



**KAUÇUK SEKTÖRÜNDE BOR İÇEREN
ALEV GECİKTİRİCİLERİN KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra AKYAR

Danışman
Prof. Dr. Atilla EVCİN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ

ANABİLİMDALI

TEMMUZ 2022

Bu tez çalışması 21.FEN.BİL.07 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAUÇUK SEKTÖRÜNDE BOR İÇEREN ALEV
GECİKTİRİCİLERİN KULLANIMI

ESRA AKYAR

Danışman

Prof. Dr. ATİLLA EVCİN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ
ANABİLİMDALI

TEMMUZ 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Esra AKYAR tarafından hazırlanan “Kauçuk Sektöründe Bor İçeren Alev Geciktiricilerin Kullanımı” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18 / 07 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Atilla EVCİN

Başkan : Prof. Dr. İbrahim GÜNEŞ
Giresun Üniversite, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Atilla EVCİN
Afyon Kocatepe Üniversite, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversite, İncehisar MYO

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

18 / 07 / 2022

Esra AKYAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAUÇUK SEKTÖRÜNDE BOR İÇEREN ALEV GECİKTİRİCİLERİN KULLANIMI

Esra AKYAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atilla EVCİN

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum sayesinde bor ve rezervleri ile ön plandadır. Yaklaşık olarak 230 çeşit bor bileşiğine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan bor türevleri; borik asit, sodyum tetraborat pentahidrat ve sodyum tetraborat dekahidrattır. Bu bileşiklerin ortak özelliği olan alev geciktirici özelliği ele alınmıştır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan alüminyum trihidratın diğer alev geciktiricilere göre maliyeti yüksek olduğu için alternatif hammadde arayışı doğmuştur. Bu çalışmada kauçuklar, alev geciktiriciler ve kauçuktan üretilmiş konveyör bandlar yer almaktadır. Konveyör bandlar taşıyıcı band olarak da adlandırılır. Konveyör bandların çalışma prensibi herhangi bir malzemeyi bir uçtan başka bir uca aktarılmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir mekanizmadır. Ekonomik, verimli ve güvenlidir. Konveyör bant kullanımıyla insan faktörü minimize edilerek, hızlı ve güvenli bir şekilde istenilen malzeme nakline olanak sağlar. Konveyör bandlar yer altı ve yer üstü olmak üzere çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Yer altında kullanılan bandlar güvenlik sınıfına uygun ve alev dayanıklı bandlar olmalıdır. Konveyör bandın üretim aşamasında alev geciktiriciler bu anlamda önemli rol oynarlar. Konveyör band oluşum sürecinde ilk aşama kauçuk formülasyonu oluşturmaktır. Bu formülasyon yaklaşık % 80 oranında kauçuk hammaddesi ve geri kalan % 20'lik kısımda ise antioksidanlar, plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, proses kolaylaştırıcılar vb. gibi hammaddeleri içerir. Alüminyum Trihidrat (ATH) ve bor türevleri katkılı kauçuk hamurlar üretilmiş ve daha sonra konveyör band haline getirilmiştir. Üretilen bu bandlara; Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) ve Alev Dayanıklılık (TS EN ISO 340) ve Ana

Elemanlar Arasındaki Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) testleri standartlar referans alınarak uygulanmış ve karşılaştırılmıştır.

2022, xii + 80 sayfa

Anahtar Kelimeler: Polimer, Kauçuk, Mineral, Dolgu, Alev Geciktirici



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE USE OF BORON CONTAINING FLAME RETARDANTS IN THE RUBBER INDUSTRY

Esra AKYAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanobilim ve Nanoteknoloji

Supervisor: Prof. Atilla EVCİN

Thanks to its geographical location, our country is at the forefront with its boron and reserves. It has approximately 230 kinds of boron compounds. Boron derivatives used in this study; boric acid, sodium tetraborate pentahydrate and sodium tetraborate decahydrate. The flame retardant feature, which is the common feature of these compounds, is discussed. Since the cost of aluminum trihydrate, which is widely used for this purpose, is higher than other flame retardants, a search for alternative raw materials has arisen. In this study, rubbers, flame retardants and conveyor belts made of rubber are included. Conveyor belts are also called conveyor belts. The working principle of conveyor belts is a mechanism used to transfer any material from one end to another. It is economical, efficient and safe. With the use of conveyor belts, the human factor is minimized, allowing the desired material to be transported quickly and safely. Conveyor belts have various usage areas, both underground and above ground. The tapes used underground should be suitable for safety class and flame resistant tapes. In the production phase of the conveyor belt, flame retardants play an important role in this sense. The first step in the conveyor belt formation process is to create a rubber formulation. This formulation is approximately 80% rubber raw material and the remaining 20% contains antioxidants, plasticizers, flame retardants, process facilitators, etc. ATH and boron derivatives added rubber pastes were produced and then turned into a conveyor belt. To these produced bands; Flammability Characteristic (TS EN 12881-1) and Flame Resistance (TS EN ISO 340) and Determination of Adhesion Between

Main Elements (TS EN ISO 252) tests were applied and compared with reference to the standards.

2022, xii + 80 pages

Keywords: Polymer, Rubber, Mineral, Filler, Flame Retardant



TEŞEKKÜR

Çalışmanın ortaya çıkması ve yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen başta kurumum Özer Konveyör Band'a, bilgileriyle bize daima ışık tutan fabrika müdürüm Ahmet Tuncer DÖNMEZ'e ve çalışmalarımda bana destek olan değerli çalışma arkadaşlarıma, bilgileriyle yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Atilla EVCİN'e ve maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen her zaman yanımda olan canım aileme ve sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma AKÜ BAPK 21.FEN.BİL.07 Nolu proje ile desteklenmiştir.

Esra AKYAR
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ixx
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Kauçuk Kavramı	2
2.2 Kauçukların Sınıflandırılması.....	3
2.2.1 Doğal Kauçuk (NR).....	4
2.2.2 İzopren Kauçuk (IR)	5
2.2.3 Neopren Kauçuk (CR)	6
2.2.4 Stiren Bürtadien Kauçuk (SBR)	7
2.2.5 Bürtadien Kauçuk (BR).....	7
2.2.6 Butil Kauçuk (IIR)	8
2.2.7 Etilen Propilen Kauçuk (EPM/EPDM).....	9
2.2.8 Nitril Kauçuk (NBR)	10
2.3 Kauçuk Karışımı	10
2.3.1 Karışım Reçetesinin Genel Özellikleri.....	11
2.3.2 Kauçuk Reçetesinin Girdileri.....	12
2.3.3 Kauçuk Türü Malzemelerin Kullanım Alanları	13
2.4 Vulkanizasyon	14
2.5 Polimerlerin Yanması	16
2.6 Alev Geciktiriciler	18
2.7 Alev Geciktirici Türleri	21
2.7.1 Halojen İçeren Alev Geciktiriciler	22
2.7.2 Fosfor İçeren Alev Geciktiriciler	23
2.7.3 İnorganik Hidroksit Alev Geciktiriciler	24

2.7.4 Borat Alev Geciktiriciler	25
2.7.5 Azot İçeren Alev Geciktiriciler	26
2.8 Alev Geciktirici Mekanizması	26
2.8.1 Buhar Fazında Serbest Radikal Bırakmamak	27
2.8.2 Isıyla Büyüme/Şişme Hareketi.....	27
2.8.3 Endotermik/Isı Etki	27
3. MATERYAL ve METOT	29
3.1 Metot.....	29
3.1.1 Karıştırma İşlemi.....	29
3.1.1.1 Kapalı Karıştırıcılar (Banbury).....	30
3.1.1.2 Açık Karıştırıcılar	32
3.1.2 Ön Şekillendirme İşlemleri	33
3.1.2.1 Kalenderleme	33
3.1.2.2 Otoklav.....	34
3.1.2.3 Presler	34
3.1.2.4 Vulkanizasyon	34
3.2 Materyaller.....	35
3.2.1 Alüminyum Trihidrat	35
3.2.2 Bor Türevleri.....	36
3.2.2.1 Borik Asit.....	36
3.2.2.2 Sodyum Tetraborat Pentahidrat	39
3.2.2.3 Sodyum Tetraborat Dekahidrat.....	40
4. STANDARTLAR ve TESTLER.....	42
4.1 Banbury Makinası.....	42
4.2 Reometre	44
4.3 Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1).....	45
4.4 Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340).....	51
4.5 Ana Elemanların Arasındaki Yapışma Tayini (TS EN ISO 252).....	56
5. BULGULAR	67
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	74
7. KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\text{Al}(\text{OH})_3$	Alüminyum Hidroksit
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
NH_3	Amonyak
H_3BO_3	Borik Asit
B_2O_3	Bor Oksit
Br	Brom
Fe	Demir
NH_4BF_4	Florborat
F	Flor
P	Fosfor
H	Hidrojen
I	İyot
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Jips
Cl	Klor
$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Kolemanit
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Magnezyum Hidroksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na_2O	Sodyum Oksit
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Sodyum Tetraborat Dekahidrat
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Sodyum Tetraborat Pentahidrat
H_2O	Su
SO_4	Sülfat
H_2SO_4	Sülfürik Asit

Kısaltmalar

ATH	Alüminyum Trihidrat
BA	Borik Asit
BR	Polibütadien Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Dien Kauçuk
IIR	Rejenere Butil Kauçuk
IR	İzopren Kauçuk
LCM	Liquid Curing Method (Sıvı Kürleme Yöntemi)
MH	Magnezyum Hidroksit
NBR	Nitril Kauçuk
NR	Tabii Kauçuk
Phr	100 kısım kauçuk
PP	Polipropilenler
PPM	Parts Per Notation (Gösterim Başına Parçalar)
PVC	Polivinil klorür
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
UHV	Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çapraz bağlanmamış polimerlerin gerilmesi	3
Şekil 2.2 Doğal kauçuğun yapısı	4
Şekil 2.3 İzopren kauçuğun yapısı	6
Şekil 2.4 Neopren kauçuğun yapısı	6
Şekil 2.5 Stiren bütadien kauçuğun yapısı	7
Şekil 2.6 Bütadien kauçuğun yapısı	8
Şekil 2.7 Bütil kauçuğun yapısı	8
Şekil 2.8 Etilen propilen kauçuğun yapısı	9
Şekil 2.9 Nitril kauçuğun yapısı	10
Şekil 2.10 Mooney skorç ve gerilme-esneme eğrisi.....	15
Şekil 2.11 Pişme zamanının özelliklere etkisi.....	16
Şekil 2.12 Kuvvet altında polimer zincirlerinin hareketleri	16
Şekil 2.13 Alev üçgeni	17
Şekil 2.14 Polimer yüzeyinde oluşan kömürleşmiş kalıntı ve yanmaz kalıntı.....	19
Şekil 2.15 Alev geciktirici içeren ve içermeyen malzemelerin aleve maruz bırakıldıkları zamanki davranışları	20
Şekil 2.16 Mineral içerikli alev geciktiricilerin çalışma mekanizması	24
Şekil 2.17 Polimerlerde kömürleşme mekanizması	27
Şekil 3.1 İki valsli hamur karıştırma makinası	30
Şekil 3.2 Banbury karıştırma süreleri	32
Şekil 3.3 Açık karıştırıcılar	33
Şekil 3.4 Düzlemsel üçgen geometrisine sahip olan H_3BO_3	38
Şekil 4.1 Banbury makinası	42
Şekil 4.2 Banbury tipi iç karıştırıcı	43
Şekil 4.3 Reometre cihazı	44
Şekil 4.4 Rheometre testi sonucu elde edilen vulkanizasyon eğrisi	45
Şekil 4.5 Orta ölçekli yangın tüneli (TS EN 12881-1).....	46
Şekil 4.6 TS EN 12881-1 test cihazı	47
Şekil 4.7 Konveyör band haline gelmiş ATH'ın test aşamaları ve test sonrası boyu ...	49

Şekil 4.8 Konveyör band haline gelmiş Sodyum tetraborat dekahidrat'ın test aşamaları ve test sonrası boyu.....	49
Şekil 4.9 Konveyör band haline gelmiş Sodyum tetraborat pentahidrat'ın test aşamaları ve test sonrası boyu.....	50
Şekil 4.10 Konveyör band haline gelmiş Borik asit'in test aşamaları ve test sonrası boyu	51
Şekil 4.11 Test sırasında gaz brülörü ve test parçası konfigürasyonunun çizimi (TS EN ISO 340).....	52
Şekil 4.12 ATH'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü	53
Şekil 4.13 Dekahidrat'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü	54
Şekil 4.14 Pentahidrat'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü	55
Şekil 4.15 Borik asit'in alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü.....	56
Şekil 4.16 Katların ayrılma çizgisi	57
Şekil 4.17 Metot A için bileşenlerin ayrılma sırası	58
Şekil 4.18 ATH içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi.....	59
Şekil 4.19 ATH içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği	60
Şekil 4.20 Dekahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi ..	61
Şekil 4.21 Dekahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği	62
Şekil 4.22 Pentahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi..	63
Şekil 4.23 Pentahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği	64
Şekil 4.24 Borik Asit içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi ...	65
Şekil 4.25 Borik asit içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği	66
Şekil 5.1 ATH'ın reometre grafiği	67
Şekil 5.2 Dekahidrat'ın reometre grafiği.....	68
Şekil 5.3 Pentahidrat'ın reometre grafiği	69
Şekil 5.4 Borik asit'in reometre grafiği.....	70
Şekil 5.5 ATH, dekahidrat, pentahidrat ve borik asit'in reometre grafiği	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Konveyör bandlarda yaygın olarak kullanılan kauçuk türleri ve özellikleri .	3
Çizelge 2.2 Karışım prosesi ve makinalar	11
Çizelge 2.3 Kauçuk formülasyonu; hammadde ve miktarları	11
Çizelge 2.4 Çapraz bağlanmış ve çapraz bağlanmamış arasındaki fark.....	14
Çizelge 2.5 Dünya'da ve Avrupa'da alev geciktirici tüketiminin türlere göre dağılımı..	20
Çizelge 2.6 Farklı polimer sistemlerinde alev geciktiricilerin ana kullanım alanları	21
Çizelge 2.7 Fosfor içeren alev geciktiriciler	23
Çizelge 3.1 ATH'ın özellikleri.....	35
Çizelge 3.2 Borik asit'in fiziksel özellikleri ve değerleri	37
Çizelge 3.3 Borik asit'in kimyasal özellikleri ve bileşenlerin içerikleri	39
Çizelge 3.4 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın fiziksel özellikleri ve değerleri.....	40
Çizelge 3.5 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın kimyasal ve bileşen içerikleri.....	40
Çizelge 3.6 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın fiziksel özellikleri ve değerleri.....	41
Çizelge 3.7 Sodyum tetraborat dekahidrat'ın bileşenlerin içerikleri.....	41
Çizelge 4.1 ATH'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri.....	53
Çizelge 4.2 Sodyum tetraborat dekahidrat'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri ...	54
Çizelge 4.3 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri ..	55
Çizelge 4.4 Borik asit'in numune sayısı ve toplam alev süreleri	56
Çizelge 5.1 ATH'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri	67
Çizelge 5.2 Dekahidrat'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.....	68
Çizelge 5.3 Pentahidrat'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.....	69
Çizelge 5.4 Borik asit'in alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri	70
Çizelge 5.5 ATH ,dekahidrat, pentahidrat ve borik asit'in kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri	71
Çizelge 5.6 Alev alma karakteristiği (TS EN 12881-1) test sonuçları	73
Çizelge 5.7 Alev dayanıklılık (TS EN ISO 340) test sonuçları	73

Çizelge 5.8 Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) test sonuçları	73
Çizelge 6.1 TS EN 12881-1 standardına göre katkı maddelerinin yanmadan kalan kısmı	74
Çizelge 6.2 TS EN ISO 340 standardına göre toplam alev süreleri	74
Çizelge 6.3 Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) ortalama değerleri	75



1. GİRİŞ

Yangınlar insanlar üzerinde hem maddi hem manevi etkilere yol açmıştır. Ülkemizde nüfusun hızlı artışı, çarpık kentleşme ve artan endüstri nedeniyle gün geçtikçe hem yangın sayısı hem de bu yangından doğan hasarlar artmaktadır. Yangınların sebep olduğu can ve mal kaybının sonlanması için çeşitli tedbirler alınmalıdır. Bunlardan biri de alevden etkilenmeyen veya etkilense bile kısa zamanda kendi kendini söndürebilen malzemeler kullanmaktır.

Yangına neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Örnek olarak; nüfusun artmasıyla doğan çarpık kentleşme, insanların bilinçsizliği, sanayileşmenin artması, gelişen bilim ve teknoloji, ihmal ve dikkatsizlik gibi nedenler gün geçtikçe artmaktadır. Yangınlardan doğan kayıpları en aza indirmek için de alev önleyici katkılı ürünlerin kullanımına ihtiyaç duyulmuştur (Kalın 2008). Alev önleyici katkılı ürünler yaşamın her alanında kullanımı her gün daha da artmaktadır. Plastik malzemeler başta olmak üzere birçok malzemenin yapısında hidrokarbon bulunduğu için yanmaya meyillidirler (Çoban 1999).

Alev geciktirici olarak kullanılan malzemelerin yaygın kullanım alanları mevcuttur. Otomotiv, mobilya, kablo ve tekstil sanayi gibi birçok alanda kullanılarak malzemelere güç tutuşurluk özelliği kazandırılır. Alev geciktirici olarak kullanılan Alüminyum Trihidrat (ATH) özellikleri bakımından iyi olmasının yanı sıra en çok kullanılan alev geciktiricilerin arasında yer alır. Fakat maliyet göz önünde bulundurulduğunda bu ürüne alternatif hammaddeler aranmaktadır. Bor içeren malzemelerinin göstermiş olduğu performans ve yaygın kullanım alanına sahip olmasından dolayı da ATH'ın yerine kullanımı araştırılmıştır. Ayrıca kauçuk alanında bu çalışmaların yetersiz olmasından dolayı bu tez konusu ele alınmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLER

2.1 Kauçuk Kavramı

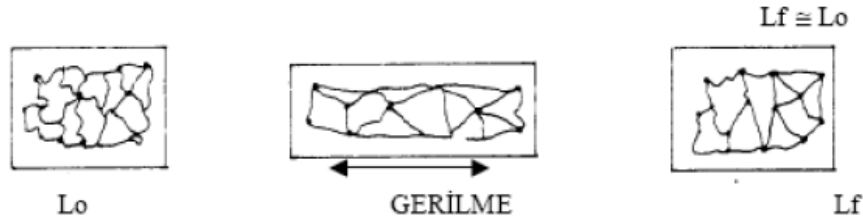
Kristof Kolomb çıktığı yolculuk esnasında Haiti adasında yaşayan yerlilerin ağaçtan aldıkları reçine gibi yapıdan ürünler elde ettiğini görmüştür. Bu ağacın adı Hevea Brasiliensisdir. Bu ağaç tropik bölgelerde yetişen bitkilerin en önemlisidir. Ağacın kabuğu kaldırılıp çizik atıldığında süt gibi bir sıvı akar ve bu sıvıdan lateks denilen kauçuğumsu malzeme elde edilir. Bu sıvı çeşitli metotlarla işlenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kauçuk, günlük hayatta kullanılan çoğu malzemenin hammaddesi olarak yer almaktadır (Savran 2001).

Kauçuk; yapısı gereği esneklik, yüksek mukavemet, düşük deformasyon, kolay işlenme, oldukça iyi yırtılma ve aşınma mukavemeti gibi birçok iyi özelliklere sahip olmasından dolayı yaygın kullanım alanına sahiptir. Bazı polimerler yapısında bulundurduğu özellikler sayesinde yüksek elastik özellik sergilerler. Doğal kauçukta verilen örneklerden bir tanesidir (Savran 2001).

Kauçuklar oda sıcaklığında amorf yapıda olan, ortam sıcaklığının altında camsı geçiş sıcaklığı (T_g) bulunan henüz çapraz bağlanmamış ama her an çapraz bağlanabilme özelliğine sahip olan polimerlerdir. Kauçukların yapıları gereği birbirine dolanan molekül zincirlerinin oda sıcaklığında uzayabilen zincir özelliklerinden dolayı esnek bir yapıya sahiptir. Sıcaklığın artmasıyla malzeme daha da akışkan bir hal alacağından dolayı termoplastik gibi davranır (Soyubol 2006).

Elastomer ve kauçuk genelde benzer özelliklere sahip olsa da bu iki kavram ASTM standartlarında farklılıkları ele alınmıştır. ASTM D1566 (ASTM-D 1566, 1993) standartlarında elastomerler, uygulanan gerilmenin ortadan kalkmasıyla eski haline dönen makromoleküler bir kavram gibi tanımlanır. Kauçuk, uygulanan gerilmenin kalkması durumunda geri orijinal boyuna döner fakat eski haline gelmesi zaman alan makromoleküler bir malzeme olarak tanımlanır. Böylece, bütün kauçuk malzemelerin elastomer olduğu ama bütün elastomerlerin kauçuk malzeme olmadığı ortaya çıkar

(ASTM-D 1566, 1993). Elastomerler oda sıcaklığına ulaşıldığında boyunun neredeyse iki katına kadar uzayabilirler. Elastomerler sarmaşık ağ yapılı, yapısında uzun zincir halkaları bulunan polimerlerdir. Kauçuk orijinal halinde çapraz bağlanma yapmamış durumdadır fakat istenilen zaman çapraz bağlanabilme özelliği olan polimerlerdir. Çapraz bağlanabilme özelliği vulkanizasyonla açıklanır (Savran 2001). Çapraz bağlanmış polimerlerin gerilmesi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Çapraz bağlanmış polimerlerin gerilmesi (DPT 2000-1a).

2.2 Kauçukların Sınıflanması

Kauçuklar doğal ve sentetik kauçuklar olmak üzere sınıflandırılabilir. Farklı kullanım alanları sayesinde de çeşitlendirebilirler. Kauçuk türleri nihai üründen istenilen özelliklere göre farklılık göstermektedir. Kauçuk çeşitleri özelliklerine bakılarak hangi kullanım alanına uygun olduğu tayin edilmelidir. Elde edilen formülasyon karışımının her alanda kullanımı mümkün olmadığı gibi kullanılan kauçukta ona göre seçilmelidir. Konveyör bandlardan istenilen özelliğe göre kauçuk seçimi yapılmalıdır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Konveyör bandlarda yaygın olarak kullanılan kauçuk türleri ve özellikleri.

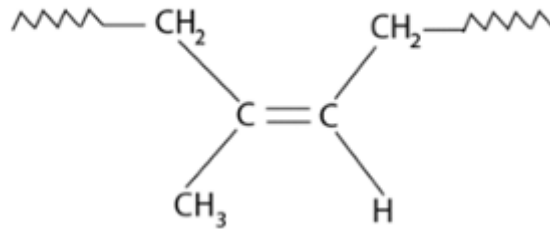
Astm D1418-79	Genel Adı	Kompozisyonu	Genel Özellikleri
NR	Tabii	Isoprene, tabii	Aşınmaya ve deformasyona karşı iyi dayanıklılık. Yüksek esneklik. Yağa dayanıklılık kötü.
SBR	SBR	Styrene-butadiene	Yüksek aşınma ve deformasyon dayanımı. Isıya dayanıklılık iyi. Yağa dayanıklılık kötü.
EPDM	Ethlene-Propylene Kauçuk	Ethylene-propylenediene terpolymer	Yaşlanmaya, ozona ve ısıya dayanıklılık. Aşınmaya dayanıklılık oldukça yüksek.
CR	Neoprene	Chloroprene	Ozona, güneşe ve ateşe karşı dayanıklılığı yüksek.

Çizelge 2.1 (Devam) Konveyör bandlarda yaygın olarak kullanılan kauçuk türleri ve özellikleri.

NBR	Buna N	Nitrile-butadiene	Yağlara karşı oldukça yüksek dayanıklılık.
IR BR	Polysoprene Polybutadiene	Isoprene, sentetik Polybutadiene	Tabii kauçuk ile aynı özellikte. Tabii veya styrene-butadiene kauçuk ile karıştırılmış olarak kullanılır. Yüksek aşınma dayanımı ve iyi esneklik.
IIR	Butyl	Isobutylene Isoprene	Isıya karşı mükemmel dayanıklılık. Yaşlanma ve ozona karşı çok iyi dayanıklılık. Aşınmaya karşı iyi dayanım.

