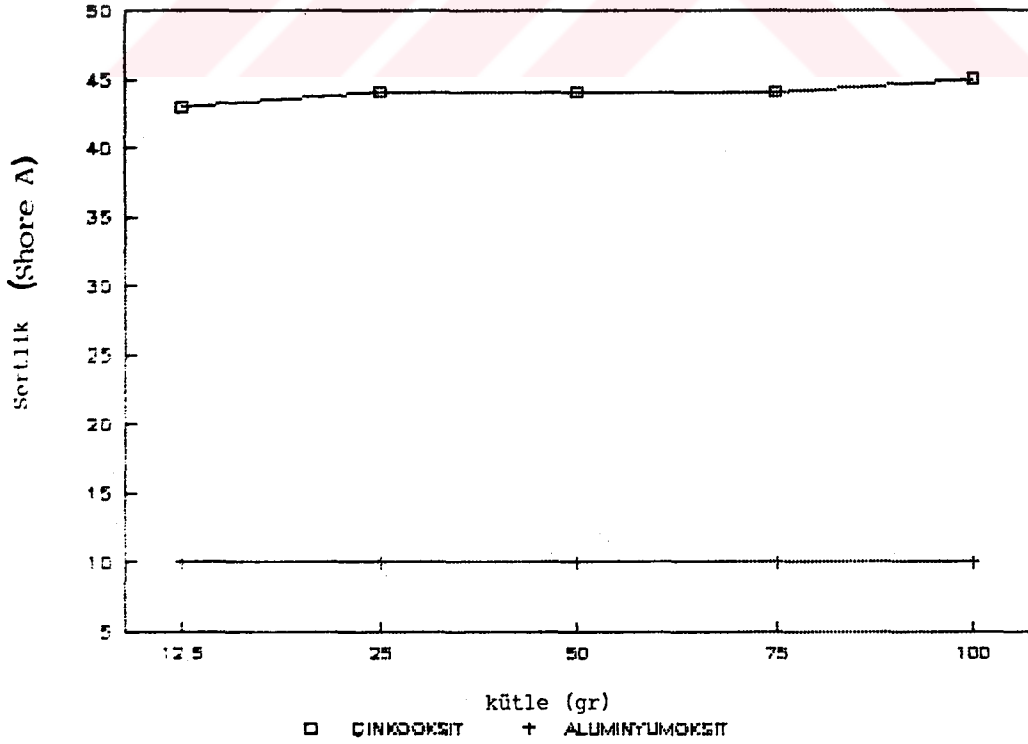


Şekil 6.14 Yapay Kauçuklar için Yırtılma Direnci Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.01$ )

## PALE CREEPE

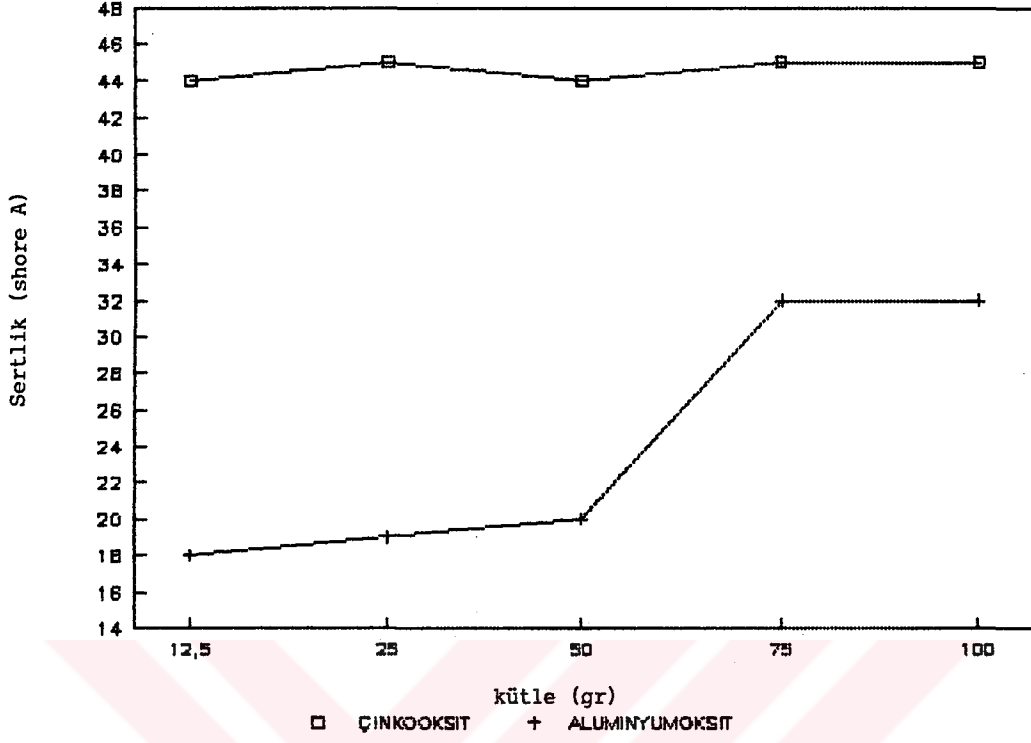


## SMR 5

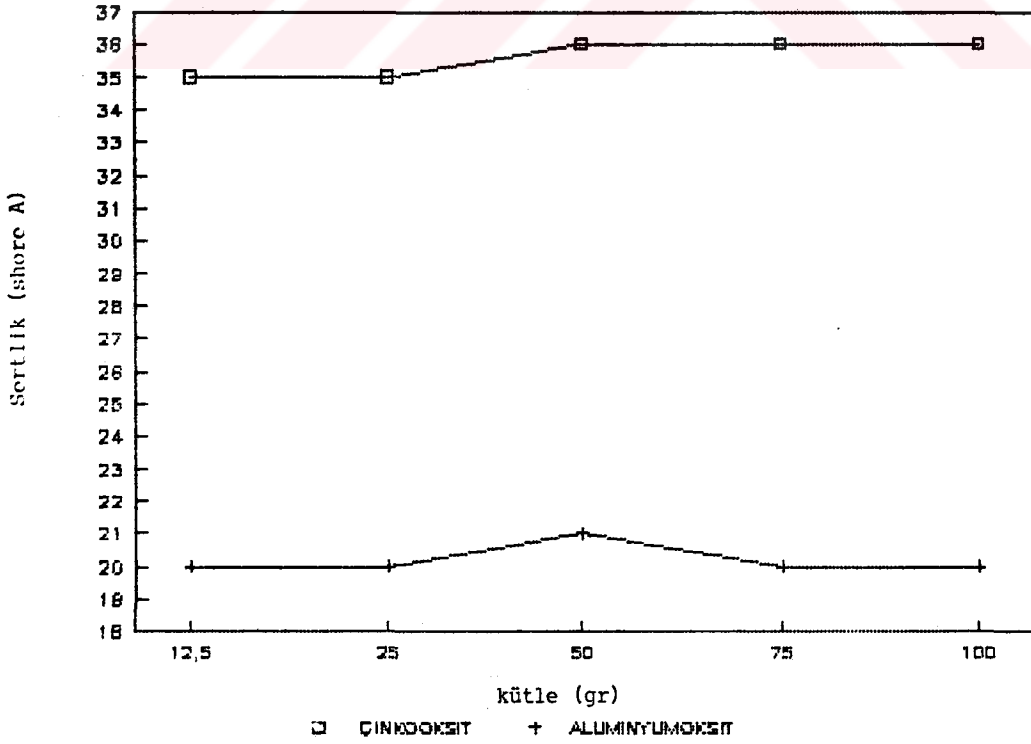


Şekil 6.15- Doğal Kauçuklar için Sertlik-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.03$ )