2.2.1 Doğal Kauçuk (NR)

Hevea Brasiliensis ağacından çıkarılan lateksten elde edilir. Çıkarılan bu latekse çeşitli katkıları kullanılarak sıvı özellik verilmiş olur. Lateksten iki farklı metotla kauçuk oluşturulur. İlk metot konsantrasyon metodudur. Ağaçtan elde edilen % 30'luk sıvı konsantrasyonu yükselttilerek % 60'lık seviyeye getirilir. Lateks yapısında yabancı maddeler barındırdığı için santrifüjleme, buharlaştırma ve kaymaklaştırma gibi metotlarla ortamdan uzaklaştırılmış olur. İkinci metot ise koagülasyon (pıhtılaşma) yöntemidir. Formik asit katılımıyla lateks koagülasyonlaştırılır. Bu metotla ortaya çıkan lateks kuruyup kauçuk hale gelebilmesi için ortam sıcaklığına ya da otoklav fırınlarına ihtiyaç duyulur (Öztürk 2008). Ampirik formülü Faraday tarafından 1826 yılında C_5H_8 olarak tanımlanmıştır. Sahip olduğu kimyasal yapı % 99,9 cis 1-4 poliisoprendir (Schweitzer 2006). Doğal kauçuğun yapısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Doğal kauçuğun yapısı.

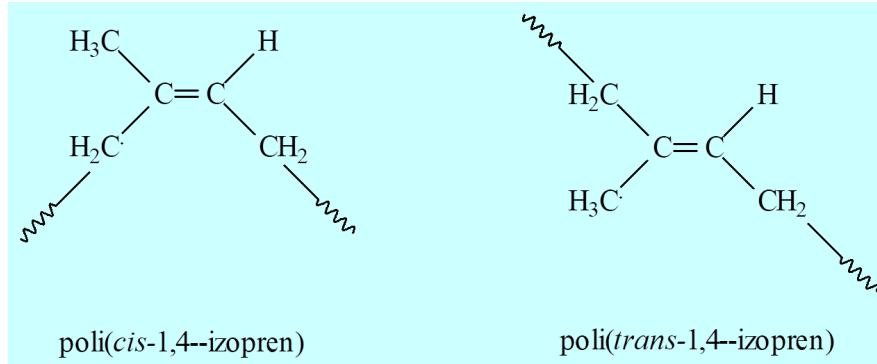
Doğal kauçuğun yaklaşık olarak molekül ağırlığı iki yüz bin ile dört yüz bin arasındadır. Oldukça fazla bir molekül ağırlığı bulundurduğu için oldukça iyi işlenebilme özelliğine de sahiptir. Her izopren birimi arasında bulunan çift bağlar ve α -metilen grupları reaktif grupları oluştururlar. Çift bağlar kükürt vulkanizasyonu yapabilmek için önemlidir. Vulkanizasyon sırasında geri dönüşüm gerçekleşebilir bunun sebebi de ısı dayanımının düşük olmasından kaynaklıdır. Geri dönüşüm eğilimine reversiyon denir. Bu geri dönüşümün gerçekleşmemesi için daha düşük sıcaklıkta ve kontrollü olarak sağlanmaktadır (Öztürk 2008).

Doğal kauçuk soğuk suya dayanıklıdır; ancak havayla temas ettiğinde, en önemlisi de güneş ışığıyla karşılaştığı anda kauçuk sertleşir bu da istenen bir durum değildir. Ozona maruz kaldıklarında dayanımları yüksek olduğu için bir sorun teşkil etmezler. Doğal kauçuk radyoaktif maddelere, radyasyona karşı dayanımı oldukça iyidir (Schweitzer 2006).

Doğal kauçuğun kimyasal oluşumu sadece kauçuk ağacında meydana gelir. Doğal kauçuk ve çeşitlerine karşı ilgi gün geçtikçe fazlalaşmaktadır. Yenilenebilir bir kaynak olan doğal kauçuk bu özelliğinden dolayı da kullanım alanı çeşitliliğine sahiptir. Sentetik kauçuklarda genellikle yenilenemeyen yağ esaslı kaynaklardan ortaya çıkmaktadır (Öztürk 2008).

2.2.2 İzopren Kauçuk (IR)

İzopren kauçuğun sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikler doğal kauçuğun özelliklerine benzemektedir fakat birbirinden ayıran en önemli özellik izopren kauçuğun kokusuz olmasıdır. Bu özellik izoprenin kullanım alanlarını genişletmiştir en önemli kullanım alanlarından biride gıda sektöründeki paketleme uygulamalarıdır (Schweitzer 2006). Lityum veya Zeigler- Natta katalizörleri eşliğinde izopren kauçuk üretilmektedir. Ortam da kalan katalizör fazlalıkları birbirinden uzaklaşır, kauçuk su ve buharla çöktürme işlemine tabi tutulur. Son olarak ortamdan su uzaklaştırılır ve kauçuk nihai ürün haline gelebilmesi için kurutulur (Öztürk 2008). İzopren kauçuğun yapısı Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

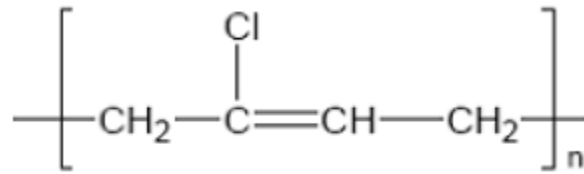


Şekil 2.3 İzopren kauçuğun yapısı.

Cis 1-4 poliisopren yumuşak elastik bir yapıdadır. Trans hale geçtiğinde yapı sertleşip kristalin bir hal alır. İzopren kauçuk; kolay reaksiyona girmesi, daha kolay işlenmesi ve proseslerin daha kolay gerçekleşmesi bakımından doğal kauçuktan daha üstündür. Yapışma mukavemetinin düşük olması, karbon siyahı ilave edildiğinde fiziksel değerlerin azalması ve pahalı olması doğal kauçuğa göre olumsuz yanlarıdır (Vahapoğlu 2006b).

2.2.3 Neopren Kauçuk (CR)

Neopren sentetik kauçuklar sınıfına girer. 2 kloro 1-3 bütadien polimerizasyonu sonucu oluşur (Schweitzer 2006). Neopren kauçuğun yapısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



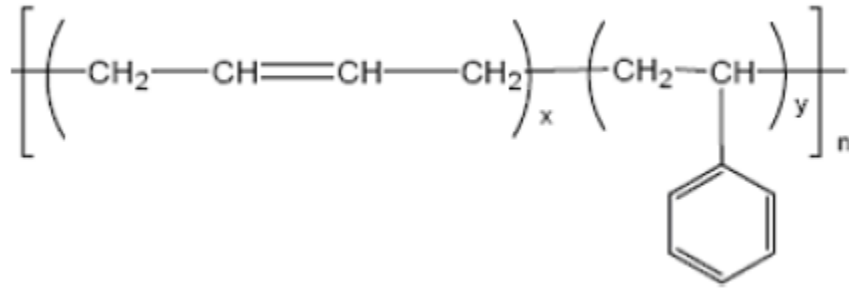
Şekil 2.4 Neopren kauçuğun yapısı (Öztürk 2008).

Moleküler yapısında klor bulunduğu için polaritesi diğer kauçuklara nazaran daha fazladır. Bu durum yağa karşı dayanımını artırır. Neopren, artan işlem sıcaklığından etkilenip kolayca yanabilen kauçuk sınıfındadır. Karışım veya işleme hazırlık sürecinde zamanın kısa olması ve işlem sıcaklarının prosese göre düşük sıcaklıkta olması bu

anlamda önem taşır. Elde edilen karışımların saklanabilmesi için özel koşullar olmalıdır (Soyubol 2006). Tekstil ve metal ürünlere yapışma mukavemeti yüksektir. Kopma mukavemeti ve aşınma direnci iyidir. Hava, ortam koşullarına ve ozona karşı dayanımı yüksektir (Soyubol 2006). Tabii kauçuğa benzer kullanım alanlarına sahiptir (DPT 2001a).

2.2.4 Stiren Butadien Kauçuk (SBR)

Stiren-bütadien kauçuğu sanayide sıklıkla kullanılan kauçuk olarak yer almaktadır (Vahapoğlu 2006b). SBR, % 75 bütadien ve % 25 stirenin kopolimerizasyonu ile oluşur (Schweitzer 2006). SBR kauçuğunun yapısı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



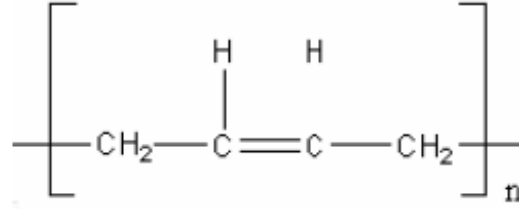
Şekil 2.5 Stiren-bütadien kauçuğunun yapısı (Öztürk 2008).

Doğal kauçukla kıyaslandığında suya dayanımı daha iyidir (Schweitzer 2006). SBR, tekstile ve metal ürünlere yapışma mukavemetinin kötü olmasından dolayı iyileştirmek için benzer yapıda olan doğal kauçukla beraber kullanılır. SBR kauçuk yapısına dolgu maddeleri ilave edilirse daha iyi mekanik özellikler gösterir. SBR kauçuğunun elastiklik özelliği tabii kauçuktan daha iyi olmadığı için uygulamalar sırasında ısınmaya sebep olur. Bu yüzden tır, kamyon gibi büyük araçların lastik üretiminde tercih edilmez (Soyubol 2006).

2.2.5 Butadien Kauçuk (BR)

Bütadien kauçuklar bütadien polimerizasyonu ile elde edilirler. Bütadien bünyesinde doymamış gruplar yer aldığı için reaksiyona girip bağ oluşturma istekleri fazladır (Schweitzer 2006). Alkali metaller katalizör görevi görerek bütadienin kütle

polimerizasyonunu gerçekleştirirler (Öztürk 2008). Bütadien kauçuğunun yapısı Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

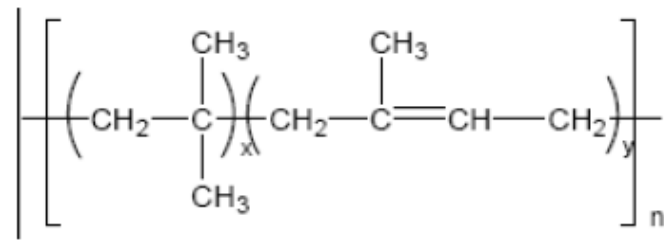


Şekil 2.6 Bütadien kauçuğunun yapısı (Öztürk 2008).

BR kauçuğunun kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti SBR ve doğal kauçuğa göre daha kötüdür. Camsı geçiş sıcaklığı düşük olduğu için düşük sıcaklıklarda bile oldukça yüksek elastik özellik sergilerler. NR ve SBR gibi yağlara ve solventlere dayanımı benzer özellik gösterir (Soyubol 2006). BR kauçuğunun yaklaşık % 90’ı otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Aşınmaya dayanımı diğer kauçuklara göre oldukça iyidir ve bu sayede endüstride kullanılan aşınma riski olan ürünlerin üretiminde önemli rol oynar (Vahapoğlu 2006b).

2.2.6 Butil Kauçuk (IIR)

Butil kauçuklar, izobütilenin yaklaşık % 97-99 gibi bir kısım, izopren den ise % 0,5-3 bir kısımla kopolimerizasyon metoduyla ortaya çıkar. İzobütilen ve izopren polimerizasyonu metilen klorür çözeltisinde çözünmüş halde olan alüminyum klorür katalizörü etkisiyle -100 °C sıcaklıkta elde edilir. İzopren, vulkanizasyonu kükürtle gerçekleştirir bunu da yapısında gerekli çift bağları oluşturmasıyla yapar (Öztürk 2008). Butil kauçuğunun yapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

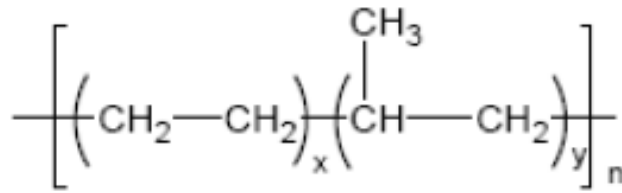


Şekil 2.7 Butil kauçuğunun yapısı (Öztürk 2008).

Butil kauçuğu, yüksek ısı ve oksidasyon kararlılığı içerdiği için nem ve kimyasal direnci oldukça iyidir (Karaağaç vd. 2007). Yapıda ki doymamışlık oranı az olduğundan, butil kauçuğun vulkanizasyon süresi daha azdır yani daha hızlı pişme sağlanır. Düşük gaz geçirgenliğine sahiptir.

2.2.7 Etilen Propilen Kauçuk (EPM/EPDM)

Etilen propilen kauçuk iki farklı yapıya sahiptir. Kopolimer EPM (etilen propilen) ve kükürtle vulkanize edilen terpolimer EPDM (etilen propilen dien) yapısıdır (ztrk 2008). EPM, etilen ve propilenin kopolimerizasyon yöntemiyle üretilir. Reaksiyonda doymuş bir yapıdadır yani yapıda hiç çift bağ yoktur. Ozon ve oksijen dayanımı oldukça iyidir. Vulkanizasyon yöntemi sadece peroksit ve radyasyonla olduğ için diğer kauçuklarla kıyaslama yapılamamaktadır (Vahapoğlu 2006b). Etilen propilen kauçuğunun yapısı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

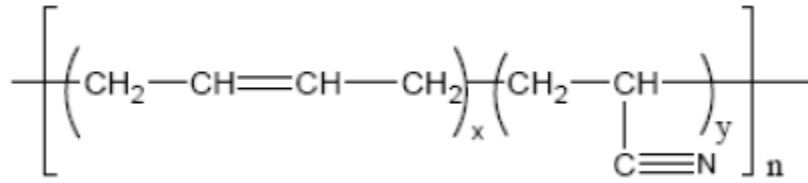


Şekil 2.8 Etilen propilen kauçuğunun yapısı (ztrk 2008).

EPDM; etilen ve propilenin reaksiyona girmesiyle aynı zamanda monomer olarak dienin kopolimerizasyon yöntemiyle üretilir (Zhao vd. 2008). Camsı geçiş sıcaklığı (Tg), yapıda bulunan propilen miktarına göre - 54 °C ile - 64 °C arasında farklılık gösterir aynı zamanda bu özelliğinden dolayı da düşük sıcaklıkta daha iyi mekanik ve fiziksel özellik gözlenir (Soyubol 2006). EPM ve EPDM kauçukların ısı, ışık ve oksidasyona dayanıklılıkları oldukça iyidir. Düşük yoğunluklu olduklarından dolayı üretilen malzemelerde hafiftir (Vahapoğlu 2006b).

2.2.8 Nitril Kauçuk (NBR)

Nitril kauçuk emülsiyon polimerizasyon yöntemi gerçekleştirilerek elde edilir. Bütadien ve akrilonitril kopolimerlerin reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkar. Bütadienin kopolimerinin yapıdaki bulunma sebebi vulkanizasyon için gerekli çift bağları oluşturmaktadır. Akrilonitrilin bulunma sebebi ise; polar nitril grubu oluşmasına yardımcı olmaktır. Böylece çözünürlük azalmış olacaktır (Öztürk 2008). Nitril kauçuk, yapısında % 25-40 akrilonitril grubu barındırır. Yapıda C=N bağları arttıkça yağa dayanımını iyileştirmiştir (DPT 2001a). Vulkanize olduktan sonra birçok özelliğin iyileştiği gibi, nitril kauçuk vulkanize olduktan sonra yaşlanma mukavemeti, kopma mukavemeti ve aşınma direnci gibi özellikleri artmıştır. Nitril kauçuğunun yapısı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Nitril kauçuğunun yapısı (Öztürk 2008).

Nitril kauçuk, solventlere ve suya karşı dayanıklılığı iyidir (Schweitzer 2006). Formülasyona plastifiyan görevi görecektir ester eklendiğinde, soğuğa karşı dayanıklılığında iyileşme gözlemlenmiştir. NBR ısıya karşı dayanıklılığı oldukça fazladır.

2.3 Kauçuk Karışımı

Nihai üründen beklenen mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmak için kauçuk ve içine katılan hammaddelerin belirli oranlarla sisteme katılarak homojen bir karışım olması sağlanır. Bu hammaddelerden bazıları proses sırasında, bazıları vulkanizasyon işlemi sırasında bazıları da kullanım esnasında eklenir. Karışım prosesi 3 aşamadan oluşmaktadır.

Çizelge 2.2 Karışım prosesi ve makinalar (Savran 2001).

Proses	Makinalar
Karışım Hazırlama	Açık Karıştırıcılar (Valsler)
Ön Şekillendirme (Konfeksiyon)	Kapalı Karıştırıcılar
Vulkanizasyon	Valsler, Ekstrüderler, Kalenderler, Barwell
	Presler (Kompresyon, Enjeksiyon)
	Otoklavlar
	Sürekli Vulkanizasyon Sistemleri (Lcm, Uhv)

Lcm: Sıvı Kütleme Yöntemi, Uhv: Ultra Yüksek Frekans.

2.3.1 Karışım Reçetesinin Genel Özellikleri

Bir karışım prosesinde kullanılan hammaddelerin ne olduğu ve miktarlarının yer aldığı listeye reçete denir. Bu reçeteler kauçuğun cinsinden tutunda nihai üründe istenilen özelliklere göre farklılıklar göstermektedir. Kullanılan her hammadde 100 kısım kauçuk olarak tanımlanır, oranı hammaddenin türüne göre değişir ve PHR(part per hundred of rubbers) olarak adlandırılır. Bu tanımlama sayesinde birçok reçete hazırlanırken, hammaddede yapılan miktar değişikliğinde karışımdaki fiziksel özelliklerin değişimi de tayin edilmiş olur.

Formülasyon da kauçuk, dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, proses kolaylaştırıcılar, aktivatörler, hızlandırıcılar, alev geciktiriciler ve diğerleri olmak üzere bir çok hammaddenin harmanlanmasıyla kauçuk karışımı elde edilir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Kauçuk formülasyonu; hammadde ve miktarları.

Kauçuk Formülasyonu	Phr; 100 kısım kauçuk
Kauçuk	100
Dolgu maddeleri	20 -50
Yumuşatıcılar	0 -20
Proses kolaylaştırıcılar	0 -20
Alev geciktiriciler	20 -50
Aktivatörler	0 -10

Çizelge 2.3 (Devam) Kauçuk formülasyonu; hammadde ve miktarları.

Hızlandırıcılar	0 -5
Pişiriciler	0 -5
Diğer	0 -5

Not; Diğer: boyalar, koku vericiler, şişiriciler...

2.3.2 Kauçuk Reçetesinin Girdileri

Çizelge 2.3’de belirtilen formülasyondaki girdiler nihai üründen istenilen özelliklere göre farklılık gösterir. Girdiler aşağıda tek tek açıklanmıştır.

Dolgu maddeleri: Ortaya çıkacak ürünün özelliklerini iyileştirmek için karışıma katılır. Aynı zamanda fiziksel özellikleri iyileştirmekle kalmayıp maliyeti azaltmak amacıyla da kullanılmaktadır. Dolgu maddesi ve polimer birbiri ile uyumlu olmalıdır. Bu uyum, dolguların sahip oldukları yüzey enerjisinin polimer yüzey enerjisine eşit yada daha fazla olması olarak tanımlanır (Park vd. 2005).

Proses kolaylaştırıcılar: Banburyde hammaddeleri karıştırma, ekstruderde işleme, kalenderleme ve kalıplama proseslerinin daha kolay gerçekleşmesini sağlayan hammaddelerdir.

Vulkanize ediciler: Çapraz bağlanmanın gerçekleşmesi için kullanılan hammaddelerdir. Vulkanize olmamış ürünün vulkanize olması sağlamak dışında herhangi bir fiziksel özelliğinde değişikliğe sebep olmaz (EPA 2005).

Hızlandırıcılar: Vulkanizeye yardımcı hammaddelerle beraber, vulkanizasyon hızını arttırarak vulkanizasyon prosesinin daha kısa zamanda gerçekleşmesini sağlar (EPA 2005).

Yaşlanma dayanımı sağlayanlar: Elde edilen üründe yaşlanmayı geciktirmek için antioksidan, antiozonant gibi hammaddeler kullanılmaktadır. Görevleri yaşlanmanın etkisiyle kauçukta oluşan bozunmaları en aza indirmektir. Bozunmaya sebep olan

faktörler; ozon, oksijen, ışık, ısı ve radyasyon gibi etkilendir.

Yumuşatıcılar: Karışım prosesini kolaylaştırmak, viskoziteyi dışürmek, yapışma mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Yumuşatıcılar, dolgu maddeleri gibi büyük öneme sahiptirler. Dolgu maddelerinin proses içinde homojen bir şekilde dağılmasına ve işlenme prosesine yardımcı olurlar. Dışük sıcaklıklarda, kauçuğun uzama ve elastikiyetini arttırırlar, elektriğe karşı direncini yükseltir böylece aleve karşı direncini de arttırmış olur (Öztürk 2008).

Muhtelif girdiler: Geciktiriciler, renklendiriciler, koku vericiler gibi hammaddelerdir. Kullanımı her zaman gerekmemekle beraber nihai üründen istenilen özellik doğrultusunda kullanılmaktadır.

2.3.3 Kauçuk Türü Malzemelerin Kullanım Alanları

Kauçuk ve hammaddelerin nihai ürüne kattığı özellikler sayesinde çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Otomotiv sektöründe kullanılan fonksiyonel parçaların çoğu kauçuktan imal edilir. İmal edilen kauçuğun % 60'tan fazlası otomotiv sektörüne hizmet etmektedir. Ayrıca araçta görüp plastik sandığımız çoğu üründe kauçuktan imal edilmektedir. Beyaz eşya sektöründe kullanılan birçok parça kauçuktan imal edilmiştir. Tıpta ve cerrahide kullanılan malzemelerden ziyade ameliyat eldivenleri gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Otellerdeki bahçe zeminlerinden parklardaki zeminlere kadar kauçuk ürün kullanılmaktadır. Günlük hayatta kullandığım yürüyen merdivenler, bir ürünü taşımak için kullanılan taşıyıcı bantlar, sporlar için kullanılan topaların birçokđu kauçuktan elde edilmiştir. Kauçuk, ayakkabı üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Gıda, sağlık ve elektronik sanayindeki uygulamaları gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Kauçuğun kullanılmadığı sektör neredeyse yok denecek kadar azdır (Savran 2001). Ayrıca bu tezin konusu olan konveyör bantların imal edilmesin de kullanılan hammaddelerin neredeyse % 80'inini kauçuk oluşturmaktadır. Kauçuğun birçok türü olmakla beraber kullanım alanına göre farklılık göstermektedir.

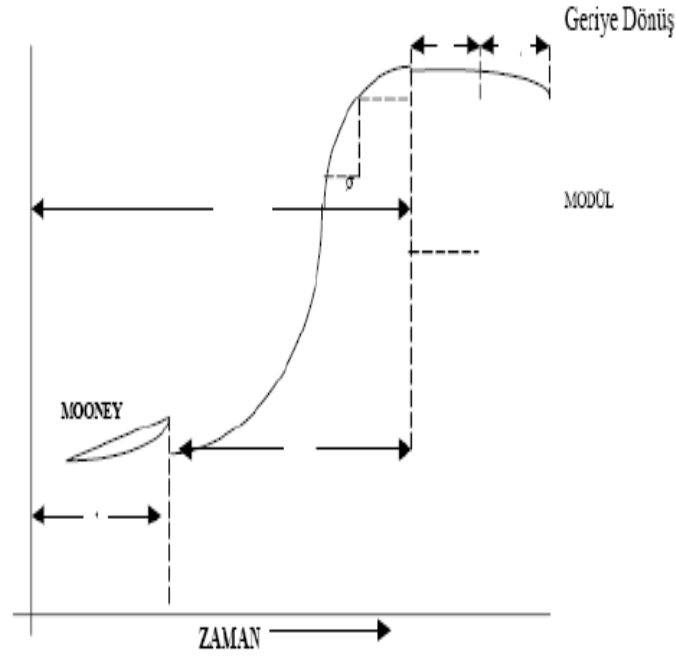
2.4 Vulkanizasyon

Kauçuktan oluşan ürünler vulkanizasyon olmadan nihai ürün haline gelemeyizler. Vulkanize edilmemiş kauçuk deformasyonla karşılaştığında sağlam olmadığı için şeklini koruyamazlar (Mark vd. 2005). Vulkanizasyon genellikle kauçuk ya da elastomerler için gerekli bir prosestir. Vulkanizasyon işlemi; kauçukta kimyasal yapıdaki değişime sebep olarak kalıcı elastik özelliklere sahip olması olarak açıklanır (Savran 2001). Kauçuk şekil değişikliğine uğrayarak elastik veya sert bir yapıya dönüşür. Polimer zincirleri arasında çapraz bağlanmanın oluşması ile vulkanizasyon gerçekleşmiş olur. Vulkanizasyon sonucunda; polimer zincirleri yapı değiştiğine uğradığı için hareketleri kısıtlanmış, uzaması azaltılmış ve elastik modül (deformasyona direnç) artmıştır. Çapraz bağlanmış bir yapıyla çapraz bağlanma yapmamış bir yapının arasında belirgin farklılıklar vardır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 Çapraz bağlanmış ve çapraz bağlanmamış arasındaki fark (Savran 2001).

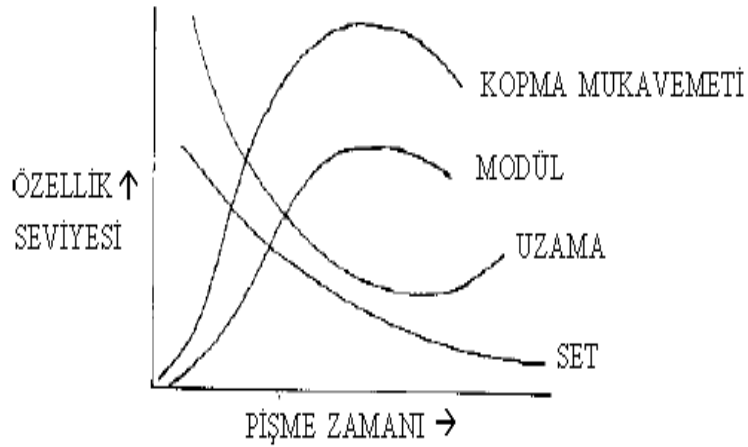
Çapraz Bağlanmamış (Çiğ)	Çapraz Bağlanmış (Pişmiş, vulkanize olmuş)
Yumuşak	Sert
Yapışkan	Yapışkan olmayan
Düşük mukavemet	Yüksek mukavemet
Yüksek kalıcı deformasyon	Düşük kalıcı deformasyon
Çözünme	Çözünmez ya da az çözünür
Isıdan etkilenme	Isıdan az etkilenme
Termoplastik özellikler	Elastik özellikler

Vulkanizasyon prosesinde, pişme süresi yani vulkanizasyon için gerekli süre, skorç (pişmeye başlama) zamanı, optimum pişme zamanı, geri dönüşüm ve pişme hızı gibi parametreler yer almaktadır. Vulkanizasyonun nasıl gerçekleşeceğini görmek için Mooney skorç ve gerilme-esneme eğrisi Şekil 2.10'da gösterilmektedir (DPT 2001a).



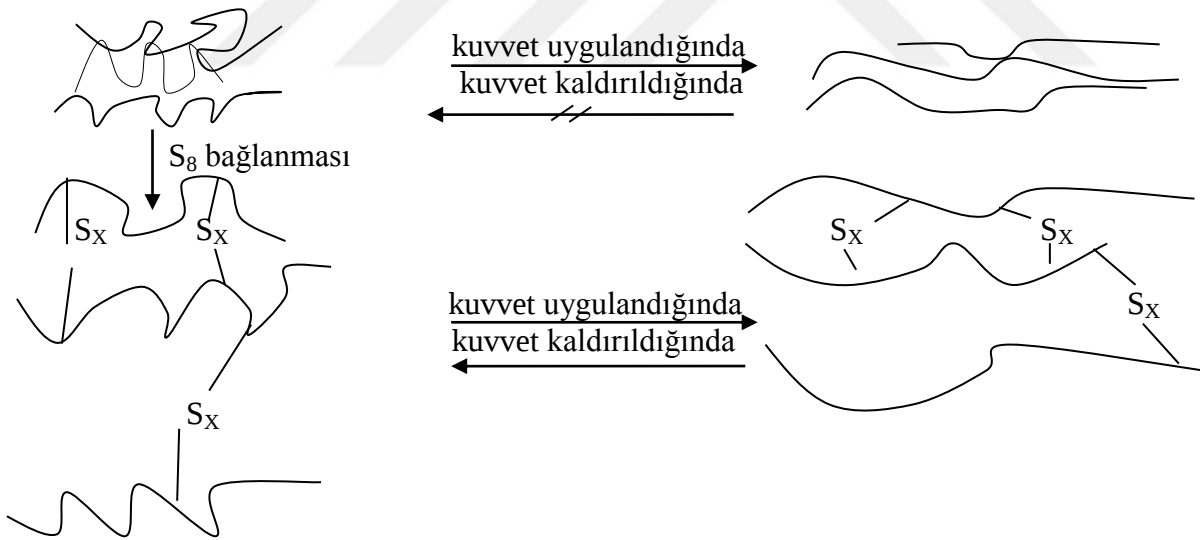
Şekil 2.10 Mooney skorç ve gerilme-esneme eğrisi (DPT 2001a).

Pişme süresi; gerekli pişmeye yani istenilen özelliklere ulaşmak için gerekli süre zarfıdır. Pişme zamanının etkisi Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Pişme süresi farklı hızlandırıcıların karışıma eklenmesiyle değişir. Diğer değişkenler sabit ve sadece hızlandırıcı hammaddeler eklenirse, yüksek pişme hızına sahip olacağından fiziksel özelliklerin iyileşmesine de olanak sağlamış olur. Skorç (pişmeye başlama) zamanı; vulkanizasyon zamanı başlangıcı ile pişmeye başladığı süre arasındaki zamandır. Vulkanizasyon zamanı; pişmeye başladığı an ile optimum pişmeye ulaştığı an arasındaki zamandır. Optimum pişme; genellikle maksimum kopma kuvvetinin % 90’ına ulaşmak için gerekli zamandır. Geri dönüşüm; kükürt vulkanizasyonu gerçekleşen vulkanizasyon da gerekli pişmeye ulaşmak için geçen süreden daha fazla süre tutulmasının bir sonucu olarak adlandırılır. Geri dönüşüme uğramış kauçuk karışımının fiziksel özelliklerinde düşüşe neden olduğu için bu durumun gerçekleşmesini engellemek gerekir (DPT 2001a).



Şekil 2.11 Pişme zamanının özelliklere etkisi.

Uygulanan kuvvet ortadan kalktığında kauçuğun ve elastik malzemelerinin davranışından bahsetmiştik ve bu davranış polimer zincirlerinin hareketindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Kuvvet altında polimer zincirlerinin hareketleri.

2.5 Polimerlerin Yanması

Polimer malzemeler yapılarında hidrojen, karbon ve oksijen barındıran bileşiklerden oluştukları için aniden yanma gözlenebilir. Bu tür durumlarda, yüzey sıcaklığı belirli

seviyeye geldiği anda piroliz başlamaktadır. Pirolizin daha yeni başladığı durumlarda sıcaklık daha fazla artmadığı için yanıcı gazlar açığa çıkmaz fakat sıcaklık artışı başladığı andan itibaren pirolizin hızı giderek artacağından yanıcı gazlar oluşmaya başlar. Yanıcı gazlar açığa çıktığı anda havadaki oksijenle temas ettiği zaman yanma başlanmaktadır. Yanma reaksiyonu iki durumla gerçekleşir (Laoutid *et al.* 2009) :

1. Bir ya da birden fazla yanıcı madde içererek (indirgeme ajanları)
2. Yakıcı madde (yükseltgeme ajanı)

Yakıcı madde olarak adlandırılanlar; havada bulunan oksijen ve hidrojenidir. Polimerin sahip olduğu ısı kaynağına bağlı olarak ortamda sıcaklığın artması ve polimer zincirinin oluşmasını sağlayan bağların bozunarak parçalanması ile yanma başlar. Polimer zincirinin bozunması sonucu oluşan uçucu hammaddeler havayla temas ederek yanıcı gaz karışımının meydana gelmesine neden olur. Gaz karışımı dışardan bir etki olmadan alevlenme sıcaklığına geldiğinde tutuşarak ısı açığa çıkarır. Dışardan gelen bir etkiyle yani alev veya kıvılcım kaynağı oluştuğunda daha düşük sıcaklıklarda da tutuşabilen parlama sıcaklığını ortaya çıkarırlar. Ürünün yanma süresi gaz karışımının yanması durumunda ortaya çıkan ısı miktarına doğrudan bağlıdır. Açığa çıkan ısı durdurulmayıp sürekli artmaya devam ettiğinde katı fazda yeni parçalanma reaksiyonları ortaya çıkacağından dolayı daha fazla yanıcı madde oluştururlar buda istenilen bir durum değildir. Bu şekilde sürdürülen yanma çevrimine “alev üçgeni” olarak adlandırılır (Laoutid *et al.* 2009).



Şekil 2.13 Alev Üçgeni (Laoutid *et al.* 2009).

Polimerik malzemelerin yanma noktasına gelmesi için gereken enerji miktarı her malzemede farklılık gösterir. Örneğin yarı kristalin yapıya sahip polimer ısıtıldığında ilk önce yumuşar, daha sonra erir ve son olarak damlar. Bu süreçte polimer tarafından depolanan enerji polimerin ısı depolama kapasitesine, oluşma entalpisine ve kristallenme derecesine doğrudan bağlıdır. Polimerin artan sıcaklık değeri ve hızı birçok parametreye bağlıdır. Bunlar; ısı akışı, ısı farkı ve spesifik ısı olarak bilinir. Polimer amorf yapıda bir termoplastik ve ya termoset bir malzeme olduğunda yapısında erime noktası olmadığı için sıcaklık artışında polimer parçalanır. Polimerlerde bahsedilen parçalanma endotermik bir olaydır. Parçalanmanın gerçekleşmesi için enerjiye ihtiyaç duyulur ve bu enerji kovalent bağlı atomların enerjisinden daha fazla olmalıdır. Polimerlerin sahip olduğu bağların en zayıf olanından parçalanma başlar ve ilerler. Termal parçalanma olarak adlandırılan parçalanma ısı ve oksijenin beraber kullanımının bir sonucudur (Pal ve Macskasy 1991).

2.6 Alev Geciktiriciler

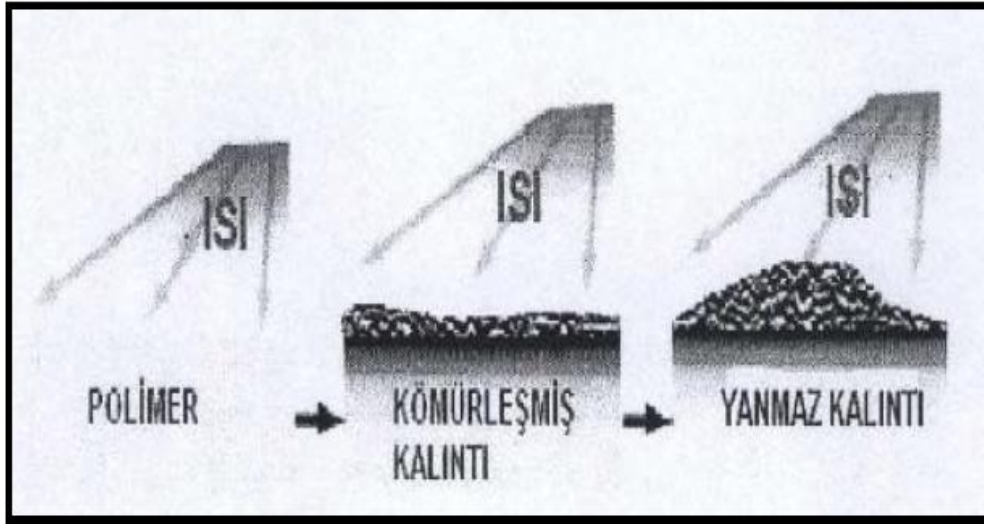
Alev geciktiricilerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknoloji ile kullanılan hammaddelerin içerdiği bileşikler çeşitlilik göstermektedir. Günlük alanda kullandığımız birçok polimer ürünün birleşğinde alev geciktirici katkı malzemeleri yer almaktadır. Bu kullanılan katkı malzemeleri, sadece alevi geciktirmekle kalmayıp plastikleştirme ve nihai ürüne mukavemet, rijitlik, esneklik ve dirençte vermektedir (Müreimik 1998). Alev geciktirici katkı maddelerinin gerçekleştirdiği ilk olay alev geciktirme etkisine sahip olan bir ürün ortaya çıkarmaktır. İçine katıldığı karışımının işlenme ve yapısal özelliklerine uyum sağlamasıdır. Kullanım alanlarına uygunluğu bakımından alev geciktirici seçimi de bu anlamda çok önemlidir. Genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılan alev geciktiriciler sadece maliyeti azaltmakla kalmayıp malzemenin bütün özelliklerini de değiştirirler. Dolgu malzemeleri daha çok polimerin mekanik özelliklerini arttırmaya yardımcı olurlar (Hancock 2003). Alev geciktirici aynı zamanda alevle veya yüksek sıcaklıklarla karşılaştığında tutuşmayan, geç tutuşan veya tutuşsa bile kendi kendine sönmüleyip yanmayı durduran malzemelerdir. Alev geciktiricilerden istenen özellikler, karışıma katıldığında homojen bir şekilde karışıma uyum sağlaması, karışımın özelliklerini iyileştirmesi ve düşük maliyetli olmalarıdır.

Polimer malzemelere istenilen miktarlarda ilave edilen alev geciktirici katkı maddeleri polimerin oksijen indeksini azaltarak alevin kendi kendine sönmesini sağlarlar.

İdeal bir yanmayı geciktirici polimer sentezi için:

- Alevin hızlı bir şekilde yayılmasına karşı yüksek direnç göstermesi,
- Tutuşma hızının düşük olması,
- Duman miktarının ve duman oluşma hızının düşük olması,
- Piroliz sonucu açığa çıkan yanıcı gazların zehirli olmaması,
- Yangın başlamış ise yanma hızının yavaşlatılması ve durdurulması,
- Farklı kullanım alanlarına göre özelliklerinin farklılık göstermesi,
- Maliyetlerinin diğer hammaddelere karşı düşük olması gereklidir (Çelebi 2009).

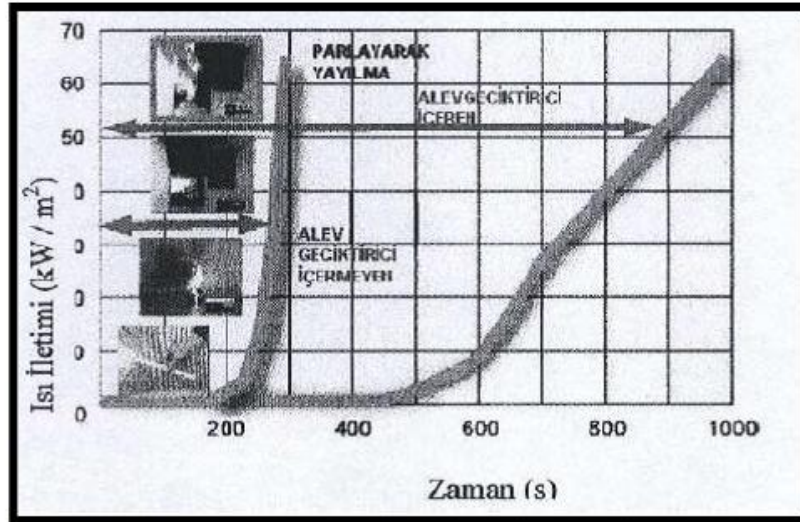
Bu katkı malzemelerinden beklenen durum polimerde yanma başladığı sırada yüzey ile yanma kaynağının arasında bir barikat görevi görerek yanmanın sonlanmasıdır. Oluşan bu tabaka da ürünün oksijenle temasını engellediği için bariyer görevi görerek yanmayı geciktirir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Polimer yüzeyinde oluşan kömürleşmiş kalıntı ve yanmaz kalıntı (Durğun 2010).

Bir alev geciktirici katkı maddesi, alev kaynağı ve ürün arasında bir kalıntı oluşturarak görevini tamamlamıştır. Oluşan yanmaz kalıntı yangına müdahale esnasında kolaylık sağlarken yangının büyümesine de engel olmuştur. Yapısında alev geciktirici barındıran

ve barındırmayan ürünlerin yangınla karşı karşıya geldiklerindeki durumu, ısı iletimine ve geçen süreye göre değişiklik gösterir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Alev geciktirici içeren ve içermeyen malzemelerin alev maruz bırakıldıkları zamanki davranışları (Durgun 2010).

1995 yılında, kullanılan alev geciktirici ve duman bastırıcı hammaddelerin tüketimi 1 milyon ton civarında olduğu düşünülmektedir. Alev geciktiricilerin türlerine göre Dünya'daki ve Avrupa'daki tüketimi farklılık göstermektedir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 Dünya'da ve Avrupa'da alev geciktirici tüketiminin türlere göre dağılımı (Mureinik 1998).

Alev Geciktirici Mineral/Bileşik	Avrupa Tüketimi	Dünya Tüketimi	Toplam Değer (milyon \$)
ATH (AKOH)	120	402	221
Bromlu (Br)	44	191	712
Organofosforlu (P)	59	133	426
Sb ₂ O ₃	20	72	342
Klorlu (Cl)	29	52	103
Diğer (Mg(OH) ₂ vs)	16	50	110
TOPLAM	288	899	1914

Farklı polimer sistemlerinde kullanılan alev geciktirici türleri ve kullanım alanları gösterilmiştir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6 Farklı polimer sistemlerinde alev geciktiricilerin ana kullanım alanları (Mureinik 1998).

Polimer/A.G Reaktif	Br	P	Cl	Sb ₂ O ₃	ATH	Mg(OH) ₂
PVC		*		*		*
Poliüretan	*	*				
Doymamış Poliester	*		*	*	*	
Poliiolefin	*		*	*	*	*
Stirenik	*		*	*		
Naylon(Poliamid)	*		*			*

Dünya'da en çok kullanılan alev geciktirici türlerinin arasında ATH en öndedir. Daha sonra bromlu, organofosforlu ve diğer alev geciktiriciler takip etmektedir. Bu durumda yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. Çizelge 2.6'da görüleceği üzere, bir polimerin yapısına sadece bir çeşit alev geciktirici katılacak diye bir kural yoktur. Birbiri ile uyumlu olan aynı özelliklere sahip alev geciktiriciler aynı formülasyon da yer alabilirler.

2.7 Alev Geciktirici Türleri

Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin artmasıyla beraber çevre dostu, zararlı olmayan, yüksek sıcaklığa ve aleve dayanıklı, fonksiyonel ve geniş kullanım alanına sahip malzemeye ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Alev geciktiriciler gelişen sanayi ve teknolojinin temel girdi maddelerinin başında gelen kaynaklardan biridir. Yüksek teknoloji gerektiren prosesler ile üretilen alev geciktiriciler dünyada ticari amaçla kullanılan bileşikler olarak da yerini almıştır. Bu alev geciktiriciler farklı sektörlerde istenilen özellikleri göstermek için kullanılmaktadır bu yüzden de çeşitli kullanım alanlarına sahip bir hammaddedir.

2.7.1 Halojen İçeren Alev Geciktiriciler

Halojen içeren pek çok bileşik geliştirilip, alev geciktirici özelliğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Halojen bileşikleri iyot (I), brom (Br), klor (Cl) veya flor (F) elementini içermekte olup etkinlikleri kullanılan halojenin serbestliğine bağlı olarak değişir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu elementlerin etkinliği sırasıyla $I > Br > Cl > F$ olarak belirlenmiştir. İyot içerikli bileşiklerin ısı kararlılıklarının çok düşük olmasından dolayı polimer işleme sırasında bile parçalanmaları kullanım uygunluğunun az olduğunu ortaya çıkarmıştır (Pawelec 2014). Aynı zamanda son yıllarda halojen içeren alev geciktirici malzemelerin sağlık ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle bu malzemelerin kullanımının uygun olmadığı sonuçlarla desteklenmiştir. Ayrıca alev geciktiricilerin ilk prosesi yanmayı sonlandırmak olduğu ve halojen içeren alev geciktiricilerde yanmanın önüne geçemediği düşünüldüğünde kullanımının uygun olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu alev geciktiriciler plastiklerin yanmasını önleyemezken yanmanın hasar boyutunu kontrol ederek büyümesini engeller. Alev geciktirici etkinliği arttırmak için halojen içeren ajanlardan ziyade bromlu bileşikler kullanılmaya başlamıştır (Lewin 1999).

Halojen içeren alev geciktiricilerin mekanizması; polimer dekompozisyonu, yanmayı gaz fazında başlatan ve devam ettiren $H\cdot$ ve $OH\cdot$ radikalleri gibi serbest radikallerin açığa çıkmasıyla başlar (Eşiyok 2014):



X: Br ya da Cl

R: Radikal

H_2 : Hidrojen

H_2O : Su

OH: Hidroksit

HX: Hidrohalojen Asidi

Halojen radikalının RH ile reaksiyonu sonucunda oluşan HX molekülü alev geciktirici olarak kullanıma hazır hale gelmektedir. HX ayrıca katı fazın oksidasyonunu hızlandırırken koruyucu tabaka oluşturarak halkalı yapıya dönmeden çevrimi tamamlamış olur (Eşiyok 2014).

2.7.2 Fosfor İçeren Alev Geciktiriciler

Fosfor içeren alev geciktirici bileşikler fosfinat, fosfonat ve fosfat esterleri olmak üzere başlıca üç grupta incelenmektedir. Triaril fosfatlar, kırmızı fosfor, tris(klorpropil)fosfat, amonyum polifosfat ve fosfinik asit türevleri sık kullanılan fosfor bileşikleridir. Fosfor esaslı radikaller bromür içeren radikallerden yaklaşık olarak beş kat, klorür içeren radikallerden on kat daha etkili oldukları çalışmalarla kanıtlanmıştır. Aynı zamanda gaz fazında fosfor alkan yanmasının engellediğinden dolayı halojenlerden daha etkin olabilmektedir (Babushok ve Tsang 2010).

Çizelge 2.7 Fosfor içeren alev geciktiriciler (Zhang ve Horrocks 2003).

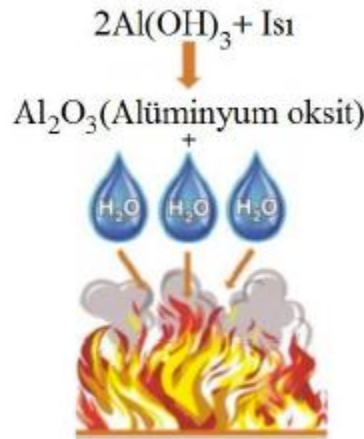
Halojen fosfatlar
Fosfin oksitler ve amonyum polifosfatlar
Fosfit
Fosfonitrilik esterleri
Fosfonopropionik asit aminler
Alkil-aril fosfonatlar
Halkalı fosfonat esterleri
Fosfonatizosiyonurat
Fosforik asit
Orto-, meta- veya pirofosforik asit gibi inorganik fosforik asitler
Amonyum fosfat ve tetrakis(hidroksimetyl) fosfonyum hidroksit
Fosfonat ester
Organik fosfinat

Fosfor içeren alev geciktirici maddeler alevi söndürmek için farklı birçok

mekanizmalarla görev yaparlar. Örneğin, alev geciktiricilerin bir kısmı aktif hidrojen ve hidroksil radikallerini buhar fazında oluştururken, alev oluşumunda ise diğer kısımlar fosforik asit ihtiva ederek yanmayı sonlandırır. Fosfor tabanlı alev geciktiricilerin birçoğunda bozunma gerçekleştiği sırada fosforik asit oluşur. Bu asitler, polimer artan sıcaklığa maruz kaldığında bozunma mekanizmasında kömür oluşumunu sebep olur ve daha fazla bozunmasından doğan yanmanın boyutunu engellemiş olur. Fosforik asit, pirofosfat yapıları oluşturarak sisteme daha fazla vermek amacıyla yoğunlaşır. Salınan su yükseltgenen gaz fazını seyreltilir ve böylece yanmanın sonlanmasına yardımcı olur (Eşiyok 2014).

2.7.3 İnorganik Hidroksitler Alev Geciktiriciler

İnorganik hidroksitler veya 200 °C'nin üzerinde su açığa çıkaran hidroksit-inorganik tuzlar, alev geciktirici olarak kullanılabilir. En yaygın kullanılan ve en çok etkiye sahip olan iki ürün, alüminyum trihidrat (ATH) ve magnezyum hidroksittir (MH). Aslında, ATH, ticari olarak üretilen en büyük alev geciktiricidir ve birçok kullanım alanına sahiptir. Ayrıca bu alev geciktiriciler mineral içerikli alev geciktiriciler olarak da adlandırılır.