## SBR 1502

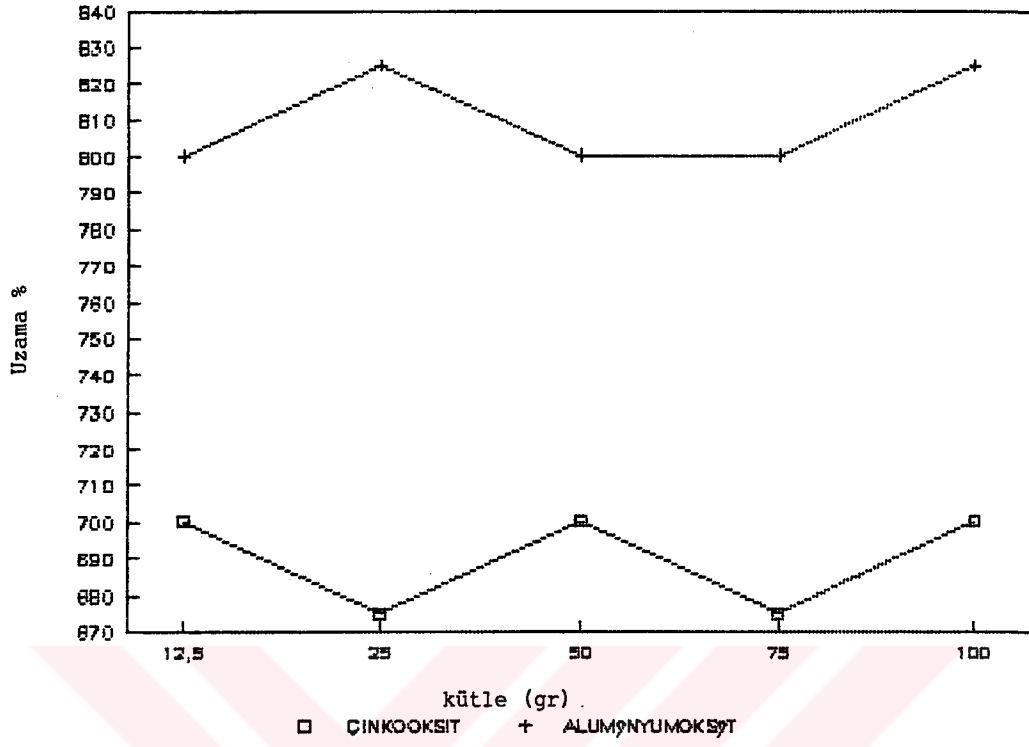


## SBR 1712

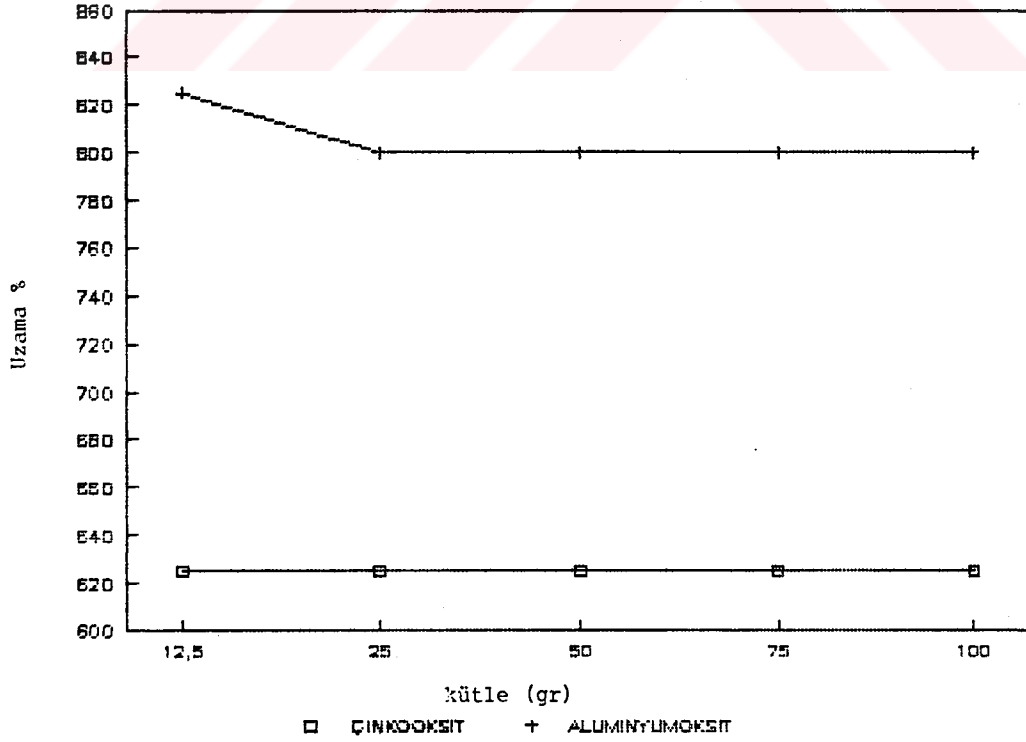


Şekil 6.16- Yapay Kauçuklar için Sertlik-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.03$ )

## PALE CREEPE

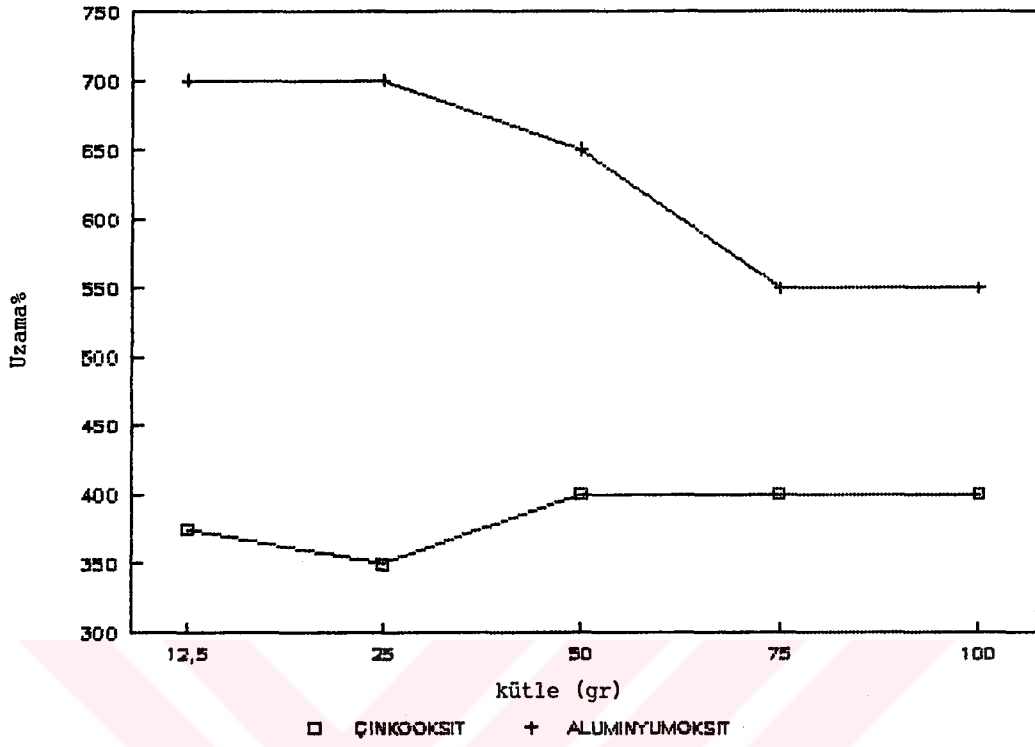


## SMR 5

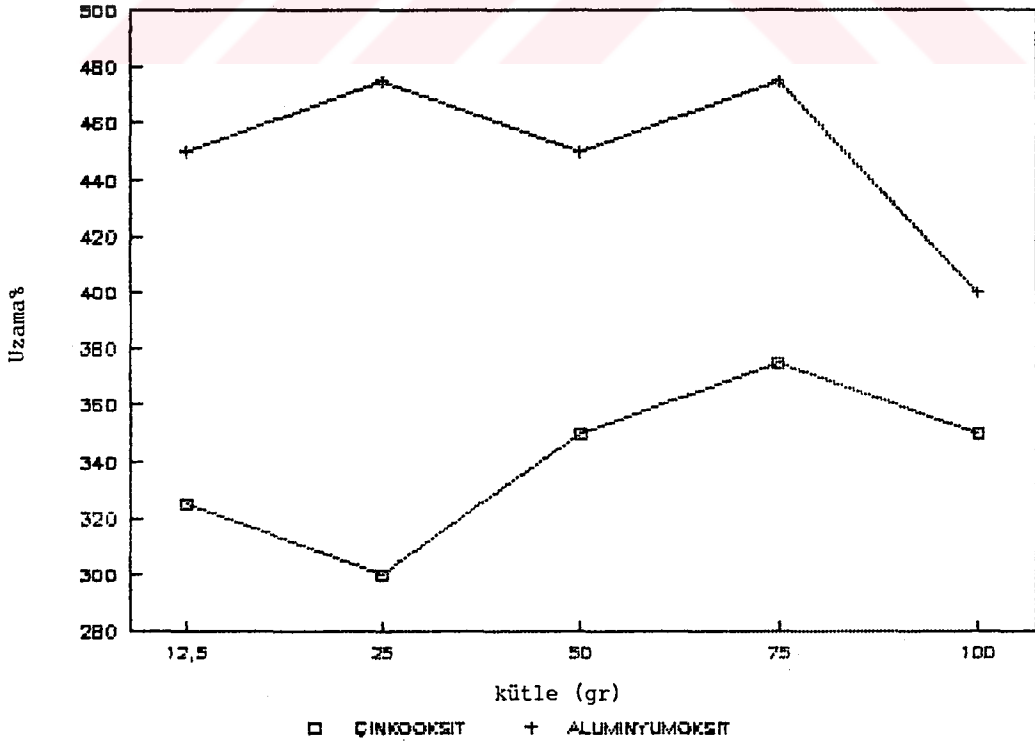


Şekil 6.17- Doğal Kauçuklar için Uzama Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm$  0.05)

## SBR 1502

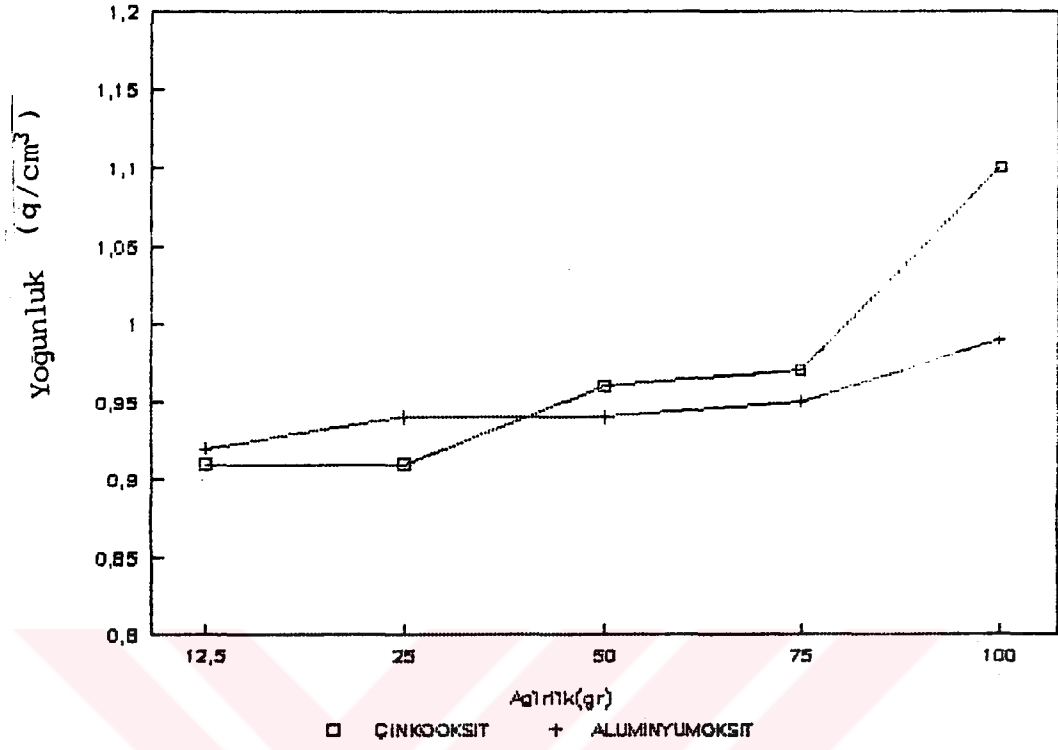


## SBR 1712

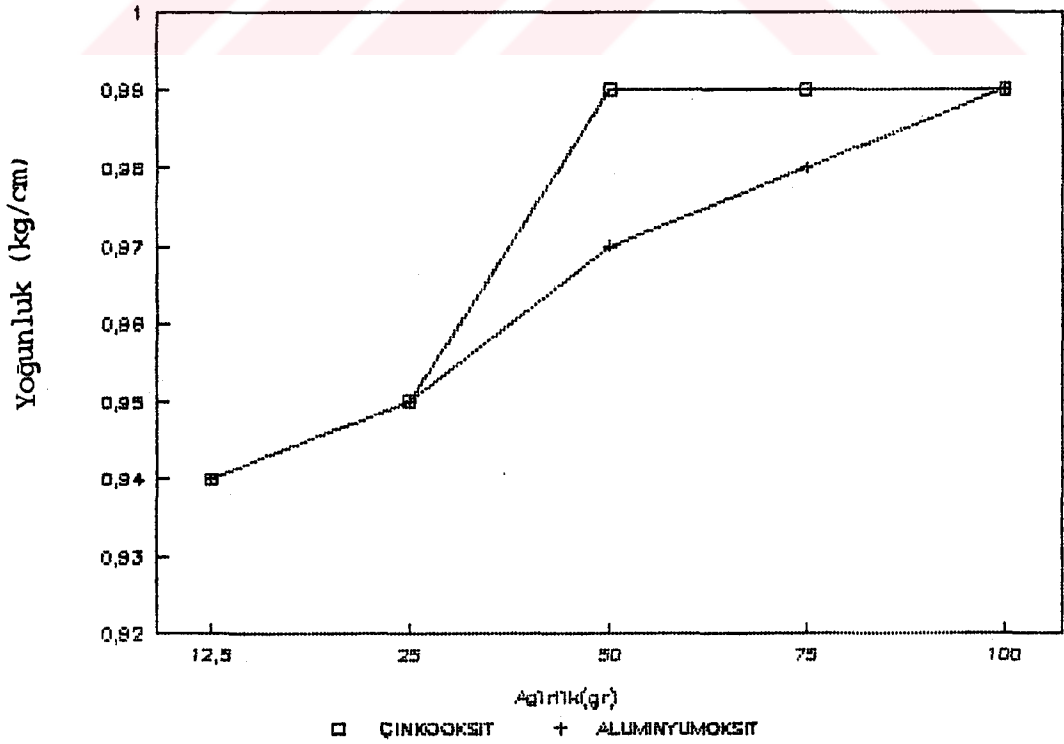


Şekil 6-18- Yapay Kauçuklar için Uzama-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.05$ )