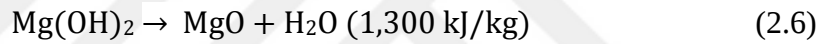


Şekil 2.16 Mineral içerikli alev geciktiricilerin çalışma mekanizması (İnt.Kyn.1).

Mineral içerikli alev geciktiricilerin çalışma mekanizması Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Burada açığa çıkan su polimer yüzeyini soğutarak yanıcı gazları seyreltmektedir. Ayrıca parçalanma sonucunda oluşan tortu ve alümina, ısı etkisindeki polimeri koruyarak

parçalanmada oluşan parçacıkları absorbe etmektedir. Oluşan kurum parçacıkları ise duman yoğunluğunun artmasını engelleyici bir etki göstermektedir (İnt.Kyn.2).

ATH düşük maliyetli ve doğada bol miktarda bulunan bir alev geciktiricidir. ATH 180 °C ile 200 °C'deki endotermik tepkimeler ile alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturarak yangın sırasında açığa çıkacak olan ısıyı absorbe etmektedir. Bu nedenle ATH genellikle polimer işleme sıcaklığı 220 °C'nin altında olan mekanizmalarda daha etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Magnezyum hidroksit bileşiği de ATH'a benzer şekilde davranış göstermekte olup 330 °C'deki sıcaklıklarda bozunmaya başlamaktadır. Mg(OH)₂ doğada kolay bulunabilmesinin yanında bazı standartların ağır koşullarını karşılayan bir özelliğe sahiptir. ATH ve Mg(OH)₂'nin bozunma reaksiyonları aşağıda gösterilmiştir (Laoutid *et al.* 2009);



Al(OH)₃: Alüminyum Hidroksit

Al₂O₃: Alüminyum Oksit

H₂O: Su

Mg(OH)₂: Magnezyum Hidroksit

MgO: Magnezyum Oksit

2.7.4 Borat Alev Geciktiriciler

Borat alev geciktiriciler, halojen içeren ve halojen içermeyen polimerlerde alev geciktirici ve duman bastırıcı olarak rol oynar. Borik asit (BA) ve sodyum borat gibi bor bileşikleri, selülozik ürünler için en çok kullanılan alev geciktiricilerdir. Plastik ve kauçuklarda alev geciktirici olarak kullanılan çinko boratlar, amonyum pentaborat, melamin borat, bor fosfat, metal borofosfat ve borosiloksan gibi bor bileşikleride son yıllarda öne çıkmıştır. Boratlar, yanan malzemenin üzerini örterek yangını durdurur. Endotermik olarak meydana gelen bozunmaları 290 °C ila 450 °C sıcaklıklar arasında su, borik asit ve bor oksit (B₂O₃) ile tamamlanır. Bor oksit koruyucu bir tabaka

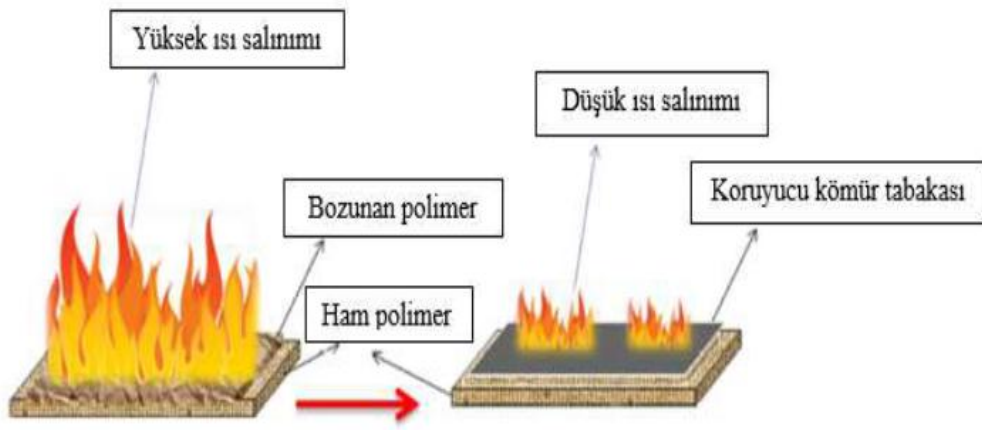
oluşturmuş olur (Eşiyok 2014).

2.7.5 Azot İçeren Alev Geciktiriciler

Azot içeren alev geciktiriciler; melamin ve türevleri, melaminin siyanurik asit formu, borik asit ve ya fosforik asit ile meydana getirdikleri tuzlar ve melamin homologlarıdır Costa vd. (1990). Azot içeren alev geciktiricilerin farklı mekanizmalara sahiptir. Fosfor ile beraber kullanıldığında fosforun polimerin yapısına katılması hızlanmış olur. Gaz fazında, açığa çıkan azot gazı parçalanma ürünlerini seyrelterek yanmanın hızını yavaşlatmış olur. Azot içeren alev geciktiriciler zehirli olmadıklarından ve yanma sürecinde dioksin ve halojen asitlerinin oluşumunu engelledikleri için kullanım kolaylığı sağlarlar. Metal hidroksitlerle karşılaştırıldıklarında onlardan hem daha etkili hem de polimerik malzemenin mekanik özelliklerini daha az etkilemiş olurlar (Eşiyok 2014).

2.8 Alev Geciktirici Mekanizması

Bir alev geciktirici, daha öncede bahsedildiği gibi alev ve malzeme arasında bariyer olarak davranarak mekanizmayı tamamlamış olur. Polimerlerde kömürleşme mekanizması, yüksek ve düşük ısı salınımındaki fark gösterilmiştir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Polimerlerde kömürleşme mekanizması (Aydın 2016).

Alev geciktirme işlemi birden fazla mekanizmaya sahiptir. Bunların üçü önem taşımaktadır (Kaya 1999):

2.8.1 Buhar Fazında Serbest Radikal Bırakmamak

Polimer alev maruz kalıp yanma başladığı sırada buhar fazından kaynaklı serbest radikaller (HC) oluşur. İlave edilen katkı hammaddeleri, tek başına ya da malzemedeki başka bileşiklerle beraber, alt tabakada gerçekleşen zincirleme reaksiyonlarında serbest kalan radikallerin ortaya çıkmasına engel olarak prosesi başlatmış olur. Brom ve klor içeren alev geciktiriciler bu mekanizma ile göre yapar (Kaya 1999).

2.8.2 Isıyla Büyüme/Şişme (Intumescent) Hareketi

İlk yanma başladığı esnada yanmaya meyilli polimerin yangından korunması yani izole olmasını sağlayan bir kor (char) oluşması gereklidir. Bu kor meydana gelen yangının ilerlemesini engeller (Kaya 1999).

2.8.3 Endotermik/Isı Veren Etki

Isı ile bozunan malzemeler alev geciktirici olarak görev yaparlar. Bozunma reaksiyonu endotermik olaydır. Isı ortamdan uzaklaştırılır böylece yangının meydana geldiği tabaka

soğur ve duman ortaya çıkmadan yangın sonlanır. Gaz yan ürünler yanma durumunda oksijen konsantrasyonunu da azaltır, böylece alevin yayılmasını azaltmış olur.

Alev geciktiriciler bozunduklarında açığa çıkardıkları H_2O , CO_2 ve NH_3 gibi inert gazlar yanıcı gaz karışımını seyrelterek alevlenme olasılığını azaltmış olur. ATH ve $Mg(OH)_2$ 'in termal bozunması sonucu oksit ve su oluşur. Alev geciktiricinin hacmindeki su oranı arttıkça, etkinliği de aynı oranda artar bu yüzden tepkimelerin sonucunda sadece su açığa çıksın istenir. Ayrıca yanmanın hızını düşüren daha az aktif radikaller oluşsun istenir (Kaya 1999).



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Metot

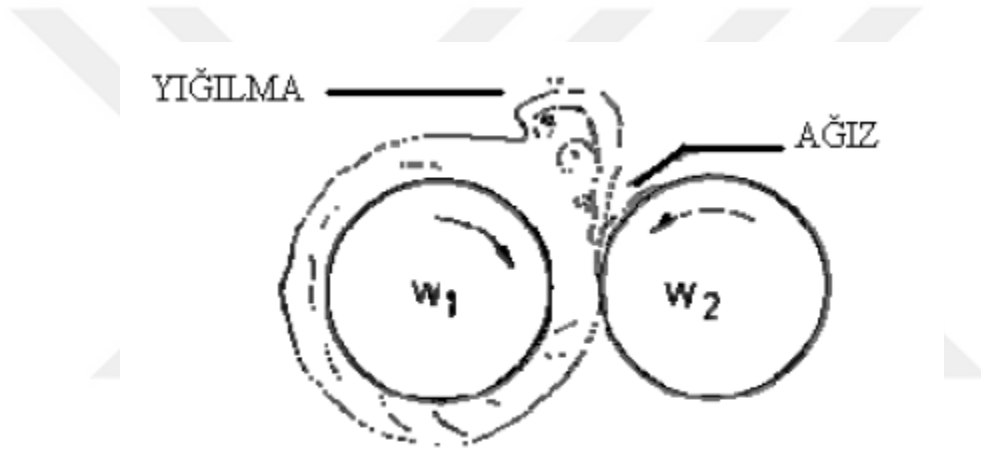
Kauçuk ürün üretimi hammadde çeşitliliğiyle artmaktadır. Kauçuktan elde edilen ürünlerin ortaya çıkması için iki aşamadan geçmesi gerekmektedir. İlk olarak formülasyona bağlı kalarak hamur karışımı hazırlanır. İkinci aşama, karışımın ekstrüzyon, kalenderleme ve kalıplama metodları ile şekillendirilmesidir. Son olarak vulkanizasyon işlemi yapılarak son bulur. Bazı mamullerin vulkanize olduktan sonra bitirme (finisyon) işlemleri yapılır (Soyubol 2008).

3.1.1 Karıştırma İşlemi

Kauçuk üretim prosesi kauçuk reçetesi hazırlama ile başlar. Reçetede daha önce bahsedilen proses yardımcıları, vulkanizasyon ajanları, aktivatörler, hızlandırıcılar, yaşlanma önleyiciler, dolgu maddeleri, yumuşatıcılar gibi hammaddeler yer alır (EPA 2005). Karıştırma işlemi kauçuk ve ilave edilen çeşitli hammaddelerin düzgün bir şekilde dağılımını sağlar. Tozların yapıya düzenli olarak dağılması önemlidir. Karıştırma işlemi belirtilen zaman dilimlerinde olmalıdır çünkü fazla karıştırmak ya da az karıştırmak homojenliği etkileyeceğinden nihai ürünü de etkiler (Kısacık 2006).

Formülasyon son üründen istenen özellikleri göre farklılık gösterir. Karışım için hazırlanan hammaddeler hassas terazilerde tartılır ve sisteme gönderilir (EPA 2005). Karıştırma prosesi direkt veya ters (up side down) metodu ile gerçekleştirilir. Direkt olan metotta, ilk olarak elastomerler sisteme gönderilir daha sonra antioksidan maddeler konulur. 2 dakika sonra kuvvetlendirici dolgu maddeleri beslenir. 5 dakika sonra dolgu maddelerinin geri kalanı ve plastifiyan konulur. Proses 7. dakikasında 110 °C – 150 °C arasındaki sıcaklıklarda sona erer. Direkt yöntemde bütün hammaddeler sırasıyla ve belirtilen zamanlarda konulmalıdır. NR, SBR, CR ve NBR kauçukları direkt yöntemle karıştırılır (Soyubol 2006). Ters yöntemde ise, reçetede yer alan bütün hammaddeler beraber sisteme beslenir. Proses 5 dakika içinde sona erer. EPDM, IIR, CM, EAM kauçukları ters yöntem ile karıştırılır (Soyubol 2006).

Karıştırma işlemi açık karıştırıcılarda pişiricilerinde ilave edilmesi ile gerçekleşir. Karıştırma işlemi geçekleştikten sonra, karışım batch off adı verilen otomatik sistemlerde su yardımıyla soğutulur. Karışım valslerde gerçekleştiği için yapışma söz konusu olabileceğinden bunun önüne geçmek için talk veya stearat ile sıvanır (Soyubol 2006). Kauçuk endüstrisinde karışım oluşturabilmek, bir hamur haline getirmek için iki valsli hamur makineleri eskiden beri kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Valsler farklı yönlerde çalıştığı zaman iki valsın arasında karışım gerçekleşir (DPT 2001a). Karıştırma prosesi istenilen duruma göre açık ve ya kapalı olmak üzere karışım oluşturmak mümkündür (Kısacık 2006).



Şekil 3.1 İki valsli hamur karıştırma makinası (DPT 2001a).

3.1.1.1 Kapalı Karıştırıcılar (Banbury)

Banbury, açık millere kıyasla kapalı bir haznede piston yardımıyla karıştırma yapan bir makinadır. Banbury içinde birbirine geçmiş halde iki rotor bulunur ayrıca çevresi açık olmayan bir karıştırma ünitesiyle karışımın homojen bir şekilde karışması sağlanır (İSO 2006). Banburyde, hazırlanan hammaddeler ağızdan kapak vasıtası ile doldurulur ve piston sayesinde karışımın oluşacağı haznenin içine itilir. Karıştırmanın homojen bir şekilde gerçekleşmesi için rotorların arasında sıkışarak veya rotorlar ile karıştırma haznesinin arasında istenilen homojenliğe ulaşır. Karışım istenilen süre ve homojenlikte olduktan sonra kapak açılır ve karışımın tamamı hazneden boşaltılır (Kısacık 2006).

Tabii kauçuk karışım işlemine tabi tutulmadan ön işlem den geçirilmelidir. Mastikasyon adı verilen bu ön işleme ile büyük molekül lü boylar daha küçük hale getirilerek homojenliğ e yardımcı olurlar. Bu işlem sıcak olmayan hamur makinesinde veya banburyde gerçekleştirilebilir.

Banbury hamur karıştırma işlemi beş yöntemle yapılır (İnt.Kyn.3):

Peş peşe (ayrı ayrı) karıştırma

Paralel (yan yana) karıştırma

Ters yüz (up side down) karıştırma

Mayalama (seeding) ile karıştırma

Pre-disperse (ön karışım) karıştırma

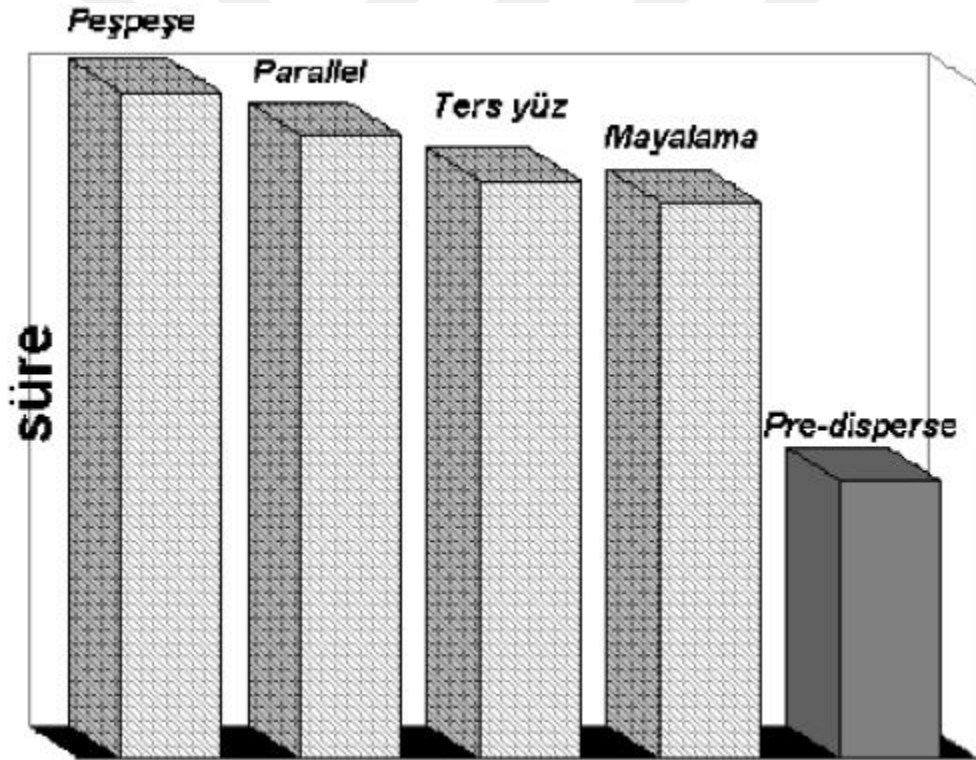
Peş peşe karıştırma metoduyla her hammadde ayrı ayrı sisteme beslenir. İlk olarak kauçuklar sisteme dahil olur, daha sonra tozlar ve sıvılar sisteme ayrı ayrı beslenir. Bu karıştırmada istenilen en önemli parametre ayrı ayrı ve peş peşe beslemedir.

Paralel karıştırma yönteminde, banburye ilk olarak kauçuk beslenir ve sonrasında toz ve sıvılar beraber paralel olarak sisteme beslenir. Toz ve sıvıların beraber banburye verilmesi peş peşe metoduna göre kauçuğa kolayca yedirildiği için daha kısa zamanda homojen bir karışım sağlamaktır. Sıvıların tozlarla verilmesinin amacı; sıvılar tozlarla bir araya geldiğinde hava boşluklarını doldurup tozların havaya uçmasına engel olmasından kaynaklanır (İnt.Kyn.3).

Ters-yüz karıştırma metodunda diğer metotlara kıyasla tersten gidilecektir. Sisteme ilk önce tozlar ve sıvılar beslenir en sondada kauçuk sisteme dahil edilir. Bu metot, karışım formülünde miktar olarak fazla olan toz ve sıvı hammaddelerin kauçuğa yedirilmesi istendiğinde bu metot diğer metotlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Sistemde önce toz ve sıvı hammaddeler kendi içlerinde homojen bir dağılım sağlarlar. Bu yöntemin kullanılmasında doğacak sıkıntılar şunlardır; kauçuk mastike edilmediği için daha sonra sisteme verildiğinde zorlanabilir ve karışım homojen olmayabilir, bir diğeri ise tozlar ve sıvıların kendi aralarında karışımı daha fazla enerji sarfiyatına yol açacaktır (İnt.Kyn.3).

Seeding (tohumlama, mayalama) da, kauçuktan miktarca fazla olan toz ve sıvı hammaddelerin kullanıldığı reçetelerde bu yöntem tercih edilir. Bu tür formülasyonlar da kauçuk miktar olarak az diğer hammaddeler çok olduğu için kauçuk bütün hammaddeleri homojen bir şekilde bünyesine alamaz. Bu durumdan kaynaklı olarak karıştırmak oldukça zordur ve tercih edilen bir metot değildir.

Pre-disperse karıştırma metodu, paralel ve ters-yüz karıştırma metodları ile banbury içinde yapılmak istenilen ve istenilen durumun gerçekleşmediği durumlarda toz ve sıvı hammaddelerin banbury dışında karıştırılması işlemidir böylece miktar olarak fazla olan hammaddeler daha homojen bir şekilde karışmış olur. Karıştırma metotlarının süreleri Şekil 3.2’ de gösterilmektedir.

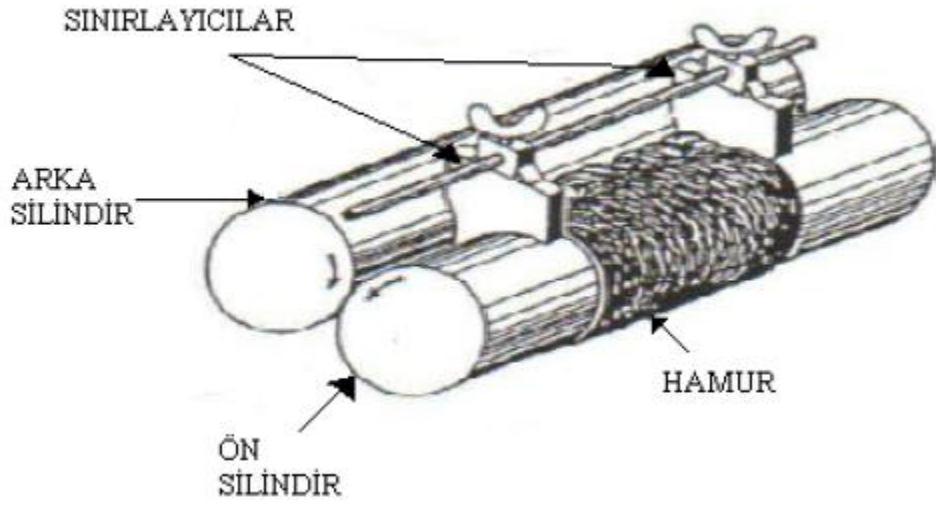


Şekil 3.2 Banbury karıştırma süreleri (İnt.Kyn.3).

3.1.1.2 Açık Karıştırıcılar

Açık karıştırıcılar, mastikasyon gibi yöntemlerle formülasyonun oluşturulmasıdır. Açık ve kapalı karıştırıcılarda içerisinde hammaddelerin besleneceği yer, karışım için gerekli

hazne, rotorlar, pistonlar ve karışımın sistemden ayrılması için boşaltma kısmı yer alır. Birbiri ile kıyaslandığında kullanılan rotorlar farklılık gösterir. Açık karıştırıcıların rotorları daha büyük ve daha hızlı olmalıdır ki karışımı homojen bir hale getirsinler. Açık karıştırıcı rotorlar aynı yönde ve aynı hızda dönerler fakat banburyler de ise, rotorlar ters yönde ve farklı hızda dönerler (Kısacık 2006).



Şekil 3.3 Açık karıştırıcı (Soyubol 2006).

3.1.2 Ön Şekillendirme İşlemleri

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra ortaya çıkan kauçuk karışımı hangi proseslerden geçecekse o proses için uygun hale gelmelidir. Bu işlemde ön şekillendirme yöntemiyle yapılır. Ön şekillendirme ekstrüder gibi yada kalenderleme gibi cihazlarla gerçekleştirilir (Kısacık 2006).

3.1.2.1 Kalenderleme

Kalenderleme, hazır hale gelen kauçuk karışımını istenilen incelikte levha haline getirmek ve hangi ürün kauçukla kaplanacaksa o ürünü kaplamaya yardımcı yöntemdir. Kauçuk ile kaplanan yarı mamuller yaşamın her alanında kullandığımız malzemelerdir (Soyubol 2006). Kalenderler silindir sayısına göre (2'li, 3'lü, 4'lü) ve montaj şekline

göre (I, L, Z) tanımlanır. İki silindirli kalenderler, ince levha üretiminde sıklıkla kullanılırlar. Üç silindirli kalender de levha üretiminde kullanılır ayrıca tek yüzeyin kauçukla kaplanması istenirse bu işlemde yapılabilir. Dört silindirli kalenderlerde üç silindirliye kıyasla çift taraflı kaplama yapılmaktadır (Soyubol 2006).

3.1.2.2 Otoklav

Bu makinalar dıştan bir ısıtıcı gömlek, içten bir radyatör yardımıyla gerekli ısıyı temin eder. Kompresörlerden gelen ve ısıtılıp filtre edilen tazyikli buharın basıncı altında ürünler pişer.

3.1.2.3 Presler

Ürüne hem şekil verir hem de vulkanize ederler. İçerisinde buhar cereyan ettirmek suretiyle ısıtılan levhaların aralarına yerleştirilen kalıplar içerisinde bulunan hamur, 100 atmosferden yüksek sıvı altında istenilen şekli alır.

3.1.2.4 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon, kauçuk polimerinin yapısında bulunan moleküllerin birbiri ile etkileşimi sonucu çapraz bağlanma gerçekleşir (Tepebağ 2007). Vulkanizasyon öncesi ve sonrası kauçuk karışımının özellikleri farklılık gösterir. Vulkanizasyonun ve kullanılacak vulkanizatınların özellikleri kauçuk karışımın özelliklerine göre seçilmelidir (Xinhua vd. 2006). Sıcak ve soğuk vulkanizasyon olarak ikiye ayrılır. Vulkanizasyon preste ya da vulkanizasyon kazanında direkt istim ile veya hidrolik preslerde 35-50 kg/cm² baskı ile yapılır. Band imalatında en önemli unsur vulkanizasyondur. Band vulkanizasyon koşulları tam olarak yerine getirilirse elde edilecek lastik bandın fiziksel özellikleri de bir o kadar yüksek olur. Band vulkanizasyonun da sıcaklık ve süre önemlidir. En ideal sıcaklık tabii kauçuk esaslı lastiklerde 145 °C'dir. Sentetik kauçuk esaslı lastiklerde ise bu değer 170 °C'ye kadar yükselebilir. Süre kısa tutulursa istenilen fiziksel özelliklere ulaşılamaz. Süre fazla olursa da rejenerasyon (geri dönüşüm) başlar. Bu olay kauçuğun yanması olarak adlandırılır. En ideal pişme süresi fiziksel özelliklerin maksimum

olduğu zamandan biraz önce kesmek suretiyle elde edilir. Çünkü vulkanizasyonun % 10' luk dilimide çevresel koşullarla gerçekleşir.