## PALE CREEPE

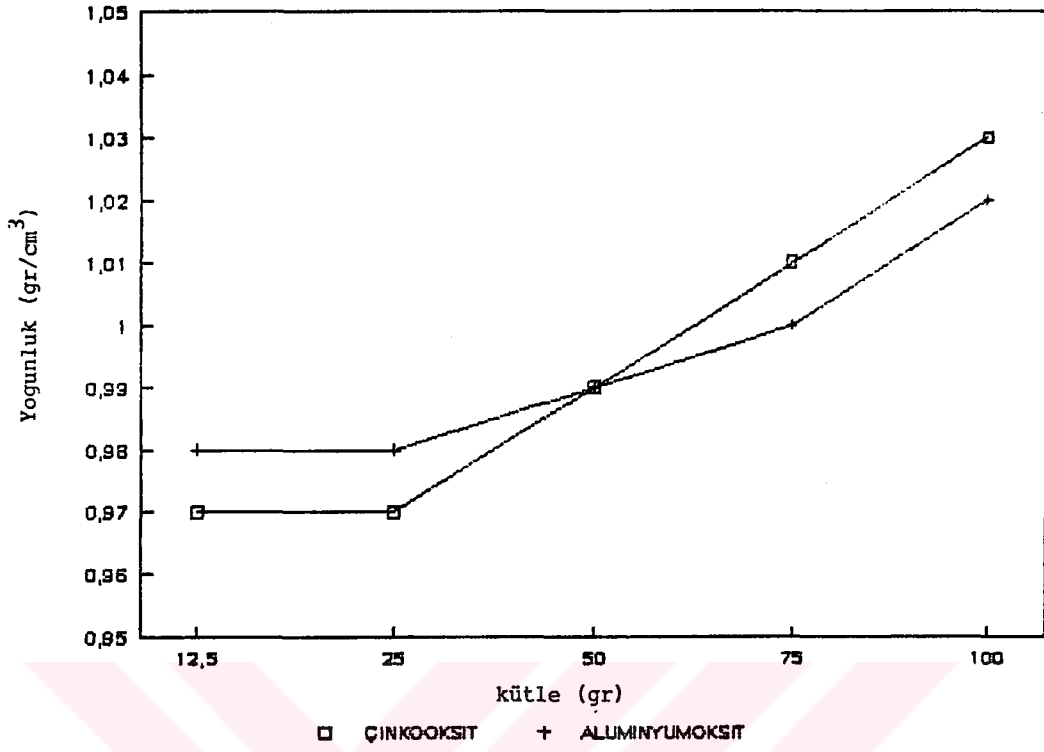


## SMR 5

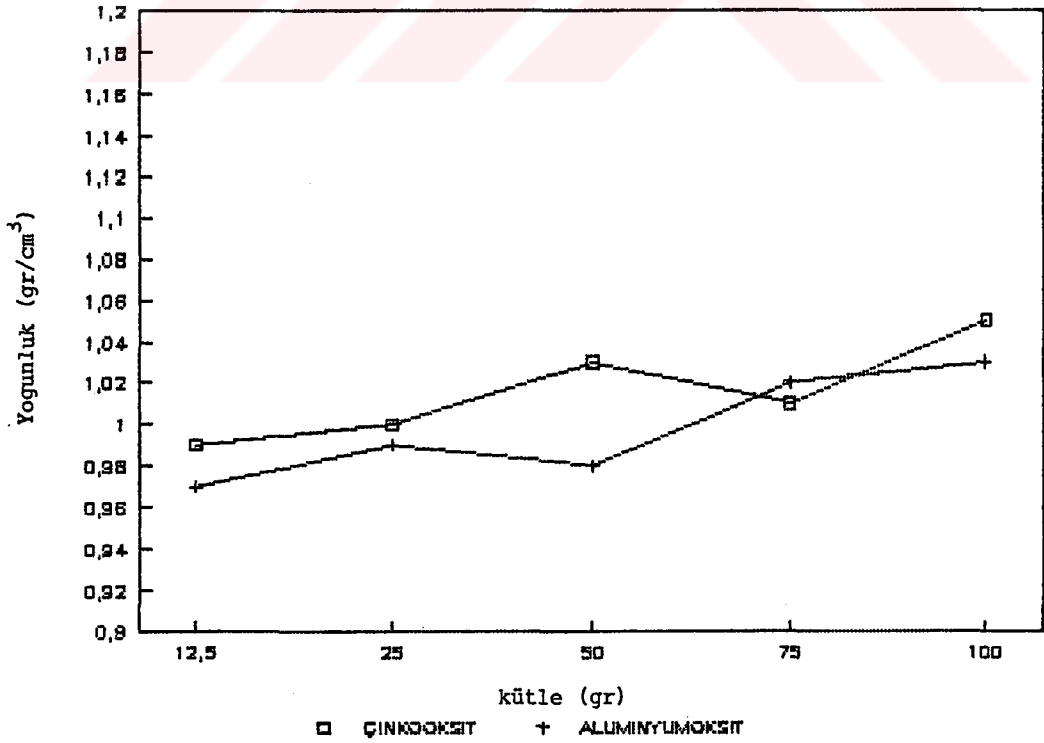


Şekil 6.19- Doğal Kauçuklar için Yoğunluk-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm$  0.01)

## SBR 1502



## SBR 1712

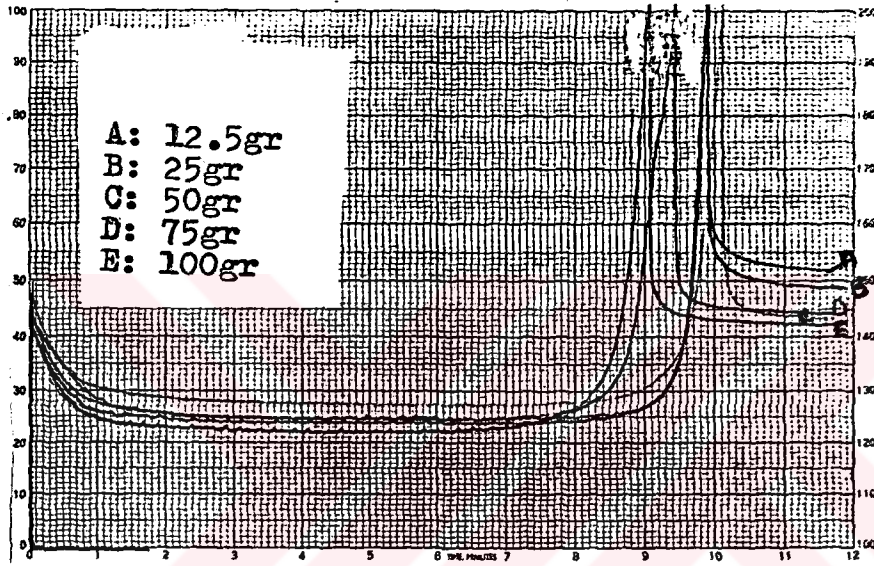


Şekil 6.20- Yapay Kauçuklar için Yoğunluk-Kütle Grafiği  
(tolerans  $\pm 0.01$ )

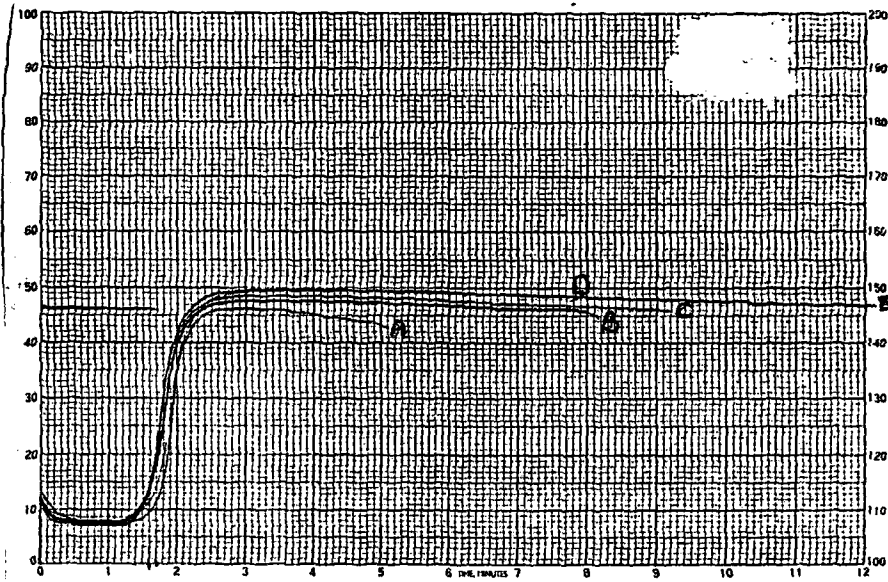
EK

Lastik hamurunun pişme ve viskozluk özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan viskozluğu zamana bağlayan grafikler.

Ekl:Pale creepe için çeşitli miktarlarda ZnO içeren lastik hamurunun viskozluk zaman grafiği.

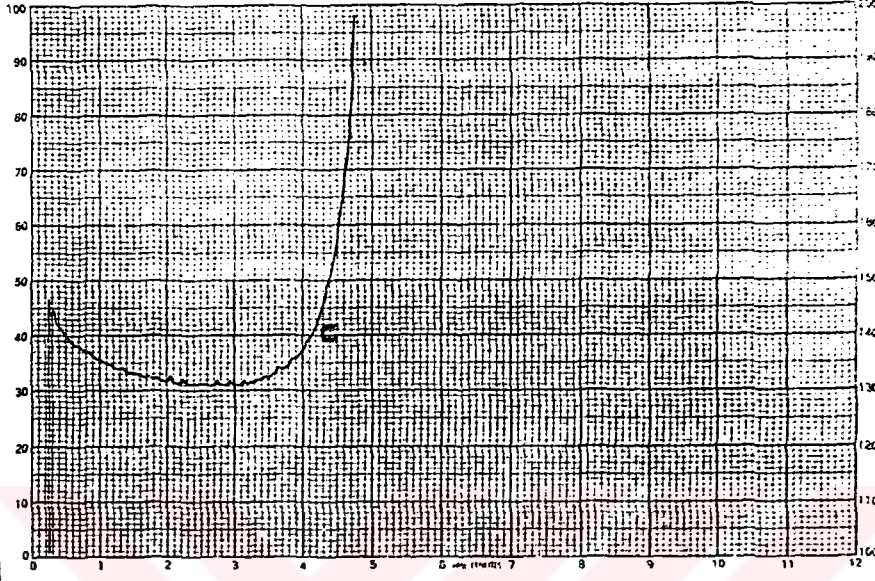


120 C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

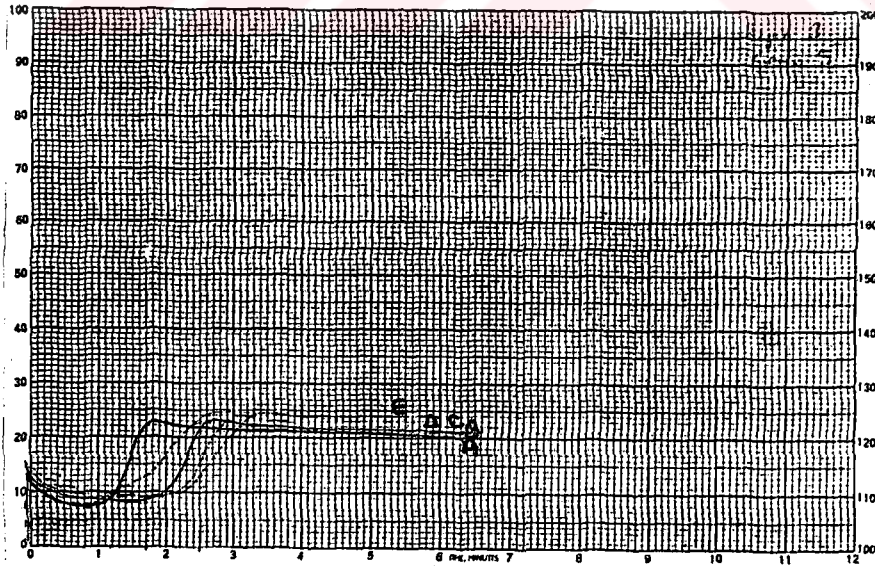


150 C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

Ek2: Pale Creepe İçin Çeşitli Miktarlarda  $Al_2O_3$  İçeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.