3.2 Materyaller

3.2.1 Alüminyum Trihidrat

Alüminyum Trihidrat (ATH); bayer prosesiyle boksitten alüminyum elde edildiği sırada oluşan ara bir üründür. Çöktürme esnasında oluşan ATH saflaştırıldıktan sonra kullanılabilir hale gelir. Ticari kullanımı 1960'ların ortalarında başlamış ve 1970'lerin ortalarında hızlı bir artış yakalamıştır. ATH'ın yüzlerce kullanım alanı olmasına rağmen kimyasal olarak kullanımı ilk planda yer alır (Kaya 1999). ATH'ı diğer alev geciktiricilerden ayıran en önemli özellik sadece alevin yayılmasını engellemekle kalmaz aynı zamanda duman oluşumunu da bastırmaktır. ATH halojen içermez, bozunma ile zehirli ürünler açığa çıkarmaz, suda çözünmez ve uçucu değildir (İnt.Kyn.4). Yüksek beyazlık ve saflıkta üretilebilirler. ATH ısıtıldığı zaman endotermik davranır ve yanma prosesinin bozunma durumunu geciktirir böylece sıcaklığın artış hızını azaltmış olur. Bozunma aşamasında ATH su açığa çıkarır ve yanıcı gazların açığa çıkmasını seyrektir (Kaya 1999). Alev yayılmasını ve duman oluşumunu azaltmak için, yüksek sıcaklıklarda bünyesindeki su moleküllerini açığa çıkarır.

Çizelge 3.1 ATH'ın özellikleri (İnt.Kyn.4).

Fiziksel Form	Toz
Parçacık Morfolojisi	Altıgen trombosit
Renk	Beyaz
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.42
pH Değeri	9- 10
Sertlik (Mohs)	2.5- 3.5
Kırılma İndeksi	1.57
Dekompozisyon Sıcaklığı (°C)	220
Dekompozisyon Isısı (°C)	280
Ateşlemede teorik kayıp (%)	34.6

3.2.2 Bor Türevleri

Endüstriyel olarak önemi gün geçtikçe artan bor elementleri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor bileşiklerinin bir hammadde olarak kullanımı için çeşitli işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bor mineralleri doğadaki işlem görmemiş halleriyle ticari önem taşırlar fakat farklı kullanım alanlarına sahip olabilmesi için saflaştırılması gerekir. Bor elementi doğada sıklıkla bulunan hammaddeler arasında yer alır. Boratlar yapısında B_2O_3 molekülü içeren borik asit tuzları veya esterleridir (Kistler 1994).

Bor endüstriyel açıdan önemli bir elementtir. Genellikle ergime sıcaklığının $2300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve üstü olması sebebiyle yanma sırasında açığa çıkan ısıya dayanıklı olurlar. Sahip olduğu özelliğinden dolayı da yaygın olarak kullanılan alev geciktiricilerin arasında yer alır. Özellikle, çinko borat ($xZnO.yB_2O_3.zH_2O$), boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), amonyum florborat (NH_4BF_4) gibi ürünler ATH ile beraber kullanılmaktadır. Ancak maliyetleri ATH ve magnezyum hidroksit bileşimli içeren alev geciktiricilere göre daha yüksektir (İnt.Kyn.5). Tutuşma sıcaklığına gelmeden selülozun bünyesindeki su molekülleri açığa çıkar ve oluşan kömürün yüzeyini kaplayarak yanmanın ilerlemesini engellemiş olurlar. Bor bileşiklerinin plastiklerde alev geciktirici olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bor mineralleri; cam, seramik, inşaat, otomotiv, mobilya vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

3.2.2.1 Borik Asit

Borik asit, borun zayıf bir asidi olarak tanımlanır. Kimyasal formülü H_3BO_3 (ya da $B(OH)_3$). Beyaz renkli ve toz formunda suda çözünen bir hammaddedir. Borik asit kolemanit cevheri ile sülfürik asidin veya boraks ile bir mineral asidin reaksiyona girmesi ile elde edilir. Kolemanitin ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisinde tepkimesi sonucu borik asit (H_3BO_3) ve jips ($CaSO_4.2H_2O$) oluşur. İlk olarak oluşan jips kristalleri çökertip ortamdan uzaklaştırılır, borik asit ise kristallendirme işlemine tabi tutulup kullanıma hazır hale getirilir. Borik asit alevlenmeye yatkın olan maddelerin alev karşısında tutuşma derecesini azaltarak yanmanın sonlanmasına neden olur.

Yanmanın başlaması için gerekli kaynaklara sahip olan her kullanım alanında alev geciktirici malzemeler sıklıkla kullanılırlar. Isı veya korozyon dayanımının yüksek olması için ateş tuğlalarına ve harçların oluşum sürecinde de alev geciktiriciler rol alır. Borik asit fırın camları, laboratuvar cam malzemeleri vb. gibi kullanım alanlarında tercih edilir. Camın yapısına katılan borik asit sayesinde ısıya dayanımı arttığı için özelliklerinde de iyileşme gözlemlenmiştir. Seramik ürünlerinin kimyasal direncini artırır bu da gelen darbelere karşı kırılma ve çizilme durumunu en aza indirir. Borik asit, seramiklerde bağlayıcı olarak kullanılmaktadır (İnt.Kyn.7). Borik asit anti bakteriyel özelliği sayesinde sabun ve deterjan sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarımda kullanılan gübrelerden bir tanesi de disodyum oktaborat tetrahidrattır. Ahşap yüzey koruyucu olarak da kullanılırlar. Borik asit antiseptik özelliğinden dolayı lens solüsyonu olarak kullanılmaktadır (İnt.Kyn.7). Borik asit elektronlar tarafından doldurulabilen boş yörüngelere sahip olduğundan dolayı zayıf bir asittir. Bir Lewis asidi olarak bilinirler.

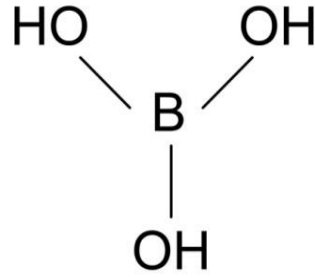
Borik asidin özgül ağırlığı, yoğunluğu, molekül ağırlığı, erime kaynama noktaları gibi bir çok özelliği Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Borik asit (H_3BO_3), normal şartlar altında çözünürlüğü azdır fakat sıcaklık arttıkça çözünürlükte doğru orantılı olarak artar. Endüstride kristal formda borik asit kullanılmak istendiğinde doymuş haldeki çözeltinin sıcaklığını düşürmek gerekir. Ortoborik asit adı verilen H_3BO_3 , zayıf monobazik yapıda davranır ve geometrisi formu düzlemsel üçgen şeklindedir (Şekil 3.4) (Lee 1977).

Çizelge 3.2 Borik asit’in fiziksel özellikleri ve değerleri (İnt.Kyn.5).

Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Özgül ağırlık (g/cm^3)	1,51 ($20^\circ C$)
Dökme (yığın) yoğunluğu ^a (g/cm^3)	0,892 (Granül)
Molekül ağırlığı (g/mol)	61,83
Erime noktası ($^\circ C$)	450
Kaynama noktası ($^\circ C$)	1860
Isı kapasitesi ($J/g^\circ C$)	24,7
Isıl iletkenlik (W/mK)	0,407

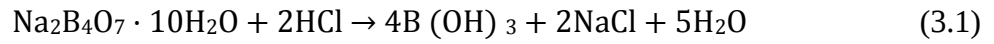
Çizelge 3.2 (Devam) Borik asit'in fiziksel özellikleri ve değerleri (İnt.Kyn.5).

Özgül yüzey alanı (m ² /g)	<1
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	1,1x10 ⁻⁵
Yüzey gerilimi (mN/m)	63,83 (Ağ. % 1,0 sulu çözelti)
Renk ölçüm testi	94,52 (ortalama L değeri)



Şekil 3.4 Düzlemsel üçgen geometrisine sahip olan H₃BO₃.

Borik Asit, boraksın (sodyum tetraborat dekahidrat) hidroklorik asit gibi bir mineral asit ile reaksiyona girmesiyle meydana gelir.



Na₂B₄O₇.10H₂O: Sodyum tetraborat dekahidrat

H₂O: Su

HCl: Hidroklorik Asit

B(OH)₃: Borik Asit

NaCl: Sodyum Klorür

Çizelge 3.3 Borik asit'in kimyasal özellikleri ve bileşenlerin içerikleri (İnt.Kyn.7).

Bileşen	Granül			Toz	
	Normal Sülfat	Düşük Sülfat	Ultra Düşük Sülfat	Ultra Düşük Sülfat	Normal Sülfat
Safiyet	%99,92-101,07	%99,92-101,07	%99,92-101,07	%99,92-101,07	%99,92-100,89
B ₂ O ₃	%56,25-56,90	%56,25-56,90	%56,25-56,90	%56,25-56,90	%56,25-56,80
SO ₄	300 ppm maks	130 ppm maks	12 ppm maks	12 ppm maks	300 ppm maks
Cl	5 ppm maks	5 ppm maks	3 ppm maks	3 ppm maks	5 ppm maks
Fe	4 ppm maks	4 ppm maks	3 ppm maks	3 ppm maks	4 ppm maks

3.2.2.2 Sodyum Tetraborat Pentahidrat

Endüstride oldukça yaygın olarak kullanılan yapısında 5 mol H₂O (su) molekülü içeren sodyum borat formudur. Kimyasal formülü Na₂B₄O₇.5H₂O'dur. Nihai ürün haline gelebilmesi çeşitli aşamalardan geçmektedir. Bunlar; çözme, çeşitli flokülantlar (anyonik vb.) ile çöktürme, santrifüjleme, filtrasyon, kristalizasyon ve son olarak kullanıma hazır hale gelebilmesi için kurutmak gerekir. Alev geciktirici mekanizması ise sıcaklık artmasıyla eriyik hale gelerek malzemenin üstünü kaplar ve oksijen ile temasını kestiği için alevlenmenin önüne geçmiş olur (İnt.Kyn.8).

Ergimiş halde cam ara ürünü olarak kullanıldığında ısı iletim katsayısı düşük ve yüksek ısıl dirence sahip olan cam elde edilir. Bu özelliğinden dolayı ısı yalıtım sektöründe kullanımı yaygınlaşmıştır. Bor, bitkilerin yetişmesinde ve büyümesinde toprakta bulunduğu verimliliği arttıran bir elementtir. Suda sahip olduğu çözünürlük fazla olduğundan dolayı seramikte kullanılır. Kullanım esnasında yüksek sıcaklıklara ulaştığında cüruf oluşumu için istenilen özelliklere sahip olur. Bu yüzden metal sanayinde sıklıkla tercih edilen bir malzemedir (İnt.Kyn.8). İnşaat sanayinde cam da olduğu gibi yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Sodyum tetraborat pentahidratın fiziksel özellikleri ve bu değerlere karşılık gelen sayısal değerleri Çizelge 3.4' de ele alınmıştır.

Çizelge 3.4 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın fiziksel özellikleri ve değerleri (İnt.Kyn.8).

Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Özgül ağırlık (g/cm ³)	1,815
Dökme (yığın) yoğunluğu ^a (g/cm ³)	0,966 (Granül)
Molekül ağırlığı (g/mol)	291,35
Erime noktası (°C)	741
Kaynama noktası (°C)	1575
Isı kapasitesi (J/g°C)	7,6
Isıl iletkenlik (W/Mk)	0,647
Özgül yüzey alanı (m ² /g)	< 1
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	1,0x10 ⁻⁵
Yüzey gerilimi (mN/m)	67,19 (Ağ. % 1,0 sulu çözelti)
Renk ölçüm testi	91,92 (ortalama L değeri)

Çizelge 3.5 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın kimyasal ve bileşen içerikleri (İnt.Kyn.8).

Bileşen	Granül	Toz
B ₂ O ₃	%48,00 -- 49,35	%47,80 -- 49,00
Na ₂ O	%21,37 -- 21,95	%21,36 -- 21,81
SO ₄	135 ppm maks	200 ppm maks
Cl	70 ppm maks	70 ppm maks
Fe	3 ppm maks	3 ppm maks
Suda Çözünmeyenler	150 ppm maks	150 ppm maks

3.2.2.3 Sodyum Tetraborat Dekahidrat

Sodyum tetraborat dekahidrat'ın kimyasal formülü Na₂B₄O₇.10H₂O'dur. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü yardımıyla Kırka'dan çıkarılan Tinka cevherinin çeşitli işlemlerden sonra nihai ürün olarak ortaya çıkan bir hammaddedir (İnt.Kyn.9). Beyaz renkli ve kristal bir yapıya sahiptir. Diğer bor türevlerinin geçtiği üretim aşamaların aynı şekilde geçip nihai ürün haline getirilir. Sodyum tetraborat dekahidrat, sodyum tetraborat pentahidratla benzer özelliklere sahip olduğundan cam sektöründe yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Boraks dekahidrat tarımda verimliliği artırmak için kullanılır. Katı

veya sıvı formda bulunan bu hammadde gübre olarak da kullanılmaktadır. Antibakteriyel özelliğinden dolayı temizlik malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ağır yağ lekelerinin ve kirlerin temizlenmesinde bu özelliklerinden dolayı tercih edilir. Boraks dekahidrat kozmetik ürünlerine (fondöten, kapatıcı, ruj, oje, vb.) yumuşaklık ve dayanıklılık gibi özellikler kazandırdığı için sıklıkla tercih edilir. Seramik sanayinde kullanım alanına sahiptir. Çelik parçaların yüzeyinde oksit parçacıkları oluşturur, bu durum metal parçalarda koruyuculuk sağlayarak oksidasyon oluşumunu engeller (İnt.Kyn.9). Sodyum tetraborat dekahidratın fiziksel özellikleri ve sayısal değerleri Çizelge 3.6’da ele alınmıştır.

Çizelge 3.6 Sodyum tetraborat dekahidrat’ın fiziksel özellikleri ve değerleri (İnt.Kyn.9).

Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Özgül ağırlık (g/cm ³)	1,73
Dökme (yığın) yoğunluğu ^a (g/cm ³)	0,835 (Granül) 0,882 (Toz)
Molekül ağırlığı (g/mol)	381,37
Erime noktası (°C)	741
Kaynama noktası (°C)	1575
Isı kapasitesi (J/g°C)	4,0
Isıl iletkenlik (W/mK)	0,740
Özgül yüzey alanı (m ² /g)	13,55
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0,6x10 ⁻⁵
Yüzey gerilimi (mN/m)	67,19 (Ağ. % 1,0 sulu çözelti)
Renk ölçüm testi	91,92 (ortalama L değeri)

Çizelge 3.7 Sodyum tetraborat dekahidrat’ın bileşenlerin içerikleri (İnt.Kyn.9).

Bileşen	Granül	Toz
Safiyet	%99,90-105,45	%99,90-105,45
B ₂ O ₃	% 36,47-38,50	% 36,47-38,50
Na ₂ O	% 16,24-17,14	% 16,24-17,14
SO ₄	135 ppm maks	200 ppm maks
Cl	70 ppm maks	70 ppm maks
Fe	10 ppm maks	15 ppm maks

4. STANDARTLAR VE TESTLER

4.1 Banbury Makinası

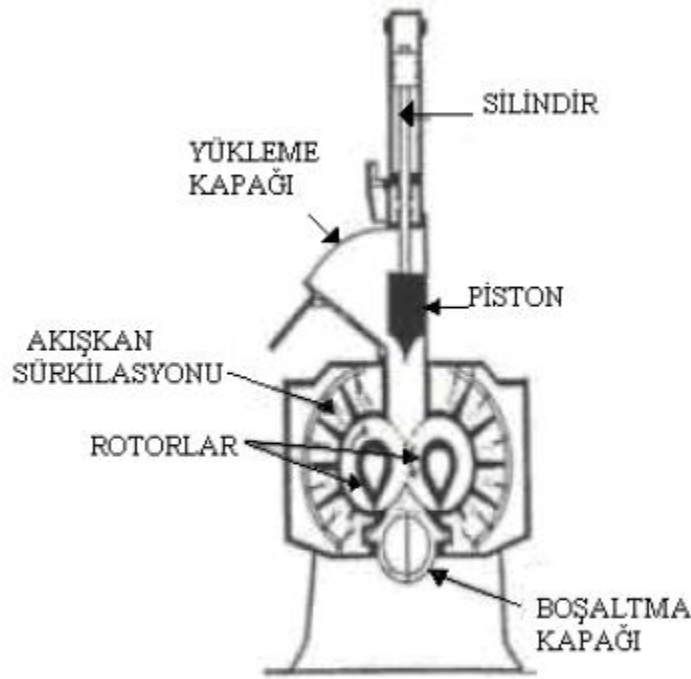
Banbury makinası hazırlanan reçetede yer alan hammaddelerin, mekanik-basınç etkisi ile karıştırılarak “compound” hamur haline gelmesi için bu makina kullanılır. Banbury makinasında oluşan karışım prosesinin doğruluğu, elde edilen ürünün homojenliğine ve kullanım yerinin akışına doğrudan etki yapar. Banburyler de homojen dispersiyon elde edildiğinde bir sonraki prosesler de homojenlik elde etmiş olunur. Buda fiziksel ve ölçüsel kalitenin en üst seviyede olmasını sağlar. Kauçuk formüllerinde görevleri farklı olan, kiminin toz kiminin sıvı formda olarak sisteme katıldığı farklı özelliklere sahip hammaddelerin beraber kullanıldığı bir formülasyondur.



Şekil 4.1 Banbury Makinası.

Genel anlamda banbury makinası, piston yardımıyla tamamen kapalı bir haznede mil yardımıyla karışımın meydana gelmesini sağlar. Karıştırma işlemi rotor kanatçıklarının oluşturduğu sıkıştırma ile sağlanır. Isı artışının kontrolü, rotor ve gövden haznesinden geçen buhar ve soğutma suyu ile sağlanır (Savran 2001). Banburynin iç yapısı ve anlatılan proses Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Banburyde, formülasyonda yer alan hammaddeler yükleme kapağı kısmından konulur ve piston yardımıyla karışımın gerçekleşeceği kısma ittirilir. Rotorlar malzemeyi dairesel, sağ ve sol olmak üzere homojen bir karışım haline getirir. İşlem tamamlanması beklenir süre dolduğunda kapak

açılıp hazır hale gelen hamur karışımı haznedan boşaltılır (Kısacık 2006). Bu süre yapılan formülasyonlarda yaklaşık 20 dk'dır. Formülasyonun homojen bir şekilde karışması için süre önemli bir parametredir. Sürenin gereğinden az tutulması sonucunda kauçuk, formülasyondaki hammaddelerle tamamen karışamayacağı için homojen bir karışım elde edilmez. Süre gereğinden fazla olursa da banbury içindeki sıcaklık artacağından karışımında yer alan kimyasallar yanar ve karışım dağılır.



Şekil 4.2 Banbury tipi iç karıştırıcı (Soyubol 2006).

Bu tez de kullanılan bor türevleri Alümina Trihidrat (ATH) ile mukayese edilecektir. İlk olarak; formülasyona ATH katılarak bir hamur karışımı hazırlanmıştır ve bu hamur konveyör band haline getirilip testleri yapılmıştır. İkinci olarak; bor türevleri tek tek katılarak ayrı bir hamur karışımı hazırlanmış ve onlarda konveyör band haline getirilip testleri yapılmıştır. Daha sonra bu test sonuçları karşılaştırılacak ATH'ın yerine kullanılabilirliğine bakılacaktır.

Alev yürümez triko formülünde ki ATH'ın yerine borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat koyuldu. Formülde % 10'luk bir kısma tekabül eden ATH kadar diğer

ürünler tek tek eklendi. 4 adet formül yapıldı ve standartta verilen boyutlarla bandlar imal edildi.

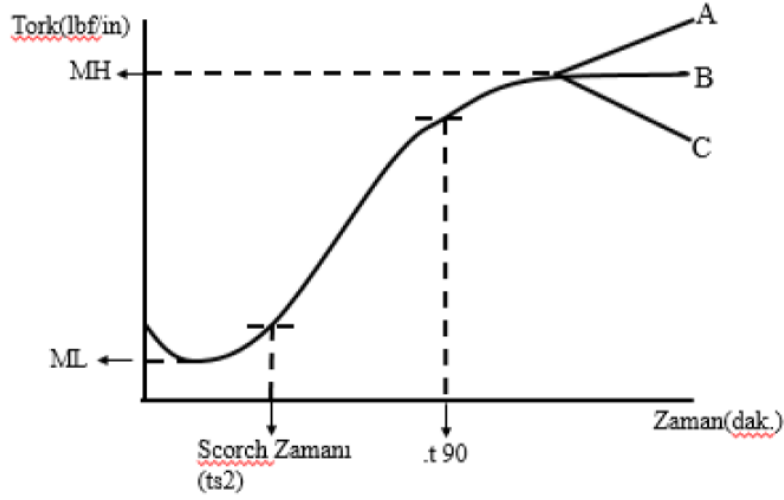
4.2 Reometre

Kauçuk hamurlarının vulkanizasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla reometre kullanılmaktadır. Pişirme süresi, hamur makinası çalışma süresi, sertlik gibi değerlerin anlaşılabilmesi için grafik eğrisi çizilir. Reometrelerin sıcaklık ayarları istenilen sıcaklığa göre ayarlanabilir. Plakanın basıncı ayarlanır ama ideal basınç yaklaşık 3-3,5 bardır. Deney işlemi plakalar arasına sıkışan malzemenin altında oluşturulan tork vasıtasıyla gerçekleşir.



Şekil 4.3 Reometre cihazı.

Numunelere ASTM D 1646 standardına uygun olarak istenilen sıcaklık ve yüksek basınç sayesinde salınım hareketi yapar ve çapraz bağdaki artışın oranıyla torktaki artış zamanın bir fonksiyonu sayılacağından bu parametre cihaz tarafından kaydedilir. Farklı reçetelere göre hazırlanan hamurların tork zaman grafiklerinden reolojik özellikleri belirlenir. Bu parametreler; minimum tork (M_L), scorch süresi (t_{s2}), optimum pişme süresi (t_{c90}), maksimum tork (M_H), tork farkı ($\Delta Tork$) ve vulkanize hız endeksidir.



Şekil 4.4 Reometre testi sonucu elde edilen vulkanizasyon eğrisi (DIERKES W. 2007).