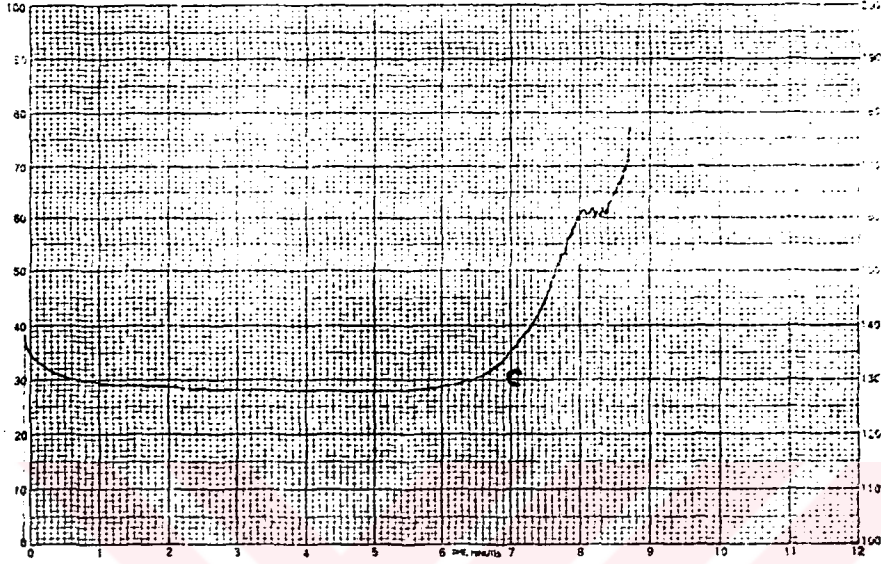


120° C 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

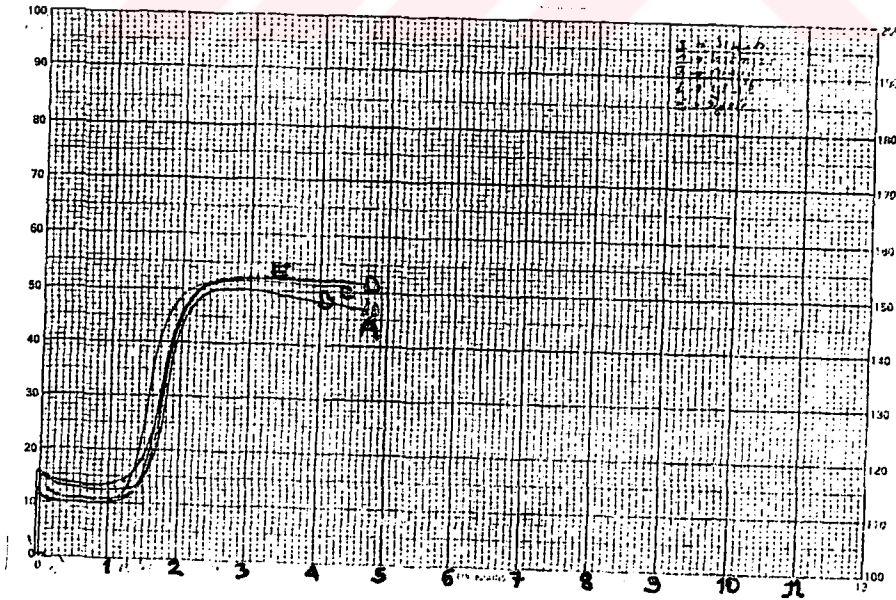


150° C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

Ek3: SMR 5 İçin Çeşitli Miktarlarda ZnO İçeren Lastik  
Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.

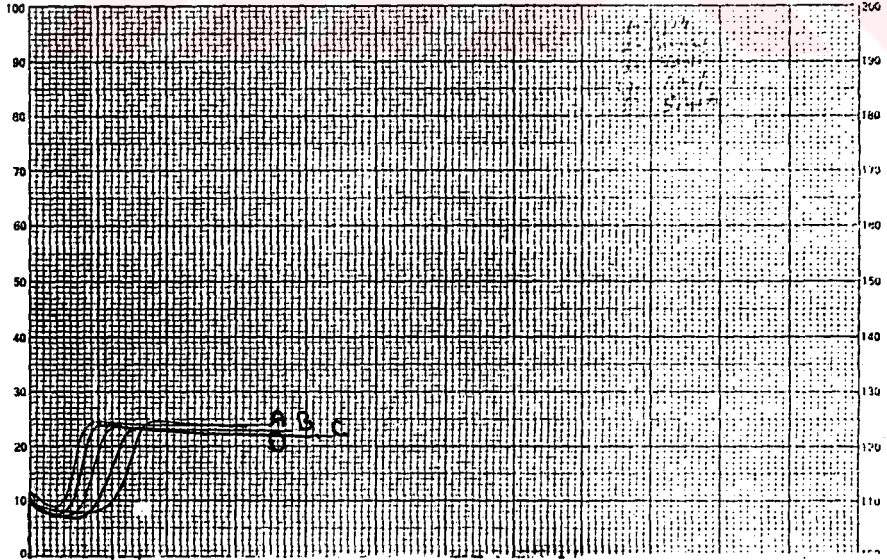
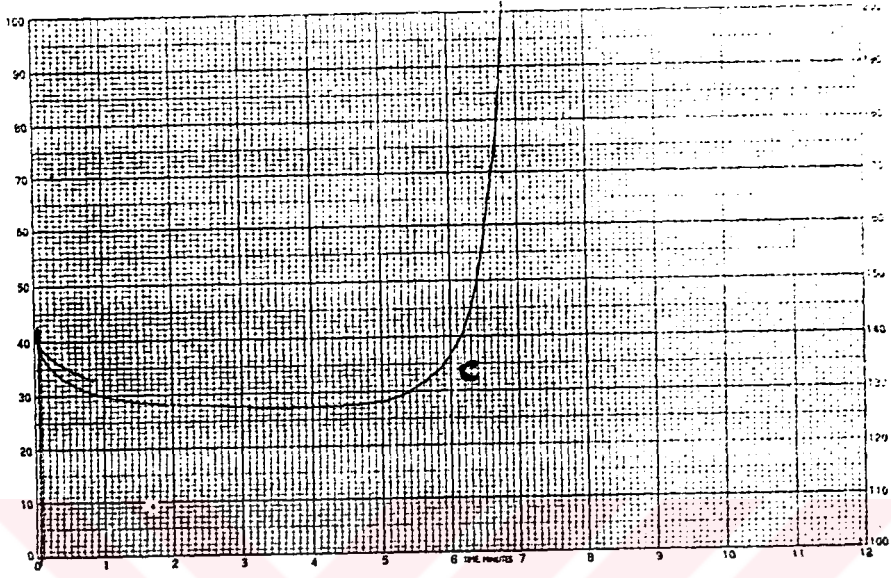