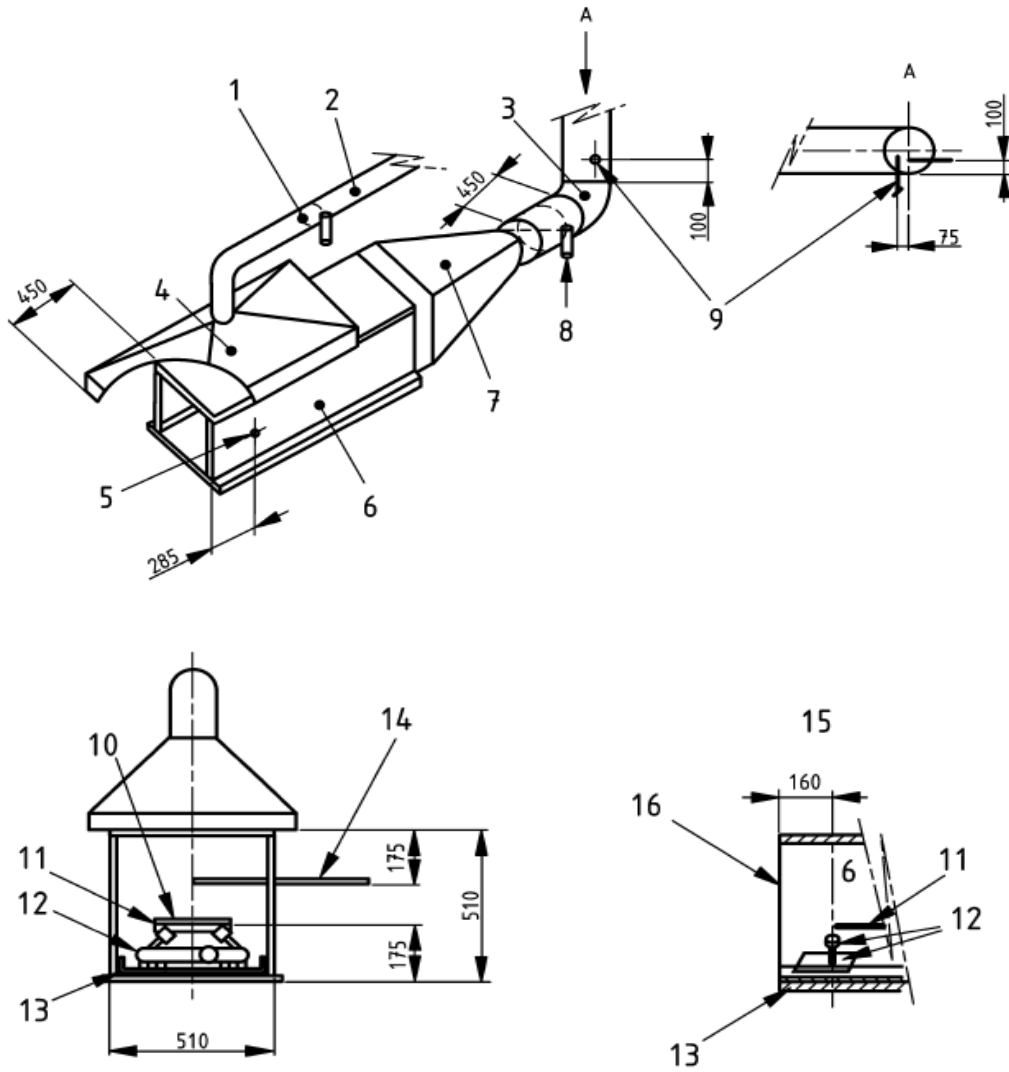
Reometre testi, kauçuk karışım üretim prosesin de karakteristiklerin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Reometre testleri vulkanizasyon sırasında oluşan değişikliklerin incelenmesini sağlar böylece üretimde oluşabilecek sıkıntıların önüne geçilmiş olur. Reometre eğrisi yardımı ile proses esnasında kullanılacak sıcaklığın uygunluğu teyit edilmiş olur. Reometre eğrisi bir kauçuk bileşiminin hazırlanmasında önemli bir yer almaktadır (DIERKES W. 2007).

4.3 Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1)

Yangın gibi nispeten yüksek lokalize bir ısı kaynağına maruz kalan konveyör band boyunca bir alevin yayılmasını ölçmek için bu test yapılmaktadır. Konveyör bandının maruz kaldığı hasar ve yanmayı destekleme eğilimi, yangının test parçası boyunca ne ölçüde yayıldığı gözlemlenerek ölçülür.

Yöntem olarak metot C kullanılmıştır. Orta ölçekli yangın yayılma testi; test galerisi, 25 mm kalınlığında refrakter malzemeden yapılmış, 460 mm × 460 mm ölçülerinde bir açıklığı ve 1676 mm uzunluğunda, 300 mm çaplı bir egzoz kanalına bağlı bir bölmeden oluşur. Paslanmaz çelikten yapılmış, 1,5 mm kalınlığında egzoz davlumbazı, test sırasında odanın önünden çıkabilecek duman ve dumanları emmek için test odasının üzerine yerleştirilmiştir. Numunenin sabitlendiği sehpa 1.500 mm uzunluğunda, 220

mm genişliğinde ve 160 mm yüksekliğinde, 10 mm çapında yumuşak çelik çubuktan yapılmıştır. Kayış numunesinin çerçeveye kabloyla bağlanabileceği çıkıntılara sahiptir. Gaz brülörü, Şekilde gösterildiği gibi boyutlara sahip, 0,7 mm çaplı jetlere (propan için) sahip altı adet 3kW Tip 1 Atmosferik Brülör Kafası içeren, 45'te eğimli üç sıra halinde monte edilmiştir. Propan gazı, test sırasında tüketilen gazın kütlesi (565 ± 10) g olacak şekilde bir akış ölçer aracılığıyla brülöre sabit bir oranda sağlanır (TS EN 12881-1).



Şekil 4.5 Orta ölçekli yangın tüneli (TS EN 12881-1).

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. egzoz kontrol kapısı | 9. termokupl |
| 2. egzoz kanalı, çap 150 mm | 10. test parçası |
| 3. egzoz kanalı, çap 300 mm | 11. sehpa |
| 4. egzoz davlumbazı | 12. brülör |
| 5. anemometre konumu | 13. çöp tepsisi, paslanmaz çelik, 1,5 mm kalınlık |

- 6. test odası
- 7. plenum
- 8. egzoz kontrol kapısı

- 14. anemometre konumu
- 15. egzoz davlumbazı gösterilmemiştir
- 16. ön yüz

Test edilecek konveyör bandından boylamasına yönde 1 500 mm uzunluğunda ve 230 mm genişliğinde iki test parçası kesildi. Kestikten sonra her bir test parçasını tartıldı. Test parçalarının testten önce 24 saat boyunca düz durması için yatırıldı. Test parçalarının sehpaye sabitlenmesini sağlamak için, 8 mm çapında bir matkap ucu kullanarak test parçalarında gibi altı delik açıldı:

a) kayışın her iki yanından 50 mm içeride ve test parçasının ön ve arkasından 50 mm kayış boyunca dört delik ve

b) yanlardan 20 mm ve ön kenardan 330 mm olan test parçası boyunca iki delik.

Test parçasını sehpanın üzerine yerleştirin ve altı delinmiş delikten 25 gauge tel kullanarak çerçeveye sabitlendi. Ek olarak, önden 100 mm ve 250 mm konumlarda test parçasının üzerinden iki parça tel geçirin ve test parçasını çerçevedeki pabuçlara sıkıca sabitlendi.



Şekil 4.6 TS EN 12881-1 test cihazı.

Anemometreyi kullanarak hava hızını $(1,0 \pm 0,05)$ m/s'ye ayarlandı. Gaz akışını yaklaşık 350 l/sa ayarlandı ve brülörler yakıldı. Zamanlayıcıyı başlatıldı. Gaz akışını

(345 ± 5) l/sa olarak ayarlandı. 50 dakika sonra brülöre giden gaz kapatıldı ve test parçasının ve sehpanın soğuması beklendi. Yanmadan kalan (hasarsız kısım) minimum 60 cm olması gereklidir.

Test parçalarındaki hasarın ölçümü;

Testten sonra ve hasar değerlendirmesi amacıyla, hasarsız kalan test parçasının uzunluğunu belirlemek için, başlangıçta mevcut olmayan herhangi bir gevrekleşme veya sertleşme, çatlama, kabarma veya diğer kusurlar hasar olarak kabul edilecektir.

Hasarsız numune uzunluğu;

Hem üst hem de alt yüzeylerde, arka kenardan tam genişliği boyunca hasarsız kalan test parçasının uzunluğunu ölçüldü. İki ölçümün alt kısmını hasarsız kalan bant uzunluğu olarak kaydedildi. Her durumda ölçüm, kayışın uzunlamasına eksenine paralel bir yönde yapıldı.

Tüketilen numune uzunluğu;

Testten önceki ve sonraki kütle ölçümlerinden test sırasında tüketilen numune uzunluğunu belirlendi. Tüketilen uzunluk milimetre cinsinden aşağıdaki gibi hesaplandı:

$$\text{Kütleli Olarak Harcanan Uzunluk} = \left(\frac{\text{Test Öncesi Kütle} - \text{Test Sonrası Kütle}}{\text{Test Öncesi Kütle}} \right) \times 1500 \quad (4.3.1)$$

Kauçuk formülasyonun da ATH alev geciktirici içeren konveyör band (TS EN 12881-1) standardına uygun olarak teste tabi tutulmuştur. 50 dakika test süresinden sonra bandın yanmadan kalan kısmı metre ile ölçülmüş ve kıyaslama için not edilmiştir (Şekil 4.7). Numune test öncesi kütlesi 13 185 gr, test sonrası kütlesi 9 045 gr olarak tartılmıştır. Kütleli olarak harcanan uzunluk formül 4.3.1'e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 Konveyör band haline gelmiş ATH'ın test aşamaları ve test sonrası boyu.

Kauçuk formülasyonun da sodyum tetraborat dekahidrat alev geciktirici içeren konveyör band (TS EN 12881-1) standardına uygun olarak teste tabi tutulmuştur. 50 dk test süresinden sonra bandın yanmadan kalan kısmı metre ile ölçülmüş ve kıyaslama için not edilmiştir (Şekil 4.8). Numune test öncesi kütlesi 13 215 gr, test sonrası kütlesi 9 185 gr olarak tartılmıştır. Kütlesel olarak harcanın uzunluk formül 4.3.1'e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.8 Konveyör band haline gelmiş Sodyum tetraborat dekahidrat'ın test aşamaları ve test sonrası boyu.

Kauçuk formülasyonun da sodyum tetraborat pentahidrat alev geciktirici içeren konveyör band (TS EN 12881-1) standardına uygun olarak teste tabi tutulmuştur. 50 dk test süresinden sonra bandın yanmadan kalan kısmı metre ile ölçülmüş ve kıyaslama için not edilmiştir (Şekil 4.9). Numune test öncesi kütlesi 13 245 gr, test sonrası kütlesi 9 440 gr olarak tartılmıştır. Kütlesel olarak harcanın uzunluk formül 4.3.1'e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.9 Konveyör band haline gelmiş Sodyum tetraborat pentahidrat'ın test aşamaları ve test sonrası boyu.

Kauçuk formülasyonun da borik asit alev geciktirici içeren konveyör band (TS EN 12881-1) standardına uygun olarak teste tabi tutulmuştur. 50 dk test süresinden sonra bandın yanmadan kalan kısmı metre ile ölçülmüş ve kıyaslama için not edilmiştir (Şekil 4.10). Numune test öncesi kütlesi 13 335 gr, test sonrası kütlesi 9 360 gr olarak tartılmıştır. Kütlesel olarak harcanın uzunluk formül 4.3.1'e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.10 Konveyör band haline gelmiş Borik asit'in test aşamaları ve test sonrası boyu.

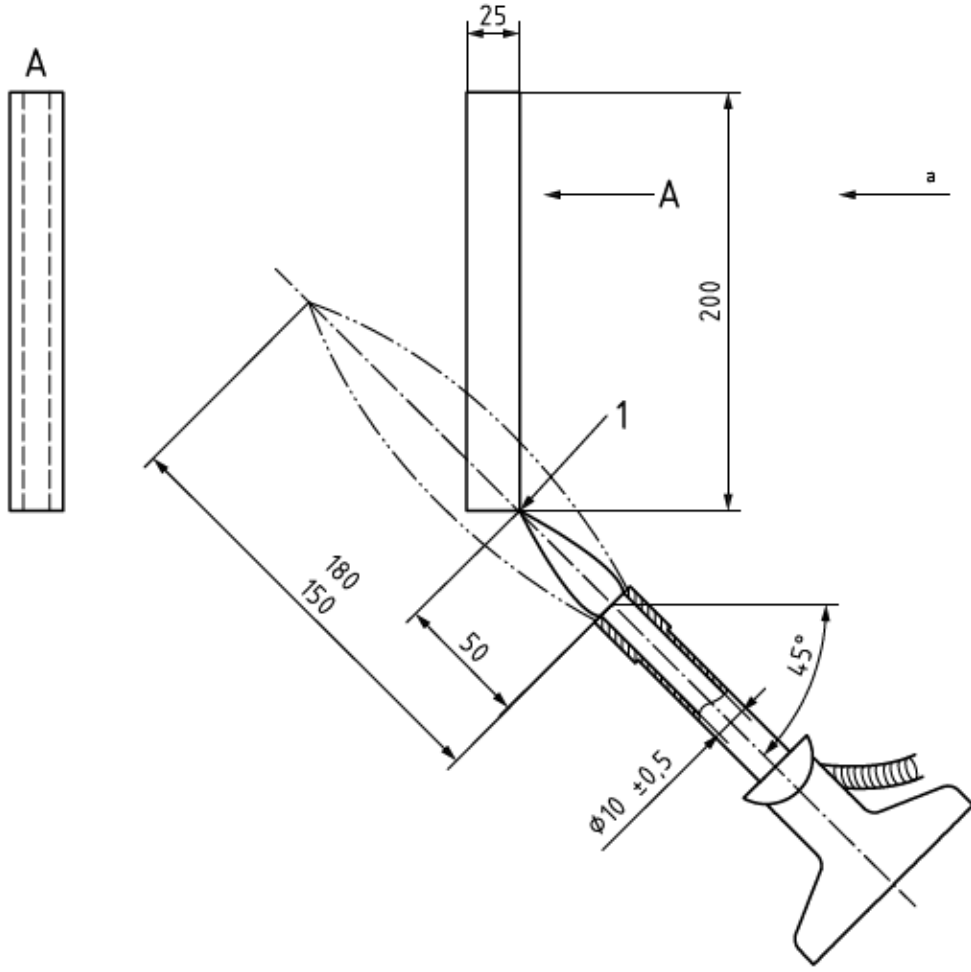
4.4 Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340)

Konveyör bandının belirli süre ve ısıda küçük boyutlu olarak alev kaynağına tabii tutulan test yöntemidir. Altı deney serisinin her biri için alev periyotlarının toplamı 45 sn'den az olmalı ve hiçbir bireysel değer 15 sn'den büyük olmamalıdır. Konveyör banttı kesilen numune dikey olarak asılıp 45 sn boyunca aleve tabii tutulur ve zaman dolduktan sonra alev kaynağından çekilir. Numunenin test sonrası alevlenme süresi kaydedilir. Numune hava akımına tabii tutulur ve akkorlaşma, alevlenme olup olmadığı kaydedilir (TS EN ISO 340).

Üst ve alt kaplamalı olmak üzere; her biri $(200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}) \times (25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm})$ olan 6 test parçasını aşağıdaki gibi hazırlandı:

- a) konveyör bandının uzunlamasına yönünde üç adet numune alt kaplama;
- b) konveyör bandının uzunlamasına yönünde üç adet numune üst kaplama

İç çapı $10 \pm 0,5 \text{ mm}$ olan bir brülör borusuna sahip gaz brülörü (Bunsen tipi).



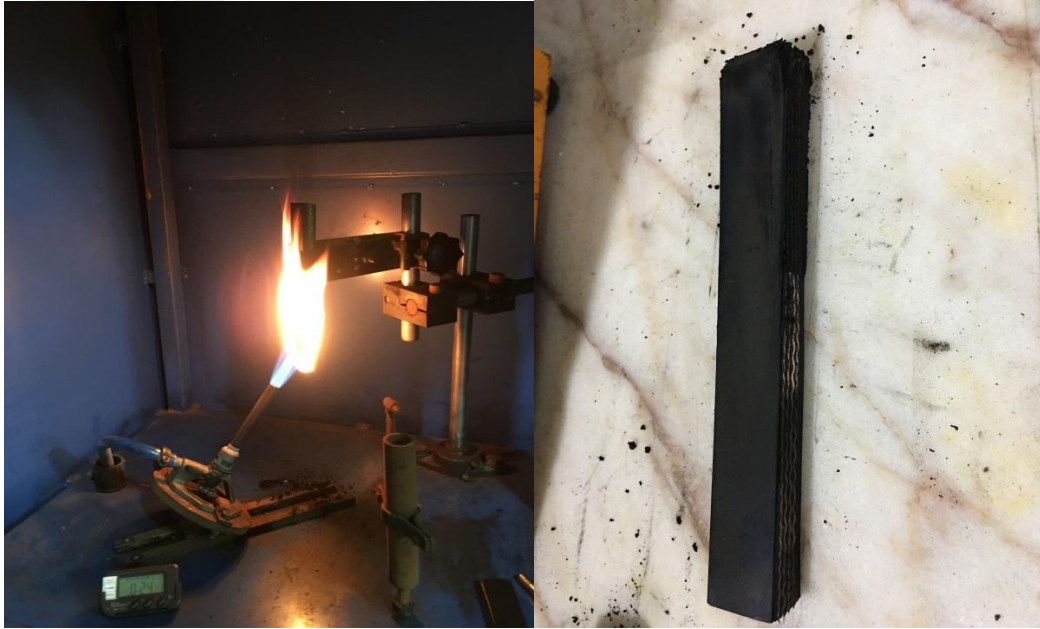
Şekil 4.11 Test sırasında gaz brülörü ve test parçası konfigürasyonunun çizimi (TS EN ISO 340).

1. termokupl
- a. Brülörün sökülmesinden sonra uygulanacak hava akımının yönü.

Deney parçası tutucusu ve yerleştirme klipsleri, yüksekliği 500 mm'den az olmayan dikdörtgen bir çerçeveden oluşur, iki kenarı 75 mm aralıklı olup, deney parçasının gövdeden en az 20 mm uzağa dikey bir düzlemde monte edildi. Test parçasını, test parçasının dikey konumda olduğundan emin olarak, test donanımının klipslerine yerleştirildi. Brülör yakıldı ve 2 dakika önceden ısıtıldı. Gaz akışını, yaklaşık 50 mm iç alev uzunluğu ile 150 mm ila 180 mm arasında bir toplam alev yüksekliği verecek şekilde ayarlandı.

Termokupl'u alevin en sıcak kısmına (iç alev konisinin hemen üstüne) yerleştirin ve

sıcaklığın $1\ 000\ ^\circ\text{C} \pm 20\ ^\circ\text{C}$ olduğunu kontrol edin. Brülörü $45\ ^\circ$ 'de test parçasının düzlemsel merkez hattındaki merkezi dikey eksenin hemen altında, brülör tüpünün üst kısmı test parçasının alt kenarının 50 mm altında olacak şekilde konumlandırıldı. 45 sn sonra, brülörü söndürmeden test düzeneğinden çıkarıldı. Brülörün çıkarılmasından sonra $60\ \text{sn} \pm 5\ \text{sn}$ içinde, 1 dakika boyunca test parçasının yüzüne dik açılarda bir hava akımı uygulandı. Test parçasının alevinin yeniden ortaya çıkışı not edildi ve kaydedildi. ATH içeren konveyör band numunesinin alev karakteristiği testi esnasında görüntüsü ve 45 sn sonra test bitiminde oluşan görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.12). Üretilen konveyör bandtan alınan numune sayısı ve test bitiminden sonra alev kaynağı çekildikten sonra alevin sönme süresi verilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.12 ATH'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü.

Çizelge 4.1 ATH'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri.

Numune Sayısı	Üst Kaplama	Alt Kaplama
1.Numune	3 sn	2 sn
2.Numune	2 sn	3 sn
3.Numune	2 sn	1 sn
Toplam	7 sn	6 sn

Alt ve üst kaplamalı numunelerin toplam alev süreleri 13 sn'dir. Her bir numune 15 sn'nin altında ve toplamaları da 45 sn'nin altındadır.

Sodyum tetraborat dekahidrat içeren konveyör band numunesinin alev karakteristiği testi esnasında görüntüsü ve 45 sn sonra test bitiminde oluşan görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.13). Üretilen konveyör bandtan alınan numune sayısı ve test bitiminden sonra alev kaynağı çekildikten sonra alevin sönme süresi verilmiştir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.13 Dekahidrat'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü.

Çizelge 4.2 Sodyum tetraborat dekahidrat'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri.

Numune Sayısı	Üst Kaplama	Alt Kaplama
1.Numune	3 sn	4 sn
2.Numune	4 sn	3 sn
3.Numune	5 sn	4 sn
Toplam	12 sn	11 sn

Alt ve üst kaplamalı numunelerin toplam alev süreleri 23 sn'dir. Her bir numune 15 sn'nin altında ve toplamı da 45 sn'nin altındadır.

Sodyum tetraborat pentahidrat içeren konveyör band numunesinin alev karakteristiği testi esnasında görüntüsü ve 45 sn sonra test bitiminde oluşan görüntüsü verilmiştir

(Şekil 4.14). Üretilen konveyör bandtan alınan numune sayısı ve test bitiminden sonra alev kaynağı çekildikten sonra alevin sönme süresi verilmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.14 Pentahidrat'ın alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü.

Çizelge 4.3 Sodyum tetraborat pentahidrat'ın numune sayısı ve toplam alev süreleri.

Numune Sayısı	Üst Kaplama	Alt Kaplama
1.Numune	5 sn	4 sn
2.Numune	4 sn	3 sn
3.Numune	2 sn	2 sn
Toplam	11 sn	9 sn

Alt ve üst kaplamalı numunelerin toplam alev süreleri 20 sn'dir. Her bir numune 15 sn'nin altında ve toplamaları da 45 sn'nin altındadır.

Borik asit içeren konveyör band numunesinin alev karakteristiği testi esnasında görüntüsü ve 45 sn sonra test bitiminde oluşan görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.15). Üretilen konveyör bandtan alınan numune sayısı ve test bitiminden sonra alev kaynağı çekildikten sonra alevin sönme süresi verilmiştir (Çizelge 4.4).



Şekil 4.15 Borik asit'in alev karakteristiği testi ve test sonrası numune görüntüsü.

Çizelge 4.4 Borik asit'in numune sayısı ve toplam alev süreleri.

Numune Sayısı	Üst Kaplama	Alt Kaplama
1.Numune	7 sn	6 sn
2.Numune	4 sn	6 sn
3.Numune	6 sn	5 sn
Toplam	17 sn	17 sn

Alt ve üst kaplamalı numunelerin toplam alev süreleri 34 sn'dir. Her bir numune 15 sn'nin altında ve toplamı da 45 sn'nin altındadır.

4.5 Ana Elemanlar Arasındaki Yapışma Tayini (TS EN ISO 252)

Konveyör bantların katları arasında ve kaplama ile karkas arasındaki yapışma mukavemetinin tayini için uygulanan Metot A ve Metot B olmak üzere iki deney metodunu mevcuttur. Kullanılan Metot A yöntemidir. Kaplamaların karkastan ve katların birbirinden ayrılması için gerekli ortalama kuvvet, sabit hızlı çekme cihazı kullanılarak tayin edilir.

Her deney parçası ($25 \pm 0,5$) mm genişliğinde ve en az 100 mm uzunluğun ayrılabilmesi için en az 200 mm uzunlukta, kenarları temiz kesilmiş dikdörtgen biçimli bant parçası şeklinde olmalıdır. Gerekli ve mümkün görülen durumlarda kalınlık, deney sırasında ayrılma çizgisinin çenelerde tutulan deney parçası bileşenleri orta eksenlerinden geçen düzleme mümkün olduğu kadar yakın olması için, makul bir değere kadar azaltılmalıdır (Şekil 1).

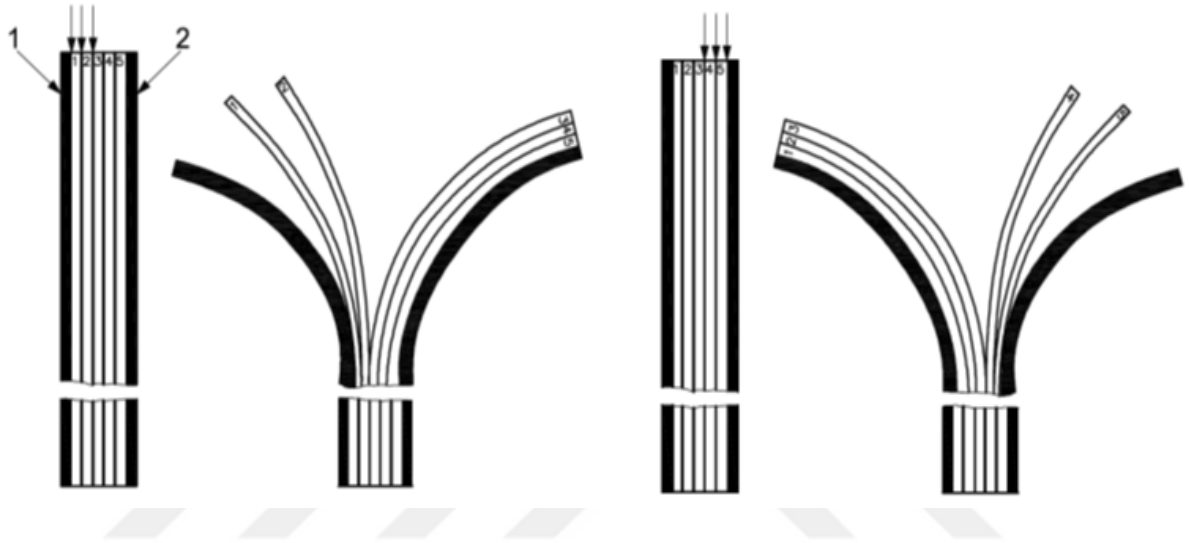
Şekil 4.16 Katların ayrılma çizgisi konumu.

Açıklama

- 57

4 – Hizalamayı iyileştirmek için düşük kalınlığa sahip deney parçası

Boyuna deney parçasının bir ucundan üst kaplama, kullanılan çenelere uygun bir uzunlukta ilk kattan ayrılır. Ayrılan uçlar çekme cihazı çenelerine tespit edilerek 100 ± 10 mm/dk hızda 100 mm 'lik ayırma işlemine tabi tutulur ve bu işlem sırasında kuvveti grafiğe kaydedilir. Deney parçası bir yere dokunmamalıdır.



Şekil 4.17 Metot A için bileşenlerin ayrılma sırası (Örnek olarak 5 katlı bant gösterilmiştir).

Açıklama

1 – Üst kaplama

2 – Alt kaplama

Ortalama tepe kuvveti ortalama yapışma kuvvetini verir.

Grafiksel olarak kaydedilen en düşük pik, en düşük yapışma kuvveti olarak tanımlanır.

Ortalama yapışma kuvvetinin (Newton), deney parçasının anma genişliğine (mm) bölünmesi ile ortalama yapışma mukavemeti 0,1 N/mm, yaklaşımla hesaplanır.

En düşük yapışma kuvvetinin (Newton), deney parçasının anma genişliğine (mm) bölünmesi ile en düşük yapışma mukavemeti 0,1 N/mm, yaklaşımla hesaplanır.

İstenilen yapışma mukavemeti değerleri; lastik-doku yapışma minimum 3,5 N/mm ve doku-doku yapışma minimum 4,5 N/mm'dir.

ATH içeren konveyör band numunesinin kat ayırma testi esnasında görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.18). Üretilen konveyör bandtan alınan numune teste tabi tutulduktan sonra oluşan grafik ve bu grafiğe bakılarak maksimum yapışma mukavemeti gösterilmektedir (Şekil 4.19).

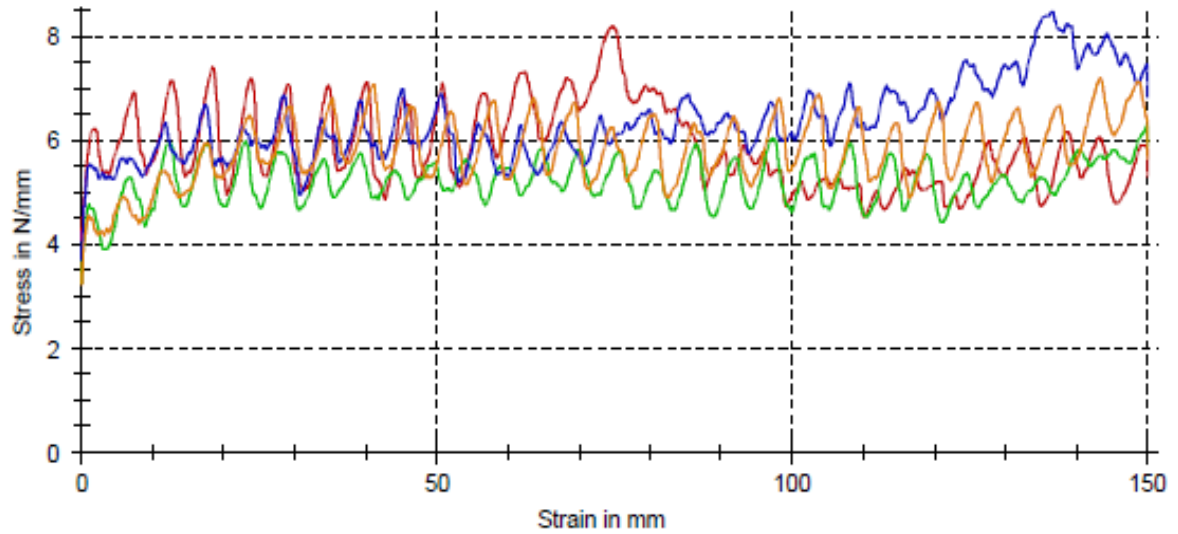


Şekil 4.18 ATH içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi

Test results:

No.	Kaplama	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
1	LASTIK-DOKU	5,83	6,23	5,43	25
2	LASTIK-DOKU	5,25	5,57	4,92	25
3	DOKU-DOKU	6,27	6,50	6,04	25
4	DOKU-DOKU	5,84	6,39	5,28	25

Series graph:



Statistics:

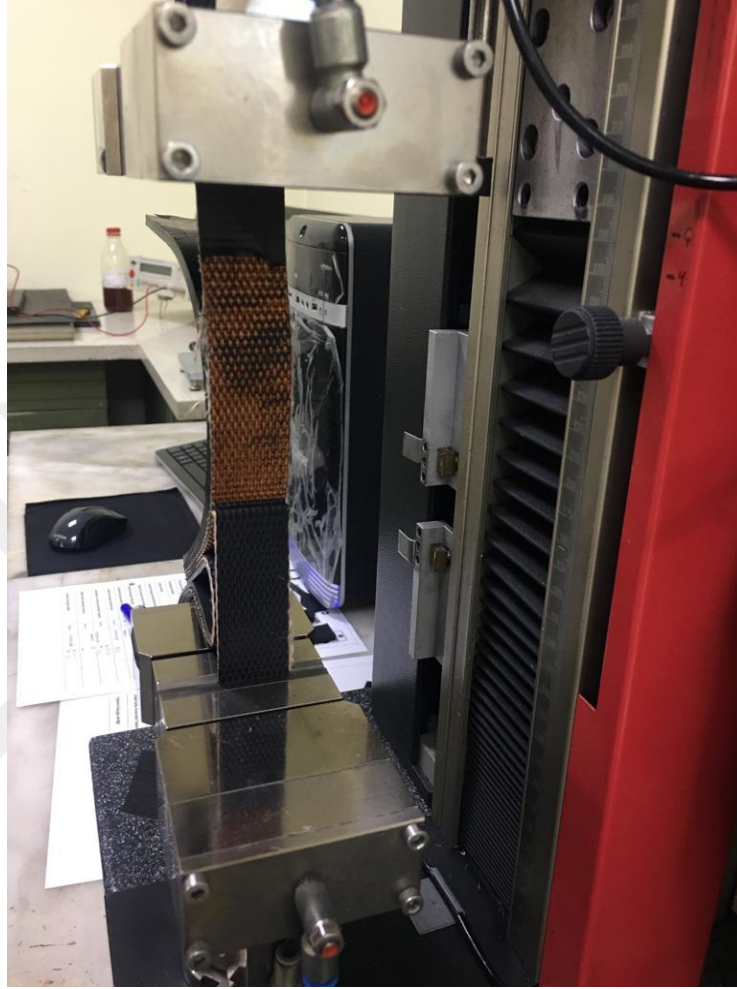
Series n = 4	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
$\bar{x}$	5,80	6,17	5,42	25
s	0,42	0,42	0,47	0,000
Vj [%]	7,28	6,78	8,64	0,00

Şekil 4.19 ATH içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği.

ATH içeren konveyör band yapışma mukavemeti testinde ortaya çıkan grafiğin tepe noktalarının ortalaması yani; lastik-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 5,9 N/mm'dir. Doku-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 6,44 N/mm'dir. Standart değerleri karşıladığı için sonuçlar olumludur.

Sodyum tetraborat dekahidrat içeren konveyör band numunesinin kat ayırma testi esnasında görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.20). Üretilen konveyör bandtan alınan numune

teste tabi tutulduktan sonra oluşan grafik ve bu grafiğe bakılarak maksimum yapışma mukavemeti gösterilmektedir (şekil 4.21).

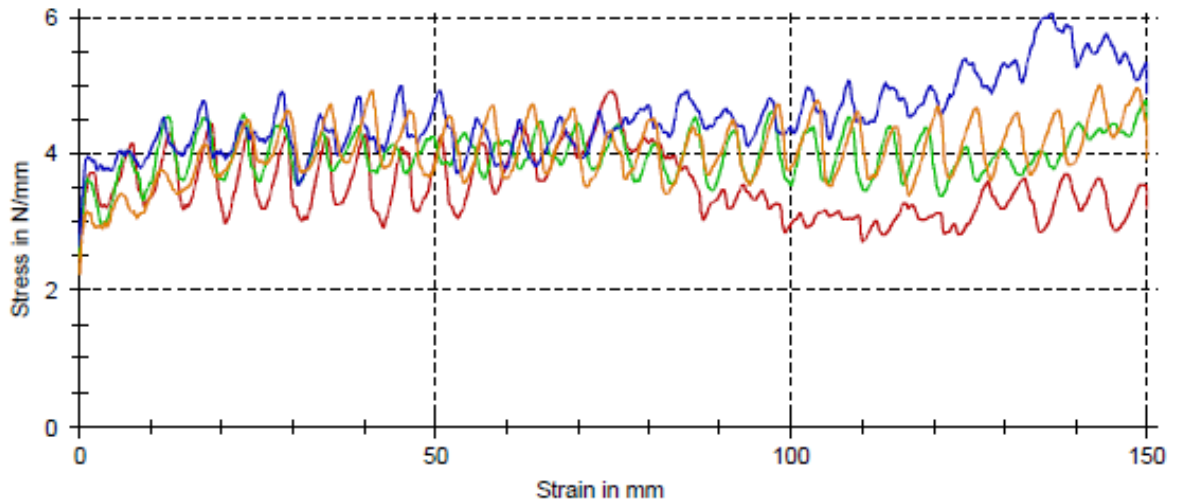


şekil 4.20 Dekahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi.

Test results:

No.	Kaplama	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
1	LASTIK-DOKU	3,50	3,74	3,26	25
2	LASTIK-DOKU	4,01	4,25	3,76	25
3	DOKU-DOKU	4,48	4,65	4,32	25
4	DOKU-DOKU	4,05	4,44	3,67	25

Series graph:



Statistics:

Series n = 4	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
$\bar{x}$	4,01	4,27	3,75	25
s	0,40	0,39	0,44	0,000
Vj [%]	10,02	9,08	11,60	0,00

Şekil 4.21 Dekahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği.

Sodyum tetraborat dekahidrat içeren konveyör band yapışma mukavemeti testinde ortaya çıkan grafiğin tepe noktalarının ortalaması yani; lastik-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 3,99 N/mm'dir. Doku-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 4,54 N/mm'dir. Standart değerleri karşıladığı için sonuçlar olumludur.

Sodyum tetraborat pentahidrat içeren konveyör band numunesinin kat ayırma testi esnasında görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.22). Üretilen konveyör bandtan alınan numune teste tabi tutulduktan sonra oluşan grafik ve bu grafiğe bakılarak maksimum yapışma

mukavemeti gösterilmektedir (Şekil 4.23).

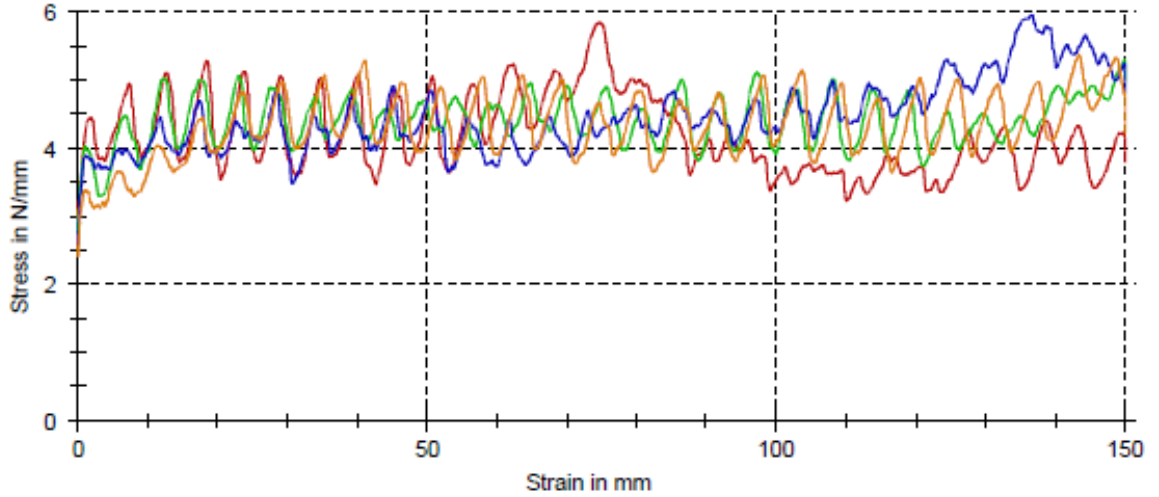


Şekil 4.22 Pentahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi.

Test results:

No.	Kaplama	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
1	LASTIK-DOKU	4,17	4,45	3,88	25
2	LASTIK-DOKU	4,44	4,71	4,16	25
3	DOKU-DOKU	4,41	4,57	4,25	25
4	DOKU-DOKU	4,35	4,77	3,94	25

Series graph:



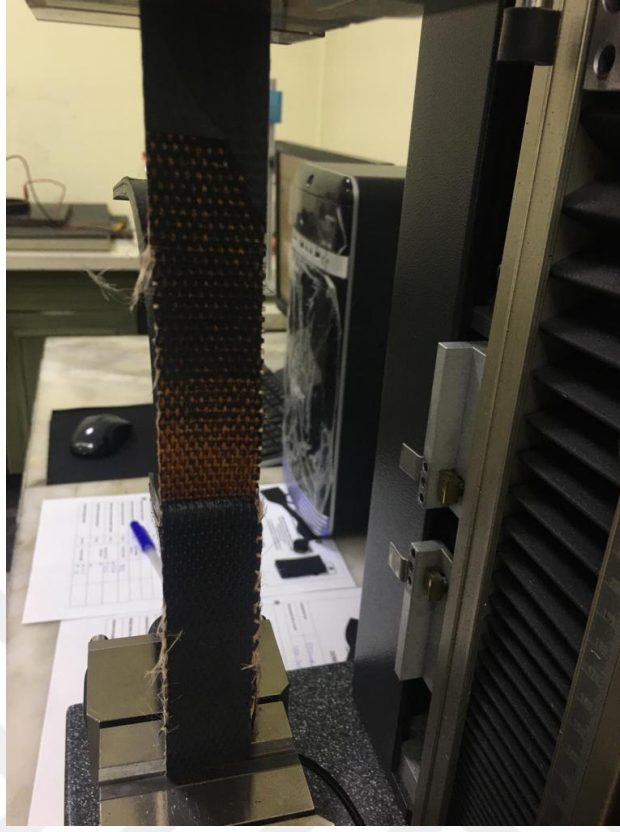
Statistics:

Series n = 4	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
$\bar{x}$	4,34	4,63	4,06	25
s	0,12	0,14	0,18	0,000
Vj [%]	2,82	3,07	4,34	0,00

Şekil 4.23 Pentahidrat içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği.

Sodyum tetraborat pentahidrat içeren konveyör band yapışma mukavemeti testinde ortaya çıkan grafiğin tepe noktalarının ortalaması yani; lastik-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 4,58 N/mm'dir. Doku-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 4,67 N/mm'dir. Standart değerleri karşıladığı için sonuçlar olumludur.

Borik asit içeren konveyör band numunesinin kat ayırma testi esnasında görüntüsü verilmiştir (Şekil 4.24). Üretilen konveyör bandtan alınan numune teste tabi tutulduktan sonra oluşan grafik ve bu grafiğe bakılarak maksimum yapışma mukavemeti gösterilmektedir (Şekil 4.25).

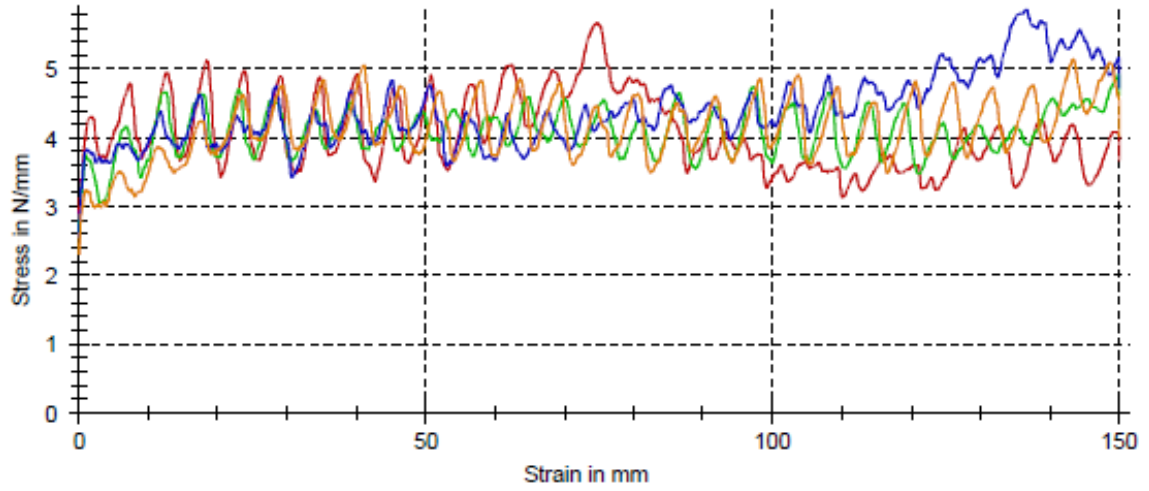


Şekil 4.24 Borik asit içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet testi.

Test results:

No.	Kaplama	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
1	LASTIK-DOKU	4,04	4,32	3,76	25
2	LASTIK-DOKU	4,12	4,38	3,87	25
3	DOKU-DOKU	4,34	4,50	4,18	25
4	DOKU-DOKU	4,17	4,56	3,77	25

Series graph:



Statistics:

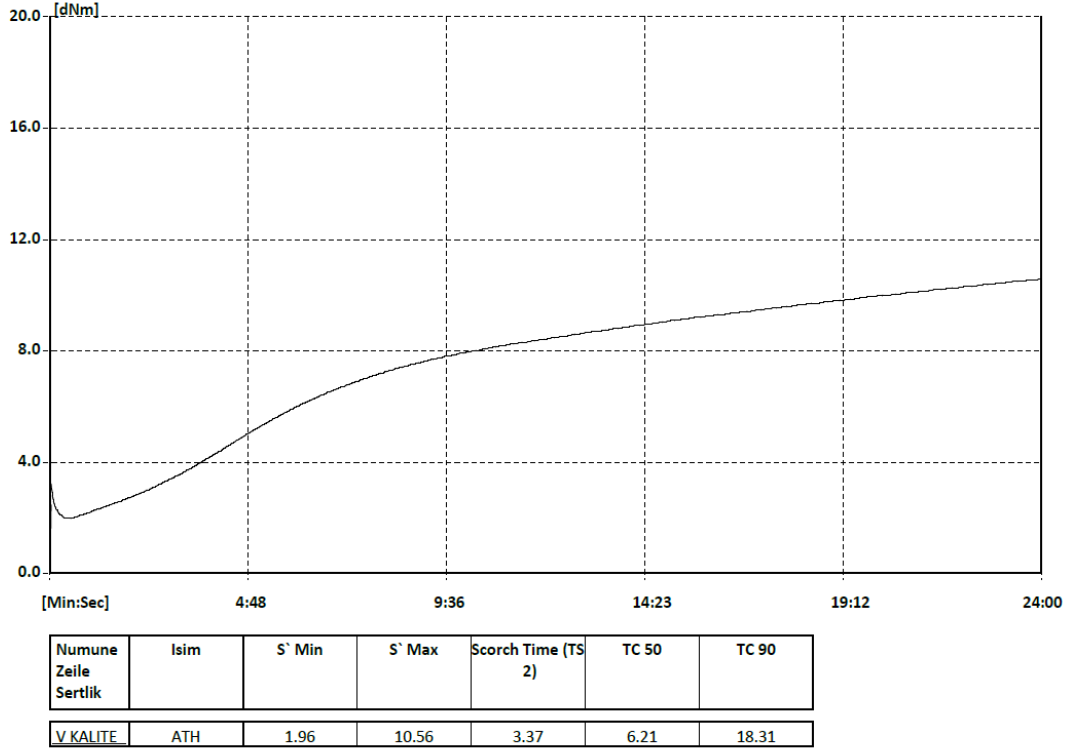
Series n = 4	F av N/mm	F av _{max} N/mm	F av _{min} N/mm	b mm
$\bar{x}$	4,17	4,44	3,90	25
s	0,13	0,11	0,20	0,000
V} [%]	3,09	2,57	5,08	0,00

Şekil 4.25 Borik asit içeren konveyör band numunesinin yapışma mukavemet grafiği.

Borik asit içeren konveyör band yapışma mukavemeti testinde ortaya çıkan grafiğin tepe noktalarının ortalaması yani; lastik-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 4,35 N/mm'dir. Doku-doku yapışma mukavemeti ortalama ($F_{av_{max}}$) 4,53 N/mm'dir. Standart değerleri karşıladığı için sonuçlar olumludur.

5. BULGULAR

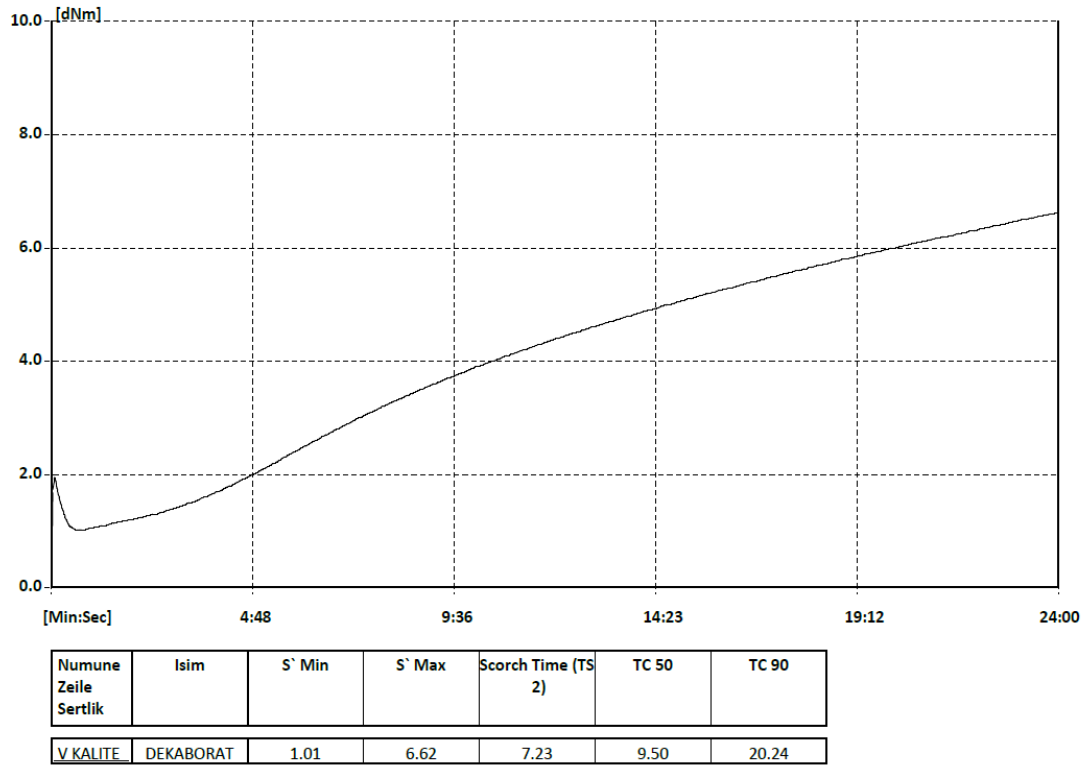
Reometreden alınan verilere göre ATH, sodyum tetraborat dekahidrat, sodyum tetraborat pentahidrat ve borik asidin pişme süreleri belirlenmiştir. Bu süreler baz alınarak vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 ATH'ın vulkanizasyon eğrisi.

Çizelge 5.1 ATH'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.