120°C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

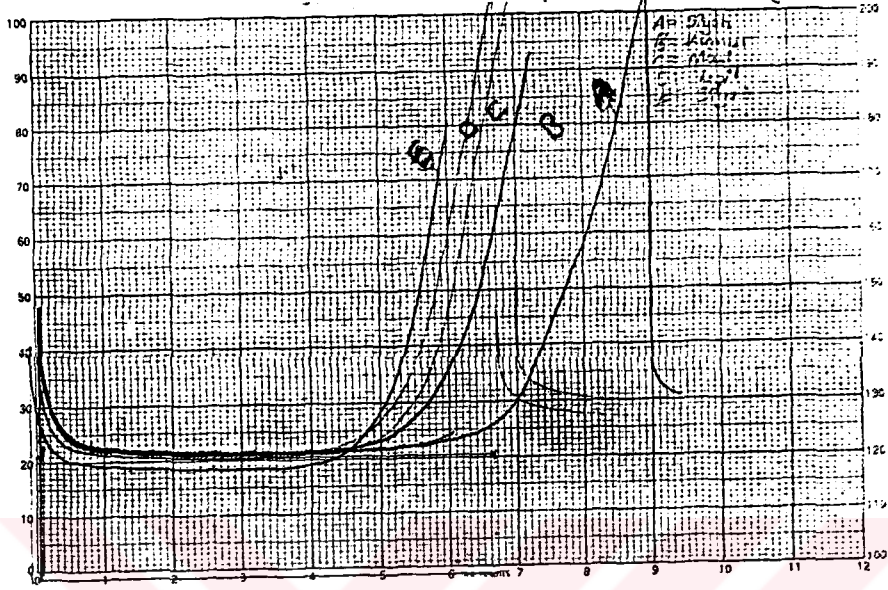


150°C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

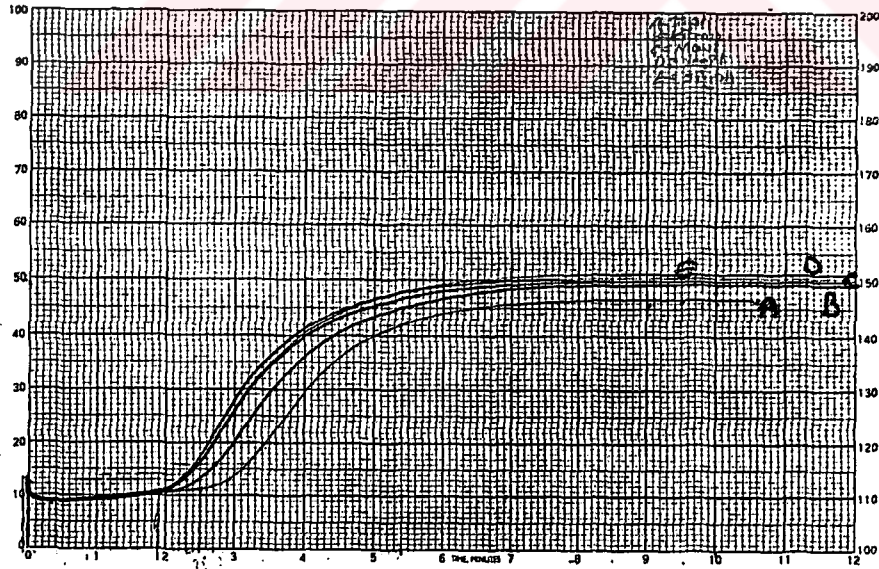
Ek4: SMR 5 İçin Çeşitli Miktarlarda  $Al_2O_3$  İçeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.



Ek5: SBR1502 İçin Çeşitli Miktarlarda Zn O içeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.

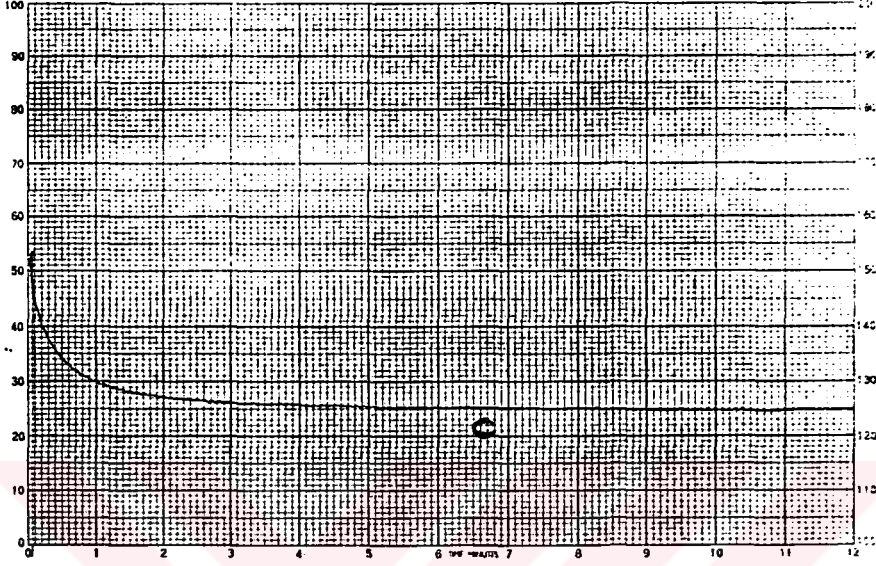


120°C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

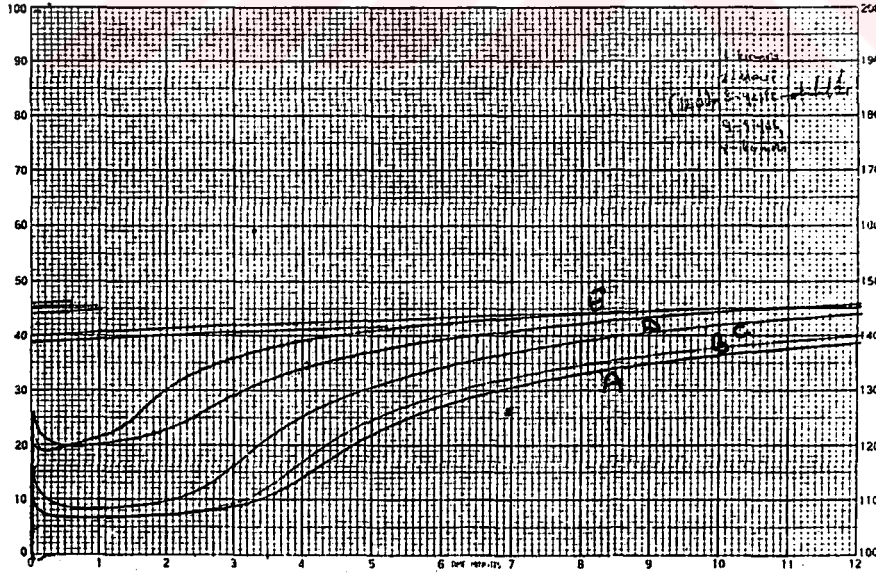


150°C, 60 dakikada Optimum Pişme zamanı, Mod90

Ek6: SBR1502 İçin Çeşitli Miktarlarda  $Al_2O_3$  İçeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.