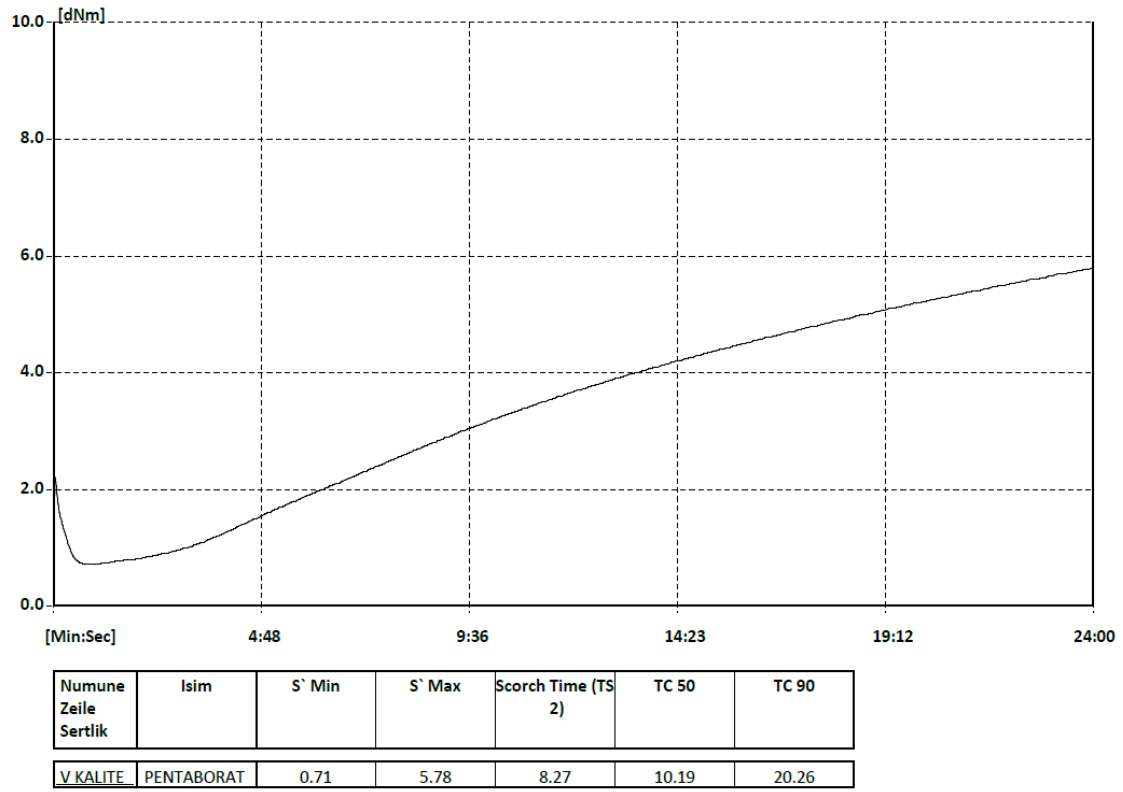
Katkı maddesi	M _H	M _L	T _{s2}	T _{c50}	T _{c90}
	(Ib.in)	(Ib.in)	(min)	(min)	(min)
ATH	1,96	10,56	3,37	6,21	18,31



Şekil 5.2 Dekahidrat'ın vulkanizasyon eğrisi.

Çizelge 5.2 Dekahidrat'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.

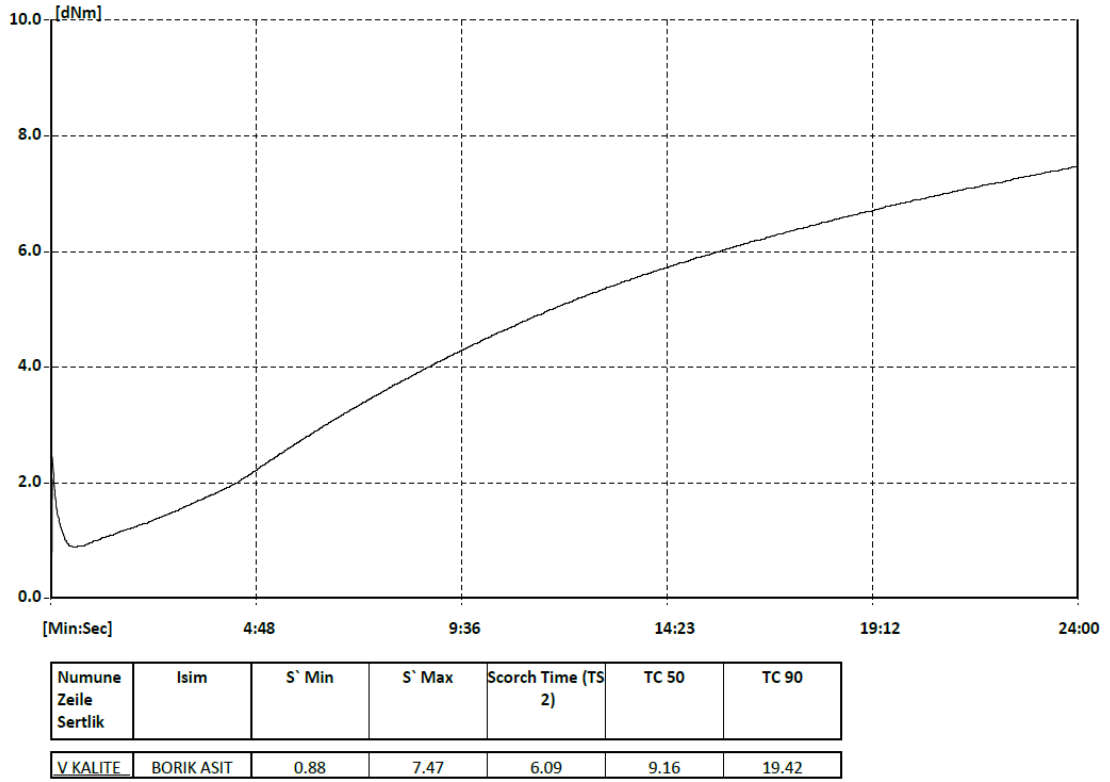
Katkı maddesi	M _H (Ib.in)	M _L (Ib.in)	T _{s2} (min)	T _{c50} (min)	T _{c90} (min)
Dekahidrat	1,01	6,62	7,23	9,5	20,24



Şekil 5.3 Pentahidrat'ın vulkanizasyon eğrisi.

Çizelge 5.3 Pentahidrat'ın alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.

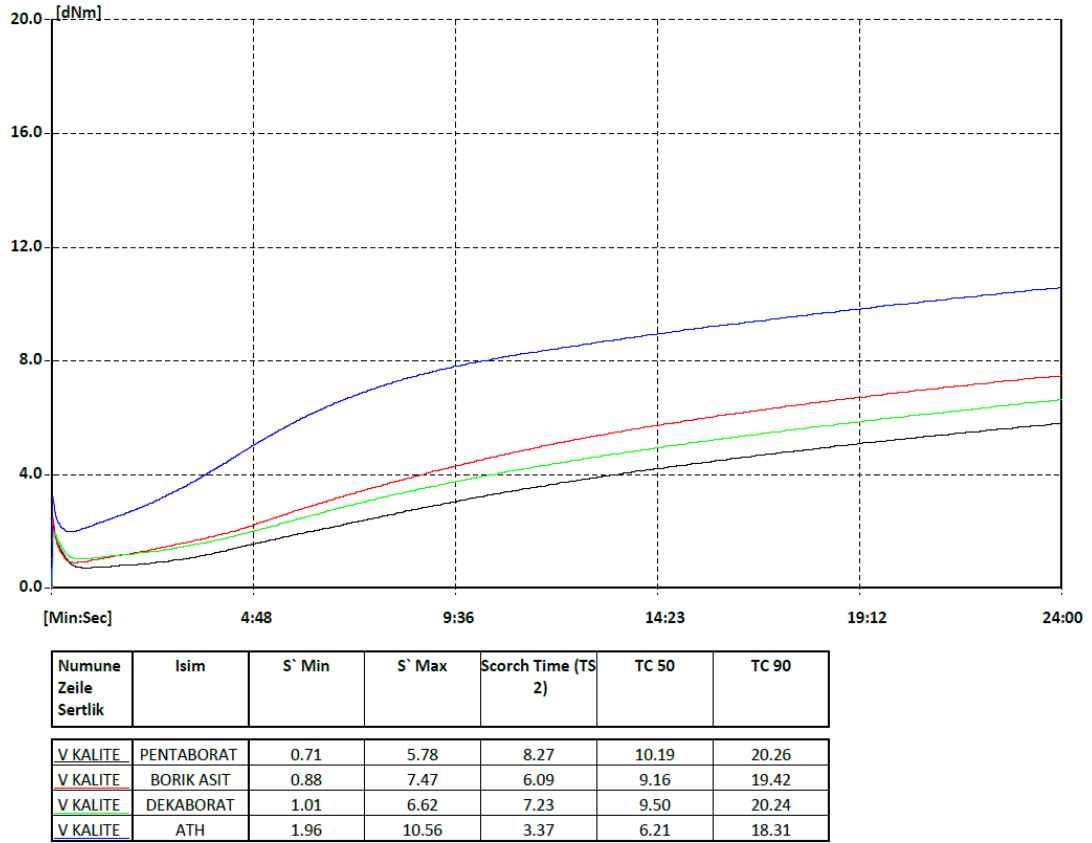
Katkı maddesi	M _H	M _L	T _{s2}	T _{c50}	T _{c90}
	(lb.in)	(lb.in)	(min)	(min)	(min)
Pentahidrat	0,71	5,78	8,27	10,19	20,26



Şekil 5.4 Borik asit'in vulkanizasyon eğrisi.

Çizelge 5.4 Borik asit'in alev geciktirici olarak kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.

Katkı maddesi	M _H (lb.in)	M _L (lb.in)	T _{s2} (min)	T _{c50} (min)	T _{c90} (min)
Borik asit	0,88	7,47	6,09	9,16	19,42



Şekil 5.5 ATH, dekahidrat, pentahidrat ve borik asit'in vulkanizasyon eğrisi.

Çizelge 5.5 ATH ,dekahidrat, pentahidrat ve borik asit'in kullanıldığı kauçuk karışımının reolojik özellikleri.

Katkı maddesi	M _H	M _L	T _{s2}	T _{c50}	T _{c90}
	(Ib.in)	(Ib.in)	(min)	(min)	(min)
ATH	1,96	10,56	3,37	6,21	18,31
Dekahidrat	1,01	6,62	7,23	9,5	20,24
Pentahidrat	0,71	5,78	8,27	10,19	20,26
Borik asit	0,88	7,47	6,09	9,16	19,42

M_H (maksimum tork) maksimum viskozite değeri çapraz bağ yoğunluğu ile ilgili gerilme ve kopma dayanımı gibi özellikleri etkiler. ATH katkı maddesi diğer katkı maddelerine kıyasla daha yüksek M_H değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda ATH kauçuk hamuru içinde çapraz bağ yoğunluğunun arttığına işaretir. Çapraz bağ

yoğunluğunun yüksek olması kauçuğun daha iyi vulkanize olduğunu gösterir. ATH'dan sonra M_H değerini büyükten küçüğe sıralayacak olursak; dekahidrat > borik asit > pentahidrattır.

Scorch süresi (T_{s2}) pişmenin başladığı ve optimum pişme süresini verir. Bu sürenin kısa olması vulkanizasyon prosesini artırır ve enerji tasarrufu sağlar. Bu süre en kısa ATH'da olduğu görülmektedir. Diğer katkı maddeleri onun neredeyse iki katı daha fazladır.

ML (minimum tork) minimum vizkozite değerinde çapraz bağlanma başlamaktadır. Bu noktaya kadar olan kısımda çapraz bağlanma olmadığı için bu değer hamurun yoğunluğu ve sertliği hakkında bilgi vermektedir. Sonuçlara bakıldığında ATH'ın ML değeri diğer katkı maddelerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Böylece ATH daha yoğun ve daha sert olduğu tahmin edilmektedir.

Sunulan test çalışmasında amaca yönelik olarak kauçuk formülasyonlar hazırlandı daha sonra bu hazırlanan formülasyonlar pişme süreleri baz alınarak nihai ürün olan konveyör band haline getirildi. İlk olarak ATH içeren alev geciktiricili konveyör band yapıldı. Bu bandın test sonuçları standarda uygunluğu kıyaslandı ve sonuç olarak bütün standartlara uygunluğu tespit edildi. Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) testi için formül 4.3.1'e göre kütleli harcanan uzunluk 471 mm'dir. Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340) testine göre toplam alev süresi 13 sn'dir. Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) testine göre ortalama yapışma mukavemeti ($F_{av_{max}}$) 6,17 N/mm'dir.

Sodyum tetraborat dekahidrat içeren alev geciktiricili konveyör band yapıldı. Bu bandın test sonuçları standarda uygunluğu kıyaslandı ve sonuç olarak bütün standartlara uygunluğu tespit edildi. Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) testi için formül 4.3.1'e göre kütleli harcanan uzunluk 457 mm'dir. Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340) testine göre toplam alev süresi 23 sn'dir. Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) testine göre ortalama yapışma mukavemeti ($F_{av_{max}}$) 4,27 N/mm'dir.

Sodyum tetraborat pentahidrat içeren alev geciktiricili konveyör band yapıldı. Bu

bandın test sonuçları standarda uygunluğu kıyaslandı ve sonuç olarak bütün standartlara uygunluğu tespit edildi. Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) testi için formül 4.3.1'e göre kütleli harcanan uzunluk 431 mm'dir. Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340) testine göre toplam alev süresi 20 sn'dir. Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) testine göre ortalama yapışma mukavemeti ($F_{av_{max}}$) 4,63 N/mm'dir.

Borik asit içeren alev geciktiricili konveyör band yapıldı. Bu bandın test sonuçları standarda uygunluğu kıyaslandı ve sonuç olarak bütün standartlara uygunluğu tespit edildi. Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) testi için formül 4.3.1'e göre kütleli harcanan uzunluk 447 mm'dir. Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340) testine göre toplam alev süresi 34 sn'dir. Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) testine göre ortalama yapışma mukavemeti ($F_{av_{max}}$) 4,44 N/mm'dir.

Çizelge 5.6 Alev Alma Karakteristiği (TS EN 12881-1) test sonuçları.

ATH	471 mm
Sodyum Tetraborat Dekahidrat	457 mm
Sodyum Tetraborat Pentahidrat	431 mm
Borik Asit	447 mm

Sonuçlar formül 4.3.1'e göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 Aleve Dayanıklılık (TS EN ISO 340) test sonuçları.

ATH	13 sn
Sodyum Tetraborat Dekahidrat	23 sn
Sodyum Tetraborat Pentahidrat	20 sn
Borik Asit	34 sn

Çizelge 5.8 Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) test sonuçları.

	Lastik-Doku	Doku-Doku
ATH	5,90 N/mm	6,44 N/mm
Sodyum Tetraborat Dekahidrat	3,99 N/mm	4,54 N/mm
Sodyum Tetraborat Pentahidrat	4,58 N/mm	4,67 N/mm
Borik Asit	4,35 N/mm	4,53 N/mm

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada kullanılan katkı maddelerinin reometre cihazıyla reolojik özelliklerine bakıldı. İstenilen reolojik özelliklere göre en uygun katkı maddesinin ATH olduğu görülmüştür. Fakat bu sonuç diğer katkı maddelerinin reolojik özelliklerinin kötü olduğu anlamı taşımamaktadır. Ayrıca ATH'ın reolojik sonuçlarına göre daha yoğun ve sert bir yapıda olduğu tahmin edilmiştir buda bazı durumlarda istenmeyen bir özelliktir. Dekahidrat, pentahidrat ve borik asit birbirine yakın M_H , M_L VE T_{S2} değeri verdiğiinden reolojik özellikleri benzerlik göstermektedir. Bu reometre sonuçları baz alınarak konveyör band üretilmiştir. Üretilen konveyör bandlardan TS EN 12881-1 standardına uygun tünel testi yapıldığında yanmadan kalan kısmın en çok pentahidrat denemesinde olduğu görülmüştür. Diğer katkı maddeleri de ona yakın sonuçlar vermiştir.

Çizelge 6.1 TS EN 12881-1 standardına göre katkı maddelerinin yanmadan kalan kısmı.

Katkı Maddeleri	Yanmadan Kalan Kısım
ATH	100 cm
Dekahidrat	100 cm
Pentahidrat	105 cm
Borik asit	104 cm

Çizelge 6.2 TS EN ISO 340 standardına göre toplam alev süreleri.

Katkı Maddeleri	Toplam alev süresi
ATH	13 sn
Sodyum Tetraborat Dekahidrat	23 sn
Sodyum Tetraborat Pentahidrat	20 sn
Borik Asit	34 sn

TS EN ISO 340 standardına göre toplam alev süresi en az olan ATH'dır. Daha sonra onu pentahidrat takip etmektedir. En kötü sonuca ise borik asit sahiptir fakat standardın gerekliliğine hammadde de uyduğu için hepsi uygundur.

Çizelge 6.3 Ana Elemanlar Arası Yapışma Tayini (TS EN ISO 252) ortalama değerleri.

Katkı Maddeleri	Ortalama Yapışma Mukavemeti
ATH	6,17 N/mm
Sodyum Tetraborat Dekahidrat	4,27 N/mm
Sodyum Tetraborat Pentahidrat	4,63 N/mm
Borik Asit	4,44 N/mm

Yapışma mukavemeti; bütün katkı maddeleri için standart değerin üstünde olduğu için sonuçlar olumludur. Diğer hammaddelerle kıyaslandığında en yüksek yapışma mukavemetini ATH vermektedir. Yapıyla uyumlu olduğundan homojen bir şekilde dağıldığından dolayı yüksek yapışma mukavemetine sahiptir. Sodyum tetraborat pentahidrat yapışma mukavemeti sırasında 2. sırada yer almaktadır. Daha sonra sırasıyla borik asit ve sodyum tetraborat dekahidrat yer almaktadır.

Borik asit, pentahidrat ve dekahidratın homojen bir şekilde dağılımından emin olunduğu için yapıya olan uyumunda ya da tanecik boyutuyla alakalı bir sıkıntı olduğu düşünüldüğü için yapışmanın ATH'dan daha düşük çıkmasına sebep olmuş olabilir. Bu çalışmada yapılan testler ve ortaya çıkan sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan sonuç; kullanılan bor türevlerinin alev geciktirici olarak ATH'ın yerine kullanılabilirliği kesinleşmiştir. Fakat en iyi sonucu ATH'dan sonra sodyum tetraborat pentahidrat verdiği için bu katkı maddesi üzerinden %'lik değerlerinin azaltılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu %'ler % 2,5 ve % 5 olarak belirlenmiştir. Bütün testler aynı şekilde tekrarlanmasına rağmen oran olarak % 2,5 ve % 5 sodyum tetraborat pentahidrat içeren konveyör bandlar yanmış ve test olumsuz olarak sonlanmıştır. Buradan çıkarılan sonuç kullanılan her hammaddenin bir optimum değere sahip olduğudur. Daha da detay vermek gerekirse kullanılan hammaddenin miktarının azalması alev geciktirici etkisini tam anlamıyla yapamadığını göstermektedir.

7. KAYNAKLAR

- Altuntaş E, 2008, Borlu Polimer-Odun Kompozitleri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 99 s, Kahramanmaraş.
- ASTM-D 1566, 1993, Terminology relating to rubber. In Annual Book of ASTM Standards, Volume: 09.01, Philadelphia: ASTM International.
- Aydın Y D, Gürü M, Ayar B ve Çakanyıldırım Ç, 2016, Bor bileşiklerinin alev geciktirici ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment olarak uygulanabilirliği. Bor Dergisi, 33-39.
- Babushok V, Tsang W, 2000, Inhibitor rankings for alkane combustion. Combust. Flame. 124, 488-506
- Costa L, Camino G, Luda D, Cortemiglia P, 1990, Mechanism of thermal degradation of fire retardant melamine salts. Fire and polymers. ACS Symposium. 425, 211-238.
- Çelebi K, 2009, Poliester Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Davranışının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Çoban S, 1999, Güç Tutuşurluk Bitim İşlemleri, Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri, Ege Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.
- Dierkes W, 2007, Raw Materials And Compunds In Rubber Industry, University Of Twente, 119 s.
- DPT 2001a, Kauçuk Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı.
- DPT 2001b, Kauçuk Ürünleri Özel İhtisas Komisyonu Raporu Karbon Siyahı ve Sentetik Kauçuk Alt Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı.
- EPA 2005, Profile of the Rubber and Plastics Industry, 2nd Edition, EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, Washington.

- Eşiyok S, 2014, Yanma Geciktirici Özelliği Arttırılmış Polimer – Kil Nanokompozitlerin Hazırlanması, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Yalova.
- Gündoğmaz G, 2007, Bazı Bor İçeren Apatit Malzemelerin Sentezi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi, 193 s, Balıkesir.
- Hancock M, 2003, Filled Thermoplastic. In: Rothon, R., (Eds.), Particulate-Filled Polymer Composites, (pp. 279–316), Longman Scientific And Technical, New York, USA.
- İSO 2006, Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Araç Lastiği Çalışma Grubu Raporu, İstanbul Sanayi Odası.
- Kalın M B, 2008, Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Karaağaç B, Şen M, Deniz V ve Güven O, 2007, Recycling of Gamma Irradiated Iner Tubes in Butyl Based Rubber Compounds, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 265, 290-293.
- Kaya M, Oz D, 1999, Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri. 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Kısacık F, 2006, İki Komponentli Kauçuk Hortum, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Laoutid F, Bonnaud L, Alexandre M, Lopez-Cuesta J-M, Dubois Ph, 2009, New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. Materials Science and Engineering: R: Reports, 63, 100–125.
- Lee J D, 1977, A New Concise İnorganic Chemistry. 3th Ed., 154-165.
- Lewin M, 1999, Synergistic and catalytic effects in flame retardancy of polymeric materials-an overview. Journal of Fire Sciences, 17, 3-19. doi: 10.1177/073490419901700101

- Mark J E, Erman B ve Eirich F R, 2005, Science and Technology of Rubber, Elsevier Academic Press.
- Mureimk R J, 1998, Flame Retardants, Industrial Minerals, 364, 45-49.
- Öztürk E, 2008, Farklı Kauçuk Karışımlarının Vulkanizasyonuna Hızlandırıcıların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pal G, Macskasy H, 1991, Plastics: Their behavior in fires, Elsevier, New York.
- Park S, Seo M ve Nah C, 2005, Influence of Surface Characteristics of Carbon Blacks on Cure and Mechanical Behaviours of Rubber Matrix Compoundings, Journal of Colloid and Interface Science, 291, 229-235.
- Pawelec W, 2014, New families of highly efficient, halogen-free flame retardants for polypropylene (PP). Doktora Tezi, Åbo Akademi University, Turku.
- Savran H Ö, 2001, Elastomer Teknolojisi I., İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları.
- Schweitzer P A, 2006, Corrosion of Polymers and Elastomers, Corrosion Engineering Handbook, CRC Press, New York.
- Soyubol B, 2006, Elastomerlerin Statik ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tepebağ B, 2007, Akselatörlerin Vulkanizasyon Üzerine Etkisi, Lisans Bitirme Tezi, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- TS EN 12881-1, 2014, Konveyör bantları - Yangın simülasyonu ile alev alma deneyi bölüm 1: Propan yanma deneyi, Türk standardı enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 340, 2013, Konveyör bantlar - Laboratuvar ortamında ölçülen alev alma karakteristikleri - Özellikler ve deney metodu, Türk standardı enstitüsü, Ankara.
- Vahapoğlu V, 2006a, Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhao Q, Li X, Gao J ve Jia Z, 2008, Degradation Evaluation of Ethylene-Propylene-Diene Monomer (EPDM) Rubber in Artificial Weathering Environment by Principal Component Analysis, Materials Letters, 63, 116-117.

Xinhua L, Qingting L, Zhaohui C ve Dizhen W, 2006, Study on Kinetics of Natural Rubber Vulcanization by S/La(DiPDP), Journal of Rare Earths, 25, 396-400.

İnternet Kaynakları

- 1 <https://www.rtpcompany.com/products/flame-retardant/>, 25.06.2018
- 2-<http://www.wirecable.in/2014/10/mineral-flame-retardants-for-wire-and-cable-application/>, 25.06.2018
- 3- <http://www.teknointel.com/makaleler/bamburidekaristirma.htm>, 05.02.2022
- 4-https://www.atamanchemicals.com/aluminium-trihydrate_u25571/?lang=TR, 06.04.2022
- 5- <http://science.ankara.edu.tr/~kavusan/borpage>, 13.07.2018
- 6-<http://www.ido-forum.org/doga-vecevre/154676-bor-hakkinda-hersey.html>, 30.08.2018
- 7- <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/1-borik-asit1.pdf>, 04.09.2020
- 8-<https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/May2021/TR-Etibor-48-teknik.pdf>, 05.09.2020
- 9-<https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/May2021/TR-Boraks-Dekahidrat-teknik.pdf>, 01.09.2020