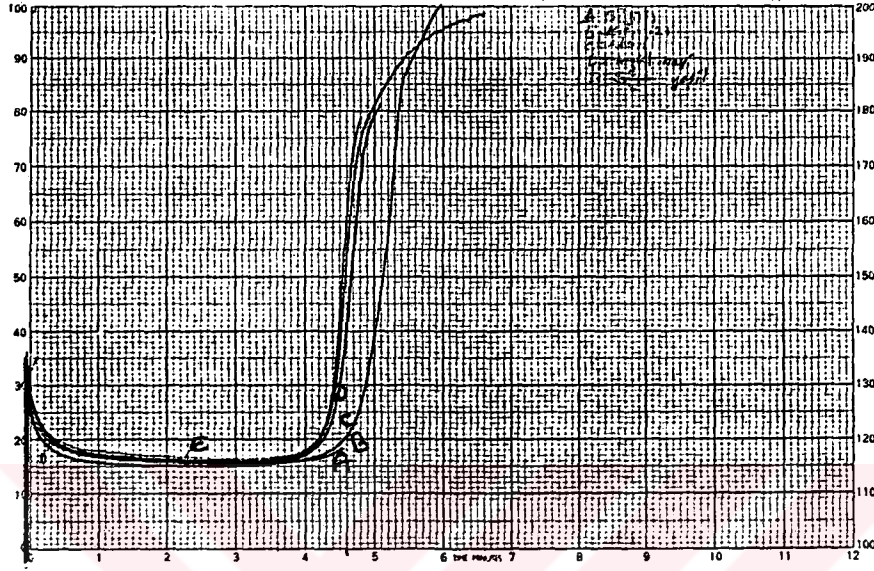


120°C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

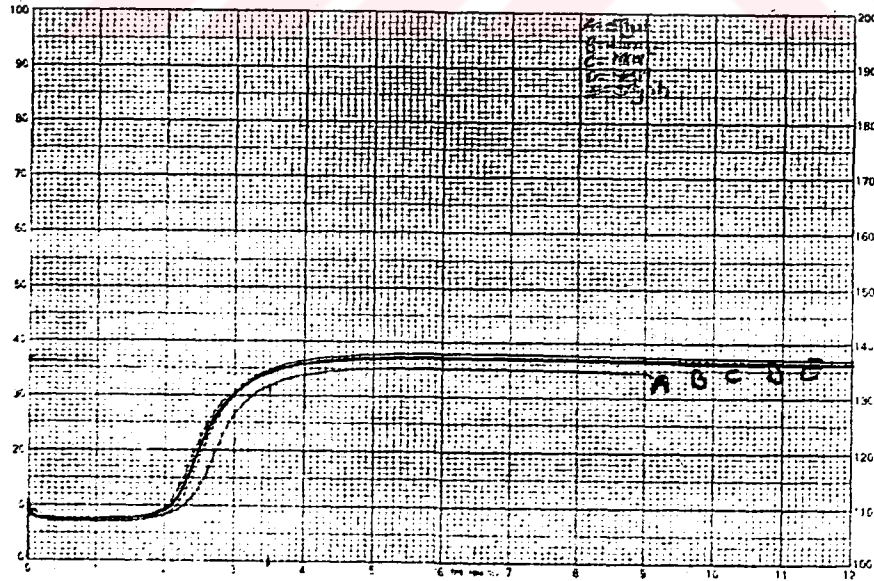


150°C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

Ek7: SBR1712 için Çeşitli Miktarlarda Zn O İçeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.

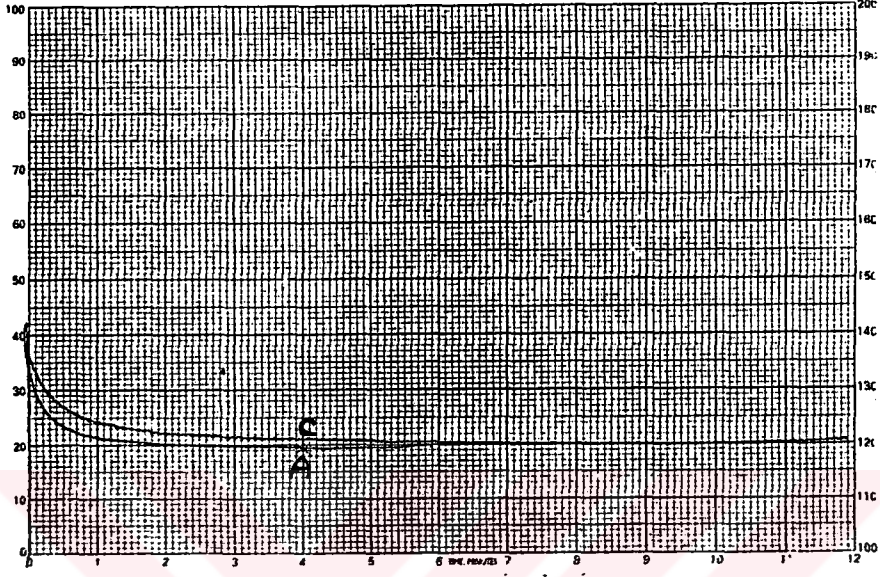


120° C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı

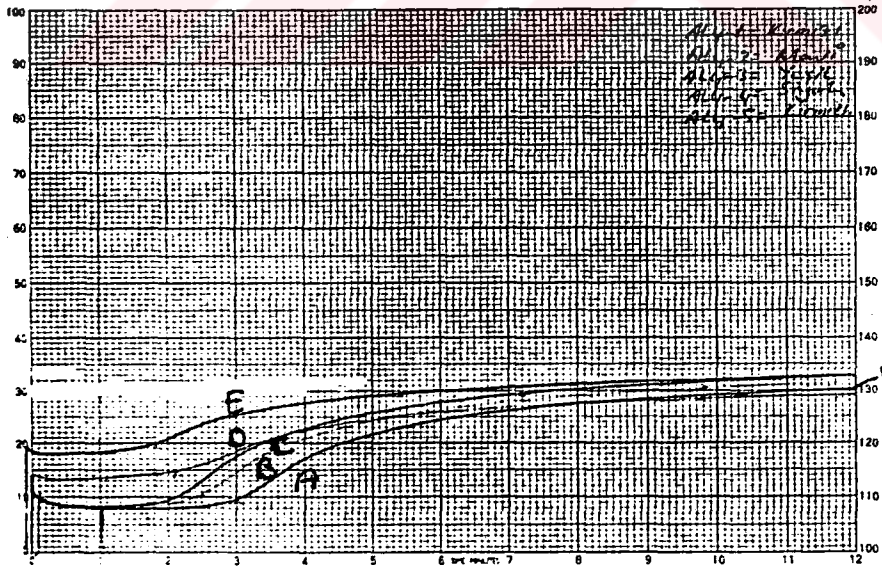


150° C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

Ek8: SBR1712 İçin Çeşitli Miktarlarda  $Al_2O_3$  İçeren Lastik Hamurunun Viskozluk Zaman Grafiği.



120° C, 60 dakikada Viskozluk ve Yanma Zamanı



150° C, 60 dakikada Optimum Pişme Zamanı, Mod90

## KAYNAKLAR

- AKOVALI.G., 1984, Temel ve Uygulamalı Polimer, TUMKA Yaz Okulu, Ankara.,295-442.
- ASTM., 1986, Annual Book of American Society for Testing and Materials, ASTM Special Techonoloji Publication No.383, Philadeipha.,15-548.
- DOUGLAS.M.C., 1984, Process Instruments and Controls Handbook, Third Edition, Philadeipha, Easton.,245-565.
- DURMUŞ.A., 1974, Malzeme Ders Notları, Ankara.,13-237.
- ENGİN.B., 1978, Polimer Kimyası, M.E.Sungur Kaymak Mini Kitap Sarayı. Zafer Çarşısı No.17/16 Sıhhiye, Ankara.,17-107.
- HOFMAN.W., 1967, Vulkanization and Vulcanizing Agents, Edward Arnolt Ltd.,128-2012.
- JASTRZEBSKI.Z., 1987, The Nature and Properties of engineering Materials, Third Edition, Maclaren Sons, Ltd., London.,31-2334
- KUAN.T.H.BF., 1985, Goodrich co, Brecksvilleoh, ohio.,34-735
- LEA.O.B.E., 1936, Hardness of Metals, Akron, Ohio.,13-1030
- MARTİN.A.N., J.S., A.C., 1969, PHYSICAL PHARMACY, Lea Febiger, Philadeipha.,296-1023.
- MICHAEL.E.A., 1990, Pharmaceutics the Science of Dosape form Design, Churchill Livinstone Medical Division of Longman Group UK. L.t.d., London.,38-570.
- MORTON. M., 1966, Introduction to Rubber Technology, Van Nostrand Reinhold, New York.,34-568.
- MORTON.M., 1981, Rubber Technology, Van Nostrand Reinhold, New York.,128-2214.
- PETLAS A.ş., 1987, Seminer Notları, Çekoslavakya.,648
- RAWLINGS E.A., 1977, Bentley's Textbook of Pharmaceutics. 8th Edition, Baillie're Tindall, London., 23-385.
- OTOMARSAN A.ş., 1989, Seminer Notları, Otomarsan.,568